



Universidad del Azuay
Departamento de Posgrados
Maestría en Sistemas Vehiculares

**DETERMINACIÓN DEL DESGASTE DE LOS
ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOTOR
MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ACEITE
USADO**

Autor:

Ing. Juan Carlos Avila Heras

Director

Ing. Andrés López Hidalgo. PhD

Cuenca, Ecuador

2017

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado primero a Dios, A mi Esposa Ximena, A mis hijas Malena y Dome. A mis Padres y toda la familia gracias a su apoyo incondicional para culminar la presente maestría.

Juan

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos. Al Dr. Andrés López Hidalgo, director del presente proyecto de investigación; a los docentes que impartieron las cátedras en cada uno de los módulos en esta maestría

Al Ing. Xavier Armas gerente de CONAUTO sucursal Cuenca, a los laboratorios Swissoil, a los Sres. Eduardo Avila gerente propietario de Talleres Karl Benz y a Miguel Moncayo propietario de Transportes Moncayo por brindar su apoyo para la realización de este proyecto

RESUMEN

Para determinar el desgaste de los elementos mecánicos del motor mediante el análisis del aceite usado. Aplicamos este método de análisis a una flota de 16 camiones (6 camiones y 9 tracto camiones) todos equipados con motor Mercedes Benz V8 serie OM502. De la compañía de transporte Miguel Moncayo e Hijos Cía. Ltda. Procediendo a tomar las muestras de aceite de cada motor en un periodo variable de 7.000 a 8.000 kilómetros en cambio de aceite. El análisis de las muestras permite observar los parámetros más representativos para este estudio como son los metales de desgaste según normativa ASTM D6595, existencia de agua por crepitación, viscosidad a 40° C y a 100°C según normativa ASTM445, TBN (Total Base Number) según normativa D2896. Los reportes de análisis de cada muestra, son evaluados los resultados para posteriormente diagnosticar los materiales de desgaste del motor del tracto camión.

PALABRAS CLAVES

Desgaste de los elementos mecánicos, Metales de desgaste, Viscosidad, TBN (Total Base Number)

ABSTRACT

ABSTRACT

The study sought to determine the wear of engine mechanical elements through the analysis of used oil. This method of analysis was applied to a fleet of 16 trucks (6 trucks and 9 truck tractors) equipped with Mercedes Benz OM502 series V8 engines of the company "Miguel Moncayo e Hijos Cia. Ltda." Samples of oil were taken from each engine in a variable period of 7,000 to 8,000 kilometers in the oil change. The analysis of samples allowed observing the most representative parameters for this study such as the wear metals according to ASTM D6595, the existence of water by crepitation, the viscosity at 40 ° C and at 100 ° C according to ASTM445 and the TBN (Total Base Number) according to the D2896 regulation. The analysis reports of each sample were evaluated to subsequently diagnose the wear materials of the truck engine in the results.

Keywords: Wear of mechanical elements, Wear metals, Viscosity, TBN (Total Base Number)



Dpto. Idiomas



Translated by
Ing. Paul Arpi

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo I	2
FUNDAMENTO TEORICO	2
1.1. Antecedentes de la investigación.	2
1.1.1 Problemática.	3
1.1.2 Hipótesis.	4
1.1.3 Objetivo general.	4
1.1.4 Objetivos específicos.	4
1.1.5 Justificación.	4
1.1.6 Planteamiento de la tesis.	4
1.2 Tribología.	5
1.2.1 Lubricación y aceites.	6
1.3 Modos o regímenes de lubricación.	7
1.3.1 Régimen de lubricación hidrodinámica.	8
1.3.2 Régimen de lubricación límite.	9
1.3.3 Régimen de lubricación mixta.	9
1.3.4 Régimen de lubricación elastohidrodinámica.	10
1.4 Sistema de lubricación en los motores.	10
1.4.1 Lubricación en motores de combustión interna alternativos.	11
1.4.2 El problema de la contaminación del aceite.	12
1.5 Tipos de desgaste de los motores.	15
1.5.1 Desgaste adhesivo o por contacto metal-metal.	15
1.5.2 Desgaste por fatiga superficial.	16
1.5.3 Desgaste corrosivo.	17
1.5.4 Desgaste abrasivo.	18
1.5.5 Desgaste erosivo.	18

1.6 Lubricantes para el motor.	20
1.6.1 Composición de los lubricantes y sus características.	20
1.6.2 La adición de aditivos al lubricante.	20
1.6.3 Tipo de lubricantes.	21
1.6.3.1 Según su origen y composición.	21
1.6.3.1.1 Aceites Minerales	21
1.6.3.1.2 Aceites sintéticos.	23
1.6.3.1.3 Aceites semisintéticos.	25
1.7 Clasificación de los aceites lubricantes de motor.	25
1.7.1 Clasificación por viscosidad.	25
1.7.1.1 Monogrados.....	27
1.7.1.2 Multigrados.	28
1.7.1.2.1 Ventajas de los aceites multigrados	28
1.7.2 Por el tipo de servicio.	28
1.7.2.1 Clasificación API.	29
1.7.2.1.2 Clasificación ACEA.....	32
1.8 Características de los lubricantes.	33
1.8.1 Densidad.	33
1.8.2 Viscosidad.	33
1.8.3 Índice de viscosidad.	34
1.8.4 Punto de Inflamación, combustión y congelación.	35
1.8.5 Acidez en los Lubricantes.	36
1.8.5.1 Causas que producen acidez en el los lubricantes.	36
1.8.6 Capacidad frente a la oxidación y nitración.....	36
1.8.7 Capacidad detergente y dispersante (Mediante aditivos).	37
1.8.8 Capacidad antiespumante (Mediante aditivos).....	38
1.8.9 Capacidad alcalina-TBN (Mediante aditivos).....	38
1.8.10 Aditivos antidesgaste (Mediante aditivos).	40

Capítulo II	41
MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE ACEITES	41
2.1. Introducción.	41
2.2. Método para la determinación de la degradación del aceite	41
2.2.1 Viscosidad.	42
2.2.2 Punto de inflamación.	44
2.2.3 Acidez – Basicidad del Aceite.	45
2.2.4 Insolubles del aceite.....	47
2.2.5 Capacidad detergente y dispersante de los aceites.....	48
2.3. Métodos para el análisis del aceite por contaminación.	49
2.3.1 Contaminación por presencia de dilución por combustible.....	50
2.3.2 Contaminación por presencia de agua.	50
2.3.3 Espectrometría infrarroja.	51
2.3.3.1 Tipos de espectrómetros de infrarrojos	52
2.3.4 Por ensayo de la mancha.....	53
2.4 Observaciones en el desgaste del motor.	55
2.4.1 Espectrometría.	55
2.4.2 Ferrografía.	57
2.4.3 Contaje de partículas.....	57
2.5. Desgaste, evaluación y diagnóstico de las partes del motor Diesel.	58
2.5.1 Desgaste en el motor Diesel.	59
2.5.1.1. Desgaste en el conjunto pistón- segmentos- camisa.....	60
2.5.1.1.1. Desgaste adhesivo.....	60
2.5.1.1.2. Desgaste corrosivo.....	63
2.5.1.1.3. Desgaste abrasivo	65
2.5.1.2. Desgaste de cojinetes.	68
2.5.1.2.1. Desgaste adhesivo.....	68
2.5.1.2.2. Desgaste corrosivo.....	69
2.5.1.3. Desgaste del sistema de distribución.....	70
2.5.1.4. Desgaste del conjunto balancín – cola de válvula.	70
2.5.1.5. Desgaste del conjunto vástago de válvula-guía.	71
2.5.1.6. Desgaste de los asientos y apoyos de la válvula.....	72

2.5.1.7. Desgaste de los engranajes de la distribución.	72
2.5.1.8. Metales de desgaste en el lubricante usado.	73
Capítulo III.....	75
METODOLOGIA DE TRABAJO	75
3.1. Introducción	75
3.2. Mantenimiento de motores.	75
3.2.1. Técnicas de mantenimiento.....	76
3.2.1.1 Técnicas de mantenimiento de motores.....	76
3.2.2 Características del mantenimiento.	78
3.2.3 Tipos de mantenimiento.....	78
3.2.3.1 Mantenimiento Preventivo (empleando la metodología SACODE para la interpretación de análisis de aceites)	79
3.2.3.1.1. Aspectos a considerar en la metodología SACODE.	80
3.2.3.1.2. Normalización.	81
3.2.3.1.3 Identificación de la máquina.....	82
3.2.3.1.4 Definir objetivos y límites condenatorios.....	82
3.2.3.1.5 Línea base.	82
3.2.3.1.6 Limite crítico.	82
3.2.3.1.7 Parámetros de desgaste (DE).	82
3.2.3.1.7.1 Metales de desgaste.	83
3.3. Emitir el diagnostico general de la muestra.	84
3.3.1. Detalle de los límites condenatorios.....	84
3.4. Análisis del tipo de camión y del lubricante recomendado el fabricante.	86
3.4.1 Tipo de camión utilizado en el proyecto.	86
3.4.2 Descripción del motor.....	88
3.4.2.1 Características del aceite recomendado por Mercedes Benz.....	90
3.5 Características del aceite utilizado por la flota de camiones.	91
3.6 Procedimiento para tomar muestra de aceite.	92
3.6.1 Toma de muestras de aceite motor.....	92
3.6.2 Proceso para la toma de muestras de aceite.....	93

Capítulo IV	97
DETERMINACIÓN DEL DESGASTE DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOTOR MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ACEITE USADO.....	97
4.1 Conceptos estadísticos para el análisis de datos.....	97
4.1.1 Tamaño de la muestra	97
4.1.2. Concepto y métodos de cálculo de centro y variabilidad.....	98
4.1.2.1 Media o promedio.....	98
4.1.2.2 Rango.....	98
4.1.2.3 Varianza de una población (σ^2) y de una muestra (s^2).....	98
4.1.2.4 Desviación estándar.....	99
4.1.3. Regresión lineal.....	100
4.1.4. Mínimos cuadrados.....	101
4.2. Análisis del TBN.....	102
4.3 Análisis de Viscosidad.	105
4.4 Análisis de los materiales de desgaste.	107
4.4.1 Análisis del material de desgaste: Cromo (Cr)	107
4.4.2 Análisis del material de desgaste: Níquel (Ni)	109
4.4.3 Análisis del material de desgaste: Cobre (Cu)	111
4.4.4 Análisis del material de desgaste: Estaño (Sn).....	113
4.4.4 Análisis del material de desgaste: Aluminio (Al)	114
4.4.4 Análisis del material de desgaste plomo (Pb).....	117
4.4.5 Análisis del material de desgaste: Hierro (Fe)	119
4.4.6 Análisis del material de desgaste: Silicio (Si)	122
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130
ANEXOS	132
Anexo 1.- Aceite recomendado por Mercedes Benz.....	132
Anexo 2.- Características Técnicas del Lubricante empleado por la flota de camiones Ursa Premium TDX SAE 15w40.	133
Anexo 3.- Fichas de control de toma de muestras.....	135
Anexo 4.- Informes de análisis reportados por Swissoil de cada muestra.....	138

Anexo 5.- Tabla general del análisis de aceite usado de la flota de camiones 140

Anexo 6.- Fotografías y Monitoreo del mantenimiento correctivo de la unidad #7
con un kilometraje de 1.434.165 km..... 141

Índice de figuras y tablas

Figuras

Capítulo I

<i>Fig.1.1.- Desgaste entre dos elementos sin lubricación y con lubricación</i>	6
<i>Fig.1.2.- Curva de Stribeck</i>	7
<i>Fig.1.3.- Lubricación Hidrodinámica</i>	9
<i>Fig.1.4.- Régimen de Lubricación Límite</i>	9
<i>Fig.1.5.- Régimen de Lubricación mixta</i>	10
<i>Fig.1.6.- Requerimientos sobre el aceite en M.C.I.A</i>	12
<i>Fig.1.7.- Derivados después de la combustión en un M.C.I.A</i>	13
<i>Fig.1.8.- Producción de barros en la tapa de balancines en un M.C.I.A</i>	14
<i>Fig.1.9.- Desgaste adhesivo o por contacto metal-metal</i>	16
<i>Fig.1.10.- Desgaste por fatiga superficial</i>	17
<i>Fig.1.11.- Desgaste corrosivo</i>	17
<i>Fig.1.12.- Desgaste abrasivo</i>	18
<i>Fig.1.13.- Desgaste erosivo</i>	19
<i>Fig.1.14.- Composición del Lubricante</i>	20
<i>Fig.1.15. Composición del Lubricante y sus funciones</i>	21
<i>Fig.1.16.- Obtención del Aceite Mineral</i>	22
<i>Fig.1.17.- Aceite sintético marca Mercedes Benz</i>	24
<i>Fig.1.18.- Clasificación del Lubricante por su viscosidad</i>	26
<i>Fig.1.19.- Esquema del índice de viscosidad de un aceite</i>	34
<i>Fig.1.20.- Prueba del punto de congelación</i>	35
<i>Fig.1.21.- Nivel de TBN necesario</i>	39

Capítulo II

<i>Fig.2. 1 Equipo para determinar el punto de inflamación por vaso abierto</i>	44
<i>Fig.2. 2.- Equipo para determinar el punto de inflación por vaso cerrado</i>	45
<i>Fig.2. 3.- Evolución del TBN en el aceite usado en un motor</i>	46
<i>Fig.2. 4.- Determinación de la detergencia y dispersante por medio de un fotómetro analizando la mancha de aceite</i>	49
<i>Fig.2. 5.- Determinación de la presencia de agua en el aceite por crepitación</i>	51
<i>Fig.2. 6.- Comparación del espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier de un aceite nuevo y uno usado</i>	53
<i>Fig.2. 7.- Constitución de una mancha de aceite</i>	54
<i>Fig.2. 8.- Desgaste generado por los segmentos del pistón en la camisa</i>	61
<i>Fig.2. 9.- Desgaste adhesivo en los cojinetes</i>	68
<i>Fig.2. 10.- Desgaste corrosivo en los cojinetes</i>	69
<i>Fig.2. 11.- Metales de desgaste presente en el motor de combustión interna</i>	74

Capítulo III

<i>Fig.3.1.- Evolución de la señal de una máquina</i>	77
<i>Fig.3.2.- Diagrama SACODE</i>	81
<i>Fig.3.3.- Tracto camión Mercedes Benz serie 3343 S</i>	88
<i>Fig.-3.4.- Motor Mercedes Benz OM502 V8</i>	88
<i>Fig. 3.5.- Descripción del Motor Mercedes Benz OM 502 V8</i>	89
<i>Fig. 3.6.- Clases de SAE de los aceites de motor (viscosidad)</i>	90
<i>Fig. 3.7.- Etiquetas y envase para la recolección de muestra de aceite usado</i>	92
<i>Fig. 3.8.- Bomba de vacío y envase para la recolección de muestra de aceite</i>	93
<i>Fig. 3.9.- Aparcamiento del camión en un lugar plano</i>	93
<i>Fig. 3.10.- Bomba de vacío con el envase para tomar la muestra</i>	94
<i>Fig. 3.11.- Toma de la muestra</i>	94
<i>Fig. 3.12.- Muestra de aceite usado y etiquetado para ser enviado al laboratorio</i>	95

Capítulo IV

<i>Fig.4.1.-Comportamiento del TBN del aceite Ursa Premium TDX 15W40</i>	<i>103</i>
<i>Fig.4.2.- Comportamiento de la Viscosidad del aceite Ursa Premium TDX 15W40</i>	<i>106</i>
<i>Fig.4 3.- Comportamiento del material de desgaste del Cromo</i>	<i>108</i>
<i>Fig.4.4.- Comportamiento del material de desgaste del Níquel</i>	<i>110</i>
<i>Fig.4.5.- Comportamiento del material de desgaste del Cobre</i>	<i>112</i>
<i>Fig.4 6.- Comportamiento del material de desgaste del Estaño.....</i>	<i>114</i>
<i>Fig.4 7.- Comportamiento del material de desgaste Aluminio.....</i>	<i>116</i>
<i>Fig.4 8.- Comportamiento del material de desgaste del Plomo.....</i>	<i>119</i>
<i>Fig.4 9.- Comportamiento del material de desgaste de Hierro</i>	<i>121</i>
<i>Fig.4 10.- Comportamiento del material de desgaste del Silicio.....</i>	<i>123</i>

Tablas

Capítulo I

<i>Tabla 1.1.- distribución de los esfuerzos de fricción en las mayores partes rozantes del motor según diversos autores</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 1.2.- Tipos de desgaste en diversas partes del motor.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 1.3.- Tipos de estructuras de la composición del aceite mineral</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 1.4.- Clasificación de Viscosidad SAE J300 (2012).....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 1.5.- Clasificación API.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 1.6.- Clasificación API.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 1.7.- Clasificación ACEA.....</i>	<i>32</i>

Capítulo II

<i>Tabla 2. 1.- Clasificación API.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 2. 2.- Longitudes de onda característica y límites de detección en los metales.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 2. 3.- Valores condensorios de concentraciones metálicas en el aceite según diversos fabricantes de motores</i>	<i>59</i>

<i>Tabla 2. 4.- Granulometría típica del polvo en una carretera asfaltada</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 2. 5.- Tabla de metales de desgaste en el lubricante usado</i>	<i>73</i>

Capítulo III

<i>Tabla 3.1.- Origen de las partículas metálicas por elemento en un motor.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 3.2.- Límites absolutos de alarma para aceites para motores.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 3.3.- Límites críticos para el análisis del aceite.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 3.4.- Clasificación de la Flota de camiones por año y kilometraje</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 3.5.- Clasificación por año y kilometraje</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 3.6.- Descripción del motor Mercedes Benz.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 3.7.- Características del aceite Ursa TDX 15W40.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 3.8.- Detalle de ficha de control de la toma de muestras de cada unidad.....</i>	<i>96</i>

Capítulo IV

<i>Tabla 4.1.- Tabla de TBN del análisis de aceite usado en la flota de camiones</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 4.2.- Tabla de Viscosidad del análisis de aceite usado en la flota de camiones ...</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 4.3.- Tabla de material de desgaste: Cromo en la flota de camiones</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 4.4.- Tabla de material de desgaste: Níquel en la flota de camiones</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 4.5.- Tabla de material de desgaste: Cobre en la flota de camiones</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 4.6.- Tabla de material de desgaste Estaño en la flota de camiones</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 4.7.- Tabla de material de desgaste: Aluminio en la flota de camiones.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 4.8.- Tabla de material de desgaste plomo en la flota de camiones</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 4.9.- Tabla de material de desgaste: Hierro en la flota de camiones</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 4.10.- Tabla de material de desgaste: Silicio en la flota de camiones.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 4.11.- Tabla de elementos o materiales de desgaste.....</i>	<i>124</i>

Ing. Juan Carlos Avila Heras

Trabajo de Graduación

Ing. Andrés López Hidalgo. PhD.

Enero, 2018

DETERMINACIÓN DEL DESGASTE DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOTOR MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ACEITE USADO

INTRODUCCIÓN

La presente tesis resalta la importancia de la utilización de la técnica del análisis del aceite usado del motor conocida también como Tribología de Motores, donde a partir del estado del aceite predecir el estado del motor. Esta metodología analiza los materiales de desgaste evaluadas en partes por millón (ppm) presentes en función del kilometraje recorrido, en las muestras tomadas a cada unidad motriz y en qué grado se encuentran estas y por ende determinar el posible elemento con desgaste. También se observa el estado del lubricante como su viscosidad, numero básico total (TBN). Todos estos análisis según normalización ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales). Para establecer un programa de mantenimiento predictivo y preventivo para evitar paradas inesperadas en este caso de las unidades de la flota de camiones.

Capítulo I

FUNDAMENTO TEORICO

1.1. Antecedentes de la investigación.

En la actualidad el motor Diésel es el más empleado para camiones y tracto camiones. Su ventaja radica en poseer un alto par motor, un menor consumo de combustible y una alta eficiencia, la cual es mayor en comparación con los motores a gasolina.

Las condiciones de operación de un motor Diésel generan un mayor esfuerzo en sus componentes internos, por esta razón sus elementos mecánicos deben ser más robustos en su estructura y fabricación.

En los motores de combustión interna especialmente en el motor Diésel la transformación de la energía química a energía mecánica genera pérdidas energéticas considerables como, la fricción. Esta es reducida con el uso de un lubricante, este se adhiere a las superficies y el deslizamiento se produce entre las distintas capas del mismo, dando como resultado un menor rozamiento, menor generación de calor, mayor suavidad y menor ruido. La misión del lubricante es el neutralizar los ácidos, aire, agua y sustancias corrosivas debido a la combustión y descomposición del propio lubricante, protegiendo el motor. Otra función es el soportar cargas y esfuerzo a los que está sometido sin ser desplazado, reduciendo las vibraciones, y ruidos entre piezas. A pesar del uso del lubricante, el motor aún enfrenta condiciones de desgaste presentadas durante su uso de forma mínima. Con largos periodos de uso y basado en su condición de trabajo un motor puede presentar mayor o menor desgaste en función del tiempo.

El desgaste se refiere a la pérdida superficial de masa de un elemento tras estar sometido a un trabajo entre dos superficies. En función del desgaste, se puede determinar las condiciones operacionales de un motor de combustión interna a Diésel. (J.M. Desantes, 2011)

Por esta razón que se efectuará el análisis del aceite usado o también denominado método del tipo estático tribológico para el análisis del motor. En una flota de camiones en donde se pretende determinar el desgaste de los elementos mecánicos en el motor. Este método tribológico define parámetros de análisis donde la máquina está completamente detenida durante su análisis.

“En el mantenimiento predictivo de los motores Diésel, la herramienta utilizada es el análisis del aceite, este proporciona innumerable información como: el estado del lubricante y el desgaste interno del motor siendo estas señales indicadores de un posible daño.

En el proceso de mantenimiento, las técnicas utilizadas adecuadamente aseguran y optimizan el funcionamiento de máquinas, equipos o instalaciones para obtener una efectiva disponibilidad de los mismos”. (Tormos, 2009)

1.1.1 Problemática.

El análisis del aceite usado en los motores Diésel, tiene su importancia en la determinación de posibles anomalías en los desgastes en el motor, en sus componentes lubricados siendo los cojinetes, bielas, pistones, bujes, engranajes; conteniendo información sobre parámetros representativos. Tales como partículas metálicas de desgaste, combustible, agua, materias carbonosas, insolubles. Otro parámetro de determinación se representa en la degradación del aceite en función de la viscosidad, detergencia, basicidad y constante dieléctrica.

“Al emplear el análisis del aceite usado este revela la relación cantidad de dinero vs mantenimiento correctivo. Brindando un ahorro en el presupuesto por mantenimiento de cada

motor, obteniendo también mayor confiabilidad en los resultados acerca del estado real en el que se encuentra el motor, previniendo fallas y paradas”. (Tormos, 2009)

1.1.2 Hipótesis.

Los motores Diésel desde su fabricación y a lo largo de su vida útil tienden a desprender material particulado o material de desgaste. Siendo el lubricante del motor la vía de acceso para su análisis y predecir que elemento está deteriorado

1.1.3 Objetivo general.

Determinar el desgaste de los elementos mecánicos del motor, mediante el análisis del aceite.

1.1.4 Objetivos específicos.

- Determinar las partes móviles con desgaste del motor mediante el análisis del aceite.
- Determinar el kilometraje adecuado para el cambio de aceite en función del TBN del Aceite.

1.1.5 Justificación.

En el mantenimiento predictivo de los motores Diésel, la herramienta utilizada es el análisis del aceite.(J.M. Desantes, 2011). Este nos proporciona innumerable información como: el estado del lubricante y el desgaste interno del motor siendo estas señales, indicadores de un posible daño.

Al realizar el análisis del aceite usado de una flota de camiones, se pretende determinar qué elementos mecánicos en el motor presentan desgaste. Con los parámetros obtenidos de estos análisis se efectuaran planes de mantenimiento de la flota y así evitar paradas no planificadas.

1.1.6 Planteamiento de la tesis.

La Tesis presentada está constituida por cuatro segmentos. En el primero se detalla los antecedentes, la problemática, los objetivos generales, objetivos específicos y justificación.

En el segundo segmento se presenta los sistemas de lubricación en los motores Diésel, la Tribología en Motores, fallas asociadas a la lubricación, lubricantes para motor Diésel, clasificación de los aceites para motores Diésel, propiedades principales tales como viscosidad, índice de viscosidad, clasificación según norma SAE y API, el TBN (número total de base), aditivos, detergentes, dispersantes, punto de inflamación, depresores anti desgaste y punto de congelación, modificadores de la viscosidad y de fricción, técnicas aplicables al análisis de degradación, contaminación y desgaste de los aceites lubricantes del motor, evolución y diagnóstico del desgaste.

En el tercer segmento se describe la metodología de trabajo la cual comprende una descripción de los tipos de mantenimiento, detalle de las normativas para el análisis del aceite usado y cálculos, detalle del tipo de tracto camión empleado en el proyecto y su respectivo lubricante empleado por el fabricante y la metodología de toma de muestras.

El cuarto segmento comprende fundamentos estadísticos y algunas medidas de centro y de variabilidad para el análisis de viscosidad, degradación del TBN, la presencia de metales de desgaste. En función de los reportes del laboratorio comparando con los límites condinatorios establecidos por los fabricantes.

1.2 Tribología.

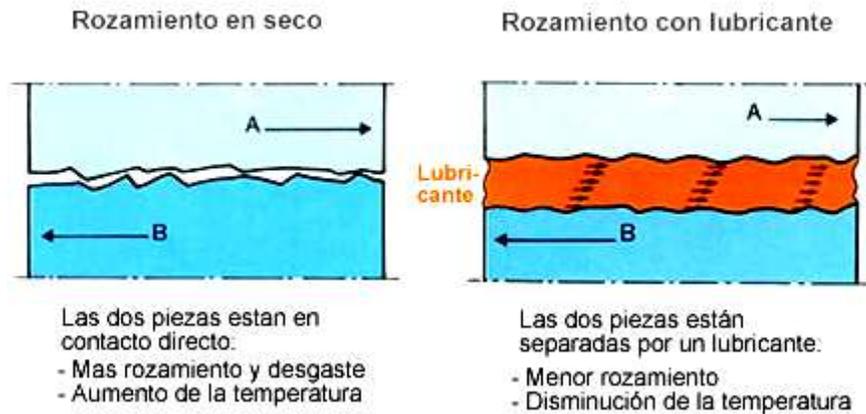
Antes de definir el concepto de lubricación, se define lo que es “Tribología”.

Tribología es la ciencia y tecnología que estudia los sistemas en movimiento y en contacto mutuo.

En su inicio, la tribología solo comprendía el estudio de la fricción (Tribos = fricción, Logos= sentido), en la actualidad, esta ciencia comprende el estudio no solo de la fricción, sino de la lubricación, el desgaste y otros puntos relacionados con la vida útil de los equipos.(Marino, 2015)

1.2.1 Lubricación y aceites.

La finalidad de la Lubricación es reducir la fricción entre dos superficies con movimiento relativo y que se hallan en contacto, como se aprecia en la Figura 1.1. Así mismo va ser capaz de disminuir también el desgaste de las mismas y con ello de dotarlas de una mayor expectativa de vida útil.



*Fig.1.1.- Desgaste entre dos elementos sin lubricación y con lubricación
Fuente: Shell Oil Company, (2014)*

La reducción de la fricción y el desgaste son los objetivos primordiales de la lubricación pero no deben perderse de vista otras funciones tales como:

- Reducir el consumo de energía
- Eliminar el calor generado
- Proteger contra la herrumbre y la corrosión
- Contribuir al arrastre de los contaminantes.

La sustancia interpuesta entre las superficies para conseguir estas funciones se denomina lubricante, pudiendo estar en diferentes fases: sólida, líquida o gaseosa. Cuando el lubricante está en estado sólido se llama lubricación sólida, en los otros casos se denomina lubricación fluida. Esta última es el método empleado actualmente en los motores y se caracteriza por el

reemplazo de la fricción adhesiva por la fricción viscosa, originada por la fuerza necesaria para cizallar el fluido.(Marino, 2015)

1.3 Modos o regímenes de lubricación.

Antes de describir los regímenes de lubricación es preciso describir la curva de Stribeck según la fig.1.2 (J.M. Desantes, 2011)

Curva de Stribeck:

En 1902 Stribeck describió la variación del coeficiente de fricción con el parámetro de Hersey

$$H = \left(\frac{\mu u}{F_N} \right) \quad (1.1)$$

Donde:

μ = es la viscosidad dinámica, u = es la velocidad de deslizamiento, F_N = es la carga normal aplicada

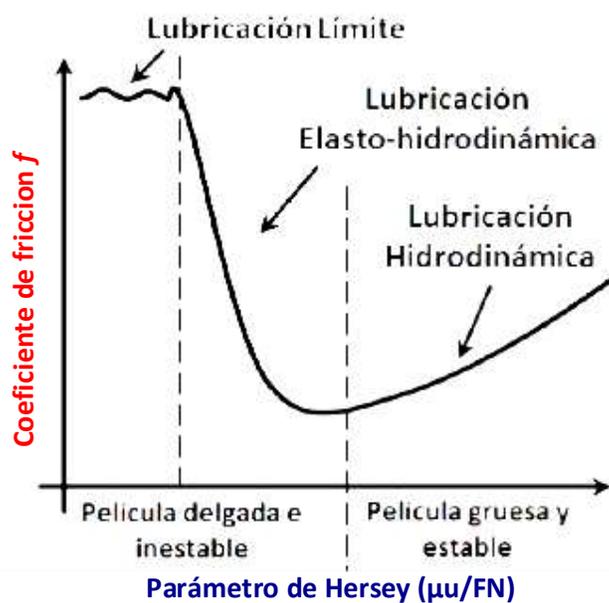


Fig.1.2.- Curva de Stribeck
Fuente: Exxon Mobil, (2012)

La evolución del coeficiente de rozamiento [f] tiene un valor mínimo cercano al 0,001 correspondiente a la parte baja de la curva.

Partiendo del punto más bajo de la curva:

1.- Si el parámetro H (Parámetro de Hersey) aumenta, el coeficiente de fricción f aumenta muy poco en relación, esto significa que entre los elementos en contacto se dispone una película gruesa y estable de lubricante que evita el contacto directo. (*Zona de lubricación Hidrodinámica*).

2.- Si el parámetro H disminuye, el parámetro f aumenta de forma exponencial hasta un determinado valor, entre la zona límite y la zona hidrodinámica la capa de lubricante varía según el valor de f siendo más o menos delgada la capa de lubricante entre elementos (*Zona mixta*).

3.- Si el parámetro sigue disminuyendo, se consideran que la película de lubricante no permite evitar el contacto directo entre los elementos (*Zona límite*)

Los regímenes de Lubricación se presentan bajo algunas condiciones definidas por el trabajo, estas son: Lubricación hidrodinámica, Lubricación límite, Lubricación mixta, Lubricación elastohidrodinámica.

1.3.1 Régimen de lubricación hidrodinámica.

La lubricación hidrodinámica es aquella que ocurre cuando una película de fluido lubricante presente en un elemento, actúa de colchón cuando se somete al contacto. La condición donde se genera una capa de lubricante es la que define este tipo de lubricación.(Marino, 2015)

Este régimen es usualmente contemplado como la forma ideal de lubricación ya que proporciona baja fricción y mínimo desgaste. Se puede apreciar en la Fig1.3



Fig.1.3.- Lubricación Hidrodinámica
Fuente: Exxon Mobil (2012)

1.3.2 Régimen de lubricación límite.

Sucede cuando las superficies de los sólidos no están completamente separadas por el lubricante y existe contacto en un área comparable a la que se desarrolla en el contacto seco. Como se aprecia en la Figura 1.4 .Las características de la fricción son reguladas por las propiedades de los sólidos y del (poco) lubricante que queda en las superficies más comunes. En este caso son las propiedades físicas y químicas de las superficies de los cuerpos: rugosidad, dureza, elasticidad, grado de oxidación, etc. Y la película delgada (de proporciones moleculares) quienes gobiernan las características de contacto. En este régimen las propiedades del aceite lubricante son de menor importancia y el coeficiente de fricción es esencialmente independiente de la viscosidad. (Marino, 2015)



Fig.1.4.- Régimen de Lubricación Límite
Fuente: Exxon Mobil (2012)

1.3.3 Régimen de lubricación mixta.

Entre la zona fluida o hidrodinámica y la zona de lubricación límite nos encontramos con una zona de tránsito entre ellas denominada zona mixta, en esta zona las características de contacto son combinaciones de los efectos de la lubricación límite y fluida.(Marino, 2015)



*Fig.1.5.- Régimen de Lubricación mixta
Fuente: Exxon Mobil (2012)*

1.3.4 Régimen de lubricación elastohidrodinámica.

Este tipo de lubricación es uno de los casos más representativos de la Tribología y en el cual se hallan involucrados todos los factores que conforman esta ciencia, como: la fricción, el desgaste, la lubricación, el diseño, los materiales, el funcionamiento del equipo y las condiciones de operación.

Esta situación ocurre como resultado de las deformaciones elásticas locales de los materiales y se genera más rápidamente en pares altamente cargados. En esta situación, la viscosidad del lubricante aumenta de manera considerable debido a las altas presiones en los contactos y ello contribuye a la formación de una película fluida efectiva. Por lo tanto, el modo de lubricación existente entre dos superficies en contacto deslizante puede cambiar de uno a otro dependiendo de variables tales como la carga, la velocidad, viscosidad del lubricante, geometría del contacto o rugosidad superficial de ambas superficies. La lubricación elastohidrodinámica se da tanto en la zona de lubricación mixta como en la zona de lubricación hidrodinámica.(Marino, 2015)

1.4 Sistema de lubricación en los motores.

En los motores de combustión interna alternativos (MCIA) existen diferentes partes rozantes en sus diversos componentes, los cuales muestran a su vez diferentes comportamientos desde el punto de vista de lubricación. Como consecuencia de sus diversas condiciones operativas, tanto desde el punto de vista velocidad y el tipo de desplazamiento, como de esfuerzos y temperaturas soportadas, en condiciones de lubricación típicas.

En la tabla 1.1 se presentan diferentes estimaciones del reparto del esfuerzo de fricción total, en elementos mecánicos según diversos autores. (J.M. Desantes, 2011)

Tabla 1.1.- distribución de los esfuerzos de fricción en las mayores partes rozantes del motor según diversos autores
Fuente: J.M. Desantes, F. Payri, 2011

	Taraza	Comfort	Pulkrabek
Pistón-segmentos-cilindro	40 – 50 %	45 - 50 %	50 - 75 %
Cojinetes del cigüeñal	20 - 30 %	20 – 30 %	10 – 25 %
Sistemas de distribución	7 - 15 %	7 – 15 %	25 %

1.4.1 Lubricación en motores de combustión interna alternativos.

Debido a que el combustible es encendido en el interior del motor la lubricación se dificulta debido a las altas temperaturas, productos de combustión pudiendo contaminar el lubricante. También al alto esfuerzo de cizallamiento de los elementos. Presencia de agua como producto de la combustión.

El tipo y calidad del combustible utilizado así como el tipo de ciclo de motor van a ser parámetros importantes en la lubricación. Las altas temperaturas a las que se verá sometido el lubricante en este tipo de motores es la característica básica que diferenciará la lubricación de estos equipos frente a otro tipo de maquinaria o motores de combustión externa. En la siguiente Figura 1.6, se presentan los problemas clave asociados a la lubricación en un típico motor de combustión interna.(Virtual, 2012)

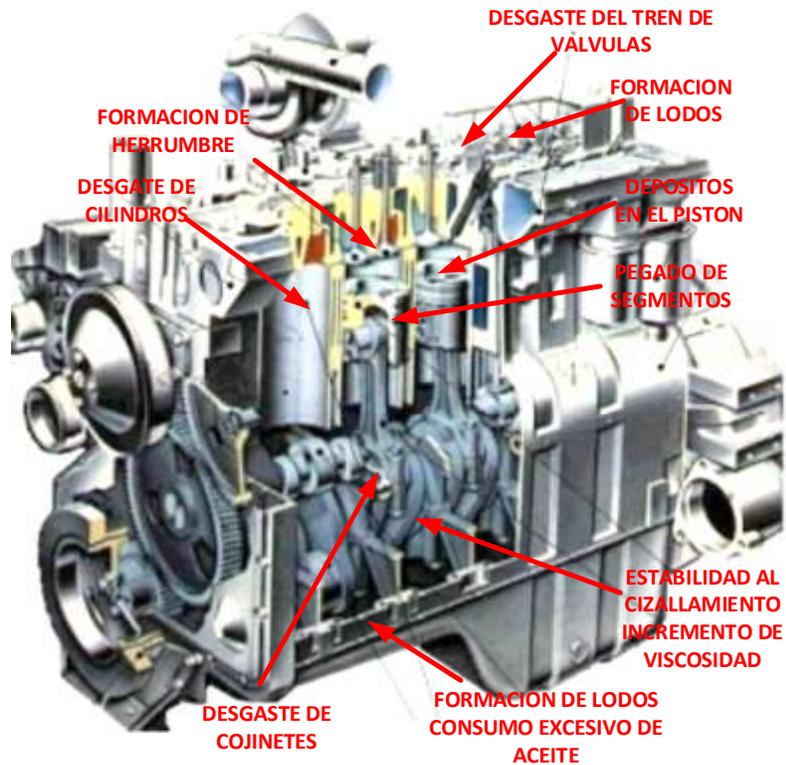


Fig.1.6.- Requerimientos sobre el aceite en M.C.I.A
Fuente: Tormos (2009)

1.4.2 El problema de la contaminación del aceite.

La mayor parte de los productos de la combustión son evacuados a la atmosfera vía sistema de escape pero una pequeña parte de los mismos puede fugar a través de la holgura entre los segmentos y camisa, contaminando el aceite y pudiendo causar efectos adversos. En la siguiente figura Fig.7, se detalla los derivados después de la combustión.(Tormos, 2009)

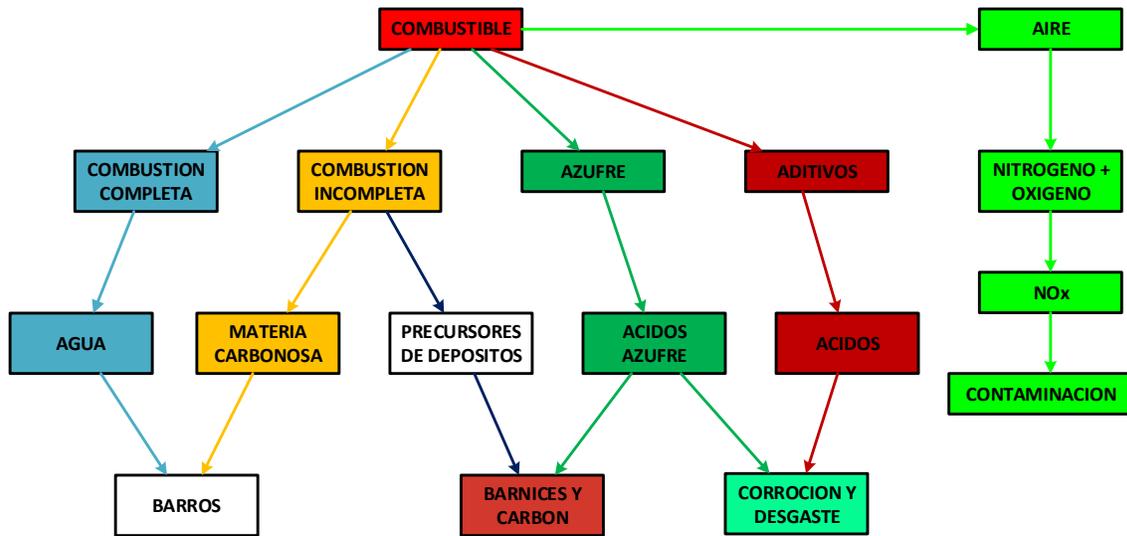


Fig.1.7.- Derivados después de la combustión en un M.C.I.A
Fuente: Tormos (2009)

En este paso de los productos de la combustión hacia el cárter es conocido con el termino de soplado o blow-by. Los productos de la combustión que aparecen en los gases del blow-by son el CO₂, agua, partículas carbonosas, componentes ácidos e hidrocarburos parcialmente quemados, también se puede encontrar óxidos de nitrógeno.

El dióxido de carbono y el agua aparecen como principales productos de la combustión de los hidrocarburos. Cuando el motor está operando a temperatura normal, el agua transformada en vapor es eliminada por el sistema de escape, pero si el vapor de agua presente en los gases de blow-by pasa al cárter, se condensa allí mismo.

La presencia de agua en algunas partes o mecanismos del motor hace que se produzcan lodos o barros. Como se ve en la Figura 1.8.

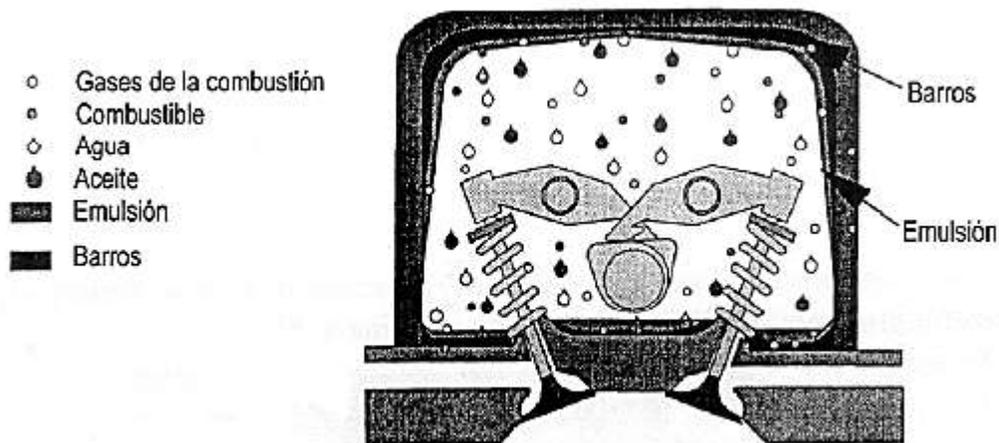


Fig.1.8.- Producción de barro en la tapa de balancines en un M.C.I.A

Fuente: Tormos, (2009)

Por esta razón se utiliza aditivos dispersante en el aceite para evitar las condensaciones, llevando en suspensión el agua hasta las partes más calientes donde se evaporan y son eliminados por el escape.

La calidad del combustible es de gran importancia para la vida útil del lubricante. Debido a que si existen impurezas en el combustible conducen a la formación de ácidos. El petróleo crudo contiene cantidades significativas de azufre (S), el cual no es totalmente eliminado en su refinamiento esto en el combustible para los motores Diesel, en los cuales el azufre residual presente en el combustible se quema en la cámara de combustión y produce ácidos sulfúricos y sulfurosos.

Todos estos ácidos son capaces de producir corrosión y desgaste corrosivo en el motor, actuando como catalizadores para la degradación del lubricante como para la formación de lacas o barnices a partir del mismo. Estas lacas pueden producir el agarrotamiento de determinadas partes del motor. Siendo el resultado de la combustión incompleta del combustible.

1.5 Tipos de desgaste de los motores.

El lubricante su principal misión es la de reducir el rozamiento entre las superficies con movimiento relativo entre ellas y con ello el desgaste. Los resultados debido al desgaste son ruidos, la avería total, pérdidas de potencia, molestias al usuario por la indisponibilidad del equipo. Existen otros factores que afectan el desgaste como la composición metalúrgica de las piezas, las condiciones de utilización del motor, el combustible empleado y la calidad de la combustión

Los tipos de desgaste que pueden presentarse en un motor son los siguientes:

1.5.1 Desgaste adhesivo o por contacto metal-metal.

Es el llamado “scuffing” se presenta en todos los rozamientos cuando las superficies no están separadas completamente por una película lubricante; este tipo de desgaste se debe a que las superficies, aún las mejores acabadas, contienen a escala micrométrica, numerosas asperezas superficiales, posiblemente éste sea el tipo de desgaste más importante y por ello también el menos deseado. Como se ve en la Fig.1.9

En los motores este tipo de desgaste se da en las zonas de rozamiento en donde la lubricación es defectuosa (difícil acceso del aceite, viscosidad baja, volatilización elevada del aceite, dilución, etc.), o la presencia de cargas específicas elevadas o de velocidades lentas hacen imposible la correcta formación de la película de aceite.(Tormos, 2009)



*Fig.1.9.- Desgaste adhesivo o por contacto metal-metal
Fuente: Manual de fallas MAHLE, (2012)*

1.5.2 Desgaste por fatiga superficial.

Conocido como (“pitting”), interesa sobre todo a los mecanismos en los que interviene el rozamiento de rodamientos. Afecta sobre todo a las superficies en deslizamiento puro con elevada velocidad. El deterioro producido se presenta en forma de grietas repartidas uniformemente, de dirección perpendicular a la dirección de deslizamiento. La repetición cíclica de estos esfuerzos puede dar como resultado grietas profundas de fatiga y finalmente la aparición de picaduras y de escamas. Como se puede apreciar en la figura 1.10



Fig.1.10.- Desgaste por fatiga superficial
Fuente: Manual de fallas MAHLE, (2012)

1.5.3 Desgaste corrosivo.

En la reacción de combustión en el motor se generan una serie de productos, algunos de los cuales tienen un carácter muy ácido, y la presencia de agua puede hacerlos muy agresivos frente a los metales. Incluso el mismo aceite cuando alcanza un cierto grado de alteración puede originar oxácidos volátiles y corrosivos. Un ejemplo claro en los cojinetes de biela o bancada como se aprecia en la figura 1.11. (Tormos, 2009)

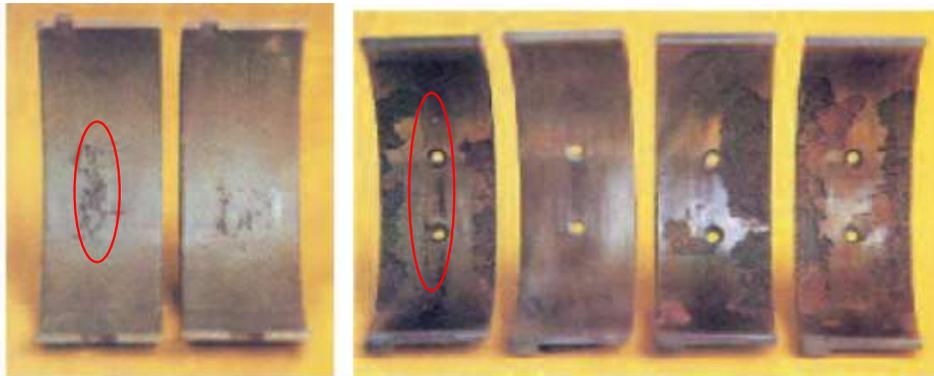


Fig.1.11.- Desgaste corrosivo
Fuente: Manual de fallas MAHLE, (2012)

1.5.4 Desgaste abrasivo.

En este tipo de desgaste, se produce cuando partículas duras o superficies rugosas se desplazan sobre una superficie más suave.



Fig.1.12.- Desgaste abrasivo
Fuente: Manual de fallas MAHLE, (2012)

1.5.5 Desgaste erosivo.

Este tipo de desgaste se produce cuando las superficies metálicas están “bañadas” por un fluido animado de gran velocidad y cargado de partículas sólidas y duras. La energía cinética producida por las partículas provoca deformaciones o arranque de materia en los puntos de impacto sobre las superficies.

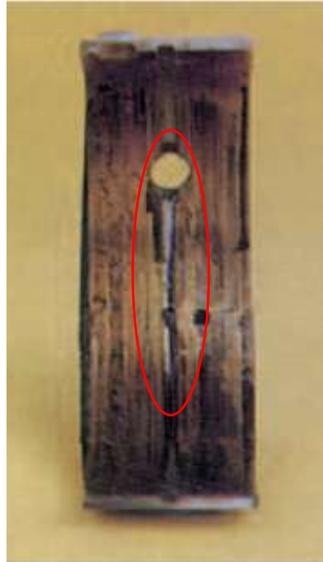


Fig.1.13.- Desgaste erosivo
Fuente: Manual de fallas MAHLE, (2012)

En la tabla 1.2 se indica los elementos susceptibles a desgaste.

Tabla 1.2.- Tipos de desgaste en diversas partes del motor
Fuente: (Tormos, 2009)

PARTE	DESGASTE ADHESIVO	DESGASTE CORROSIVO	DESGASTE ABRASIVO	DESGASTE POR FATIGA	DESGASTE EROSIVO
Camisas, segmentos, pistones	●	●	●		
Levas,empujadores, balancines	●	●	●	●	
Vastago-guia del valvula	●		●		
Apoyo-asiento de valvula			●		
Engranajes de distribucion	●		●	●	
Muñones		●	●	●	●
Cojinetes		●	●		●
Bomba de aceite	●		●	●	
Bomba de Combustible	●		●	●	
Bomba de Inyeccion	●		●	●	

1.6 Lubricantes para el motor.

Al analizar la lubricación un aspecto importante es el aceite lubricante, este debe cumplir con las especificaciones propias para cada motor. (Marino, 2015)

1.6.1 Composición de los lubricantes y sus características.

Los aceites están compuestos por dos partes:

Las Bases (Base Mineral o Base Sintética)

Los Aditivos (los nombrados a continuación) en la figura 1.14 de indican la composición del lubricante.

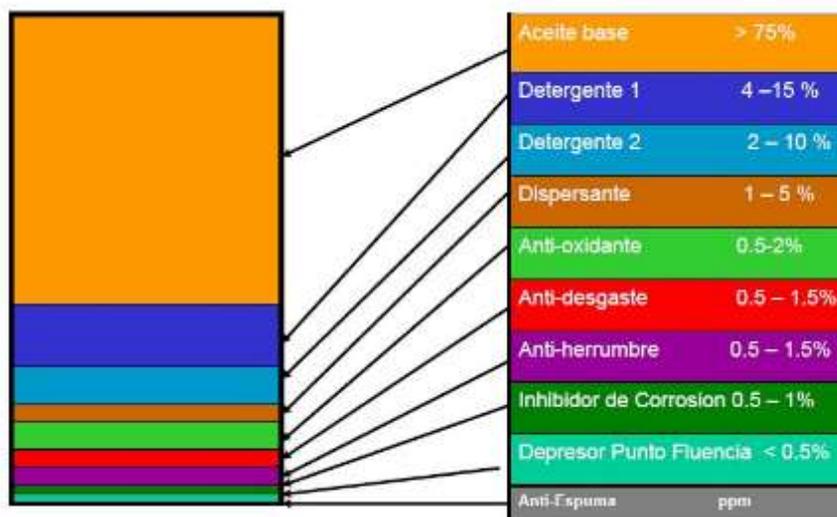
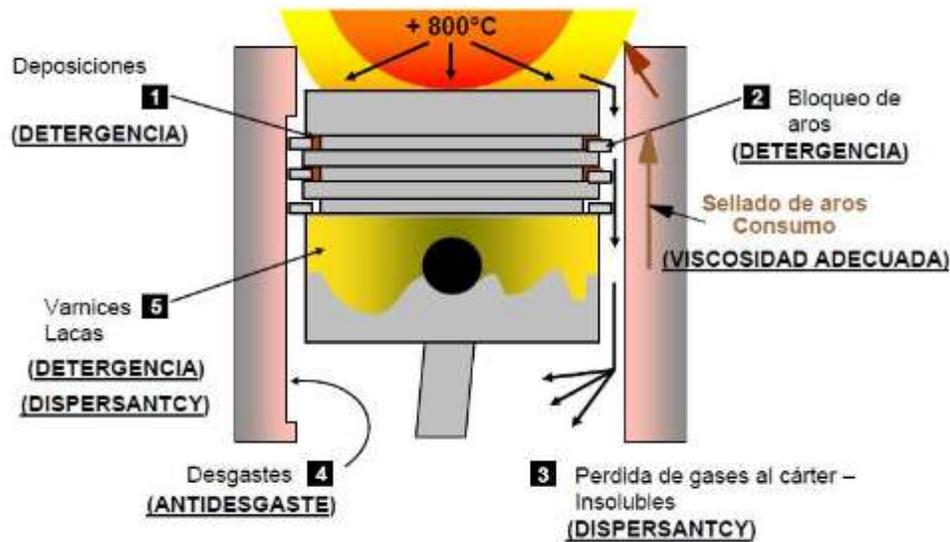


Fig.1.14.- Composición del Lubricante
Fuente: Marino, (2015)

1.6.2 La adición de aditivos al lubricante.

En este punto se detallarán los aditivos y características que pueden contener los lubricantes.

Los lubricantes deben contener una serie de aditivos para satisfacer las diferentes necesidades requeridas en el motor. Como se puede observar en la figura 1.15



*Fig.1.15. Composición del Lubricante y sus funciones
Fuente: Marino, (2015)*

1.6.3 Tipo de lubricantes.

Los lubricantes pueden clasificarse según distintos parámetros, en este punto los clasificaremos según el origen y composición de la base del aceite y su viscosidad. (Marino, 2015)

1.6.3.1 Según su origen y composición.

1.6.3.1.1 Aceites Minerales

Los aceites minerales son los obtenidos a partir de un proceso de fabricación en el que el aceite se extrae del petróleo por procesos basados en destilación fraccionada.

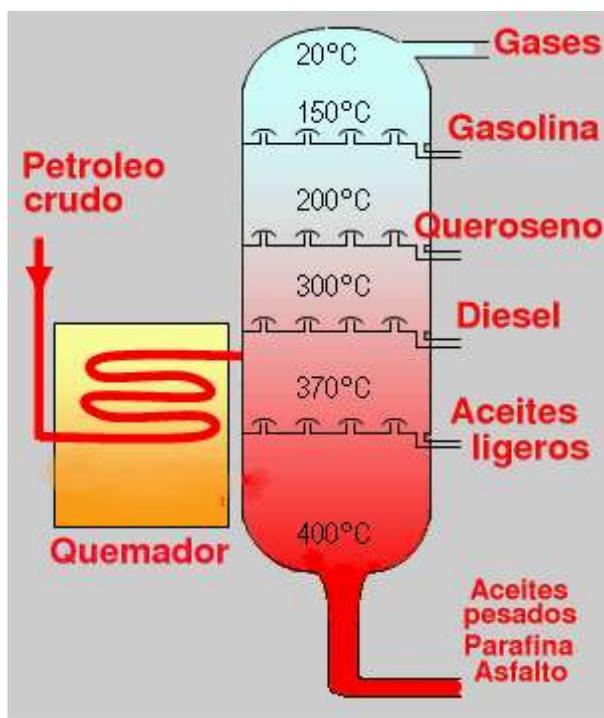


Fig.1.16.- Obtención del Aceite Mineral
Fuente: Marino, (2015)

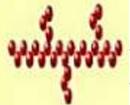
Los aceites de base mineral son los más usados a día de hoy, como se ve en la tabla 1.3 y se dividen en:

- Parafínicos
- Naftalénicos
- Aromáticos

Los lubricantes de motor están compuestos por una mezcla principalmente de iso-parafinas y nafténicos con una proporción adecuada de compuestos aromáticos para proporcionar solubilidad a los aditivos y estabilidad a la oxidación. (Parafínico con un 75% de su composición y un 25% de naftalénicos y aromáticos). Una vez obtenidos las del aceite por destilación del crudo, estas bases se someten a una operación denominada **Blending**, que consiste en mezclar estos aceites de propiedades conocidas, momento que se aprovecha para

incorporar al aceite base, una serie de aditivos, que mejoran algunas de sus propiedades o aportan otras nuevas, en función del uso que se destine.

Tabla 1.3.- Tipos de estructuras de la composición del aceite mineral
Fuente: Marino, (2015)

TIPOS DE ESTRUCTURAS DE LA COMPOSICION DEL ACEITE MINERAL			
FORMAS	TIPOS	INDICE DE VISCOSIDAD	PUNTO DE CONGELACION
	Parafinas Normales	Muy Alto	Muy Alto
	Iso- Parafinas	Alto	Bajo
	Nafténicos	Intermedio	Bajo
	Algunos aromáticos	Bajo	Bajo
	Algunos componentes (Azufre- Nitrógeno)	Bajo	Bajo

1.6.3.1.2 Aceites sintéticos.

Los aceites sintéticos a diferencia de los aceites minerales, estos lubricantes no tienen su origen en el petróleo. La Society of Automotive Engineers (SAE) los define como compuestos químicos producidos por síntesis químicas que tienen origen en reacciones de compuestos orgánicos puros.



***Fig.1.17.- Aceite sintético marca Mercedes Benz
Fuente: www.mercedesbenz, 2009***

Los aceites sintéticos se pueden clasificar en:

- Oligomeros olefínicos.
- Esteres orgánicos.
- Poliglicoles.
- Fosfato esterres.
- Polialfaoleifinas.

Los aceites sintéticos son más caros de fabricar por lo que su uso está destinado a vehículos de altas prestaciones, aunque dadas sus mejores propiedades muchos usuarios comunes optan por incorporarlo a sus motores. Estos aceites pueden ser usados en elementos que trabajen a muy alta temperatura y condiciones de trabajo muy exigentes. Otra ventaja a tener en cuenta sería la menor viscosidad que presentan sin que disminuya su poder lubricante por lo que mejoran sus condiciones de funcionamiento en frío y por otro lado reducen el consumo de combustible al reducir pérdidas mecánicas por rozamiento de una manera más eficiente que los aceites de base mineral.

➤ **Ventajas**

- Molécula consistente, libre de impurezas
- Índice de Viscosidad (Medio/Alto/Muy Alto)
- Bajos puntos de Congelación
- Alta resistencia a la oxidación a altas temperaturas

➤ **Desventajas**

- Alto coste si lo comparamos con los minerales
- Precauciones en los cambios (problemas de compatibilidades entre aceites)
- Disponibilidad mundial

1.6.3.1.3 Aceites semisintéticos.

Los lubricantes semisintéticos son una mezcla de proporciones variables de los aceites minerales y sintéticos con la adición posterior de aditivos para conseguir las propiedades requeridas, esto reduce el coste que tendría un lubricante sintético puro.

1.7 Clasificación de los aceites lubricantes de motor.

1.7.1 Clasificación por viscosidad.

Es la primera propiedad del lubricante se clasifica por rangos para un mejor control de los requerimientos del motor.

La esencia de la clasificación es la acotación de la viscosidad tanto a bajas temperaturas como a altas temperaturas (condiciones de arranque de motor en invierno) como altas temperaturas (condiciones de operación). Como se ve en la figura 1.18 (Perez, 2014)

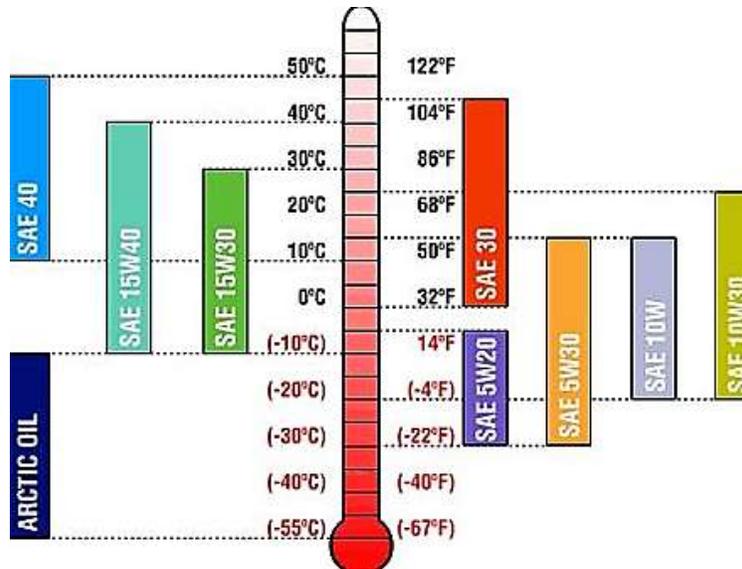


Fig.1.18.- Clasificación del Lubricante por su viscosidad
Fuente: Pérez, (2014)

A bajas temperaturas, se intenta limitar los problemas de arranque del motor y la bombeabilidad del propio lubricante. Con temperaturas altas se evalúa la capacidad de carga ligada al propio valor de la viscosidad así como la resistencia del aceite al efecto del cizallado. El rango de viscosidad es indicado por dos números con valores más altos para mayores viscosidades. Los grados SAE para bajas temperaturas ambientes son indicados con la letra W (winter).

La Clasificación de los lubricantes según su viscosidad se definen en dos clases (monogrados y multigrados) estas se diferencian por la capacidad de variar su grado de viscosidad si las circunstancias lo requieren.

La clasificación SAE ha establecido una norma basada en la viscosidad del aceite a dos temperaturas 0°F (-18°C) y 210°F (99°C)

Esta clasificación solamente permite establecer un grado viscosimétrico SAE, pero no hace alusión a la calidad general del lubricante.

Para una mayor protección en frío, se deberá recurrir a lubricantes que tengan el parámetro numérico inicial lo más bajo posible y para una mayor protección en caliente el mayor parámetro numérico secundario. La Clasificación mundialmente adoptada (SAE J300) divide en once grados la viscosidad de los aceites para la lubricación en motores cuyo resumen se ve en la tabla 1.4.

Tabla 1.4.- Clasificación de Viscosidad SAE J300 (2012)
Fuente: Widman, 2013

CLASIFICACION DE LA VISCOSIDAD SAE J300 (2012)					
Grado de Viscosidad SAE	Viscosidad a baja Temperatura (°C)		Viscosidades en alta temperatura (°C)		
	Max. Arranque	Max. de Bombeo (sin esfuerzo)	Cinemática (cSt) a 100°C min.	Cinemática (cSt) a 100°C max.	Alta Tasa de Corte (cP) a 150°C D4683,D4741 y D5481
0 W	6 200 a -35	60 000 a -40	3,8	–	–
5 W	6 600 a -30	60 000 a -35	3,8	–	–
10 W	7 000 a -25	60 000 a -30	4,1	–	–
15 W	7 000 a -20	60 000 a -25	5,6	–	–
20 W	9 500 a -15	60 000 a -20	5,6	–	–
25 W	13 000 a -10	60 000 a -15	9,3	–	–
20	–	–	5,6	< 9,3	2,6
30	–	–	9,3	< 12,5	2,9
40	–	–	12,5	< 16,3	3,5 (0W-40, 5W-40, 10W-40)
40	–	–	12,5	< 16,3	3,7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40)
50	–	–	16,3	< 21,9	3,7
60	–	–	21,9	< 26,1	3,7

1.7.1.1 Monogrados.

Se define como aceite monogrados a que cumple únicamente con el grado SAE de su designación. Los lubricantes monogrados se caracterizan por mantener un grado de viscosidad fijo, esto no quiere decir que no varía en función de la temperatura.

Los aceites monogrados han ido perdiendo mercado en el sector de los motores debido a la limitada capacidad de adaptación que poseen ante cambios de temperatura notables.

1.7.1.2 Multigrados.

Los aceites multigrados cumplen simultáneamente con las especificaciones de dos grados SAE diferentes, para bajas y altas temperaturas ambiente.

Debido a su gran adaptación a las distintas condiciones de trabajo existentes son los más usados en el sector.

1.7.1.2.1 Ventajas de los aceites multigrados

- Más estables ante los cambios térmicos.
- Baja viscosidad a temperaturas bajas por lo que llega antes a los componentes.
- Permite un arranque más rápido en frío del motor con menor desgaste de los elementos mecánicos, esto influye positivamente en el resto de componentes como la batería o el motor eléctrico, alargando su vida útil.
- Elimina la necesidad de cambios de aceites estacionales.
- Presentan mayores prestaciones para motores que trabajen a bajas temperaturas.
- Se comportan muy bien a altas temperaturas, resistiendo altas cargas al formar una capa lubricante más resistente.
- Menor consumo de lubricante ya que el sellado en los segmentos es más eficaz y evita un paso excesivo de aceite a la cámara de combustión. (Marino, 2015)
- Menor consumo de combustible debido a la reducción de la fricción generada por los aceites con aditivos estabilizadores del índice de viscosidad.
- Mejoran la capacidad frente a la oxidación por degeneración.

1.7.2 Por el tipo de servicio.

Los aceites pueden clasificarse atendiendo a las diferentes calidades que presentan, para ello se somete al lubricante a determinados ensayos.

En los ensayos se determinan diversas propiedades de los aceites tales como:

- Capacidad frente a la oxidación a altas temperaturas
- Control de la formación de depósitos
- Viscosidad a altas temperaturas.
- Fluidez a bajas temperaturas
- Control de emisiones contaminantes

Existen una serie de organismos encargados de calificar y clasificar los aceites lubricantes, a diferencia de la normativa SAE que se basa en la propiedad de la viscosidad, estas normas se basan en la calidad del aceite, dichas normas son:

- API (American Petroleum Institute) en Estados Unidos
- ACEA (Asociación de Constructores Europeos de Automóviles)

1.7.2.1 Clasificación API.

La clasificación API es la empleada por la gran mayoría de fabricantes de aceites. Su clasificación se basa en el estudio y comparación de las características de funcionamiento y el tipo de servicio al que está destinado el motor. (Engine Oil Program, 2012) Se divide en dos series:

- **La serie S, para motores de Ciclo Otto (Gasolina)** ver tabla 1.5

Tabla 1.5.- Clasificación API
Fuente: Engine Oil Program de API, 2012

MOTORES A GASOLINA		
CATEGORIA	ESTADO	SERVICIO
SM	Actual	Para todos los motores de automóviles actualmente en uso. Están diseñados para brindar la mejor resistencia a la oxidación, protección superior contra depósitos, mayor protección contra desgastes y mejor rendimiento a baja temperatura durante el ciclo de vida útil del aceite. Algunos aceites SM también cumplen con la última especificación del ILSAC.
SL	Actual	Para motores de automóviles de 2004 o más antiguos.

SJ	Actual	Para motores de automóviles de 2001 o más antiguos.
SH	Fuera de circulación	Para motores de 1996 o más antiguos. Valido cuando esta precedido por las categorías C actuales.
SG	Fuera de circulación	Para motores de 1993 o más antiguos.
SF	Fuera de circulación	Para motores de 1988 o más antiguos.
SE	Fuera de circulación	PRECAUCIÓN no recomendado para su uso con motores para automóviles de gasolina fabricados después de 1979.
SD	Fuera de circulación	PRECAUCIÓN no recomendado para su uso con motores para automóviles de gasolina fabricados después de 1971. El uso en motores más modernos podría ocasionar rendimientos poco satisfactorios o daños en el equipo.
SC	Fuera de circulación	PRECAUCIÓN no recomendado para su uso con motores para automóviles de gasolina fabricados después de 1967. El uso en motores más modernos podría ocasionar rendimientos poco satisfactorios o daños en el equipo.
SB	Fuera de circulación	PRECAUCIÓN no recomendado para su uso con motores para automóviles de gasolina fabricados después de 1963. El uso en motores más modernos podría ocasionar rendimientos poco satisfactorios o daños en el equipo.
SA	Fuera de circulación	PRECAUCIÓN no recomendado para su uso con motores para automóviles de gasolina fabricados después de 1930.

- La serie C, para motores de Ciclo Diesel como se ve en la tabla 1.6

Tabla 1.6.- Clasificación API
Fuente: Engine Oil Program de API, 2012

MOTORES DIESEL		
CATEGORIA	ESTADO	SERVICIO
CI-4	Actual	Presentado en 2002. Para motores de alta velocidad y de cuatro tiempos, diseñados para cumplir con las normas de emisiones de escape de 2004 implementadas en 2002. Los aceites CI-4 han sido formulados para mantener la durabilidad del motor donde se emplea la recirculación de los gases de escape (EGR) y están destinados para su uso con combustibles diésel con un margen de contenido de azufre de hasta 0,5 % del peso. Se pueden utilizar en lugar de los aceites CD, CE, CF-4,CG-4 y CH-4.
CH-4	Actual	Presentado en 1998. Para motores de alta velocidad y de cuatro tiempos, diseñados para cumplir con las normas de emisiones de escape de 1998. Están destinados para su uso con combustibles diésel con un margen de contenido de azufre de hasta 0,5 % del peso. Se pueden utilizar en lugar de los aceites CD, CE, CF-4,CG-4 .
CG-4	Actual	Presentado en 1995. Para motores de extrema exigencia, alta velocidad y de cuatro tiempos. Que utilizan combustibles con menos de 0,5 % Se pueden utilizar en lugar de los aceites CD, CE, CF-4.
CF-4	actual	Presentado en 1990. Para motores de alta velocidad y de cuatro tiempos. De aspiración natural y sobrealimentados Se pueden utilizar en lugar de los aceites CD, CE.
CF-2	Actual	Presentado en 1994. Para motores de extrema exigencia y con ciclo de dos tiempos Se pueden utilizar en lugar de los aceites CD-II.
CF	Actual	Presentado en 1994. Para vehículos todo terreno, con inyección indirecta y otros motores diésel incluso aquellos que utilizan combustible con más de 0,5% de azufre. Se puede utilizar en lugar de los aceites CD.
CE	Fuera de circulación	Presentado en 1985. Para Motores de alta velocidad, de cuatro tiempos, de aspiración natural y sobrealimentada. Se puede utilizar en lugar de los aceites CC y CD.
CD-II	Fuera de circulación	Presentado en 1985. Para Motores con ciclo de dos tiempos.
CD	Fuera de circulación	PRECAUCION. No recomendado para motores diésel fabricados después de 1959

CC	Fuera de circulación	PRECAUCION. No recomendado para motores diésel fabricados después de 1990
CB	Fuera de circulación	PRECAUCION. No recomendado para motores diésel fabricados después de 1961
CA	Fuera de circulación	PRECAUCION. No recomendado para motores diésel fabricados después de 1959.

1.7.2.1.2 Clasificación ACEA

La clasificación ACEA (Asociación de Constructores Europeos de Automóviles) fue constituida en 1996 para sustituir a un antiguo organismo ya desaparecido, el CCMC (The Committee of Common Market Constructors) (Marino, 2015)

Esta clasificación se divide en tres grupos: como se ve en la tabla 1.7

- Clase A, para motores de Ciclo Otto (Gasolina).
- Clase B, para motores de Ciclo Diesel ligeros.
- Clase C, protege a los sistemas de tratamientos de gases de escape.
- Clase E, para motores de Ciclo Diesel Pesados.

Tabla 1.7.- Clasificación ACEA
Fuente: Engine Oil Program, 2012

NORMAS ACEA PARA MOTORES DE VEHÍCULOS LIVIANOS	
NORMAS ACEA PARA MOTORES GASOLINA	NORMAS ACEA PARA MOTORES DIESEL LIVIANOS
<p>A1 Aceite para motores a gasolina diseñados para utilizar aceites de baja fricción, baja viscosidad y HTHS entre 2,6 y 3,5 mPa.s. Existen motores que "no" pueden usar estos aceites. Consultar el manual de usuario.</p>	<p>B1 Aceite para motores diesel ligeros, Diseñados para usar aceites de baja fricción, baja viscosidad y HTHS entre 2.6 y 3.5 mPa.s. Hay motores que no pueden usar estos aceites. Consultar el manual de usuario.</p>
<p>A2 Aceite de uso general para motores a gasolina, con intervalos de cambio normales. No es apropiado para algunos motores de altas prestaciones.</p>	<p>B2 Aceite de uso general para motores diesel ligeros, principalmente en motores con inyección "indirecta", con intervalos de cambio normales. No es apropiado para algunos motores de altas prestaciones.</p>
<p>A3 Aceite de viscosidad muy estable para motores a gasolina de altas prestaciones o con mantenimiento extendido, así como para aceites de baja viscosidad y periodo de mantenimiento de un año o servicio severo.</p>	<p>B3 Aceite de viscosidad muy estable para motores diesel ligero de altas prestaciones o con mantenimiento extendido, así como para aceites de baja viscosidad y periodo de mantenimiento de un año o servicio severo.</p>
<p>A4 Reservado para usar con los futuros motores de inyección directa de gasolina</p>	<p>B4 Aceite de viscosidad muy estable para motores diesel con inyección directa y con mantenimiento extendido, incluye todas las aplicaciones B3.</p>
<p>A5 Aceite de viscosidad muy estable para motores a gasolina, de altas prestaciones y con mantenimientos extendidos, preparados para aceites de baja viscosidad (HTHS entre 2.9 y 3.5 mPa.s.) y reducida fricción. Hay motores que no pueden usar estos aceites. Consultar el manual de usuario.</p>	<p>B5 Aceite de viscosidad muy estable para motores diesel ligeros con mantenimiento extendido, preparados para aceites de baja viscosidad y baja fricción (HTHS entre 2.9 y 3.5 mPa.s.) Hay motores que no pueden utilizar estos aceites. Consultar el manual de usuario.</p>

1.8 Características de los lubricantes.

Teniendo en cuenta los requerimientos y problemática específica a que se ven sometidos los aceites lubricantes en los motores de combustión interna alternativos. A continuación las propiedades fundamentales de los mismos.

1.8.1 Densidad.

El concepto de densidad se define como la relación de la masa y volumen de una sustancia. En los lubricantes la densidad depende directamente del tipo de crudo y del grado de destilación que se le haya aplicado. Los análisis para determinar la densidad de un aceite se toman a una temperatura de 20°C y con ayuda de un densímetro o un aerómetro se determina este parámetro. Los valores de densidad de los lubricantes líquidos varían entre 0.79 y 0.97 gr/cm³. (J.M. Desantes, 2011)

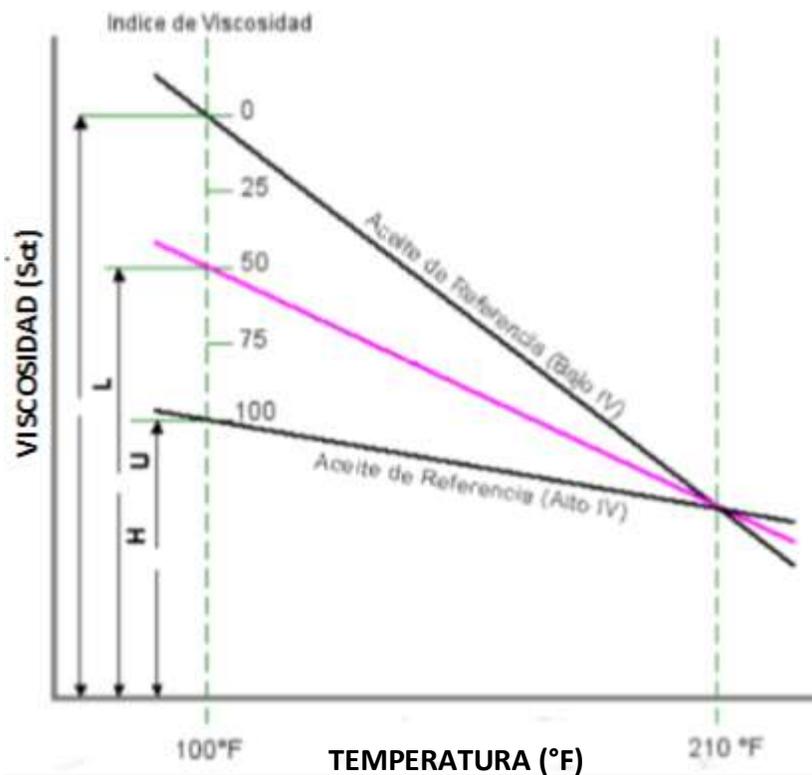
1.8.2 Viscosidad.

La viscosidad es la resistencia originada por el frotamiento interno de las moléculas del fluido a deslizarse entre sí, o dicho de una forma más clara, es la resistencia del propio fluido a fluir. La viscosidad es la característica más importante de un lubricante a efectos prácticos, pues determina la capacidad física para mantener la lubricación, esta característica va a fijar el rendimiento mecánico, gasto del fluido para mantener las condiciones óptimas de lubricación a una determinada velocidad, temperatura, carga y dimensiones del elemento.

La viscosidad no es constante, esta varía en función de distintos parámetros como la presión y la temperatura a la que está sometido el lubricante, por ello nace el concepto de índice de viscosidad que se trata en el siguiente punto.(J.M. Desantes, 2011)

1.8.3 Índice de viscosidad.

El índice de viscosidad es el parámetro encargado de relacionar la variación de viscosidad en función de la temperatura. El sistema de medida se basa en la comparación arbitraria de la viscosidad cinemática de un aceite a 40°C del aceite a medir con dos aceites con índices de 0 y 100 a la misma temperatura a modo de modelo base. A continuación se hace lo propio a 100°C. (J.M. Desantes, 2011). Como se ve en la Figura. 1.19



*Fig.1.19.- Esquema del índice de viscosidad de un aceite
Fuente: F.Payri & J.M. Desantes, (2011)*

En la anterior Figura (L) es la viscosidad a 40° C del aceite de referencia de bajo índice de viscosidad, (H) es la viscosidad a 40° C del aceite de referencia de alto índice, y U la viscosidad a 40° C del aceite del problema.

Teniendo la siguiente ecuación:

$$\text{índice de viscosidad} = \frac{L - U}{L - H} \times 100$$

1.8.4 Punto de Inflamación, combustión y congelación.

El Punto de Inflamación es la temperatura a la cual el lubricante en las condiciones que estipula la norma UNE 7057 (Determinación en vaso abierto de los puntos de inflamación y combustión de los materiales bituminosos), desprende la suficiente cantidad de gases para que se inflame momentáneamente al aplicarse una llama, sin que el lubricante se quemé.

El Punto de Combustión: Una vez superada la temperatura a la cual se da el punto de inflamación, los vapores emanados por el lubricantes se inflaman y éste comienza a arder de forma permanente alrededor de 5 segundos, la temperatura de combustión suele situarse entre unos 20 y 60°C por encima del punto de inflamación.

El Punto de congelación es la temperatura a la cual los aceites dejan de fluir y se solidifican. Se determina al enfriar progresivamente el lubricante en un tubo de ensayo, hasta que sea posible ponerlo de modo horizontal sin que se derrame. Como se ve en la figura 1.20

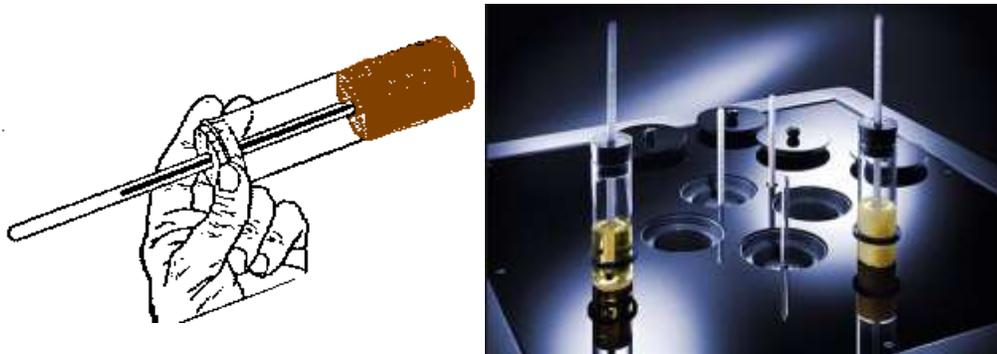


Fig.1.20.- Prueba del punto de congelación

Fuente: Pensky – Martens, (2010)

1.8.5 Acidez en los Lubricantes.

La acidez que presenta un lubricante puede ser debida a los aditivos contenidos, esta acidez que debe ser mínima para que no ataque la superficie de las piezas con las que está en contacto, sobre todo los semicojinetes de material antifricción. El grado de acidez de los aceites está limitado al 0,03 %.(Tormos, 2009).

1.8.5.1 Causas que producen acidez en el los lubricantes.

Cuando los aceites se oxidan, estos generan productos insolubles (Resinas, barnices y residuos carbonosos) y solubles. Estos productos solubles son ácidos orgánicos que pueden atacar las superficies.

Si el lubricante alcanza elevadas temperaturas forma ácidos que atacan las superficies produciendo corrosión en las mismas.

La acidez puede ser producida por contaminación, esto puede darse en el cárter del motor Diésel, si el combustible contiene un índice notable de azufre puede dar formaciones de ácido sulfúrico tras el proceso de combustión, para ello se emplean aceites alcalinos para neutralizar esta contaminación.(J.M. Desantes, 2011)

1.8.6 Capacidad frente a la oxidación y nitración (Mediante aditivos).

El aceite, con el uso y las altas temperaturas de trabajo a las que está expuesto se oxida, teniendo como efecto la producción de productos de ésteres, cetonas o ácidos carboxílicos, productos que contribuyen a la acidificación del lubricante y el agotamiento de la reserva alcalina del propio aceite, por otro lado produce un aumento de su viscosidad y de la acción corrosiva debido al aumento principalmente de la acidez.

Las causas de la oxidación: se da por las altas temperaturas, la presencia de metales como el hierro y cobre que catalizan la reacción de oxidación. La presencia de humedad y otros contaminantes como suciedad y productos resultantes de la corrosión (escorias). Otra causa puede ser una presión elevada del lubricante aumentando la presencia de oxígeno disuelto combinado con altas temperaturas, favoreciendo así la oxidación.

La oxidación, generalmente se produce de una manera lenta por debajo de los 60°C, si la temperatura de trabajo aumenta por encima de los 80°C, la resistencia a la oxidación se reduce a la mitad por cada 10°C que suba la temperatura.

La nitración o nitroxidación es un fenómeno que se da cuando reaccionan los óxidos de nitrógeno provenientes de los gases de combustión con el aceite de lubricación dando lugar a un aumento de la viscosidad y la generación de barnices y lacas.

1.8.7 Capacidad detergente y dispersante (Mediante aditivos).

La capacidad detergente está caracterizado por la capacidad de evitar o minimizar la formación de lodos y depósitos en las partes calientes del motor, particularmente en el pistón y los alojamientos de segmentos. Una forma de determinar si el aceite utilizado es de tipo detergente, es que al usarlo, después de un cierto tiempo cambia de color.

Estos aditivos suelen contener elementos que actúan sobre la propia oxidación del lubricante minimizando el efecto de corrosión sobre todo en cojinetes. Particularmente, los sulfonatos tienen la capacidad de mantener la materia carbonosa y otros contaminantes dispersos en el aceite.

La dispersividad es la propiedad del aceite destinada a dispersar los lodos húmedos originados en los motores de combustión interna. Estos componentes contaminantes suelen estar compuestos por productos parcialmente quemados de la combustión como carbón, óxidos y agua.

La detergencia y dispersividad se reducen según se van consumiendo los aditivos y la degradación del lubricante y aumentan con la reposición de aceite nuevo.

1.8.8 Capacidad antiespumante (Mediante aditivos).

La espuma consiste en burbujas que ascienden rápidamente hacia la superficie del lubricante, pero deben diferenciarse del atrapamiento del aire que es el ascenso lento de burbujas dispersas contenidas en el aceite.

La espuma disminuye la cantidad de lubricante que se suministra a las diferentes áreas y puede provocar daños a componentes como la bomba de aceite, que al aspirar espuma ocasiona cavitación, desgastes, etc.

Las causas de la formación de espuma se dan por diversos motivos entre las cuales están la entrada de aire por juntas mal selladas o defectuosas, o cuando el aceite se introduce en caída libre al depósito o un caudal demasiado alto en relación con el diámetro de la tubería.

1.8.9 Capacidad alcalina-TBN (Mediante aditivos).

En un aceite, el grado de acidez basicidad se expresa por el número de neutralización. Se define como la cantidad equivalente de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) que se requiere para neutralizar el contenido de ácido o base de un gramo de muestra.

En un aceite nuevo con una menor acidez nos da una idea de un mayor grado de refinamiento, mientras que una mayor basicidad es debida a un mayor nivel de aditivación.

En un aceite usado el aumento de acidez y disminución de la basicidad informa sobre la degradación del mismo y su contaminación.

Al monitorizar la acidez nos permite evaluar los cambios químicos experimentados por el aceite debido a su oxidación y contaminación por ácidos debido a la combustión. El parámetro utilizado para medir la acidez es el índice de acidez total llamado también T.A.N. (Total Acid Number).

En los motores de combustión interna el estudiar los parámetros de acidez son relativos, teniendo importancia en motores que utilizan alto contenido de azufre en el combustible.

El parámetro T.B.N (Total Base Number) es la capacidad que tiene el aceite de neutralizar los ácidos formados. Este nos indica la capacidad básica que tiene el aceite y su capacidad para neutralizar los ácidos formados durante la combustión. Si analizamos un aceite usado, el T.B.N. residual nos puede indicar el tiempo en horas que podemos prolongar los cambios de aceite de motor.(J.M. Desantes, 2011)

En la figura 1.21 se representan las recomendaciones del fabricante de motores para el nivel del TBN de los aceites nuevos en los motores en función del contenido de azufre del contenido utilizado, así como los valores límites admisibles de reserva básica en aceites usados.

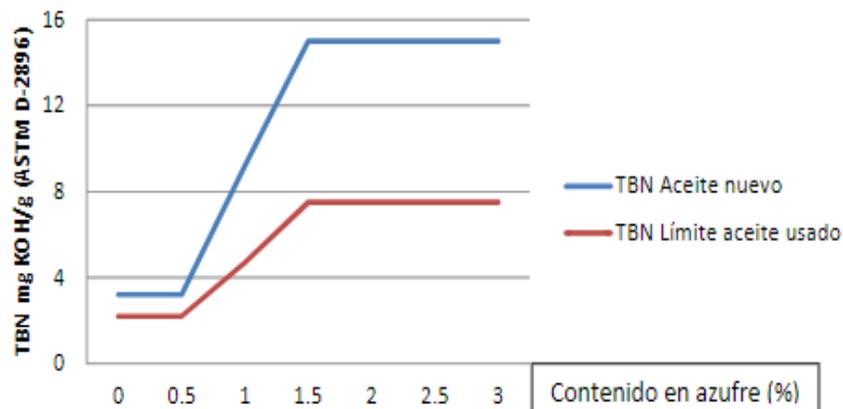


Fig.1.21.- Nivel de TBN necesario
Fuente: Pensky – Martens, 2010

En la actualidad se utiliza combustibles con el mínimo nivel de impureza, como el azufre, por lo que los contenidos de reserva alcalina, en los aceites para motor de combustión interna,

cada vez es menos. Altos valores de TBN no es recomendado, debido a que la reserva alcalina que no se usa, se quedará dentro del motor y formará residuos, los cuales son llamados cenizas sulfatadas que son dañinos para el motor (J.M. Desantes, 2011)

1.8.10 Aditivos antidesgaste (Mediante aditivos).

También se denominan aditivos de lubricación límite y dotan al lubricante de capacidad antidesgaste, eran utilizados en antiguos motores de gasolina cuando no existían lubricantes detergentes. En los motores Diesel son utilizados a bajas revoluciones no presentan molestias de desgaste.

Estos compuestos contenían fosfatos orgánicos, ditiofosatos y ditiocarbonatos hasta que se desarrolló el ditiofosfato de zinc (ZDDP) como inhibidor de corrosión en cojinetes y antioxidante del lubricante, este compuesto manifiesta una gran capacidad antidesgaste que extendía su efectividad desde la lubricación mixta hasta la lubricación límite.(J.M. Desantes, 2011).

Capítulo II

MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE ACEITES

2.1. Introducción.

En este capítulo se describe los distintos métodos aplicables para el diagnóstico del aceite, se describen los métodos propios de laboratorio y los métodos de taller utilizados para el control del aceite.

Entre los métodos están la determinación de la degradación del aceite, el método es por contaminación del aceite y por último el análisis para determinar el desgaste del motor. En este capítulo se detalla el desgaste en las partes principales del motor

2.2. Método para la determinación de la degradación del aceite.

La degradación es cuándo el aceite ya no cumple con las funciones para su diseño tales como lubricar, proteger, limpiar, refrigerar y sellar, siendo estas transformadas debido a las condiciones en las que se encuentra el aceite en el interior del motor, pudiendo ser las siguientes: elevadas temperaturas, cizallamiento, contaminación, envejecimiento.

Otros factores que influyen en la degradación del aceite están el mantenimiento del motor ya sea predictivo o preventivo, la calidad del aceite motor, el tiempo en horas o kilómetros de uso del aceite. (Tormos, 2009)

2.2.1 Viscosidad.

La propiedad física más importante de un aceite lubricante, es la medida característica de la fluidez de un aceite, cuyo objetivo es el controlar la variación de viscosidad (40°C ó 100°C) que tiene un lubricante usado con respecto al aceite nuevo. La viscosidad producto de una contaminación externa o de una degradación de los componentes químicos del lubricante entre los cuales están:

- Dilución por combustible.
- Mezcla con producto de menor viscosidad
- Mezcla con producto de mayor viscosidad
- Degradación de las bases del lubricante

Un lubricante de alta viscosidad utilizado para el motor puede ocasionar que sus pérdidas mecánicas aumenten debido a un mayor rozamiento, mientras que si utilizamos uno de baja viscosidad produce un excesivo desgaste en las piezas debido a la capa de lubricación. (Tormos, 2009)

Los aceites minerales y las mezclas de aceites minerales son fluidos newtonianos, al cumplir con la ley de Newton, donde **el esfuerzo cortante τ** es directamente proporcional al gradiente de velocidades, obteniéndose el valor de la **viscosidad absoluta o dinámica μ**

$$\tau = \mu \frac{du}{dz} \rightarrow \mu = \frac{\tau}{du/dz} \quad (2.1)$$

La ecuación dimensional de la viscosidad dinámica se deduce que es $[ML^{-1}T^{-1}]$ y tiene como unidad en el sistema cegesimal el Poise (P) mientras que en el Sistema Internacional se expresa en Poiseuille (PI). Para determinar la viscosidad absoluta se determina a partir de la viscosidad cinemática ν , siendo ρ la densidad del flujo.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

La viscosidad cinemática (**v**), se puede determinar por distintos métodos dependiendo del tipo de ensayo utilizado. Para el análisis del aceite del motor existen viscosímetros que han sido diseñados para la medida de la viscosidad en situaciones como se ve en la tabla 2.1.

Tabla 2. 1.- Clasificación API
Fuente: (Tormos, 2009)

Tipo	Nombre	Cizallamiento	Temperatura	Indicación	Norma ASTM
Capilar	-----	Bajo	40°C , 100°C	Grado SAE	D-445
Capilar	-----	Muy Alto	150°C	Protección de cojinetes	D-4624
Rotacional	Scanning Brookfield	Muy Bajo	-10°C a - 40°C	Bombeabilidad a baja temperatura	D-5133
Rotacional	Brookfield	Bajo a medio	-10°C a +40°C	Viscosidad aceites engranajes	D-2983
Rotacional	MRV	Bajo	-10°C a - 35°C	Bombeabilidad a baja temperatura	D-4684
Rotacional	CCS	Alto	-5°C a - 30°C	Arranque de Motor	D-2602
Rotacional	TBS o Ravenfield	Muy Alto	150°C	Protección de cojinetes	D-4683 / D-4741

En la actualidad los diseños de los motores hacen que las casas fabricantes de lubricantes elaboren aceites para soportar altas temperaturas y durante tiempos más prolongados, teniendo en cuenta la viscosidad de los mismos en condiciones de alta temperatura y alto esfuerzo de cizallamiento (High Temperature / High Shear, HTHS)

La temperatura del ensayo debe de ser conocida y homogénea a lo largo de todo el proceso de medida, como se mencionó anteriormente la viscosidad depende en gran medida de esta. Las temperaturas más empleadas en estos ensayos son 40°C y 100°C, que son utilizadas en el cálculo del índice de viscosidad.

En este proyecto de tesis la medida de Viscosidad de las muestras se realizará a una temperatura de 40°C y 100°C con un viscosímetro de tipo capilar de bajo cizallamiento con la norma ASTM D-445

2.2.2 Punto de inflamación.

También conocido como (Flash point) es la temperatura mínima a la cual el aceite desprende la cantidad suficiente de vapores para inflamarse momentáneamente. El Flash point de un aceite usado sube con el tiempo de utilización debido a la evaporación de las partes volátiles del mismo.

Esta medición se realiza cuando se detecta una baja de viscosidad en la muestra y sirve para controlar si dicha baja se ha producido por una presencia de combustible.

Para determinar el punto de inflamación existen dos métodos, el del vaso abierto (Cleveland Open Cup), según la norma ASTM D-92, como se ve en la Figura 2.1; en donde una porción de la muestra se coloca en un crisol metálico abierto y se calienta siguiendo las especificaciones de la norma, luego se pasa por un mechero por los gases que evaporan del crisol, considerándose que se ha alcanzado el punto de inflamación la temperatura a la cual el aceite es capaz de mantener una llama en la superficie. (Tormos, 2009)



***Fig.2. 1 Equipo para determinar el punto de inflamación por vaso abierto
Fuente: Heibeí Huanhai, (2017)***

Otro método para determinar el punto de inflamación es de vaso cerrado (Pensky – Martens, ASTM D-93), es más sensible que el anterior método, en donde se emplea un recipiente cerrado con la muestra de aceite, este se va calentando y dentro del cual se introduce periódicamente la llama piloto y se revuelve el aceite. Como se ve en la Figura 2.2. Al ser esta prueba en recipiente cerrado los vapores se recogen en el mismo y los puntos de inflamación con este método son menores que en el caso del método del vaso abierto.



*Fig.2. 2.- Equipo para determinar el punto de inflamación por vaso cerrado
Fuente: Heibei Huanhai, (2017)*

2.2.3 Acidez – Basicidad del Aceite.

Al analizar la acidez conocido también como T.A.N. (Total Acid Number) de un aceite usado nos da la información sobre los contaminantes y sobre todo de la degradación del mismo. Este nos permite evaluar los cambios químicos experimentados por el aceite como consecuencia de su oxidación o por los óxidos producidos por la combustión.

Al proceder a analizar la acidez se debe tomar en cuenta que en los aceites detergentes la interpretación se complica debido a la existencia de aditivos que contienen metales que reaccionan con el hidróxido de potasio pudiendo obtener una mala medida del nivel de acidez y por ende una errónea evaluación de la degradación del aceite.

Actualmente los métodos más utilizados para la medida de la basicidad (T.B.N.) son los métodos según las normas ASTM D-2896 y la D-4739.

El método ASTM D-2896 permite la medición de las bases medias y fuertes que componen el aceite y proporcionan la mejor medida del contenido de aditivo total en un aceite nuevo.

El TBN es utilizado principalmente en los lubricantes para motores de combustión interna y sirve para contrarrestar los ácidos producidos en la combustión.

La mayoría de los fabricantes recomiendan que el aceite sea cambiado antes de que el TBN baje a menos de la mitad del valor del aceite nuevo. en la Figura 2.3 se ve la evolución típica de los parámetros TBN en el lubricante usado en función del tiempo de uso del mismo.(Tormos, 2009)

- **Bajo TBN:** por la mezcla con aceite de menor TBN o por Agotamiento de los aditivos.
- **Alto TBN:** por la mezcla con aceite de mayor TBN o por contaminación con compuestos alcalinos

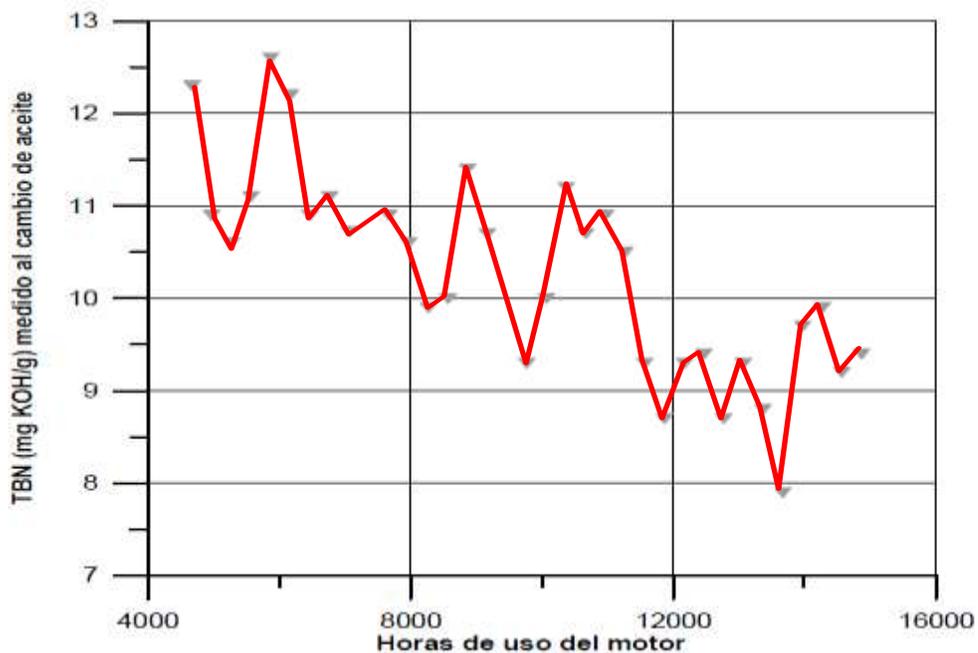


Fig.2. 3.- Evolución del TBN en el aceite usado en un motor
Fuente: Tormos, (2009)

2.2.4 Insolubles del aceite.

Los insolubles se miden mediante los métodos basados en la sucesiva solubilidad o insolubilidad en diversos disolventes de los productos de alteración del aceite, tales como el pentano y el tolueno.

Son los productos inorgánicos y orgánicos precipitados que contiene el aceite usado. Una parte se deposita como lacas y barnices en los alojamientos de los segmentos, falda del pistón y otras superficies del motor; otra parte se sitúa como lodos o barro (sludge) en el interior del cárter y de los conductos de lubricación, con el riesgo de taponarlos; el resto se disuelve en el aceite aumentando la viscosidad.

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

Para determinar la cantidad de insolubles en el aceite este se mezcla con el pentano un coagulante tal como la mezcla 50% n-butildietanolamina y 50% alcohol isopropílico, que destruye la capacidad dispersante-detergente del aceite, aglomerándose las partículas insolubles que permanecían en suspensión. Con este procedimiento se obtienen valores más elevados de los insolubles.

Los insolubles en pentano representan la casi totalidad de los productos insolubles del aceite y están formados por contaminantes externos insolubles en el aceite y los productos de la degradación del mismo tales como lacas, barnices, etc., que se separan fácilmente.

Como se describió anteriormente otra mezcla es utilizando tolueno. Los insolubles en tolueno representan los productos procedentes de la contaminación externa, de la corrosión, del

desgaste de los mecanismos lubricados, del carbón formado en la combustión incompleta del combustible y de una posible coquización parcial del aceite.

La diferencia entre insolubles en pentano y tolueno es una medida de compuestos procedentes de la degradación del aceite, como resinas, barnices, etc. Estos compuestos solubles en tolueno pero insolubles en pentano proviene en su mayoría de la oxidación, así, este es un buen indicador del grado de oxidación del aceite. La forma más común de expresar los insolubles es la concentración en porcentajes máscicos. La cantidad de materia insoluble que un aceite puede portar depende del nivel de detergencia-dispersancia que posea.

El monitorizado del nivel de insolubles eventualmente puede mostrar un descenso del mismo, momento en el cual el cambio de aceite ha sido sobrepasado, ya que los insolubles están formando lodos o barros en el motor y los conductos de lubricación y no permanecen en suspensión.(Tormos, 2009)

2.2.5 Capacidad detergente y dispersante de los aceites.

La evaluación de los niveles de detergencia y dispersividad se puede hacer a partir de los resultados de la medida de insolubles expresando el nivel de detergencia como cociente entre los insolubles en pentano con y sin coagulante.

Otro de los métodos posibles de evaluación del nivel de detergencia de un aceite usado es a partir de la evaluación del ensayo de la mancha, un ensayo rápido y sencillo de realizar.

La detergencia y la dispersividad se reducen con la degradación y el consumo de los aditivos correspondientes, y aumentan con la reposición con aceite nuevo.(Tormos, 2009)

Un método más sofisticado es el análisis de la mancha de aceite mediante la utilización del equipo denominado fotómetro. Como se ve en la Figura 2.4

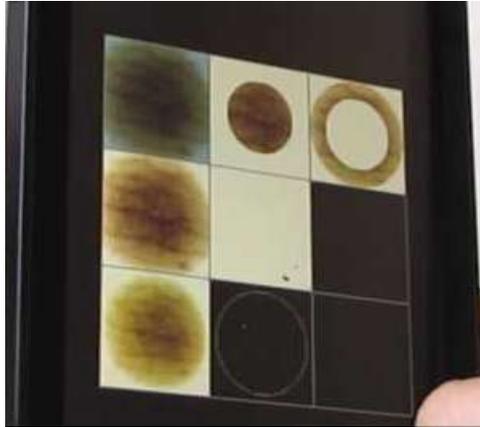


Fig.2. 4.- Determinación de la detergencia y dispersante por medio de un fotómetro analizando la mancha de aceite
Fuente: Exxon Mobil, (2010)

El modo de operación del mismo consiste en depositar 10 ml. de aceite sobre un papel especial (tipo Durieux filtration n° 122), el cual se deja en posición horizontal en una estufa a 80°C durante una hora. El fotómetro recoge la imagen de la mancha sobre un diámetro teórico de 32 mm. Y hace un barrido en horizontal y vertical, buscando un perfil medio en 15 áreas, desde el centro a la periferia. La detergencia se calcula en función de la homogeneidad de las áreas y de la proyección de la mancha. Se califica con un índice que varía entre 100, ideal, y 0 sin detergencia.

No existe una relación que se pueda generalizar entre la variación del TBN con la degradación o pérdida de eficacia del aditivo detergente.(Tormos, 2009)

2.3. Métodos para el análisis del aceite por contaminación.

A continuación se describe los métodos de medición de los elementos contaminantes del aceite, se entiende que la contaminación del aceite se puede dar por partículas metálicas, óxidos metálicos, polvo atmosférico, combustible, agua, materia carbonosa y ácidos provenientes de los gases de combustión y de la propia oxidación del lubricante. (Tormos, 2009)

2.3.1 Contaminación por presencia de dilución por combustible.

En los motores Diesel, la determinación de la dilución del lubricante con combustible se suele determinar de alguna de las siguientes maneras:

- A partir de la viscosidad de la muestra, puesto que los combustibles Diesel son menos viscosos que el aceite, su presencia se detecta por una reducción de su viscosidad.
- A partir de su punto de inflamación.
- A partir del análisis de la mancha.
- Mediante el uso de la espectrometría infrarroja.

2.3.2 Contaminación por presencia de agua.

La contaminación del aceite con agua proviene de la condensación en el interior de los motores debido a las bajas temperaturas o el aumento de la presión en el cárter y de las fugas internas del sistema de refrigeración. La presencia de esta agua puede producir corrosión de los metales y degradación del propio aceite. Se puede determinar el contenido de agua por varios métodos pudiendo ser los siguientes: (Tormos, 2009)

- El método de crepitación en plancha caliente, indicativo de presencia de agua en cantidades superiores a 0.05%. La intensidad del chisporroteo obtenido es indicativa de la cantidad de agua contaminante.

Evidentemente este método no se puede utilizar en aplicaciones donde la mínima cantidad de presencia de agua pueda ser peligrosa para el funcionamiento de la máquina (como podría ser un transformador en baño) pero sí que sirve para realizar un control rápido y simple de presencia de cantidades significativas de agua, sirviendo como un control de prueba pasa no pasa. Como se ve en la Figura 2.5



Fig.2. 5.- Determinación de la presencia de agua en el aceite por crepitación
Fuente: Exxon Mobil, (2010)

- Otro método es mediante la utilización de equipos para medir constante dieléctrica. La presencia de agua en el aceite provoca un aumento importante de dicha constante.
- Por el método de la mancha, sensible a concentraciones de agua muy elevadas (superiores al 5%) y fundamentalmente cuando el aceite contenga impurezas que floculen en presencia de la misma.

2.3.3 Espectrometría infrarroja.

Es un método de análisis, el cual nos permite la determinación cualitativa y cuantitativa de los compuestos presentes en una muestra a partir del estudio de las longitudes de onda a las cuales absorben radiación infrarroja. Esta técnica, disponible en mayor medida cada día, puede proporcionar una importante información sobre la presencia de elementos contaminantes en el aceite. La operación normal es comparar una muestra de aceite usado frente a una de aceite fresco del mismo tipo, preferentemente en un equipo de doble haz. Con un equipo adecuado pueden ser detectados:

- Productos de oxidación y nitración.
- Contaminación por agua.
- Contaminación por glicol (procedente del sistema de refrigeración).
- Dilución de combustible.

2.3.3.1 Tipos de espectrómetros de infrarrojos

Existen dos tipos de espectrómetros el de difracción (EIR-D) de haz simple o de doble haz y el infrarrojo de transformada de Fourier (EIR-FT).

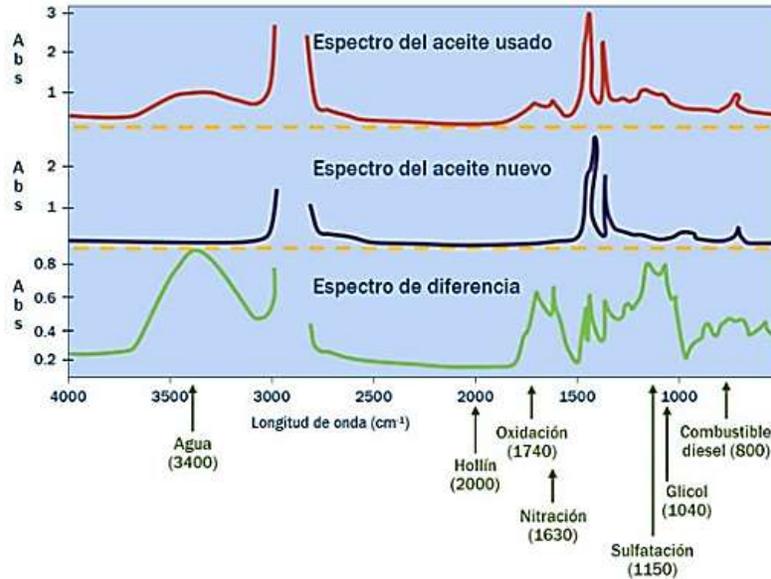
➤ Espectrómetro infrarrojo de difracción (EIR-D)

Este equipo compara la transmitancia de la muestra en un haz con la de una sustancia de referencia en el otro. Está constituido por la fuente, el sistema fotométrico que incluye el área de muestreo, el monocromador, el detector, el control electrónico y el sistema registrador.

➤ Espectrómetro infrarrojo por Transformada de Fourier

Está constituido por un interferómetro que analiza el contenido frecuencia-intensidad de una señal poli cromática global sin dispersarla. La señal procedente de la muestra es un interferograma, con todas las frecuencias incluidas en la misma señal, por ello se requiere el empleo de la transformada de Fourier para convertir esta señal en un espectro es el que analiza la computadora para comparar con el contenido de diversos componentes en el lubricante.

Este tipo de equipo empleado para el análisis de aceites usados, un computador se encarga de comparar los espectros de las muestras con el espectro del aceite nuevo. Obteniéndose por diferencia de espectros de transmitancia el contenido de diferentes sustancias presentes en cada una de las muestras como se ve en la Figura 2.6 la comparación del espectro infrarrojo entre el aceite usado y el nuevo.



*Fig.2. 6.- Comparación del espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier de un aceite nuevo y uno usado
Fuente: Noria, (2012)*

2.3.4 Por ensayo de la mancha.

Este tipo de análisis determina las propiedades del aceite usado cuando se dispersa sobre papel absorbente. Las partículas presentes en el lubricante son llevadas al frente de la mancha. Determinándose los elementos contaminantes del aceite como también las propiedades de detergencia del lubricante.

Este tipo de ensayo se realiza a la temperatura ambiente 20°C para tener una idea del comportamiento del lubricante a la temperatura del arranque en los puntos críticos. También se puede realizar a los 200° C siendo esta la temperatura crítica que soporta el lubricante en el motor. Se opta por analizar la muestra a temperatura ambiente. (Tormos, 2009)

El procedimiento para realizar este análisis es el siguiente:

- Se toma una muestra del lubricante (5ml).
- Con un gotero absorbemos una cantidad de aceite y la dejamos caer sobre el papel absorbente, observando la evolución de la mancha.

- Después de las 24 horas se observa como en la Figura 2.7

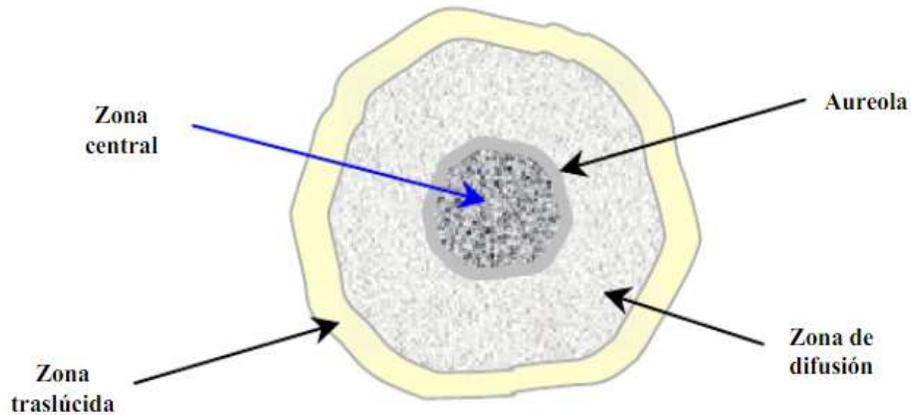


Fig.2. 7.- Constitución de una mancha de aceite
Fuente: Tormos, (2009)

- **La zona central**

Esta se caracteriza, por su color más o menos oscuro, pero uniforme, la cantidad de materia carbonosa contenida en el aceite.

- **La aureola**

Esta parte de la mancha nos indica con su mayor o menor grosor y coloración, el contenido de partículas gruesas carbonosas o de contaminantes.

- **La zona intermedia o de difusión**

Esta Zona es la característica de la dispersión del carbón en el aceite y por tanto de su poder de detergencia.

- **Zona exterior**

Esta zona desprovista de materias carbonosas da idea del grado de oxidación del aceite, normalmente debe ser traslúcida y sin coloración alguna.

2.4 Observaciones en el desgaste del motor.

El aceite lubricante al estar en contacto con las superficies de los mecanismos protege y arrastra las partículas que se forman debido a la fricción y debe tener como misión llevarlas hasta los dispositivos empleados para su eliminación, tales como los filtros.

Por esta razón el análisis de las partículas que se encuentran en el aceite es primordial, el saber de qué materiales se trata en forma cuantitativa y cualitativa partiendo de ello se puede diagnosticar los niveles de fricción anormales y el origen más probable de estas partículas para así poner énfasis a que partes del motor de combustión interna es necesario un mantenimiento preventivo. (Tormos, 2009)

A partir del estudio de las partículas contenidas en el aceite existen algunos métodos para determinar el desgaste a un motor Diesel los cuales detallamos las más utilizadas en un breve resumen debido a su campo extenso de análisis.

- Espectrometría
- Ferrografía
- Recuento de partículas

2.4.1 Espectrometría.

La espectrometría proporciona resultados cualitativos y cuantitativos, esto es, metales presentes en el aceite y en qué cantidad. Este método está basado en la interacción que existe entre la radiación electromagnética y la materia cuando se produce un intercambio de energía, conociendo que los átomos de cualquier elemento producen espectros electromagnéticos característicos al ser activado, con lo cual mediante la aparición de los mismos va ser posible la identificación del elemento.

La representación de la intensidad de emisiones de las radiaciones frente a la longitud de onda es lo que se conoce como el espectro de emisión. Estos espectros de emisión presentan

máximos de energía a diferentes longitudes de onda y con distinta intensidad en función de los diferentes elementos presentes en la muestra.(Tormos, 2009)

La radiación interacciona con los átomos de una sustancia experimentando emisión, absorción o fluorescencia, por lo tanto los espectrómetros se clasifican en tres grandes grupos:

- Espectrómetros de emisión atómica (EEA).
- Espectrómetro de absorción atómica (EAA).
- Espectrómetro de fluorescencia de rayos X (XRF)

El espectrómetro mide la concentración de metales en el lubricante a partir de la comparación de la intensidad medida, a la longitud de onda correspondiente a cada elemento, con unos patrones que previamente han sido muestreados.

Las longitudes de onda empleadas para cada metal, como se puede ver en la tabla 2.2. La sensibilidad del espectrómetro de plasma es muy superior a la demandada, ya que en el contenido de metales en el lubricante, se suele trabajar a niveles de ppm.

Tabla 2. 2.- Longitudes de onda característica y límites de detección en los metales
Fuente: Tormos, (2009)

ELEMENTO	LONGITUD DE ONDA (nm)	LÍMITE DE DETECCIÓN (ppm)
Ag	328,068	3
Al	396,152	7,5
B	249,678	7,5
Ba	233,527	0,15
Ca	317,933	0,15
Cd	283,563	4,5
Cr	283,563	1,8
Cu	324,754	3
Fe	259,940	1,4
Mg	285,213	0,15
Mn	260,569	0,6
Mo	202,030	9
Na	589,592	4,5
Ni	231,604	15

P	213,618	100
Pb	220,353	75
Si	251,611	9
Sn	189,926	42
Ti	334,941	0,75
V	292,402	9
Zn	213,856	3

2.4.2 Ferrografía.

Esta metodología permite la separación de las partículas pequeñas (1-20 μ m) magnéticamente, es por esta razón que solo sirve para analizar los contenidos de materiales ferromagnéticos, incluidos los muy débiles como el aluminio o bronce que no siendo magnéticos, al desgaste contra materiales ferrosos adquieren trazas de ellos y se comportan ligeramente magnéticos, de las muestras de aceite usado. De esto se deriva una de las características más valiosas para la aplicación de la ferrografía al analizar los aceites usados, a más este método ignora todas las impurezas que continúe el aceite, excepto las partículas de desgaste suministrando información valiosa de donde se generó u origino el desgaste. En la ferrografía se divide en dos métodos la primera la llamada ferrografía analítica, que suministra una exacta descripción de la forma y composición de las partículas que permiten identificar los tipos de desgaste mediante análisis global del ferrograma. Y la segunda la ferrografía de lectura directa, esta determina la concentración de los elementos de la muestra a partir de dos lecturas particulares (Tormos, 2009)

2.4.3 Contaje de partículas.

Esta metodología de análisis nos indica los tamaños de las partículas presentes en la muestra, pero esta no suministra información sobre los elementos que las componen.

Los contadores de partículas dan el número de partículas encontradas en categorías de tamaños especificadas. Habitualmente esto se indica con un número mayor que el tamaño

indicado. La normativa usualmente empleada para calificar el recuento de partículas es la norma ISO 4406. Esta norma clasifica con un rango numérico el número de partículas aparecidas de tamaños superiores a 4µm, superiores a 6µm y superiores a 14 µm, que dan la calificación R₄ / R₆ / R₁₄ .

El recuento de partículas no es un método recomendado para el seguimiento del desgaste por presentar las siguientes desventajas: puede producir resultados confusos dado que generalmente cuenta todo tipo de partículas, no únicamente las metálicas provenientes de desgaste y no proporciona una indicación sobre la forma o tamaño de las mismas o su composición, usándose como técnica suplementaria en análisis de lubricantes.(Tormos, 2009)

2.5. Desgaste, evaluación y diagnóstico de las partes del motor Diesel.

En este ítem se detalla una breve explicación de la concentración de elementos metálicos, ya que la lubricación minimiza el desgaste pero no lo elimina por lo que interesa conocer cuando ese desgaste está por encima de un cierto umbral que se considera límite indicativo de una situación correcta.

Para obtener un buen resultado en esta evaluación se deberán tener en cuenta los factores que definen la situación real de funcionamiento en servicio de un determinado motor, tales como añadidos o rellenos realizados sobre el cárter, tiempo en uso del aceite, tipo de aceite utilizado, combustible, etc. Con todo ello se obtiene una mejor aproximación al adecuado diagnóstico del motor.

En el mismo se pretende remarcar la importancia del desgaste, así como los procesos, efectos y condicionantes que influyen en el mismo.

La utilización de valores absolutos como límites condenatorios de la presencia de metales como indicativo para determinar un desgaste absoluto, como se ve en la tabla 2.3 los valores

límites condenatorios definidos por diferentes fabricantes para los metales presentes en el aceite, siendo una guía a los usuarios de sus productos para el análisis de aceite.

Tabla 2. 3.- Valores condenatorios de concentraciones metálicas en el aceite según diversos fabricantes de motores
Fuente: Tormos (2009)

ELEMENTO	CAT	CUMMINS	DETROIT	JENBACHER	MAN	GM
HIERRO (Fe)	100	84	150	50	125	125
COBRE (Cu)	45	20	90	20	40	150
PLOMO (Pb)	100	100	-----	70	25	75
ALUMINIO (Al)	15	15	-----	15	10	5
CROMO (Cr)	15	15	-----	5	20	20
ESTAÑO (Sn)	20	20	-----	10	30	40
SODIO (Na)	40	20	50	8	-----	-----
BORO (B)	20	25	20	-----	-----	20
SILICIO (Si)	10	15	----	20	15	10
ZINC (Zn)	-----	-----	-----	-----	-----	10
PLATA (Ag)	-----	-----	-----	-----	-----	2

Como se aprecia en la tabla 2.3 los distintos metales existen diferencias entre uno y otro fabricante esto es debido al tipo de metalurgia empleada para la fabricación de motores. Los valores están expresados en partes por millón (ppm).

2.5.1 Desgaste en el motor Diesel.

El desgaste es el origen de una serie de factores en el motor, tales como: pérdida de prestaciones, reducción de la vida útil de sus partes, acortamiento del periodo de cambio de aceite y disminución de su eficiencia; es por eso que se debe tener un conocimiento del desarrollo del desgaste de las partes del motor, para brindar un mantenimiento correctivo

eficiente y así ampliar la vida útil del motor. A continuación describimos el desgaste a parte claves del motor (Tormos, 2009)

2.5.1.1. Desgaste en el conjunto pistón- segmentos- camisa.

Este conjunto forma parte principal del motor y está sometido a condiciones de funcionamiento severas tales como velocidad de deslizamiento, presiones y temperaturas elevadas, junto con condiciones de lubricación crítica, ambiente corrosivo y presencia de abrasivos en el aire admitido y en el aceite.

Las principales zonas de desgaste en el pistón son: las caras superior e inferior de las ranuras del alojamiento de los segmentos, la falda y el asiento del bulón; en los segmentos: la superficie exterior y las caras superior e inferior y en la camisa sus paredes en toda la longitud de la carrera del pistón. (Tormos, 2009)

2.5.1.1.1. Desgaste adhesivo.

En este conjunto pistón-segmentos-camisa se presenta un desgaste adhesivo cuando los pistones se mueven dentro de los cilindros perdiendo lubricación en el punto muerto superior convirtiéndose de una lubricación hidrodinámica a una lubricación límite apareciendo contactos intermetálicos entre el segmento de fuego y la camisa. Presentando un surco abrupto a la altura de este segmento en la posición del punto muerto superior.

Las partículas de desgaste presentadas entre el segmento –cilindro tienen un tamaño inferior a 30 μ m y alta dureza, razón por la cual va a ser abrasivas. Como se ve en la figura 2.8 el desgaste generado por los segmentos en la camisa (Tormos, 2009).



Fig.2. 8.- Desgaste generado por los segmentos del pistón en la camisa
Fuente: Manual de fallas MAHLE (2012)

Cuando el pistón llega al PMS el aceite fresco que está en las paredes del cilindro lleva estas partículas al cárter, y las partículas recirculan en el sistema de lubricación generando mayor desgaste.

Al llegar el pistón al PMI quedan todas las paredes del cilindro expuestas a la alta temperatura de los gases quemados, formando una delgadísima película de aceite oxidado que si no es cambiada por aceite fresco se aglomera junto a las partículas de desgaste formando depósitos sobre la superficie haciendo que la película lubricante se vea interrumpida provocando el desgaste adhesivo del conjunto.

Existen algunos factores que pueden aumentar este desgaste siendo los siguientes:

➤ ***Condiciones de funcionamiento***

Al aumentar la potencia producida por el motor se origina un aumento del desgaste porque crecen las presiones medias y las temperaturas, al crecer la carga, a velocidad constante, aumentan el desgaste.

La temperatura es un factor que, además de aumentar la severidad del desgaste adhesivo, debido a su influencia sobre la viscosidad del aceite, produce una elevada dilatación o

distorsión térmica de la camisa y segmento de fuego, con la consiguiente formación de capas de óxido de baja resistencia.

Durante el arranque en frío y en condiciones de servicio severas se puede presentar contacto directo entre los segmentos y el cilindro o entre la falda del pistón y la camisa, llegándose a producir un microgripado. Este fenómeno, en el caso específico del contacto pistón camisa puede generar partículas de elevada dureza y tamaño igual o mayor de 60 μm , que por lo tanto son abrasivas; estas partículas, junto con las producidas por el grupo camisa-segmentos, de 30 μm , contribuyen a auto acelerar el desgaste durante el arranque en frío.

El sistema de refrigeración influye sobre el desgaste durante el arranque en frío, ya que de éste depende el tiempo en que se alcanza la temperatura de régimen de las paredes del cilindro. Desde este punto de vista, el motor refrigerado por agua es peor que el refrigerado por aire.

El tamaño del motor es de gran importancia, ya que la magnitud del desgaste es proporcional a la carga de contacto y a la longitud de deslizamiento. El desgaste por unidad de tiempo de un motor rápido es mayor que el de un motor lento. (J.M. Desantes, 2011)

➤ *Combustible*

La combustión es prácticamente completa en un motor Diesel en buen estado, excepto en el periodo de arranque en que las paredes frías de las camisas y pistón apagan la llama impidiendo el desarrollo de la combustión en su proximidad inmediata.

El combustible no quemado puede diluir la película de aceite y el aceite del cárter, aumentando el desgaste. Dependiendo además de la calidad del sistema de inyección.

➤ *Aceite*

Su influencia sobre el desgaste adhesivo hay que enfocarla desde dos puntos de vista: durante el arranque y en régimen estacionario.

El desgaste durante el arranque, la viscosidad del aceite juega un papel primordial ya que un valor alto favorece la permanencia de la película de lubricante durante la parada; con la desventaja de que al presentarse una mayor dificultad de bombeo durante el arranque se hace más difícil la reconstitución de esta.

El desgaste en régimen estacionario, al aumentar la temperatura de la pared de la camisa y del refrigerante, disminuye la viscosidad del aceite. Por encima de cierta temperatura del refrigerante, del orden de 80 °C, la película no es capaz de soportar la carga debido a que el aceite alcanza una viscosidad crítica, razón por la cual aumenta considerablemente el desgaste adhesivo.

➤ *Tecnología y metalurgia*

Para mejorar la resistencia al desgaste de los cilindros, se debe actuar sobre su diseño, refrigeración, materiales que los constituyan y estructura físico-química y geométrica de la capa superficial sometida a rozamiento.

El circuito de refrigeración debe ser tal que se eviten las distorsiones térmicas resultantes de la heterogeneidad de las temperaturas, que además de hacer difícil el rodaje, aumenten el riesgo de gripado de la camisa.

El desgaste adhesivo de segmentos de fundición es mucho mayor sobre camisas de fundición que sobre camisas con capa cromada. Por el tratamiento de nitruración se pueden lograr propiedades antidesgaste equivalentes.

2.5.1.1.2. Desgaste corrosivo.

Ahora en este conjunto pistón-segmentos-camisa se analiza el desgaste corrosivo, que está relacionado con ciertos subproductos de la combustión de naturaleza muy agresiva, razón por la cual los factores esenciales que lo influyen son el tipo de combustible utilizado y la manera como se lleva a cabo la combustión. (Saldivia, 2013)

Existen factores que aumentan el desgaste corrosivo siendo los siguientes:

➤ *Origen de desgaste corrosivo*

Tal como se ha comentado el tipo de combustible utilizado va a marcar de forma la tasa de desgaste corrosivo que va a sufrir el conjunto. Los niveles de azufre actuales en los combustibles Diesel de uso en Automoción (clase A) son muy bajos (0,035%) lo que ha provocado que en este tipo de aplicación el efecto sea mucho menor que el que sufren los motores de uso estacionario o marinos utilizando combustibles con contenidos en azufre mucho mayor.

Resulta claro que el desgaste corrosivo está influenciado por el contenido de azufre en el combustible esto quiere decir que, combustibles con bajos niveles de azufre no producen daños por corrosión al contrario cuando tienen altos niveles estos producen desgaste de los segmentos y la camisa de los motores.

➤ *El arranque*

Los gases residuales y el vapor de agua que permanecen en muy pequeñas cantidades en el cilindro o en el cárter después de la detención total del motor ejercen poca influencia sobre el desgaste producido durante la posterior puesta en marcha.

El desgaste corrosivo durante la puesta en marcha se debe, por lo tanto a las siguientes causas:

- Elevada concentración del SO₂ y trazas del SO₃ en el aceite presente en la zona de segmentos durante la parada.
- Temperatura de las paredes del motor muy baja durante los primeros minutos de funcionamiento que facilita la condensación de cantidades importantes del agua procedente de la combustión.

- Lubricación deficiente durante la puesta en marcha, que es causa de condiciones severas de rozamiento.

2.5.1.1.3. Desgaste abrasivo

La abrasión en el motor se debe a la acción de partículas aisladas, procedentes del exterior, generadas internamente, introducidas durante el proceso de fabricación o provenientes de acciones de mantenimiento.

Para evitar la acción de los contaminantes externos, se disponen filtros en la admisión y en los sistemas de lubricación y combustible, que tienen como función ideal retener todas las partículas que sobrepasan cierta dimensión.

Las partículas abrasivas se encuentran libres en el aceite y pueden actuar sobre cualquier superficie de fricción, afectando al grupo pistón-camisa-segmentos.

El desgaste abrasivo según la vía de ingreso del abrasivo en la camisa se caracteriza por un desgaste concentrado en su parte baja, en el caso de partículas introducidas por el aceite y por un desgaste uniforme a lo largo de toda su altura, en el de las entradas con el aire o el combustible.

En la zona de los segmentos se encuentra la misma tendencia; todos los segmentos sufren desgastes de igual magnitud cuando las partículas ingresan con el aire; cuando entran con el aceite se desgasta menos el segmento de fuego.

El desgaste máximo de la parte baja de la camisa, producido por partículas introducidas por el aceite, es mucho más importante que el producido por las que entran con el aire, para iguales pesos de polvo encontrados en el aire.

➤ **Factores que influyen en el desgaste abrasivo**

Puesto que la principal fuente de partículas abrasivas es el aire atmosférico, los factores que presentan mayor influencia sobre el desgaste abrasivo son:

– ***La granulometría del aire atmosférico***

El aire atmosférico está cargado de impurezas de dos tipos: la primera en partículas de polvo, de tamaño comprendido entre 1µm y 150 µm y con tamaños inferiores encontramos las llamadas partículas de humo de procesos químicos y cuyas dimensiones varían entre 0,1µm y 1µm. Según la granulometría las partículas de polvo se clasifican en **polvo fino** de 1 a 5µm, polvo medio de 5 a 10µm, polvo grueso de 10 a 50 µm, polvo arenoso de 50 a 250µm. como se puede ver en la siguiente tabla 2.4. El porcentaje de granulometría del polvo el cual nos indica los porcentajes nefastos para el desgaste del motor.

Tabla 2. 4.- Granulometría típica del polvo en una carretera asfaltada
Fuente: Tormos (2009)

TAMANO	< 1 µm	De 1 a 3 µm	De 3 a 5 µm	De 5 a 10 µm	De10 a 50 µm
PORCENTAJE (%)	0,07	0,2	1,73	60	38

Es por esta razón la necesidad que se debe tener en el filtrado del aire de alimentación del motor, teniendo un límite real y permanente de filtrado de partículas del orden de 5 µm.

– ***Modo de funcionamiento del motor***

El régimen de giro del motor así como el grado de carga a que está sometido el mismo son parámetros que también afectan a la tasa de desgaste del mismo. A mayor grado

de carga el desgaste es creciente así como a mayor régimen de giro del mismo existe una mayor tasa de desgaste.

– ***El tipo de aceite utilizado***

Aceites más aditivados con componentes anti-desgaste presentan tasas de desgaste menores que aquellos aceites con menor cantidad de este tipo de aditivos.

➤ ***Control del desgaste abrasivo***

El remedio más utilizado para combatir el desgaste abrasivo es la filtración de todos los fluidos que puedan entrar en contacto con las partes internas del motor. Los mecanismos de filtración son imperfectos, mediante esta acción no se consigue reducir por completo el desgaste abrasivo.

➤ ***Consecuencias del desgaste del grupo pistón – segmentos – camisa.***

Pérdida de potencia: El desgaste de los segmentos y la camisa, reduce la hermeticidad de la cámara de combustión, lo cual se traduce en una disminución de la presión de compresión, que puede provocar una combustión incompleta y conducir a una reducción de las presiones máximas de combustión y por lo tanto de la presión media efectiva y la potencia del motor.

Otra consecuencia del desgaste es que produce un crecimiento del consumo de aceite en la zona de segmentos, que aumenta los depósitos en la cámara de combustión, pudiéndose producir encendidos anormales que conducen también a una reducción de la potencia.

Reducción de la vida del motor: El desgaste de los segmentos influye sobre el comportamiento y duración de otros elementos del motor. La pérdida de estanqueidad de estos supone, para un mismo periodo de cambio de aceite, que se incremente la contaminación, alteración y dilución del aceite, disminuyendo la calidad del lubricante en servicio.(Chevron, 2009)

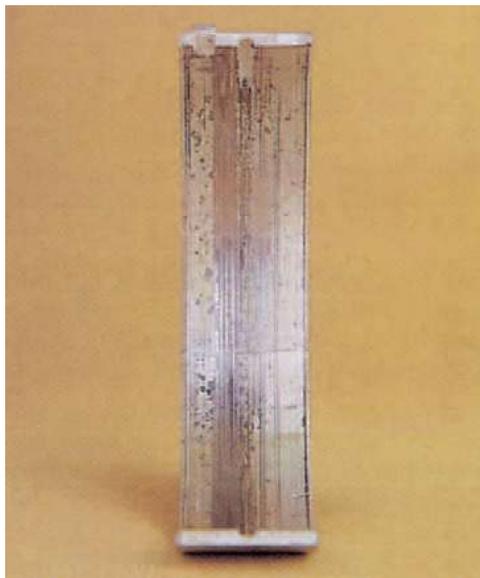
A consecuencia de esto, aumenta la tendencia a la formación de depósitos y al desgaste de otras piezas del motor y de los mismos segmentos, es decir, el desgaste es autoacelerado.

2.5.1.2. Desgaste de cojinetes.

Los cojinetes se utilizan para proteger los árboles, debiendo desgastarse antes que estos, puesto que son piezas de mayor importancia; como también deben transmitir elevadas cargas, es necesario que entre ellos y los árboles se establezca y permanezca una película de lubricante permanente cuyo espesor es variable con el tiempo, siendo su valor promedio entre 4 o 5 μm .(Cisneros Luis, 2016)

2.5.1.2.1. Desgaste adhesivo.

En condiciones ideales de lubricación hidrodinámica, caracterizadas por un coeficiente de Stribeck elevado, no debe presentarse este tipo de desgaste. Para valores del coeficiente inferiores al crítico, se produce un incremento de la fricción debido a la lubricación límite, que puede ser muy pronunciado. Si la reducción del espesor de la película es muy acentuada, se puede romper y producirse un fallo por desgaste adhesivo. Como se ve en la Figura 2.9



***Fig.2. 9.- Desgaste adhesivo en los cojinetes
Fuente: Manual de fallas MAHLE (2012)***

➤ ***Factores que influyen sobre el desgaste adhesivo***

El tipo de carga influye significativamente en el comportamiento del cojinete, puede soportar mayores cargas dinámicas que estáticas sin desgastarse. Otro factor es la temperatura que afecta la viscosidad. La elevación de la temperatura actúa perjudicialmente por la reducción de la viscosidad que origina; un incremento de la temperatura del aceite, del orden de 10 °C supone un cambio radical en las características de lubricación. Así también la estructura del material es muy importante. Los cojinetes de material uniforme no son los aptos para resistir carga.(MAHLE, 2012)

2.5.1.2.2. Desgaste corrosivo.

Se produce cuando el lubricante ataca químicamente alguno de los metales que constituyen el cojinete. Como consecuencia se puede desprender una pequeña cantidad de material del cojinete o se puede depositar sobre su superficie el compuesto resultante de la reacción química. como se ve en la Figura 2.10 (MAHLE, 2012)



***Fig.2. 10.- Desgaste corrosivo en los cojinetes
Fuente: Manual de fallas MAHLE (2012)***

➤ ***Factores que influyen sobre el desgaste corrosivo***

Este tipo de desgaste depende de diversos factores, los principales son: tipo de motor, naturaleza, estructura y homogeneidad de las aleaciones, acabado superficial del material, juego de montaje, condiciones de utilización, temperaturas de funcionamiento y lubricante empleado.

2.5.1.3. Desgaste del sistema de distribución.

El sistema de distribución es el encargado de dirigir, ordenar y controlar los procesos de renovación de la carga del motor para lograr las características de rendimiento volumétrico previstas en diseño. (Geovanny, 2017)

➤ **Desgaste del conjunto leva-empujador.**

El contacto leva empujador es crítico pues en él se combinan movimientos de deslizamiento y rodadura presentándose contactos concentrados con elevados valores pico de los esfuerzos de contacto, que pueden producir graves fallos de lubricación y por consiguiente un elevado desgaste.

2.5.1.4. Desgaste del conjunto balancín – cola de válvula.

En este conjunto es poco frecuente y sus consecuencias no son muy graves, pero sumado a los desgastes de levas y empujadores puede hacer más frecuentes los reajustes de los juegos de válvulas. Generalmente es de tipo adhesivo, presentando gripados más o menos profundos, causados por lubricación insuficiente, utilización de aceite de viscosidad inadecuada o utilización de muelles de válvula demasiado tensos.

Para controlar este desgaste, es muy importante la correcta selección de los materiales de las piezas en contacto; desde este punto de vista, es recomendable el uso de aceros de elevada dureza y aún el cromado superficial de la cola de válvula.(Fygueroa, 1994)

2.5.1.5. Desgaste del conjunto vástago de válvula-guía.

El desgaste del vástago y guía de válvula puede contribuir de forma importante al envejecimiento del motor.(Fygueroa, 1993)

Los tipos de desgaste en este conjunto están:

– ***Desgastes normales:***

Los juegos iniciales entre el vástago de válvula y su correspondiente guía son siempre pequeños, para que la guía cumpla su función de colocar con exactitud la cabeza de la válvula en su asiento.

Como consecuencia, el espesor de la película de aceite entre vástagos y guías es muy débil, por lo que el régimen de lubricación es límite y por tanto el desgaste susceptible de aparecer es el adhesivo.

– ***Desgastes anormales:***

Si provienen de una abrasión o corrosión demasiado elevada, probablemente el conjunto del motor esté igualmente afectado, por lo que las reparaciones a adoptar conciernen a todo el motor.

➤ ***Causas específicas del desgaste de vástagos y guías de válvulas.***

- Una deficiente lubricación y defectos u obstrucciones del circuito de alimentación de los balancines.
- Utilización de un aceite de viscosidad inadecuada.
- Temperatura del vástago y guía demasiado elevada que volatiliza instantáneamente la película de aceite si se prolonga excesivamente el funcionamiento en seco, se pueden producir gripados o rayados del vástago y la guía que originan un desgaste rápido.

➤ **Consecuencias del desgaste:**

El desgaste de vástagos y guías aumenta el juego existente entre ellos, produciendo un aumento del consumo de aceite, que puede llegar a duplicar el que se consume en los segmentos.

La acumulación de depósitos puede llevar al bloqueo de la válvula en una posición entreabierta, con el riesgo de ser golpeada por el pistón al acercarse al punto muerto superior.

2.5.1.6. Desgaste de los asientos y apoyos de la válvula.

Estas zonas del motor se consideran actualmente como críticas desde el punto de vista de la vida útil del motor. Los problemas que se presentan debidos al desgaste están condicionados principalmente por factores tecnológicos y metalúrgicos.(Fygueroa, 1993)

2.5.1.7. Desgaste de los engranajes de la distribución.

En algunos motores Diesel pequeños y medianos el accionamiento del sistema de distribución es por engranajes. A medida que los dientes de estos engranan y desengranan se presenta un ciclo de contacto que varía entre el deslizamiento y la rodadura. Aunque los engranajes transmiten cargas relativamente moderadas, las superficies de contacto son muy pequeñas y por lo tanto las presiones de contacto resultan elevadas.(Fygueroa, 1994)

Los casos de desgaste adhesivo de los dientes de engranajes que a veces aparecen en la práctica, se deben a errores de concepción o de realización tecnológica o metalúrgica, las posibles causas son:

- Caudal de aceite insuficiente debido a un circuito de lubricación mal diseñado.
- Falta de paralelismo de los ejes.
- Superficie de apoyo de los dientes insuficiente para la viscosidad del aceite.
- Estado inicial de las superficies muy basto.
- Materiales mal seleccionados o tratamiento superficial inadecuado.

Las partículas contaminantes de tamaño superior a 1µm producen desgaste abrasivo de los engranajes a causa del deslizamiento de los dientes y fatiga superficial a causa de su rodadura.

2.5.1.8. Metales de desgaste en el lubricante usado.

En la tabla 2.5. Se detalla los metales de desgaste en el lubricante usado con su respectivo factor que origina este desgaste. (Tormos, 2009)

Existen dos accesos para que en el lubricante usado este presente material particulado:

- **Contaminación externa:** Silicio (Si), Sodio (Na), Boro (Bo), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg).
- **Desgaste anormal:** Hierro (Fe), Cobre (Cu), Estaño (Sn), Cromo (Cr), aluminio (Al) y Plomo (Pb)

Tabla 2.5.- Tabla de metales de desgaste en el lubricante usado
Fuente: Shell Lubricantes (2014)

METALES DE DESGASTE EN EL LUBRICANTE USADO			
ELEMENTO	DESGASTE	CONTAMINACIÓN	ADITIVO
HIERRO (Fe)			
COBRE (Cu)			
ESTAÑO (Sn)			
ALUMINIO (Al)			
PLOMO (Pb)			
SILICIO (Si)			
SODIO (Na)			
BORO (Bo)			
CALCIO (Ca)			
MAGNESIO (Mg)			
ZINC (Zn)			
FOSFORO (P)			
MOLIBDENO (Mo)			
POTASIO (K)			

Detalle de los metales de desgaste en el lubricante usado y su posible causa

- **Silicio (Si) y Aluminio (Al):** ingreso polvo, arena.
- **Silicio (Si):** aditivo antiespumante.

- **Sodio (Na), Boro (Bo):** aditivo anticongelante a base glicol.
- **Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K):** Agua debido a fugas en el sistema de enfriamiento.
- **Zinc (Zn), Fosforo (P):** aditivos.
- **Silicio (Si), Fosforo (P) y Molibdeno (Mo):** aditivos EP.
- **Cobre (Cu), Boro (Bo) y Magnesio (Mg):** detergentes básicos de aceite motor

En el Figura 2.11 se representa los metales de desgaste presentes en el motor de combustión interna

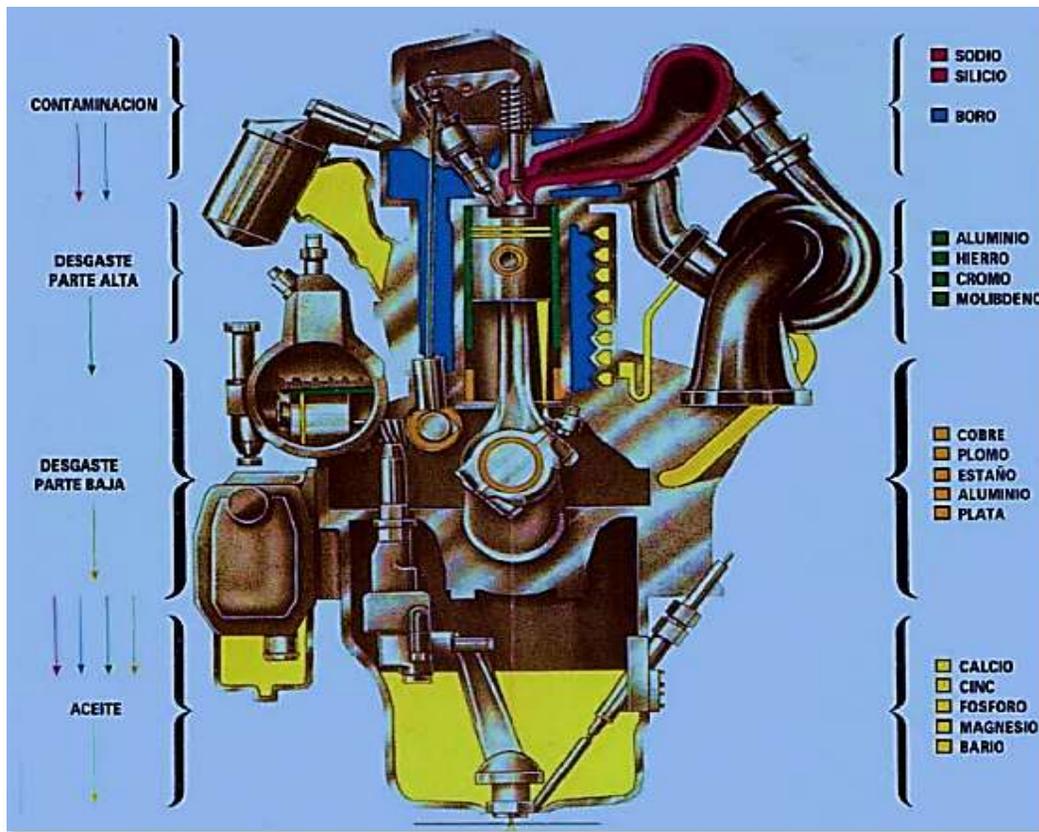


Fig.2. 11.- Metales de desgaste presente en el motor de combustión interna

Fuente: Shell Lubricantes (2014)

Capítulo III

METODOLOGIA DE TRABAJO

3.1. Introducción

En el anterior capítulo se detalló las técnicas aplicables al análisis de aceites lubricantes para el motor. En este capítulo se describirá la importancia del mantenimiento predictivo en función del análisis de aceite según la normativa (ASTM) American Society of Testing Materials (Asociación Americana de Ensayo de Materiales). La metodología de trabajo abarcará el procedimiento para la toma de muestras, la característica del lubricante utilizado para el mantenimiento del aceite utilizado en la flota de camiones y el recomendado por el constructor del motor. Con esta metodología se proyectará el análisis estadístico de datos.

3.2. Mantenimiento de motores.

La importancia de un adecuado y óptimo programa de mantenimiento es importante para conseguir que los motores tengan periodos largos de vida útil sin que su eficiencia se vea disminuida, existen varias técnicas de mantenimiento que pueden ser aplicadas, entre las más conocidas están el mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo, proactivo. Estos tipos de mantenimiento son complementarios uno con otro. En este caso, se busca dar una mejora al mantenimiento preventivo actual que posee la flota de camiones al crear un mantenimiento preventivo de motores basado en análisis de muestras de aceite. Con esta técnica busca evitar la paralización del motor por daños, debido a que se ha llevado a cabo el mantenimiento preventivo de los equipos en lo que corresponde a cambio de fluidos de trabajo y mantenimiento de la estructura externa a nivel interno en los motores no se ha realizado ningún tipo de valoración.(Espinoza, H, 1990)

3.2.1. Técnicas de mantenimiento.

Aunque se tenga un buen plan de mantenimiento, siempre existen elementos mecánicos y circuitos electrónicos que sufren un desgaste pudiendo fallar o sufrir daños. Es por ello que se han determinado ciertas tareas que deben ser aplicadas para garantizar el mayor rendimiento del motor. Siendo las siguientes:

- ***Respecto al desgaste:*** las piezas o partes mecánicas antes de substituir poseen tolerancias máximas de desgaste es por esta razón que se debe conocer. Debido a que estas partes se encuentran lubricados, con la finalidad de evitar una mayor fricción retrasando el tiempo de cambio de dicha pieza o elemento.
- ***Respecto a las fallas:*** Conocido el proceso de desgaste al cual está sometido las partes, se evalúa los pro y contra para corregir o prevenir cualquier emergencia por rotura del elemento y por ende el paro del motor.

Siendo estos dos aspectos fundamentales del principio del mantenimiento teniendo en cuenta que lo que busca un plan de mantenimiento es el eliminar estos aspectos. Para ello a continuación se detalla algunas estrategias y herramientas de mantenimiento.

3.2.1.1 Técnicas de mantenimiento de motores.

Se entiende por técnicas a un conjunto de procedimientos a seguir cuya finalidad es el proteger el equipo o motor y que este no presente fallas antes que suceda. (Guerrero, 2016)

Las técnicas más importantes son:

- ***Mantenimiento Predictivo:*** este tipo de mantenimiento se basa en las probabilidades de que ocurra un defecto porque se han realizado varios controles periódicos de una variable determinada, y una vez que se tienen dichas mediciones se busca establecer la necesidad o no de efectuar trabajos de mantenimiento.

Al establecer un programa de mantenimiento predictivo se debe registrar los datos de la variable a ser valorada respecto al tiempo como se ve en la figura 3.1. De esta manera se tienen una bitácora de los registros hasta que el componente falle, sirviendo estos para predecir fallas.

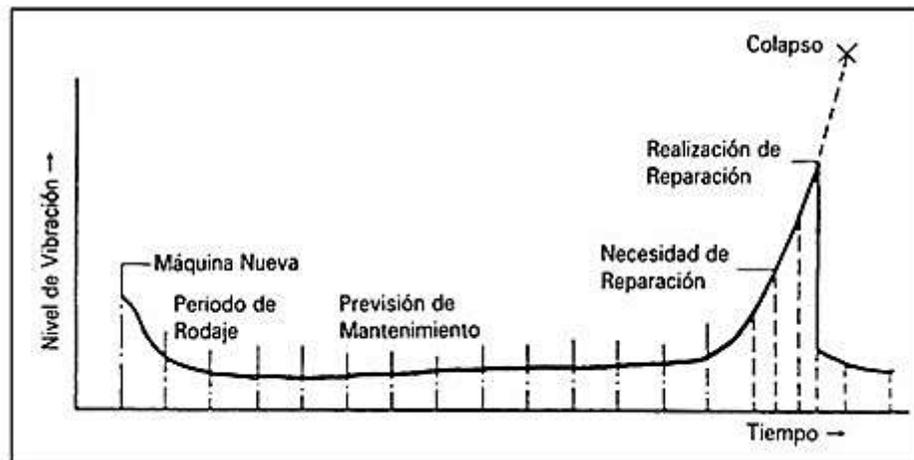


Fig. 3.1.- Evolución de la señal de una máquina
Fuente: Castro G.J.L (2007)

- **Mantenimiento Preventivo:** es la que mayor acogida tiene en la actualidad por su facilidad de aplicación a nivel industrial y por los resultados que presentan en el proceso productivo. La base de todo este proceso radica en la probabilidad de que una falla ocurra. La eficacia de esta técnica está en adelantarse a la falla y no permitir un paro prolongado del equipo.
- **Mantenimiento Correctivo:** este tipo de mantenimiento aparece cuando los mismos tiene una avería y el equipo no puede ser utilizado hasta que el o los elementos averiados sean reparados o cambiados, requiriendo que el equipo este parado y que se tengan piezas de recambio.

- ***Mantenimiento Proactivo:*** este tipo es una variante actual del mantenimiento preventivo su función es el de prevenir la falla en función de un estudio del desgaste. Este tipo de mantenimiento está dirigido a detectar y corregir las causas que generan el desgaste que han sido localizadas, en esta técnica no se permite que los desgastes continúen dependiendo de los límites aceptables de desgaste si estos son mayores la vida útil va disminuyendo.

3.2.2 Características del mantenimiento.

En este ítem debemos considerar que cada empresa busca planificar y organizar toda información de los equipos y sus estados y reparaciones. Siendo su recurso principal la información y parámetros registrados y manejados, proyectando sus resultados. Estos parámetros de desgaste proporcionan información útil para plantear el mantenimiento preventivo mejorando la efectividad del equipo.

3.2.3 Tipos de mantenimiento.

En el presente proyecto debido a la gran importancia del mantenimiento preventivo en la actualidad, el análisis de aceite en los motores Diesel es decisivo para determinar la fiabilidad del equipo en funcionamiento. Hoy en día el análisis de aceite está más desarrollado en función de la tecnología conociendo el estado del aceite una vez empleado.

Las pautas detalladas en los anteriores capítulos tienen como finalidad determinar el estado del equipo y sobre todo determinar si algún elemento móvil presenta condiciones desfavorables que puedan desencadenar un paro por daño en el equipo en este caso el motor de combustión interna de la flota de camiones.

Es por ello que siendo el análisis de aceite un producto de avance tecnológico, es quizá la herramienta más moderna con la que se cuenta en el área de mantenimiento para la búsqueda

de la causa-raíz de la falla de algún elemento o incluso del equipo en sí. También ayuda a predecir fallas en los equipos.

Para obtener el mayor beneficio posible del análisis de aceites, es necesario realizar no solo las pruebas de laboratorio el encontrar contaminantes, partículas metálicas de desgaste y presencia de sustancias extrañas en el aceite.

Por esta razón, dentro de los tipos de mantenimiento que se manejan en la actualidad, el mantenimiento predictivo en función del análisis de aceites aplicando la metodología SACODE, esta metodología ayuda no solo a analizar de manera efectiva las muestras de aceite, sino que a través de una secuencia de pasos o etapas se puede determinar con un alto grado de confiabilidad las posibles fallas en el equipo, ya sea por desgaste de elementos móviles, por fallas en el equipo, por fallas de dispositivos de seguridad o por contaminación del aceite debido a fallas en sistemas de transporte de fluidos dentro del motor.

3.2.3.1 Mantenimiento Preventivo (empleando la metodología SACODE para la interpretación de análisis de aceites)

Este tipo de metodología SACODE lleva su nombre debido a los campos que se tienen que analizar el aceite por etapas ya que dentro de la calidad del aceite se analizará tanto las condiciones iniciales y variaciones propias del aceite, propiedades y sus aditivos (como la salud y degradación del aceite) y la presencia de elementos suspendidos en el aceite que son de naturaleza diferente a los aditivos (contaminación y desgaste de elementos móviles).(David, 2015)

3.2.3.1.1. Aspectos a considerar en la metodología SACODE.

La metodología SACODE se encarga del análisis de las muestras de aceite en base a tres parámetros fundamentales que son *la salud, la contaminación y el desgaste del aceite*. (Noria Corporation, 2012)

- **SALUD:** cambios relacionados con el aceite en si, por ejemplo: viscosidad, contenido de aditivos (fosforo, zinc, calcio, magnesio, bario, etc.), oxidación, sulfatación, nitración, punto de inflamación, índice de viscosidad, número total básico (para aceite de motores), entre otras propiedades.
- **CONTAMINACIÓN:** aquellas sustancias contaminantes presentes en el lubricante, tales como: partículas de tierra y polvo (silicio), agua, solventes, combustibles, materiales del proceso, otros aceites lubricantes, hollín, refrigerante, etc.
- **DESGASTE DE ELEMENTOS MÓVILES:** son las partículas procedentes de la maquinaria y equipo, como hierro, cobre, estaño, aluminio, cromo, entre otros elementos que forman muchas veces parte del recubrimiento.

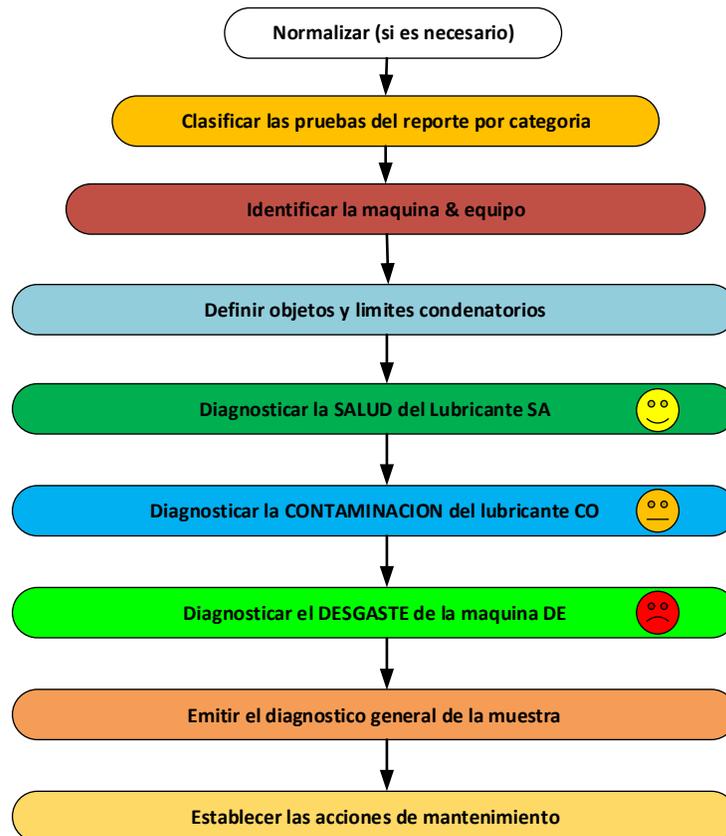
Otros parámetros a ser considerados dentro de la metodología serán:

- Las características iniciales del aceite nuevo que se utilizará en la lubricación del motor y que están determinadas por el fabricante (viscosidad, TAN, TBN, contenido de aditivos- fosforo, zinc, calcio, magnesio, boro). Es primordial contar con la información del fabricante para poder implementar un programa de análisis de aceite seguro.
- Límites o valores de precaución: señalan una condición por sobre la cual se tiene una situación anormal y una acción necesaria.
- Límites o valores críticos: señalan una condición por sobre la cual se tiene una situación crítica y se requiere tomar una acción inmediata.

- Límites de envejecimiento: grado máximo de acidez, de oxidación, de sulfatación, de nitración, de nivel de aditivos, etc.

Además de un análisis de las propiedades de los aceites, es necesario usar ciertos principios de estadística. El cual nos ayudara en el proceso de predicción de fallas.

Para un mejor desempeño del análisis de aceite a continuación se muestra un procedimiento utilizando la técnica SACODE en la Figura 3.2



*Fig. ¡Error! Utilice la pestaña Inicio para aplicar 0 al texto que desea que aparezca aquí.2.- Diagrama SACODE
Fuente: el Autor (2017)*

3.2.3.1.2. Normalización.

La normalización de los datos originales del análisis de aceite se debe realizar cuando las muestras han sido recopiladas en intervalos de tiempo distinto al objetivo y cuando se han

hecho compensaciones de aceite en el motor entre las muestras. Es conveniente realizar estos ajustes para evitar llegar a conclusiones erróneas.

3.2.3.1.3 Identificación de la máquina.

Hace referencia a las diferentes máquinas en las cuales se está realizando el análisis, tomando cada una de las características que nos sirven para el análisis y conclusiones. Tales como marca, modelo, número de serie, año de fabricación, kilometraje, horas de servicio.

3.2.3.1.4 Definir objetivos y límites condenatorios.

Se debe conocer cuáles son los límites permitidos de estas partículas de desgaste en el aceite para llegar a diagnosticar si verdaderamente existe un daño o no en el motor, o si el aceite todavía se encuentra en óptimas condiciones para el correcto funcionamiento del motor.

- Dato normal: dentro del rango normal, es decir entre los límites críticos.
- Dato anormal: también llamados “pivotes” que se utilizan como puntos base de referencia para la calificación del reporte. Estos se encuentran fuera del límite crítico.
- Dato de tendencia se analiza si está dentro de límites normales o críticos

3.2.3.1.5 Línea base.

Son características originales del aceite nuevo que se utilizará en la lubricación del equipo como viscosidad, el TBN, algunos metales. Es esencial contar con la suficiente información de la línea base para poder realizar un análisis de aceite efectivo.

3.2.3.1.6 Limite crítico.

Registran una condición por sobre la cual se tiene una situación crítica y se requiere realizar una acción inmediata. Permite identificar para un respectivo parámetro un dato anormal.

3.2.3.1.7 Parámetros de desgaste (DE).

Al utilizar el método de análisis de aceite, debemos conocer de dónde pueden provenir las partículas de desgaste teniendo en la siguiente tabla los metales de desgaste.

3.2.3.1.7.1 Metales de desgaste.

*Tabla 3.1.- Origen de las partículas metálicas por elemento en un motor
Fuente: Widman.biz (2014)*

MOTOR	HIERRO	COBRE	PLOMO	ALUMINIO	SILICIO	CROMO	ESTAÑO	SODIO	POTASIO
COJINETES		X	X	X			X		
BUJES		X	X	X			X		
ARBOL DE LEVAS	X								
REFRIGERANTE					X	X		X	X
CIGUEÑAL	X								
CAMISA	X					X			
VALVULA ESCAPE	X					X			
COJINETES	X					X			
EMPAQUES					X				
GASOLINA								X	
CARCASA	X		X	X					
TIERRA					X				
ADITIVO					X				
ENFRIADOR OIL		X							
BUJES BOMBA DE ACEITE				X					
BOMBA DE ACEITE	X			X					
PISTONES	X			X					
SEGEMENTOS	X					X			
PROPULSORES		X	X	X			X		
ENGRANAJES DE DISTRIBUCION	X								
TURBO	X			X					
GUIAS DE VALVULA	X	X							
TREN DE VALVULAS	X								
BUJES DE BIELA		X	X	X			X		
BIELAS	X								

La concentración de estos materiales de desgaste en el aceite usado van a depender de la composición de los elementos del motor y la calidad del combustible los metales más frecuentes en el aceite son (Fe), (Cr), (Pb), (Cu) y (Sn). También hay pequeñas cantidades de (Al) y (Ni) presentes.

3.3. Emitir el diagnostico general de la muestra.

Al almacenar las anotaciones y analizar, si los datos con tendencia se relacionan entre si y emitir un diagnóstico de lo encontrado. Las conclusiones del análisis deben estar dentro de contexto de los hechos. Si es posible realizar una investigación de campo. Se debe presentar acciones a tomar hacia el lubricante y por lo tanto con el motor. No se debe dirigir la atención directamente en los datos de desgaste. Encontrar la relación entre los parámetros de cada clase.

3.3.1. Detalle de los límites condenatorios.

Las empresas constructoras de motores y lubricantes invierten grandes cantidades de dinero para realizar estudios sobre los límites condenatorios de los aceites para motores de combustión interna. A continuación presentamos la siguiente tabla.3.2 (los limites absolutos de alarma para aceites para motores) y la tabla 3.3 (límites de las principales indicadores de desgaste y degradación en los aceites de MCI). (Chevron, 2009)(Chevron3, 2012)

Tabla 3.2.- Límites absolutos de alarma para aceites para motores
Fuente: Chevron- Texaco / CONAUTO 2014

Ursa Serie			
Viscosidad 100° C incremento, %	0 -15	15 -20	> 20
Viscosidad 100 °C decremento, %	0-15	15-20	> 20
Hollín, %	0 – 1.5	1.5 -3.0	> 3.0
Agua, %	No	< 0.2	>0.2
Glicol	Negativo		Positivo

Ursa Serie			
Dispersión, %	>80	60 -80	<60
Dilución, %			
Diesel	0-1	1-2	> 20
Gasolina	0-2	2-5	>5.0
Materiales de desgaste, ppm, ASTM D 6595			
Hierro, Fe	< 75	75-100	100
Cobre, Cu	<30	30 -50	>50
Plomo, Pb	<30	30-50	>50
Aluminio, Al	<20	20-40	>40
Cromo, Cr	<15	15-30	>30
Estaño, Sn	<20	20-40	>40
Silicio, Si	<25	25-40	>40

A continuación en la tabla 3.3 se indica los límites críticos para cada parámetro que se establecen para la evaluación de los resultados del análisis del aceite usado. definidos en este proyecto (Chevron4, 2007).

Tabla 3.3.- Límites críticos para el análisis del aceite
Fuente: Chevron- Texaco (2016)

PARAMETRO		LIMITE CRITICO	
Viscosidad	cSt 100	Maximo	16.3
		Minimo	12.5
TBN	mgKOH/g	Maximo	9.5
		Minimo	4.8
Oxidacion	%	Maximo	15.68
Nitracion	%	Maximo	13.01
Sulfatacion	%	Maximo	12.04
Silicio	ppm	Maximo	20
Agua	>0.2%	Negativo	
Hierro	ppm	Maximo	100
Cobre	ppm	Maximo	30
Plomo	ppm	Maximo	30
Cromo	ppm	Maximo	10
Estaño	ppm	Maximo	20
Niquel	ppm	Maximo	10
Aluminio	ppm	Maximo	20

3.4. Análisis del tipo de camión y del lubricante recomendado el fabricante.

3.4.1 Tipo de camión utilizado en el proyecto.

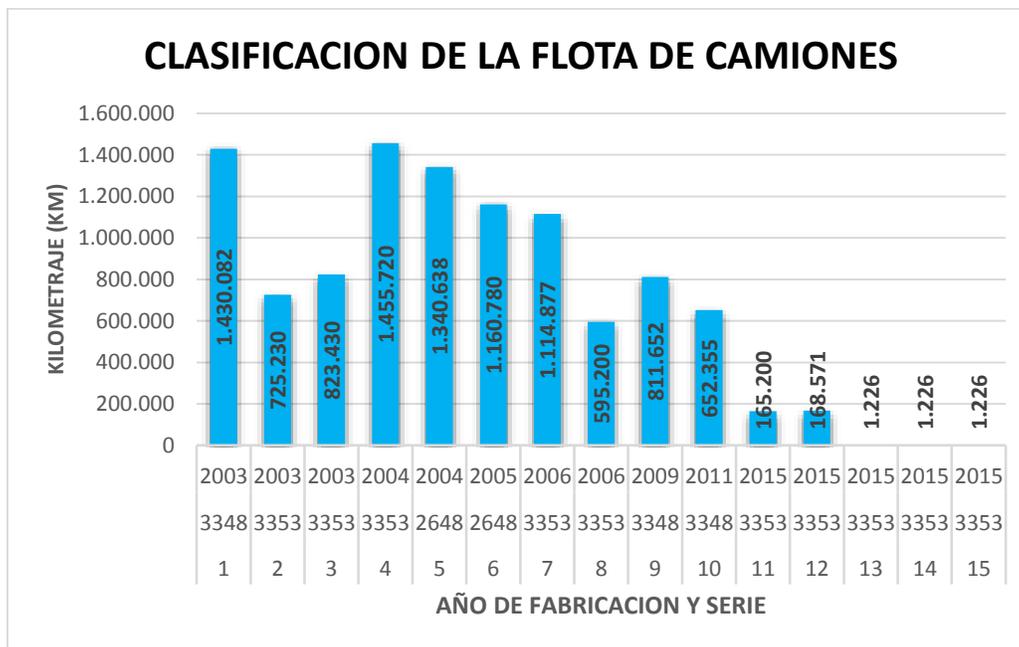
Para este estudio de la determinación del desgaste de los elementos mecánicos del motor mediante el análisis del aceite usado, se tomarán muestras de aceite de la flota de camiones de la Compañía de transporte Moncayo. La flota está compuesta por 6 camiones (L) y 9 tractos camiones (cabezales (S)). Su año de fabricación varía desde el 2003 hasta el 2015. Cabe destacar que la flota no posee ruta de trabajo definida trabajando durante las 24 horas del día. El mantenimiento se lo realiza por kilometraje. Como se puede apreciar en la tabla 3.4 y 3.5.

Tabla 3.4.- Clasificación de la Flota de camiones por año y kilometraje
Fuente: Autor de Proyecto 2017

FLOTA DE CAMIONES DE TRANSPORTES MOCAYO E HIJOS				
UNIDAD	SERIE	AÑO	TIPO	RECORRIDO [Km]
1	3348 L	2003	CL	1.430.082
2	3353 S	2003	CB	725.230
3	3353 S	2003	CB	823.430
4	3353 S	2004	CB	455.720
5	2648 L	2004	CL	1.340.638
6	2648 L	2005	CL	1.160.780
7	3353 L	2006	CL	114.877
8	3353 S	2006	CB	595.200
9	3348 L	2009	CL	811.652
10	3348 L	2011	CL	652.355
11	3353 S	2015	CB	165.200
12	3353 S	2015	CB	168.571
13	3353 S	2015	CB	1.226
14	3353 S	2015	CB	1.226
15	3353 S	2015	CB	1.226

L: camión chasis largo. Conocido como tipo mula
S: tracto camión chasis cortó conocido como cabezal

Tabla 3.5.- Clasificación por año y kilometraje
Fuente: Autor de Proyecto 2017



El tracto camión utilizado es de la Marca Mercedes Benz como se ve en la figura 3.3



*Fig.3.3.- Tracto camión Mercedes Benz serie 3343 S
Fuente: Autolider Mercedes Benz 2016*

3.4.2 Descripción del motor.

El Motor de los camiones y tracto camiones de la marca Mercedes Benz serie OM502 están compuestos por 8 cilindros en V a 90 ° como se ve en la figura 3.4 y 3.5. En la tabla 3.6 se detalla de mejor manera las características del motor Mercedes Benz (Benz, 2016)



Fig.- ¡Error! Utilice la pestaña Inicio para aplicar 0 al texto que desea que aparezca aquí.4.- Motor Mercedes Benz OM502 V8

Fuente: Mercedes Benz 2016
Tabla 3.6.- Descripción del motor Mercedes Benz
Fuente: Mercedes Benz 2016

Modelo	MB OM-502 LA Euro III, con mando electrónico
Tipo	8 cilindros en "V", turbocooler
Cilindrada	15.928 cm ³
Potencia máxima (ISO 1585)	390 kW (530 cv) a 1.800 rpm
Par motor máximo (ISO 1585)	2.400 Nm a 1.080 rpm

Descripción de la serie 500 esta describe en la figura 3.5

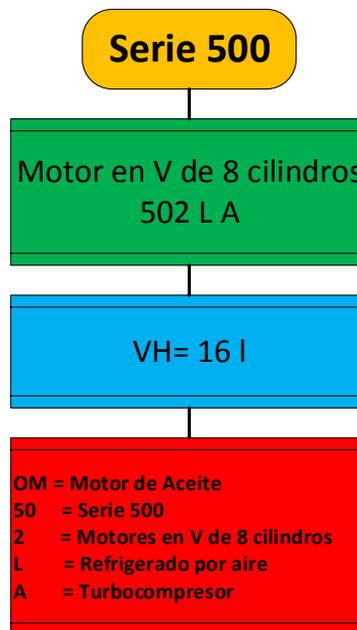


Fig. 3.5.- Descripción del Motor Mercedes Benz OM 502 V8
Fuente: Centro de Entrenamiento Kaufmann/ Mercedes Benz 2016

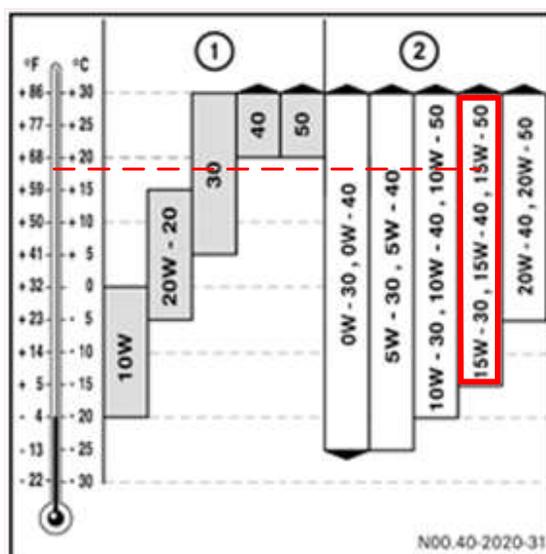
3.4.2.1 Características del aceite recomendado por Mercedes Benz.

Mercedes Benz como fabricante mundial de autos y camiones da algunas indicaciones entre las cuales están el tipo de aceite que se debe utilizar para realizar el mantenimiento en lo que respecta al cambio de aceite del motor para su modelo Actros 3343 OM502 (Benz, 2009).

Los aceites de motor monogrados cubren solamente una clase SAE (viscosidad en determinados márgenes de temperatura cambie). El aceite del motor en correspondencia con las clases SAE y en función de la estación del año y de las temperaturas exteriores. La normativa del tipo de aceite utilizado para el motor OM502 se puede ver en el anexo 1.

A temperatura ambiente por debajo de los $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, Mercedes-Benz le recomienda encarecidamente utilizar aceites de motor de la clase SAE 5W-30.

En la figura 3.6 se aprecia los tipos de aceite según norma SAE de los aceites del motor recomendados por Mercedes Benz. En los cuales se pueden ver con el 1 los aceites para motor monogrados y con el 2 los aceites para el motor los multigrado. (Benz, 2016)



*Fig. 6.- Clases de SAE de los aceites de motor (viscosidad)
Fuente: Mercedes Benz 2016*

Los intervalos de cambio de aceite dependen:

- De las condiciones de servicio del vehículo
- De la calidad del aceite de motor utilizado
- Elija la clase SAE de aceite de motor de acuerdo con la temperatura exterior.

3.5 Características del aceite utilizado por la flota de camiones.

La compañía de transporte Moncayo mantiene generalizado para toda su flota de camiones y tracto camiones con un único lubricante. El aceite utilizado es URSA PREMIUN TDX SAE 15W40 proporcionado por la empresa CONAUTO. Este lubricante cumple con las especificaciones API CI-4, ACE E7-08 y SAE 15W40. Como se ve en la tabla 3.7. Para más características del lubricante utilizado ver anexo 2.(Texaco/Chevron, 2009)

Tabla 3.7.- Características del aceite Ursa TDX 15W40
Fuente: Manual Ursa Premium TDX SAE 15W40 2009

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR	ENSAYO
Viscosidad Cinemática	cSt a 40° C	14,8	D445
Viscosidad Cinemática	cSt a 100° C	113,3	D445
Punto de Inflamación	° C	250	D92
Densidad	a 15 ° C Kg/L	0,877	D4052
Viscosidad a baja temperatura	-20 ° C cP	6070	D5293
Índice de viscosidad		140	D2270
Punto de inflamación	° C	250	D92
Punto de fluidez	° C	-33	D97
Numero base total (TBN)	mgKOH/g	9,5	D2896

3.6 Procedimiento para tomar muestra de aceite.

3.6.1 Toma de muestras de aceite motor.

Al momento de realizar la toma de muestras para luego estas ser enviadas al laboratorio se debe tomar en cuenta ciertos aspectos para evitar interpretaciones erróneas de los resultados.

Y así evitar diagnosticar erróneamente el estado del motor.

Los aspectos para la toma de muestras de aceite deben cumplir ciertas condiciones para que la calidad de la misma no se vea afectada siendo los siguientes:

- El Motor debe estar a la temperatura de operación esto quiere decir que el motor no necesariamente debe estar en funcionamiento.
- Evitar tomar la muestra directamente de la base del cárter, debido a que allí es donde se acumulan depósitos, lodos.
- Si se desea información específica de la cantidad de material de desgaste dentro del motor se recomienda que la muestra sea tomada del cárter.
- Las muestras se recolectan en envases específicos limpios y secos para luego ser enviados al laboratorio. Como se ve en la figura 3.7(Guerrero, 2016)



MUESTRA DE ACEITE USADO
MTC (Muestra de Tercera Clase)

CONAUTO

Muestra de: Motor Transmisión Diferencial Hidráulico Otro

Marca: _____
Cilindro: _____
Litros: _____
Fecha: _____
Kilómetros: _____
Tipo de aceite: _____
Temperatura: _____
Estado: _____

CONAUTO S.A. | AV. 1000 | QUITO - 1541513 | COCHABAMBA - 3063299 | BUENOS AIRES - 1841447 | STO. DOMINGO - 3151439 | MANTA - 2625282



Fig. 3.7.- Etiquetas y envase para la recolección de muestra de aceite usado
Fuente: CONAUTO S.A, 2016

En este proyecto de investigación la toma de muestras se la realizó con bomba de vacío. Siendo este el método más fácil de ser utilizado en la cual esta bomba tiene en su base una rosca en donde se instala el recipiente para la toma de la muestra. Esto se hace directamente desde el depósito del aceite o del cárter hacia el recipiente. Como se ve en la figura. 3.8



*Fig. 3.8.- Bomba de vacío y envase para la recolección de muestra de aceite
Fuente: Autor del Proyecto 2017*

3.6.2 Proceso para la toma de muestras de aceite.

En el proceso a seguir en este proyecto de investigación es el siguiente:

- Estacionamos el camión en un lugar plano como se ve en la figura 3.9



*Fig. 3.9.- Aparcamiento del camión en un lugar plano
Fuente: Autor del proyecto 2017*

- Tener el motor del camión a temperatura normal de funcionamiento para luego proceder a apagar el motor del camión. Y por seguridad activamos la palanca de freno de estacionamiento.
- Se procede a roscar el recipiente en la bomba de vacío.
- Instalamos la cañería para succionar el aceite siendo este introducido por el conducto de toma de llenado del aceite, debido a que la cañería de succión pasa directamente al cárter del motor haciendo más fácil la toma de la muestra.



***Fig. 3.10.- Bomba de vacío con el envase para tomar la muestra
Fuente: Autor del proyecto 2017***

- Se succiona el aceite con la ayuda de la bomba hasta el nivel indicado (50ml) lo requerido por el laboratorio.



***Fig. 3.111.- Toma de la muestra
Fuente: Autor del proyecto 2017***

- Luego de tomar la muestra se procede a desenroscar el recipiente de la bomba de vacío para tapar y se procede a etiquetar la muestra con los datos del camión como el kilometraje total y de servicio, tipo de lubricante, procedencia de la muestra, fecha, características del lubricante utilizado.



Fig. 3.112.- Muestra de aceite usado y etiquetado para ser enviado al laboratorio
Fuente: Autor del Proyecto 2017

- Luego de tomar la muestra ingresamos los datos una ficha de información de cada uno de los tracto camiones para tener un control del número de muestras por tracto camión. Como se ve en la tabla 3.5. En donde se describirá los datos de cada uno de los camiones.
- Luego la muestra es enviada al laboratorio de SWISSOIL en la ciudad de Guayaquil. (CONAUTO, 2016)
- Detalle de la tabla 3.5 donde se anota los datos del tracto camión al ser tomado la muestra.

Tabla 3.8.- Detalle de ficha de control de la toma de muestras de cada unidad
Fuente: Autor del proyecto 2017

INFORMACION DE FLOTA DE CAMIONES DE TRANSPORTES MIGUEL MONCAYO S. E HIJOS LTDA		
Marca	Mercedes Benz	
Serie	3348	
Año de Fabricacion	2003	
Placa	UAH679	
Numero de Flota	1	
Numero de Motor	OM501	
Kilometraje actual	1.431.503Km	
Conductor	Roberto Valdez	
Telefono celular	s/n	
CAMBIOS DE ACEITE REALIZADOS		
Fecha de cambio de Aceite	13 de Marzo del 2017	Observaciones: El cambio de Aceite de motor se los realiza aproximadamente entre los 7000 a 8000 Km de recorrido. Se le asigno el numero 1 en la flota para este proyecto de investigacion
Kilometraje	1.431.503 Km / 7000 Km	
Fecha de cambio de Aceite	01 de Abril del 2017	
Kilometraje	1.438.772 Km / 7.200 Km	
Fecha de cambio de Aceite	24 de Abril del 2017	
Kilometraje	1.446.173 Km / 7.200 Km	

En el anexo 3 se muestra una de las fichas modelo para el control en la flota de camiones. Mientras que en el anexo 4 se muestra el detalle de los resultados realizados por el laboratorio SWISSOIL.

Capítulo IV

DETERMINACIÓN DEL DESGASTE DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOTOR MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ACEITE USADO

4.1 Conceptos estadísticos para el análisis de datos.

4.1.1 Tamaño de la muestra

El monitoreo y análisis del aceite usado del motor en la flota de camiones para determinar los metales de desgaste de los elementos mecánicos del motor, fue mediante un seguimiento a las 15 unidades de la flota, entre las cuales está compuesta por 6 camiones y 9 tracto camiones. La cantidad de muestras a ser analizadas está en función del Kilometraje recorrido en un mes por cada unidad de la flota. Según registro de control cada uno realiza 2 cambios de aceite del motor al mes teniendo como resultado 24 cambios de aceite por unidad al año. Para el análisis planteamos tomar 3 muestras en periodos de 7000 a 8.000 kilómetros por unidad de la flota de la siguiente manera.

Numero de muestras	Kilómetros recorridos
1ra muestra de aceite	0 a 7.000 Km
2da muestra de aceite	7.000 a 14.000 Km
3ra muestra de aceite	14.000 a 21.000 km

Teniendo un total de 45 muestras de aceite enviadas al laboratorio en un periodo de 7.000 Km de cambio. La metodología estadística a utilizar en este proyecto para interpretar los resultados teniendo una población a ser analizada de 15 unidades de la flota con iguales características el motor. Las herramientas estadísticas a utilizar son las siguientes:

4.1.2. Concepto y métodos de cálculo de centro y variabilidad.

4.1.2.1 Media o promedio

La medida de localización más importante es la media, o valor promedio, de una variable. La media proporciona una medida de localización central de los datos.

La ecuación 4.1 es para determinar la media muestral cuando se tiene una muestra de n observaciones

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (4.1)$$

En donde el numerador es la suma de los valores de las n observaciones es decir $x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_n$

Para calcular la media de una población se usa la fórmula 4.1, pero cambia la notación para indicar que trabaja con toda la población. El número de observaciones una población se denota N y el símbolo para la media poblacional es μ . (Stephens, 2009)

$$\mu = \frac{\sum x_i}{N} \quad (4.2)$$

4.1.2.2 Rango.

La medida de dispersión más simple es el rango o recorrido. El rango es simplemente la diferencia entre la observación más alta y la más baja. Si el rango es grande indica que los datos están muy dispersos, mientras que si tiene un valor reducido, indica que existen concentración y cercanía entre los datos. (Stephens, 2009)

4.1.2.3 Varianza de una población (σ^2) y de una muestra (s^2).

La varianza es una medida de variabilidad que utiliza todos los datos. La varianza está basada en la diferencia entre el valor de cada observación (x_i) y la media, si se trata de una muestra, una desviación respecto de la media se escribe $(x_i - \bar{x})$, y si se trata de una población se escribe

$(x_i - \mu)$. Para calcular la varianza, estas desviaciones respecto de la media se elevan al cuadrado.

Si los datos son de una población, el promedio de estas desviaciones elevadas al cuadrado es la varianza poblacional. La varianza poblacional se denota con la letra griega σ^2 . En una población en la que hay N observaciones y la media poblacional es μ , la varianza poblacional se define como sigue.(Stephens, 2009)

$$\sigma^2 = \frac{(\sum(x_i - \bar{x})^2)}{N} \quad (4.3)$$

En la mayor parte de las aplicaciones de la estadística, los datos a analizar provienen de una muestra. Al calcular la varianza muestral, lo que interesa es estimar la varianza poblacional σ^2 . La varianza muestral que se obtiene constituye un estimador no sesgado de la varianza poblacional. Por esta razón, la varianza muestral, que se denota por s^2 , se define como sigue.

$$s^2 = \frac{(\sum(x_i - \bar{x})^2)}{n - 1} \quad (4.4)$$

4.1.2.4 Desviación estándar.

La desviación estándar se define como la raíz cuadrada positiva de la varianza. Continuando con la notación adoptada para la varianza muestral y para la varianza poblacional, se emplea s para denotar la desviación estándar muestral y σ para denotar la desviación estándar poblacional. La desviación estándar se obtiene de la varianza como sigue.(Stephens, 2009)

$$\textit{Desviación estandar muestral} = s = \sqrt{s^2} \quad (4.5)$$

$$\textit{Desviación estandar poblacional} = \sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (4.6)$$

4.1.3. Regresión lineal.

La regresión lineal simple, se puede obtener una ecuación que muestre cuál es la relación entre la variable dependiente y y la variable independiente x .

A la ecuación con que se describe cómo se relaciona y con x y en la que se da un término para el error, se le llama modelo de regresión. El siguiente es el modelo que se emplea en *la regresión lineal simple*.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon \quad (4.7)$$

β_0 y β_1 se conocen como los parámetros del modelo, y ϵ (la letra griega épsilon) es una variable aleatoria que se conoce como término del error. El término del error da cuenta de la variabilidad de y que no puede ser explicada por la relación lineal entre x y y .

A la ecuación que describe la relación entre el valor esperado de y , que se denota $E(y)$, y x se le llama ecuación de regresión. La siguiente es la ecuación de *regresión para la regresión lineal simple*.

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (4.8)$$

La gráfica de la ecuación de regresión lineal simple es una línea recta; β_0 es la intersección de la recta de regresión con el eje y , β_1 es la pendiente y $E(y)$ es la media o valor esperado de y para un valor dado de x . (Mendenhall, W, 2010)

Si se conocieran los valores de los parámetros poblacionales β_0 y β_1 , se podría emplear la ecuación (4.8) para calcular el valor medio de “ y ” para un valor dado de “ x ”. Sin embargo, en la práctica no se conocen los valores de estos parámetros y es (4.9) o estimarlos usando datos muestrales. Se calculan estadísticos muestrales (que se denotan b_0 y b_1) como estimaciones de los parámetros poblacionales β_0 y β_1 . Sustituyendo en la ecuación de regresión b_0 y b_1 por los valores de los estadísticos muestrales β_0 y β_1 , se obtiene la ecuación

de regresión estimada. La ecuación de regresión estimada de la regresión lineal simple se da a continuación.

$$\hat{y} = b_0 + b_1x$$

A la gráfica de la ecuación de regresión simple estimada se le llama **recta de regresión estimada** b_0 es la intersección con el eje “y” y b_1 es la pendiente.

4.1.4. Mínimos cuadrados.

El método de mínimos cuadrados es un método en el que se usan los datos muestrales para hallar la ecuación de regresión estimada. Los diagramas de dispersión para el análisis de regresión se trazan colocando la variable independiente x en el eje horizontal y la variable dependiente y en el eje vertical.

El diagrama de dispersión permite observar gráficamente los datos y obtener conclusiones acerca de la relación entre las variables.

En el método de mínimos cuadrados se usan los datos muestrales para obtener los valores de b_0 y b_1 que minimicen la suma de los cuadrados de las desviaciones (diferencias) entre los valores observados de la variable dependiente “yi” y los valores estimados de la variable dependiente.

Se puede usar cálculos diferenciales para demostrar que los valores de b_0 y b_1 que minimiza la expresión se pueden encontrar usando las ecuaciones (4.10) y (4.11). (Mendenhall, W, 2010)

(4.10)

$$b_1 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum((x_i - \bar{x}))^2}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1\bar{x} \quad (4.11)$$

Donde:

x_i = valor de la variable independiente n la observación i

y_i = valor de la variable dependiente en la observación i

\bar{x} = media de la variable independiente

\bar{y} = media de la variable dependiente; n = número total de observaciones

4.2. Análisis del TBN.

Como se indicó en el capítulo dos el TBN es considerado en la metodología SACODE. Como un parámetro de salud, esto quiere decir que el aceite si está apto o no para continuar su funcionamiento. Como se ve en la tabla 4.1 se indica el valor del TBN de cada tracto camión de la flota.

Tabla 4.1.- Tabla de TBN del análisis de aceite usado en la flota de camiones
Fuente: Autor del proyecto 2017

TBN OBTENIDO DEL ANALISIS DEL ACEITE USADO EN LA FLOTA DE CAMIONES					
UNIDAD	SERIE	AÑO	KILOMETRAJE (Km)	KILOM. SERVICIO (Km)	TBN (mgKOH/g)
1	3348	2003	1,430,082.00	7223	8.90
2	3353	2003	725,230.00	7767	9.22
3	3353	2003	823,430.00	7500	9.76
4	3353	2004	1,455,720.00	7800	9.18
5	2648	2004	1,340,638.00	8703	9.16
6	2648	2005	1,160,780.00	7900	9.05
7	3353	2006	1,114,877.00	9667	9.50
8	3353	2006	595,200.00	7833	9.57
9	3348	2009	811,652.00	8149	9.62
10	3348	2011	652,355.00	7771	8.86
11	3353	2015	165,200.00	9205	9.67
12	3353	2015	168,571.00	8957	9.54
13	3353	2015	1,226.00	8486	9.44
14	3353	2015	1,226.00	8600	9.66
15	3353	2015	1,226.00	8420	9.48
			MEDIA MUESTRAL		9.37
			DESVIACION ESTANDAR		0.29
			LIMITE MAXIMO		9.5
			LIMITE MINIMO		4.8

De la tabla 4.1 la tabulación y grafica de los datos obtenidos del análisis del aceite usado teniendo la figura 4.1 donde se ve el comportamiento de TBN con sus respectivos límites condenatorios.

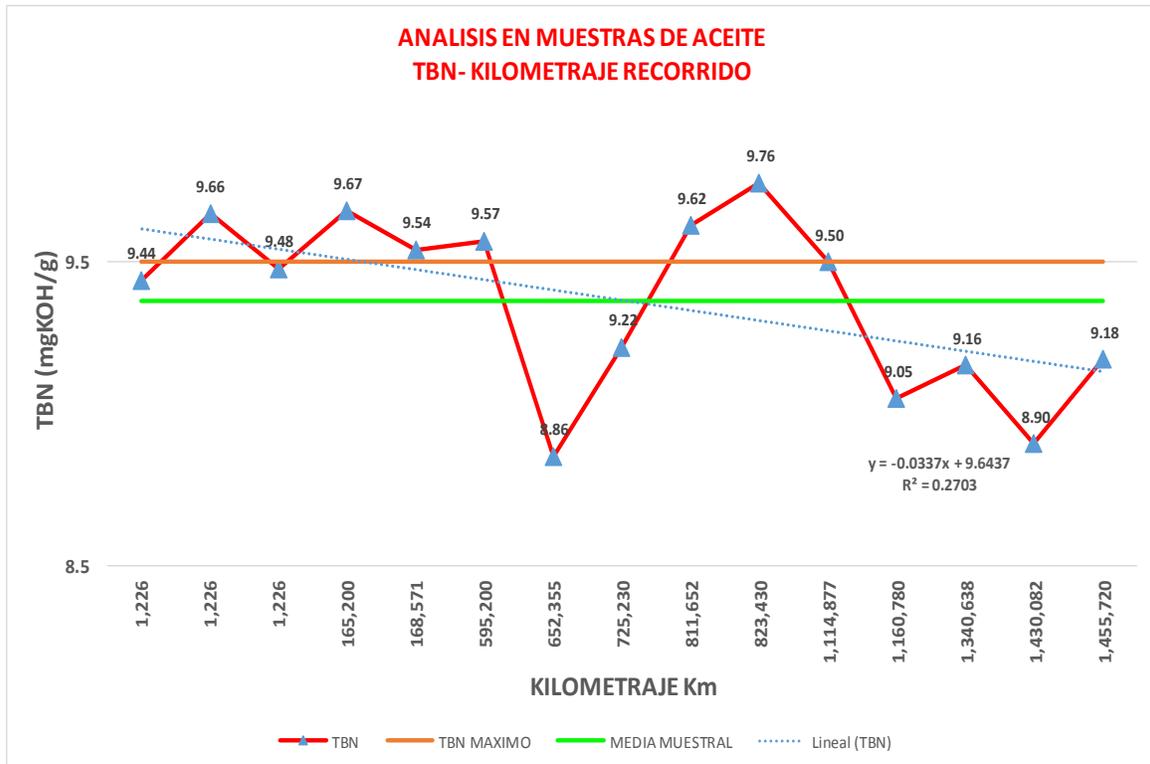


Fig.4.1.-Comportamiento del TBN del aceite Ursa Premium TDX 15W40
Fuente: Autor del proyecto 2017

En la figura 4.1 se presenta el comportamiento del TBN en función de kilometraje recorrido de los camiones y tracto camiones de toda la flota. Desde un tracto camión nuevo con 1.226 Km de recorrido hasta con 1.455.720 Km de recorrido. Presentando los resultados obtenidos para el análisis del TBN, vale recalcar que para el análisis de la toma de muestras se tomaron en un periodo de 7000 Km.

En la figura 4.1 el comportamiento del TBN, el límite máximo es de 9.5 mgKOH/g. teniendo en cuenta que el valor máximo es el valor original para aceite nuevo. Si el TBN superaría el valor límite mínimo de 4.8 mgKOH/g. El aceite ya no serviría debido a que no cumple con su misión de neutralizar los ácidos. Siendo motivo para renovar el lubricante del motor.

Para nuestro análisis todas las unidades de la flota el TBN están en un rango aceptable teniendo como resultado que el lubricante está apto para continuar su servicio y no existe problemas asociados a la corrosión.

Otro aspecto que debemos poner énfasis es el combustible (Diesel Premium) utilizado por la flota de camiones.

“En el Ecuador se producen tres tipos de diésel: el Diesel Premium con un contenido máximo de azufre de 0,05%, el Diesel 2 con un máximo de azufre 0,70% y el Diesel 1 con un máximo de azufre 0,30%. El primero está destinado solo para el Distrito Metropolitano de Quito y Cuenca, por requerimiento de sus Municipios conseguidos a través de Ordenanzas Municipales; el segundo es el más comercializado distribuyéndose a nivel nacional; mientras que el tercero es prácticamente de uso restringido para las Industrias que lo requieren”. (Ron, 2012).

Cabe recordar que el azufre en el combustible se transforma en productos acidicos, en la combustión. Siendo así que la reserva alcalina del aceite debe ser mayor cuanto mayor es la cantidad de azufre posea el combustible, incrementándose la cantidad de compuestos ácidos. Bajos niveles de TBN tienden a crear una corrosión acida aumentando así la tasa de desgaste del motor, reduciendo la vida útil de los componentes. Niveles altos de TBN generan depósitos en el Motor

4.3 Análisis de Viscosidad.

Otro aspecto de análisis es la viscosidad es tomado como un parámetro de Salud en la metodología SACODE indica el estado del aceite.

El análisis de la viscosidad es la propiedad más importante al momento de realizar un monitoreo. Para este proyecto de estudio en el siguiente tabla 4.2 se indica la viscosidad de cada uno de los tracto camiones de la flota

Tabla 4.2.- Tabla de Viscosidad del análisis de aceite usado en la flota de camiones
Fuente: Autor del proyecto 2017

UNIDAD	SERIE	AÑO	KILOMETRAJE (Km)	KILOM. SERVICIO (Km)	VISCOSIDAD (cSt 100°)
1	3348	2003	1,430,082	7223	12.235
2	3353	2003	725,230	7767	14.495
3	3353	2003	823,430	7500	13.73
4	3353	2004	1,455,720	7800	13.73
5	2648	2004	1,340,638	8703	12.875
6	2648	2005	1,160,780	7900	13.145
7	3353	2006	1,114,877	9667	13.195
8	3353	2006	595,200	7833	13.62
9	3348	2009	811,652	8149	13.775
10	3348	2011	652,355	7771	13.36
11	3353	2015	165,200	9205	13.095
12	3353	2015	168,571	8957	13.16
13	3353	2015	1,226	8486	13.43
14	3353	2015	1,226	8600	12.48
15	3353	2015	1,226	8420	13.28
MEDIA MUESTRAL					13.307
DESVIACION ESTANDAR					0.54967133
MAXIMO CONDENATORIO					16.3
MINIMO CONDENATORIO					12.5

Al graficar la anterior tabla se tiene la variación de viscosidad en función del kilometraje recorrido como se puede ver en la siguiente figura 4.2

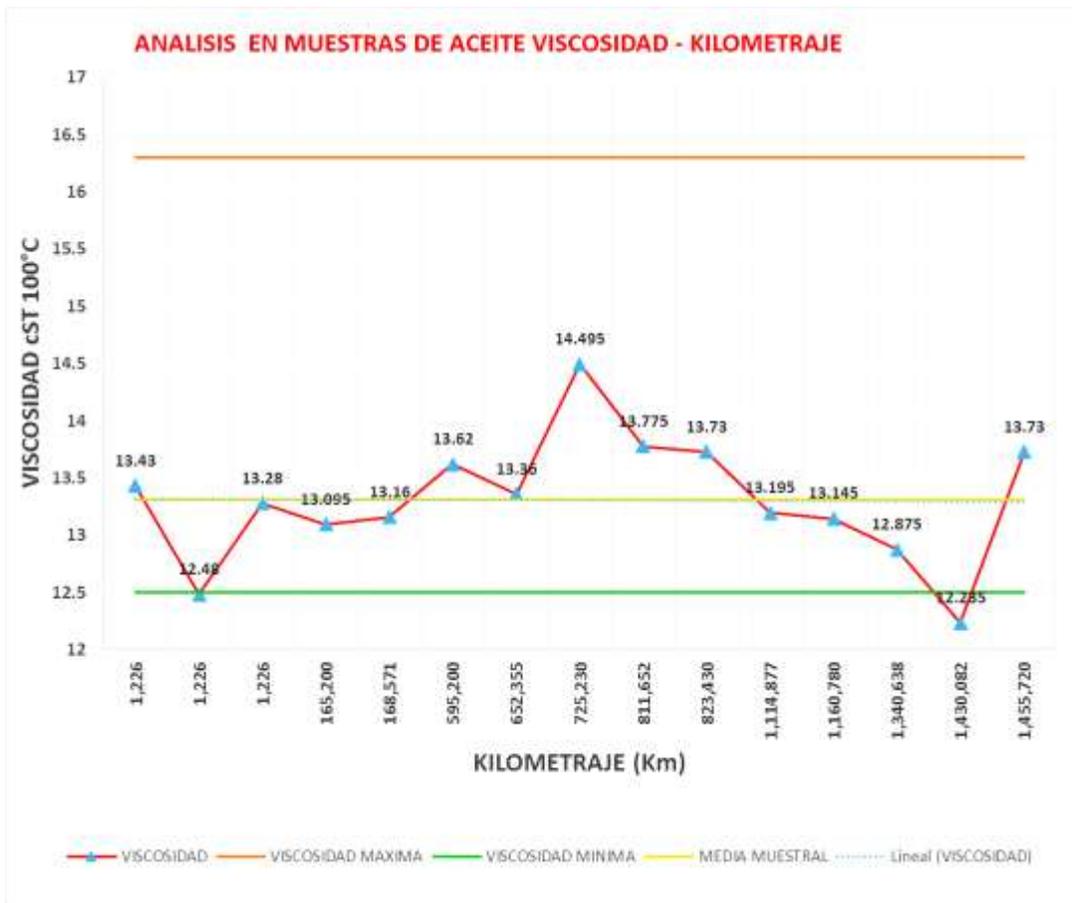


Fig.4.2.- Comportamiento de la Viscosidad del aceite Ursa Premium TDX 15W40
Fuente: Autor del proyecto 2017

Los datos de viscosidad de cada uno de las unidades de la flota de camiones tomadas a un rango de kilometraje recorrido desde 1.226 Km que es un tracto camión nuevo hasta un tracto camión con un kilometraje de 1.455.720 Km de recorrido. Las muestras de aceite tomadas varían desde los 7.000 km a 9.000 km. En la figura 4.2 se observa el límite máximo de 16.3 cSt 100°C y el límite mínimo de 12.5 cSt 100°C y una media muestral de 13.3 cSt 100° C.

En el cual los valores de viscosidad si están por encima del límite mínimo y por debajo del máximo. Están en un rango aceptable teniendo como resultado que el lubricante está apto

para continuar su servicio. Existen dos valores de viscosidad. En las unidades # 14 y la # 01, las muestras tomadas a un kilometraje de 1.226 Km y 1.430.082 Km. el índice de viscosidad están por debajo del límite. Para que exista un valor bajo de viscosidad puede ser por diversos factores entre los cuales están: dilución con combustible, alta presencia contenido de hollín, contaminación con agua, contaminación con fluido enfriador, intervalos de cambio de aceite muy extendidos, mezcla de lubricantes, deterioro de los aditivos, uso de lubricante inadecuado.

4.4 Análisis de los materiales de desgaste.

Para el análisis de los materiales de desgaste en este proyecto realizamos una comparación entre toda la flota, tomando las muestras de aceite de tracto camiones más relevantes en su kilometraje de servicio, es decir desde 1200km a 100.000 km a 600.000 a 800.000 km a 1.200.000 km a 1.400.000 km. La empresa Autolider representante Mercedes Benz en Ecuador brindo el apoyo para la toma de una muestra de aceite a un tracto camión con un kilometraje de servicio de 1.200 km de iguales características que la flota de camiones de Transportes Moncayo para comparar con los análisis de las muestras de aceite.

4.4.1 Análisis del material de desgaste: Cromo (Cr)

Al obtener los datos del análisis de las muestras de aceite de la flota de camiones estos son tabulados y graficados en la tabla 4.3 se aprecia la variación del material de desgaste en este caso el cromo en función del kilometraje recorrido

Tabla 4.3.- Tabla de material de desgaste: Cromo en la flota de camiones
Fuente: Autor del proyecto 2017

DATOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE ACEITE MATERIAL DE DESGASTE CROMO					
UNIDAD	SERIE	AÑO	KILOMETRAJE (Km)	KILOM. SERVICIO (Km)	CROMO (ppm)
1	3348	2003	1430082	7223	11
2	3353	2003	725230	7767	0
3	3353	2003	823430	7500	3
4	3353	2004	1455720	7800	10
5	2648	2004	1340638	8703	9
6	2648	2005	1160780	7900	5
7	3353	2006	1114877	9667	7
8	3353	2006	595200	7833	1
9	3348	2009	811652	8149	0
10	3348	2011	652355	7771	0
11	3353	2015	165200	9205	1
12	3353	2015	168571	8957	1
13	3353	2015	1226	8486	14
14	3353	2015	1226	8600	10
15	3353	2015	1226	8420	9
16	3353	2016	1200	1200	12
MEDIA MUESTRAL					5.73
DESVIACION ESTANDAR					5.01
LIMITE MAXIMO					10
LIMITE MINIMO					0

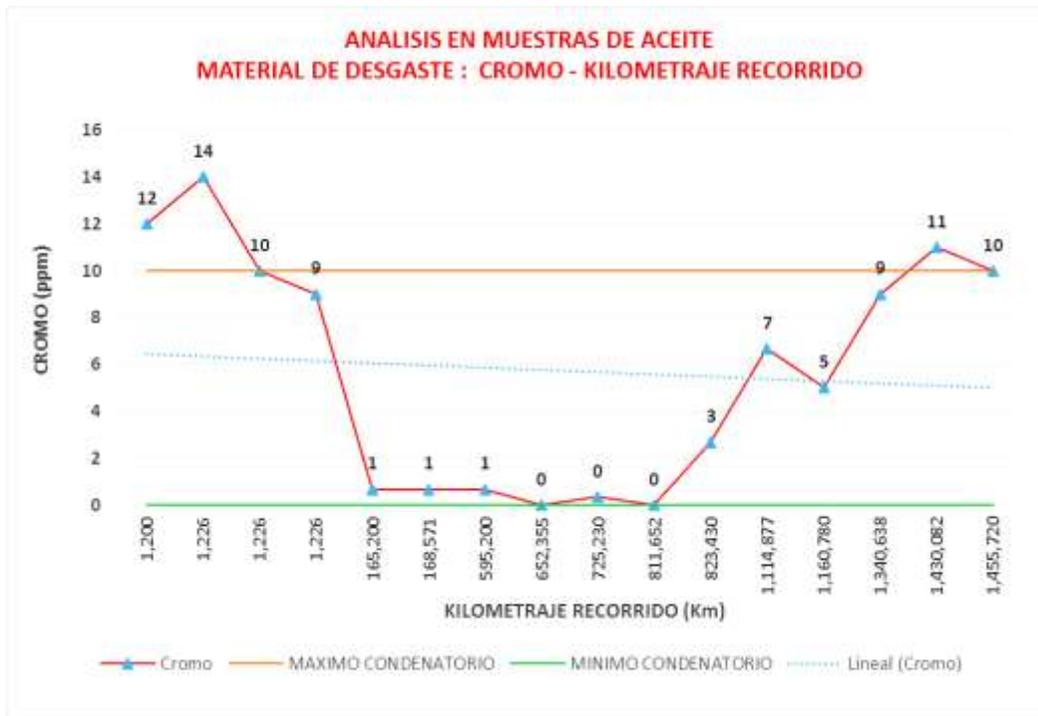


Fig.4.3.- Comportamiento del material de desgaste del Cromo
Fuente: Autor del proyecto 2017

En la figura 4.3 se aprecia la variación del cromo cuando el tracto camión posee poco recorrido este tiende a sobrepasar el valor máximo a 12 ppm. Pero el material de desgaste se va reduciendo hasta llegar a estabilizarse sobre el valor mínimo de 0 ppm con un kilometraje que varía entre los 150.000 Km a 900.000 Km. Al incrementar el kilometraje recorrido se ve que se incrementa hasta llegar a los 11 ppm cuando el kilometraje recorrido llega a 1.300.000 a 1400.000 aproximadamente el material de desgaste se incrementa hasta superar el límite. La presencia de cromo en el análisis de las muestras de aceite de la flota se puede dar por la presencia de desgaste en los rines de los pistones y cilindros (camisas), debido a varios factores como temperaturas anormales de trabajo, degradación en el aceite debido a contaminación con refrigerante o combustible. En otro elemento mecánico que indica el inicio de desgaste por la presencia de cromo en la muestra de aceite esta las válvulas de escape y en los cojinetes de biela y bancada.

4.4.2 Análisis del material de desgaste: Níquel (Ni)

Los datos obtenidos en el análisis de aceite usado en la flota de camiones demuestran la no presencia de níquel; en la tabla 4.4 y la figura 4.4.

Tabla 4.4.- Tabla de material de desgaste: Níquel en la flota de camiones
Fuente: Autor del proyecto 2017

DATOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE ACEITE MATERIAL DE DESGASTE NIQUEL					
UNIDAD	SERIE	AÑO	KILOMETRAJE (Km)	KILOM. SERVICIO (Km)	NIQUEL (ppm)
1	3348	2003	1,430,082	7223	0
2	3353	2003	725,230	7767	0
3	3353	2003	823,430	7500	0
4	3353	2004	1,455,720	7800	0
5	2648	2004	1,340,638	8703	0
6	2648	2005	1,160,780	7900	0
7	3353	2006	1,114,877	9667	0
8	3353	2006	595,200	7833	0
9	3348	2009	811,652	8149	0
10	3348	2011	652,355	7771	0
11	3353	2015	165,200	9205	0
12	3353	2015	168,571	8957	0
13	3353	2015	1,226	8486	0
14	3353	2015	1,226	8600	0
15	3353	2015	1,226	8420	0
16	3353	2016	1,200	1200	0
MEDIA MUESTRAL					0
DESVIACION ESTANDAR					0
LIMITE MAXIMO					10
LIMITE MINIMO					0

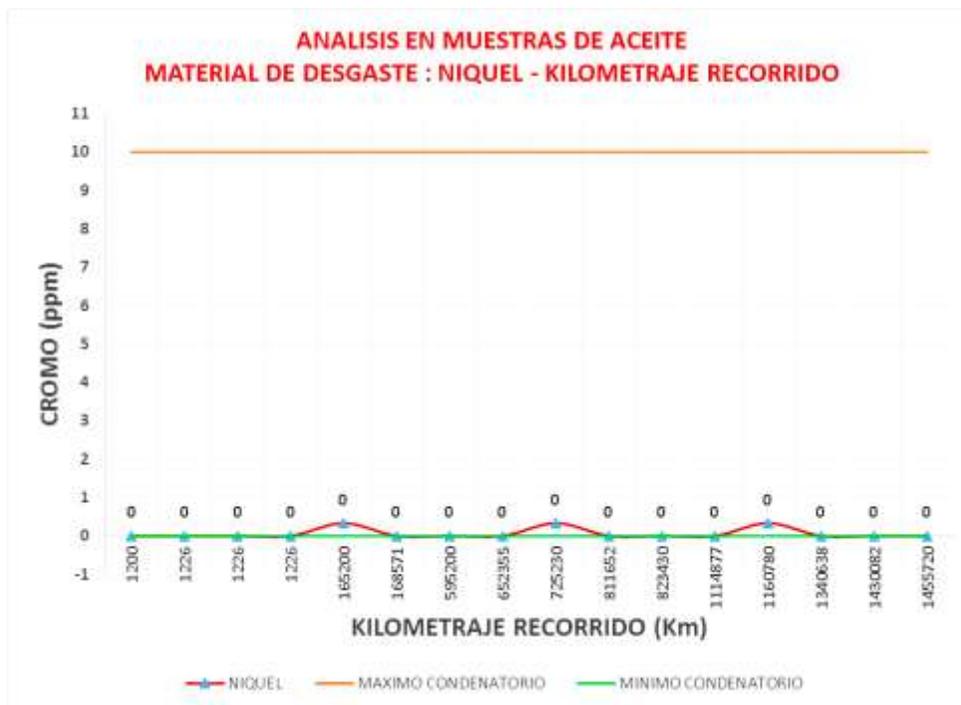


Fig.4.4.- Comportamiento del material de desgaste del Níquel
Fuente: Autor del proyecto 2017

4.4.3 Análisis del material de desgaste: Cobre (Cu)

Los datos presentados en la tabla 4.5 del análisis de aceite la presencia de material de desgaste como el cobre varían en función del kilometraje recorrido.

Tabla 4.5.- Tabla de material de desgaste: Cobre en la flota de camiones
Fuente: Autor del proyecto 2017

DATOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE ACEITE MATERIAL DE DESGASTE COBRE					
UNIDAD	SERIE	AÑO	KILOMETRAJE (Km)	KILOM. SERVICIO (Km)	COBRE (ppm)
1	3348	2003	1430082	7223	11
2	3353	2003	725230	7767	1
3	3353	2003	823430	7500	5
4	3353	2004	1455720	7800	1
5	2648	2004	1340638	8703	2
6	2648	2005	1160780	7900	13
7	3353	2006	1114877	9667	11
8	3353	2006	595200	7833	1
9	3348	2009	811652	8149	1
10	3348	2011	652355	7771	1
11	3353	2015	165200	9205	2
12	3353	2015	168571	8957	2
13	3353	2015	1226	8486	20
14	3353	2015	1226	8600	20
15	3353	2015	1226	8420	21
16	3353	2016	1200	1200	21
MEDIA MUESTRAL					8.35
DESVIACION ESTANDAR					8.34
LIMITE MAXIMO					30
LIMITE MINIMO					0

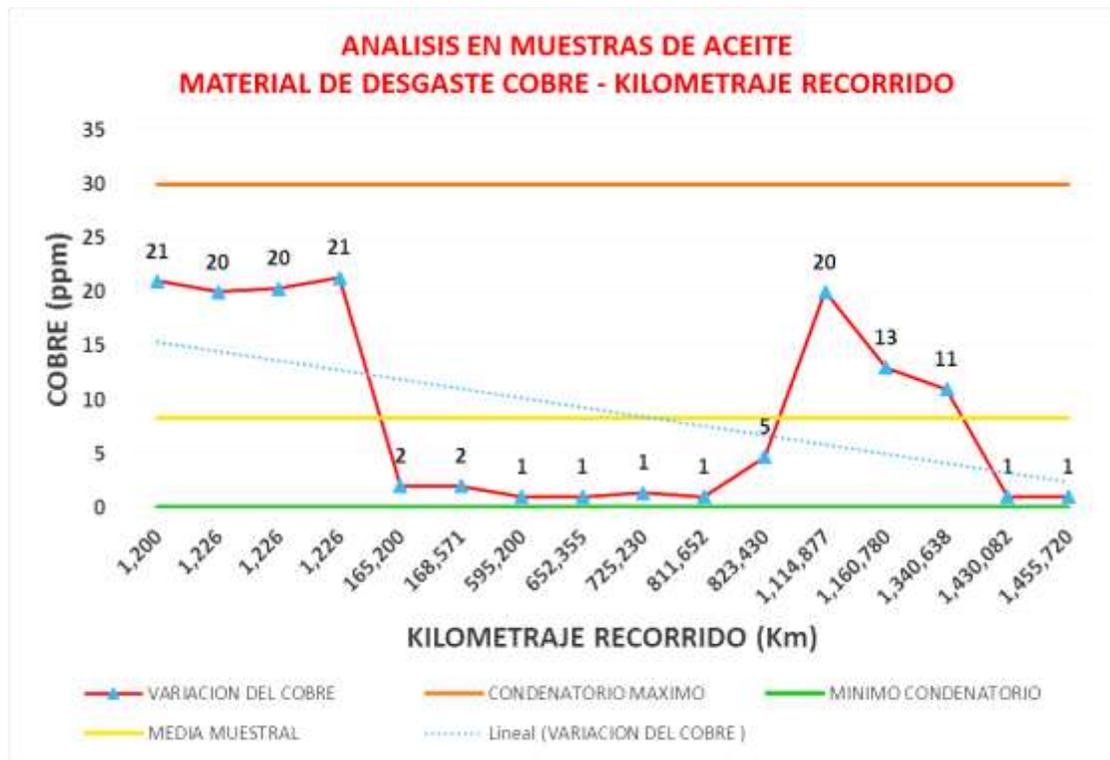


Fig.4.5.- Comportamiento del material de desgaste del Cobre
Fuente: Autor del proyecto 2017

En la figura 4.5 se aprecia que existen niveles cercanos al máximo condensatorio siendo este de concentraciones de 30 ppm. La presencia de material particulado en las muestras de aceite van desde 21 a 20 ppm cuando el kilometraje esta por los 1.200 Km, luego tiende a disminuir a 2ppm cuando el kilometraje recorrido esta entre los 160.000 Km y 823.000 Km. Para luego incrementar la presencia de material de desgaste a 20 ppm cuando el kilometraje recorrido esta 1.000.000 Km a 1.300.000 Km. El cobre presente en las muestras de aceite de la flota de camiones permite saber la existencia de desgaste en ciertos elementos como cojinetes de biela y bancada, bujes de árbol de levas, enfriador de aceite y guías de válvulas.

4.4.4 Análisis del material de desgaste: Estaño (Sn)

En la tabla 4.6 y en la figura 4.6 se indican los datos obtenidos en el análisis de aceite usado en la flota de camiones. Estos demuestran la no presencia de estaño.

Tabla 4.6.- Tabla de material de desgaste Estaño en la flota de camiones
Fuente: Autor del proyecto 2017

DATOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE ACEITE MATERIAL DE DESGASTE ESTAÑO					
UNIDAD	SERIE	AÑO	KILOMETRAJE (Km)	KILOM. SERVICIO (Km)	ESTAÑO (ppm)
1	3348	2003	1,430,082	7223	1
2	3353	2003	725,230	7767	0
3	3353	2003	823,430	7500	0
4	3353	2004	1,455,720	7800	0
5	2648	2004	1,340,638	8703	0
6	2648	2005	1,160,780	7900	0
7	3353	2006	1,114,877	9667	0
8	3353	2006	595,200	7833	0
9	3348	2009	811,652	8149	0
10	3348	2011	652,355	7771	0
11	3353	2015	165,200	9205	0
12	3353	2015	168,571	8957	0
13	3353	2015	1,226	8486	0
14	3353	2015	1,226	8600	0
15	3353	2015	1,226	8420	0
16	3353	2016	1,200	1200	0
MEDIA MUESTRAL					0.08
DESVIACION ESTANDAR					0.33
LIMITE MAXIMO					20
LIMITE MINIMO					0



Fig.4.6.- Comportamiento del material de desgaste del Estaño
Fuente: Autor del proyecto 2017

4.4.4 Análisis del material de desgaste: Aluminio (Al)

Como se ve en la tabla 4.7, los datos obtenidos en el análisis del aceite usado. Se aprecia el nivel de concentración del aluminio en las muestras tomadas de aceite para este proyecto. Siendo este material uno de los metales que mayor contaminación incide en el lubricante.

Tabla 4.7.- Tabla de material de desgaste: Aluminio en la flota de camiones
Fuente: Autor del proyecto 2017

DATOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE ACEITE MATERIAL DE DESGASTE ALUMINIO					
UNIDAD	SERIE	AÑO	KILOMETRAJE (Km)	KILOM. SERVICIO (Km)	ALUMINIO (ppm)
1	3348	2003	1430082	7223	2
2	3353	2003	725230	7767	2
3	3353	2003	823430	7500	2
4	3353	2004	1455720	7800	2
5	2648	2004	1340638	8703	2
6	2648	2005	1160780	7900	12
7	3353	2006	1114877	9667	15
8	3353	2006	595200	7833	2
9	3348	2009	811652	8149	2
10	3348	2011	652355	7771	2
11	3353	2015	165200	9205	13
12	3353	2015	168571	8957	15
13	3353	2015	1226	8486	11
14	3353	2015	1226	8600	15
15	3353	2015	1226	8420	17
16	3353	2016	1200	1200	18
MEDIA MUESTRAL					8.38
DESVIACION ESTANDAR					6.66
LIMITE MAXIMO					20
LIMITE MINIMO					0

Al graficar la tabla 4.7 se puede observar los cambios que se tiene en la concentración de aluminio cuando el kilometraje del tracto camión varia.

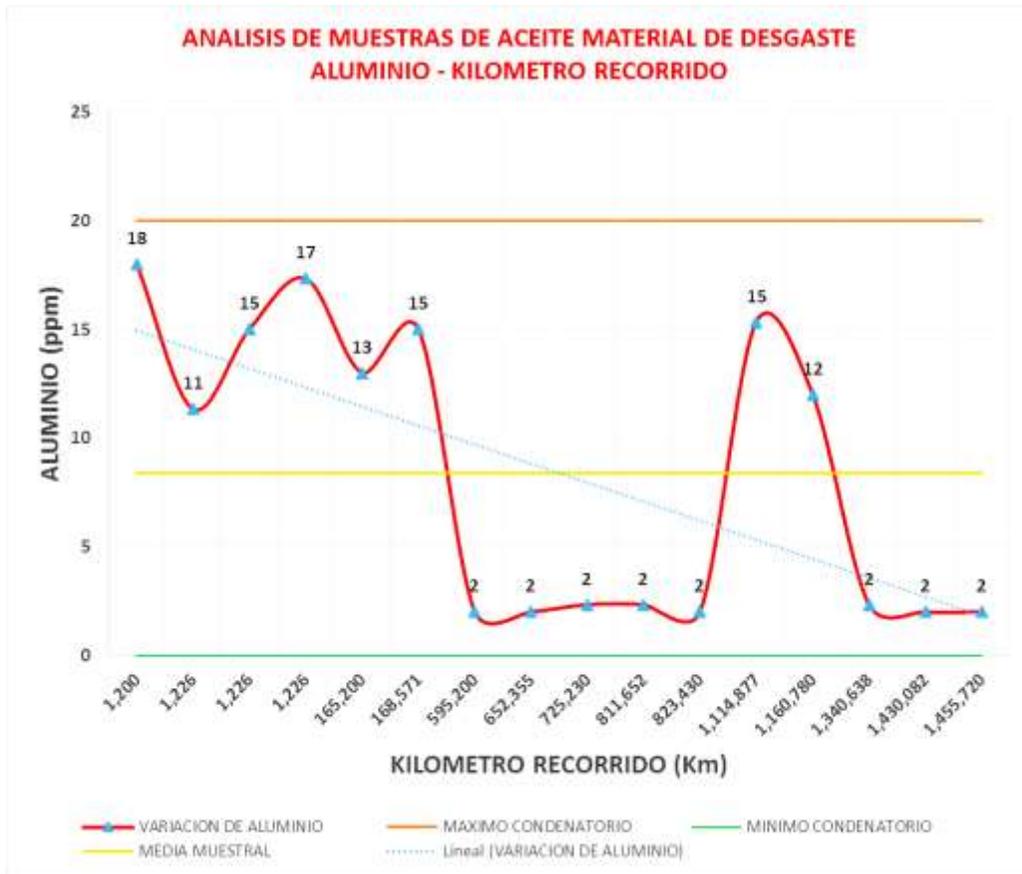


Fig.4.7.- Comportamiento del material de desgaste Aluminio
Fuente: Autor del proyecto 2017

En la figura 4.7 las concentraciones de aluminio tienen un pico de 18 ppm cuando el kilometraje recorrido está a 1.200 Km y al ir avanzando su recorrido tiende a disminuir el material de desgaste a 2ppm y a estabilizarse en un kilometraje de 823.430 Km. Para luego incrementarse a 15 ppm en un kilometraje de 1.114.877 Km y luego decaer a 1.340.638 Km con una concentración de 2 ppm. Cabe indicar que las unidades de la flota con un kilometraje recorrido de 1.430.082 Km y 1.455.720 fueron dados mantenimiento preventivo.

En donde se cambió las partes y piezas mecánicas como pistones, cojinetes de biela y bancada, propulsores, válvulas de escape y admisión. Evitando así tener que realizar mantenimientos correctivos y por ende paradas de emergencia de las unidades de la flota.

En la figura 4.7 las unidades 6 y 7 de la flota con un kilometraje de 1.114.877 Km y 1.160.780 Km. Poseen una concentración de aluminio en el análisis de 15 ppm y 12 ppm siendo altas. Para tener en consideración el realizar un mantenimiento preventivo debido a que sus unidades motrices se realizaban mantenimientos predictivos.

Cabe recalcar que después de la toma de muestras y analizar el aceite a las unidades 6 y 7 la unidad 7 de la flota realizo un mantenimiento correctivo de emergencia por rotura de válvulas de escape a un kilometraje de 1.350.000 Km. Siendo monitoreado su aceite del motor para observar los niveles de material particulado. Ver anexo 6

Esta variación del material de desgaste, puede darse por desgaste de partes internas del motor.

4.4.4 Análisis del material de desgaste plomo (Pb).

Como se aprecia en la tabla 4.8 los datos obtenidos de las muestras de aceite de cada uno de los tracto camiones de la flota podemos apreciar que no existe presencia de este material de desgaste en la mayoría de unidades. Pero si en las unidades nuevas el material particulado es de 1 ppm.

Tabla 4.8.- Tabla de material de desgaste plomo en la flota de camiones
Fuente: Autor del proyecto 2017

DATOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE ACEITE MATERIAL DE DESGASTE PLOMO					
UNIDAD	SERIE	AÑO	KILOMETRAJE (Km)	KILOM. SERVICIO (Km)	PLOMO (ppm)
1	3348	2003	1430082	7223	0
2	3353	2003	725230	7767	0
3	3353	2003	823430	7500	0
4	3353	2004	1455720	7800	0
5	2648	2004	1340638	8703	0
6	2648	2005	1160780	7900	0
7	3353	2006	1114877	9667	0
8	3353	2006	595200	7833	0
9	3348	2009	811652	8149	0
10	3348	2011	652355	7771	0
11	3353	2015	165200	9205	0
12	3353	2015	168571	8957	0
13	3353	2015	1226	8486	0
14	3353	2015	1226	8600	1
15	3353	2015	1226	8420	1
16	3353	2016	1200	1200	1
MEDIA MUESTRAL					0.17
DESVIACION ESTANDAR					0.32
LIMITE MAXIMO					30
LIMITE MINIMO					0

En la figura 4.8 los valores de material particulado no pasan el límite máximo condenatorio de 30 ppm. Pero si se encuentran en la mayoría en el límite mínimo condenatorio de 0 ppm. Esto en nuestro análisis, el desgaste en ciertos elementos como bujes del árbol de levas, de biela, propulsores de válvulas son mínimos.



*Fig.4.8.- Comportamiento del material de desgaste del Plomo
Fuente: Autor del proyecto 2017*

4.4.5 Análisis del material de desgaste: Hierro (Fe)

En la tabla 4.9 donde se aprecia la variación del hierro presente en las muestras de aceite tomadas de la flota de camiones en función del kilometraje recorrido.

Tabla 4.9.- Tabla de material de desgaste: Hierro en la flota de camiones
Fuente: Autor del proyecto 2017

DATOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE ACEITE MATERIAL DE DESGASTE HIERRO					
UNIDAD	SERIE	AÑO	KILOMETRAJE (Km)	KILOM. SERVICIO (Km)	HIERRO (ppm)
1	3348	2003	1,430,082	7223	5
2	3353	2003	725,230	7767	5
3	3353	2003	823,430	7500	7
4	3353	2004	1,455,720	7800	5
5	2648	2004	1,340,638	8703	8
6	2648	2005	1,160,780	7900	15
7	3353	2006	1,114,877	9667	14
8	3353	2006	595,200	7833	8
9	3348	2009	811,652	8149	6
10	3348	2011	652,355	7771	5
11	3353	2015	165,200	9205	6
12	3353	2015	168,571	8957	7
13	3353	2015	1,226	8486	31
14	3353	2015	1,226	8600	54
15	3353	2015	1,226	8420	44
16	3353	2016	1,200	1200	56
MEDIA MUESTRAL					17.31
DESVIACION ESTANDAR					18.19
LIMITE MAXIMO					100
LIMITE MINIMO					0

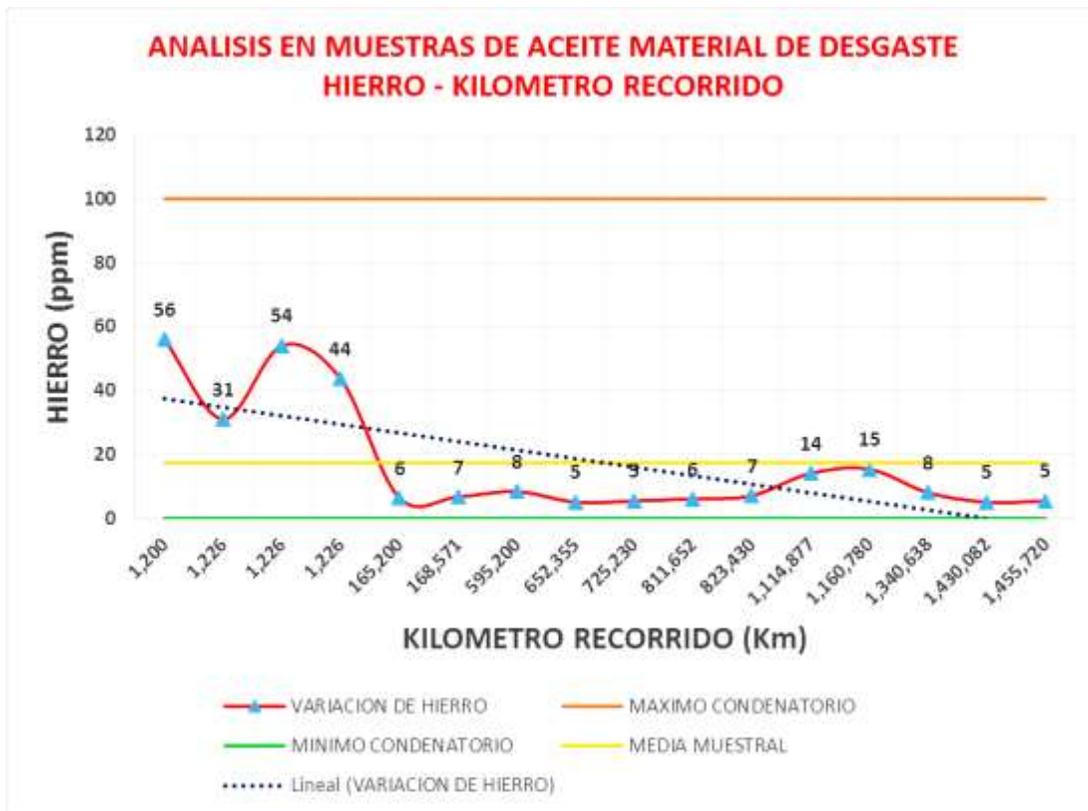


Fig.4.9.- Comportamiento del material de desgaste de Hierro
Fuente: Autor del proyecto 2017

En la figura 4.9 se observa que el hierro es el metal con mayor presencia de las muestras de aceite tomados a cada una de las unidades de la flota de camiones y tracto camiones. La variación del hierro como material de desgaste en los 1200 y 1226 Km de recorrido es alto de 56 ppm, no superando el límite condenatorio máximo de 100 ppm. Para luego en el transcurso de tiempo empieza a estabilizarse con 6, 7, 8 ppm para luego tener un incremento de 14 y 15 ppm cuando el kilometraje supera el 1.114.877 Km y luego decremento pasado el 1430.082 Km.

Esta concentración de material particulado en las muestras se debe a que la mayoría de partes del motor como son: cigüeñal, bielas, camisas, guías, asientos de válvula tienen aleaciones en donde él hierro está presente.

4.4.6 Análisis del material de desgaste: Silicio (Si)

La presencia de silicio en las muestras analizadas por el laboratorio se aprecia en la tabla 4.10 que tienen una cantidad que no excede el límite condenatorio máximo de 20 ppm. Y están sobre el límite mínimo condenatorio de 0 ppm.

Los valores están entre la media muestral de 3.65 ppm siendo un rango aceptable.

Tabla 4.10.- Tabla de material de desgaste: Silicio en la flota de camiones
Fuente: Autor del proyecto 2017

DATOS OBTENIDOS DE MUESTRAS DE ACEITE MATERIAL DE DESGASTE SILICIO					
UNIDAD	SERIE	AÑO	KILOMETRAJE (Km)	KILOM. SERVICIO (Km)	SILICIO (ppm)
1	3348	2003	1,430,082	7223	3
2	3353	2003	725,230	7767	3
3	3353	2003	823,430	7500	5
4	3353	2004	1,455,720	7800	4
5	2648	2004	1,340,638	8703	3
6	2648	2005	1,160,780	7900	5
7	3353	2006	1,114,877	9667	5
8	3353	2006	595,200	7833	3
9	3348	2009	811,652	8149	3
10	3348	2011	652,355	7771	3
11	3353	2015	165,200	9205	3
12	3353	2015	168,571	8957	3
13	3353	2015	1,226	8486	4
14	3353	2015	1,226	8600	4
15	3353	2015	1,226	8420	4
16	3353	2016	1,200	1200	3
MEDIA MUESTRAL					3.65
DESVIACION ESTANDAR					0.91
LIMITE MAXIMO					20
LIMITE MINIMO					0

En el figura 4.10 se aprecia de mejor manera lo anterior mente dicho de la presencia de material particulado de silicio en el aceite de la flota de camiones. Esto puede deberse a la contaminación con polvo del sistema de entrada de aire/filtro. Provocando un desgaste en

camisas, anillos de pistones, cojinetes. Y por ende existiendo la presencia de otros materiales como hierro, cromo, aluminio, plomo.

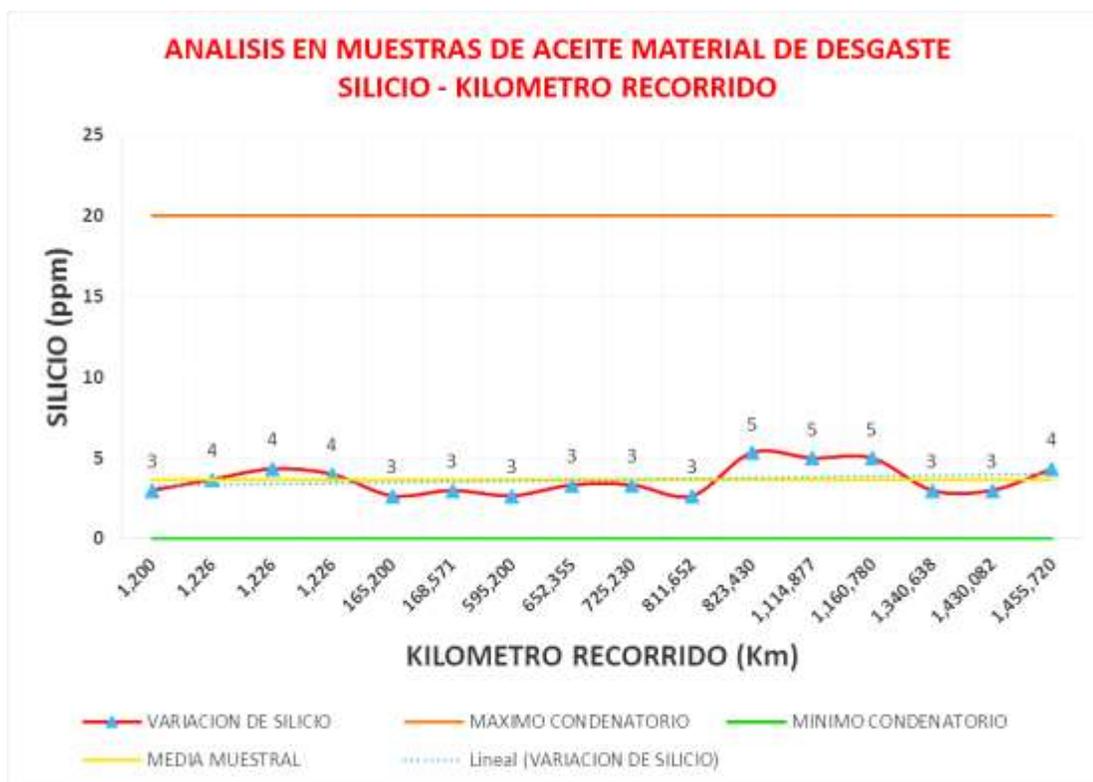


Fig.4.10.- Comportamiento del material de desgaste del Silicio
Fuente: Autor del proyecto 2017

En el anexo 5 se muestra una tabla con los valores enviados por el laboratorio

En la tabla 4.11 se aprecia de forma resumida los materiales o elementos de desgaste y sus combinaciones con otros materiales y donde estos están presentes.

Tabla 4.11.- Tabla de elementos o materiales de desgaste
Fuente: Autor del proyecto 2017

ELEMENTOS DE DESGASTE				
COMBINACION DE ELEMENTOS DE DESGASTE				
PARTE	ELEMENTO PRINCIPAL	ELEMENTO SECUNDARIO	DESGASTE POSIBLE	CAUSA O AREA PROBLABLE DEL PROBLEMA
Cabezote (culata)	Silicio (Tierra)	Hierro, Cromo, Aluminio	Camisas, Anillos, pistones	Sistema de entrada de aire/filtro contaminación con polvo o tierra
	Hierro	Cromo, Aluminio	Camisas, Anillos, pistones	Temperaturas anormales de operación, degradación del aceite, contaminación con refrigerante o combustible, anillos atascados o rotos
	Cromo	Molibdeo, Aluminio	Anillos, pistones	Gases de escape. Consumo de aceite, degradación del aceite
Bloque Motor	Silicio (Tierra)	Plomo, Aluminio	Cojinetes de biela y bancada	Contaminación con tierra
	Plomo	Aluminio	Cojinetes de biela y bancada	Falta de lubricación, contaminación con refrigerante, presencia de combustible en el lubricante.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La eficiencia de utilizar la técnica del análisis de aceite para pronosticar el comportamiento de los mecanismos internos del motor y detectar potenciales averías y el evitar gastos de mantenimiento elevado y paralizaciones no planificadas de los tracto camiones de la flota. Siendo esta razón imprescindible la realización de un plan de mantenimiento predictivo para todas las unidades de la flota.
- Las muestras de aceite son solo una parte de la información requeridos para aplicar dentro de un programa de análisis de muestras de aceite, pero quizá la información más importante serían los mantenimientos periódicos que se realizan. Estos mantenimientos deberían realizarse tratando de cumplir los periodos determinados, y siempre llevando un registro de los cambios de aceite y repuestos que se efectúen.
- Los reportes de laboratorio deben ser examinados por un personal calificado como un ingeniero en mecánica automotriz que esté a cargo del mantenimiento de la flota de camiones. Que conozca el funcionamiento del motor, sus elementos mecánicos y su composición metalúrgica de las mismas e identifique los componentes que presentan desgaste. en función de los resultados recibidos por el laboratorio.
- Al realizar el análisis de los valores obtenidos según el kilometraje recorrido se pudo apreciar que el material particulado o elemento de desgaste con mayor presencia es el hierro (Fe) el cual se incrementó a 54 ppm cuando su kilometraje era de 1.226 Km esto comparando con la muestra del tracto camión nuevo la cantidad de hierro es de

56 ppm para luego decremento y estabilizarse a 6 y 7ppm. El cobre (Cu) también presento un incremento al inicio con 21 ppm par luego disminuir a 2 y 1 ppm para luego aumentar a 20 ppm y decremento a 1 ppm. En cuanto al Aluminio (Al) es uno de los metales de desgaste que también incide en nuestro análisis el cual varía en función del kilometraje recorrido con un máximo de 18 ppm hasta descender a 2 ppm para luego incrementar a un máximo de 15 ppm y luego disminuye a 2ppm; otro elemento que incide en nuestro análisis está el cromo (Cr) con un incremento de 14 ppm cuando el kilometraje recorrido es poco para luego disminuir a 0 ppm para luego incrementándose de 7 ppm hasta 11 ppm. Los elementos de menor presencia se encuentran el plomo (Pb), estaño (Sn) y Silicio (Si); en función de estos resultados obtenidos del Aluminio (Al), Cobre (Cu), Hierro (Fe) y Cromo (Cr) las posibles fuentes de desgaste son los cojinetes de biela y bancada, camisas o cilindro.

- Se analizó los valores de elementos de desgaste en función del kilometraje recorrido encontrando estos resultados desfavorables para la vida útil de los componentes internos del motor. Debido a que cuando el motor tiene un kilometraje recorrido de 1.340.638 Km sin realizar un mantenimiento predictivo estos tienden a fatigarse presentando altos niveles de material particulado de Cobre y Aluminio como se puede apreciar las fotografías en el anexo 6
- Las gráficas de los materiales de desgaste se puede ver tienen una tendencia en donde se aprecia al principio las altos índices de material particulado para luego estabilizarse llegando a un tiempo donde nuevamente el material particulado asciende indicando que el motor requiere un mantenimiento correctivo.

- La presencia de elementos contaminantes como el silicio (Si) en la muestra recolectada y analizada contienen con bajos índices descartando problemas de contaminación por polvo o tierra debido a que el Silicio se encontraba estable a 4 ppm.
- En función de los datos obtenidos de la viscosidad presenta un valor de 14.49 cSt, a un kilometraje de servicio de 7.767 Km esta propiedad se ve afectado por procesos químicos reduciendo a 12.8 cSt a un kilometraje de servicio de 8.703 Km. Es por esta razón que la vida útil del lubricante en función del kilometraje no es apto para seguir en funcionamiento.
- El análisis de la basicidad del aceite del motor (TBN) en las muestras de aceite analizadas, tomadas de la flota de camiones permiten concluir que el aceite utilizado el Ursa TDX 15w40, mantiene los niveles aceptables de operatividad, el lubricante está apto para continuar su servicio a un kilometraje de 7.000 Km y no existe problemas asociados a la corrosión.
- Los valores de viscosidad están en un rango aceptable teniendo como resultado que el lubricante está apto para continuar su servicio.

RECOMENDACIONES

- La principal recomendación es realizar un mantenimiento preventivo a los 700.000 Km de recorrido para revisión de partes móviles como taques o propulsores, válvulas de escape y admisión, turbopropulsores. Y otro al 1.200.000 Km aproximadamente. Debido a que en la unidad #07 de la flota no se dio un mantenimiento preventivo, ni a los 700.000 kilómetros ni a los 1.200.000 kilómetros. Teniendo como consecuencia la fatiga de elementos como las válvulas de escape ocasionando roturas críticas en cabezote, pistón y camisa comprometiendo la vida útil del bloque motor. y por ende paros de la unidad como se ve en el anexo 6. En donde su muestra de aceite analizado nos indica que el aluminio y el cobre presenta altos valores material particulado.
- El tracto camión debe estar en perfectas condiciones de funcionamiento, para ello efectuando los mantenimientos preventivo periódico y predictivo siendo necesarios con la finalidad de evitar paros de las unidades para un mantenimiento correctivo y gastos excesivos de dinero.
- Controlar el buen estado de los restantes sistemas o elementos que componen el motor, algunos de estos sistemas o elementos no están ligados con el sistema de lubricación del motor, estos en caso de fallar si pueden modificar la calidad del aceite.
- Conocer las características constructivas de los elementos móviles diseñados para desgastarse con el transcurrir del tiempo. Teniendo así una perspectiva más amplia de que elementos tienden a desgastarse rápidamente.

- Resumen de recomendaciones para un óptimo desenvolvimiento del motor de la flota de camiones.

ACTIVIDADES	KILOMETRAJE (Km)	OPERACIONES A REALIZAR
Mantenimiento Preventivo	7.000 Km	Cambio de Aceite en el motor
Mantenimiento Preventivo	700.000 Km	Revisión de piezas y componente. Si es necesario reemplazar
Mantenimiento Correctivo	1.200.000 Km	Reemplazo de piezas y componentes

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benz, M. (2009). *Tipos de Aceite prescrito por Mercedes Benz para serie OM422*.
- Benz, M. (2016). *Catalogo Mercedes Benz Actros*.
- Chevron. (2009). Analisis de aceites usados limites condenatorios.
- Chevron3. (2012). Norma ASTM para metales.pdf.
- Chevron4. (2007). Used Oil Analysis.
- Cisneros Luis, M. C. (2016). *Estudio tribologico en motores a diesel en periodo de mantenibilidad regular*. Univerdiad Internacional del Ecuador.
- CONAUTO. (2016). Productos para el mantenimiento automotriz e industrial. Retrieved January 29, 2016, from <http://www.conauto.com.ec/>
- David, A. (2015). *Propuesta de mejora para el mantenimiento del equipo pesado de la constructora COANDES S.A. basado en un análisis del aceite lubricante usado en los motores de combustión interna diésel*. Universidad Politecnica Salesiana.
- Engine Oil Program. (2012). Clasificacion API.
- Espinoza, H, J. (1990). *Diagnostico de motores de encendido por compresion mediante analisis de aceite*. Universidad Politecnica de Valencia.
- Fygueroa, S. (1993). El desgaste en motores Diesel de automocion. *Congreso Iberoamericano de Ingenieria Mecanica*.
- Fygueroa, S. (1994). *Diagnostico de desgaste y el estado de motores de encendido por compresion*. Universidad Politecnica de Valencia.
- Geovanny, A. (2017). *Analisis Tribologico de la utilizacion del aceite PDV de petroecuador para determinar el rendiineto del motor*. Universidad de las Fuerzas Armadas.

- Guerrero, F. (2016). *Determinacion de la degradacion y contaminacion del aceite de Motores Otto en funcion del Kilometraje recorrido*. Universidad del Azuay.
- J.M. Desantes, F. P. (2011). *Motores de combustion interna alternativos*. (Reverte/UPV, Ed.). Valencia España.
- MAHLE. (2012). *Manual de Fallas Prematuras en Pistones, Aros, Camisas, Cojinetes, Bujes, Válvulas, Botadores y Turbocompresores*.
- Marino. (2015). Tribologia de lubricantes. Retrieved from <http://ingenieromarino.com/lubricantes-tribologia>
- Mendenhall, W, B. R. (2010). *Introduccion a la probabilidad y estadistica*.
- Noria Corporation. (2012). interpretacion de sistematica del analisis del aceite con tecnica sacode. Retrieved from www.noria.mx
- Perez, J. A. (2014). *Clasificacion de los aceites lubricantes*.
- Ron, K. (2012). *Determinacion de residuos de hidrocarburos totales de petroleo (Diesel)*.
- Saldivia, F. (2013). *Aplicacion de mantenimiento predictivo analisis del aceite usado en un motor de combustion interna*.
- Stephens, M. R. S. /Larry J. (2009). *Estadistica*. (McGrawHill, Ed.) (4ta ed.). Mexico.
- Texaco/Chevron. (2009). Caracteristicas del Aceite U RSA ® P REMIUM TDX.
- Tormos, B. (2009). *Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado*.
- Virtual, C. (2012). Mision del sistema de Lubricacion. Retrieved from <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/CURSO DE HIDRAULICA/SISTEMA DE LUBRICACION.pdf>

ANEXOS

Anexo 1.- Aceite recomendado por Mercedes Benz.



229.3 Aceites para motores de múltiples grados (Especificación 229.3)

La siguiente lista de productos le ayudará a seleccionar el combustible adecuado para su vehículo / motor Mercedes-Benz de la variedad de mercado. Le recomendamos que solo utilice los productos enumerados y aprobados por Mercedes-Benz en la lista a continuación. En principio, use solo productos,

1. en cuyo paquete se puede encontrar la inscripción "MB release xxx.xx", p. ej. MB release 229.51.
(Una designación "MB 229.51" significa, por ejemplo, que este producto NO ha sido probado y aprobado por Mercedes-Benz)
2. que se enumeran en el MB BeVo actual, ya que solo los productos enumerados tienen una aprobación de MB válida.

Uso en vehículos / motores ver hoja 223.2

Seleccionar hoja

[> Volver al resumen](#)

A partir del: 11.11.2017

Produktname	10W-30	10W-40	15W-30	15W-40	20W-50	Auftraggeber
TAMOIL SUPER DIESEL TURBO				x		Tamoil Italia S.p.A., MILANO/ITALY
Teboil Super HPD C 10W-40		x				LUKOIL LUBRICANTS EUROPE GmbH, Suomen sivuliike, HAMINA/FINLAND
TECTROL HDC 1540				x		BayWa AG, München/Deutschland
TECTROL SUPER TRUCK 1540				x		BayWa AG, München/Deutschland
Tedex Diesel Truck SHPD Motor Oil				x		Tedex S.A., Piaseczno/POLAND
TESLA DENEbola 1110 SAE 15W 40				x		Tesla Technoproducts FZE, DUBAI/UNITED ARAB EMIRATES
TESLA DENEbola 1120 SAE 15W 40				x		Tesla Technoproducts FZE, DUBAI/UNITED ARAB EMIRATES
Texaco Ursa Heavy Duty				x	x	Chevron Global Lubricants, GENT/ZWIJNAARDE/BELGIUM
Texaco Ursa Premium TD		x		x		Chevron Global Lubricants, GENT/ZWIJNAARDE/BELGIUM
Texaco Ursa Premium TDX				x		Chevron Global Lubricants, GENT/ZWIJNAARDE/BELGIUM
Texaco Ursa Super TD				x		Chevron Global Lubricants, GENT/ZWIJNAARDE/BELGIUM
Texaco Ursa Ultra MG				x		Chevron Global Lubricants, GENT/ZWIJNAARDE/BELGIUM
TIDAL POWER HDX 15W-40				x		North Sea Lubricants B.V., LV ALPHEN aan den RIJN/THE NETHERLANDS

Anexo 2.- Características Técnicas del Lubricante empleado por la flota de camiones Ursa Premium TDX SAE 15w40.



URSA® PREMIUM TDX SAE 15W-40

El producto Ursa Premium TDX SAE 15W-40 es un aceite multigrado para motores diesel de muy alto rendimiento (super high performance diesel - SHPD), formulado con tecnología ISOSYN® y especialmente diseñado para uso en motores turbo alimentados con intervalos de cambio extendidos. La tecnología ISOSYN® utiliza bases lubricantes grupo II altamente refinadas y una tecnología avanzada de aditivos.

APLICACIONES

El Ursa Premium TDX SAE 15W-40 se recomienda para motores diesel de cuatro tiempos con aspiración natural ó turboalimentados de vehículos de transporte que operan en todo tipo de servicio.

Es ideal para equipo pesado de construcción, minería, marítimos, equipos agrícolas, motores estacionarios y otras aplicaciones de servicio severo.

Fue probado en extensas pruebas de campo con registros de seguimiento para atender los requerimientos de los fabricantes originales de equipos (OEMs)

Puede ser usado en flotas mixtas, por sus especificaciones para motores a gasolina de cuatro tiempos.

El Ursa Premium TDX SAE 15W-40¹ es certificado:

- **Secuencia Europea ACEA**
 - ACEA E7-04

El Ursa Premium TDX SAE 15W-40 cumple:

- **Categorías de servicio API**
 - CI-4
 - SL
- **Secuencias Europeas ACEA**
 - A3/B4-04
- **Especificaciones Globales**
 - Global DHD - 1

- **Requerimientos de los principales fabricantes de motor diesel**

- Caterpillar ECF-2
- Cummins CES 20078
- Mack EO-N Premium Plus
- MAN M3275 & 271
- Mercedes Benz 228.3
- MTU Categoría 2
- Renault RLD-2
- Volvo VDS-3



- **Requerimientos de motores gasolina**

- Mercedes Benz 229.1

- **Requerimientos de fluidos para transmisión**

- Allison C-4

Beneficios

Ursa Premium TDX SAE 15W-40 proporciona:

- **Reducción del desgaste** — prolongando la vida útil de los componentes y reduciendo los costos de mantenimiento.
- **Máxima limpieza en el motor** — garantizando una operación eficiente con reducción en el consumo de combustible.
- **Intervalos extendidos de cambio de aceite** — lo cual reduce el costo de mantenimiento.
- **Control de consumo de aceite** — controla el desgaste y depósitos en el pistón, lo cual garantiza bajas emisiones.
- **Larga vida al motor** — debido a los aditivos que protegen las partes con sobrecarga, lo cual minimiza el desgaste.
- **Mejor operación de los filtros** — dispersa el hollín en micro partículas que son capturadas por el filtro evitando el taponamiento prematuro, así como el desgaste en el tren de válvulas.

MANEJO:

Para información sobre seguridad en el manejo de este

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS:

	Método ASTM	SAE 15W-40
<i>Código de producto</i>	-	2153
<i>Código de hoja de seguridad, MSDS</i>	-	23088CL 23089EC
Densidad @ 15°C, Kg/L	D-4052	0,866
Viscosidad cinemática cSt @ 40 °C cSt @ 100 °C	D-445 D-445	110,3 14,82
Viscosidad a baja temperatura (CCS), - 20°C, cP	D-5293	6.000
Índice de viscosidad	D-2270	139
Punto de inflamación, °C	D-92	250
Punto de fluidez, °C	D-97	- 33
Número base total(TBN), mg KOH/g,	D-2896	9,5

Las características típicas son valores promedio. En la manufactura se pueden encontrar ligeras variaciones las cuales no afectan la calidad del producto, nivel rendimiento.

Anexo 3.- Fichas de control de toma de muestras

INFORMACION DE FLOTA DE CAMIONES DE TRANSPORTES MIGUEL MONCAYO S. E HIJOS LTDA		
Marca		
Serie		
Año de Fabricacion		
Placa		
Numero de Flota		
Numero de Motor		
Kilometraje actual		
Conductor		
Telefono celular		
CAMBIOS DE ACEITE REALIZADOS		
Fecha de cambio de Aceite		Observaciones:
Kilometraje		
Fecha de cambio de Aceite		
Kilometraje		
Fecha de cambio de Aceite		
Kilometraje		

INFORMACION DE FLOTA DE CAMIONES DE TRANSPORTES MIGUEL MONCAYO S. E HIJOS LTDA		
Marca	Mercedes Benz	
Serie	2648	
Año de Fabricacion	2004	
Placa	UAA680	
Numero de Flota	5	
Numero de Motor	OM501	
Kilometraje actual	1340638	
Conductor	Jhon Montero	
Telefono Celular		
CAMBIOS DE ACEITE REALIZADOS		
Fecha de cambio de Aceite	03 de Marzo del 2017	Observaciones: El cambio de Aceite de motor se los realiza aproximadamente entre los 7000 a 8000 Km de recorrido. Se le asigno el numero 5 en la flota para este proyecto de investigacion
Kilometraje	1.340.638 Km / 7.000 Km	
Fecha de cambio de Aceite	25 de Marzo del 2017	
Kilometraje	1.349.641 Km / 9000 Km	
Fecha de cambio de Aceite	24 de Abril del 2017	
Kilometraje	1.358.750 Km / 9.108 Km	

REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

	DATOS DEL CAMION				CAMBIOS DE ACEITE						
	MARCA				FECHA DEL CAMBIO						
	SERIE				KILOMETRO TOTAL						
	AÑO DE FABRICACION				PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE						
	PLACA				FECHA DEL CAMBIO						
	NUMERO DE LA FLOTA				KILOMETRO TOTAL						
	TIPO				PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE						
	L		S		FECHA DEL CAMBIO						
					KILOMETRO TOTAL						
					PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE						
MUESTRA 1				MUESTRA 2				MUESTRA 3			
KILOMETRAJE DE SERVICIO				KILOMETRAJE DE SERVICIO				KILOMETRAJE DE SERVICIO			
KILOMETRAJE TOTAL				KILOMETRAJE TOTAL				KILOMETRAJE TOTAL			
RESULTADOS											
APARIENCIA											
AGUA POR CREPITACION											
VISCOSIDAD A 100° C CST, ASTM D-445											
TBN, ASTM D-2896											
METALES DE DESGASTE, ATMD D-6595											
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm											
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm											
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm											
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm											
METAL DE DESGASTE ALUMINIO, Al, ppm											
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm											
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm											
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm											

REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

	DATOS DEL CAMION			CAMBIOS DE ACEITE		
	MARCA	Mercedes Benz		FECHA DEL CAMBIO	04 de Abril del 2017	
	SERIE	2653		KILOMETRO TOTAL	1.121.747 Km	
	AÑO DE FABRICACION	2006		PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE	12.000 Km	
	PLACA	UCA0798		FECHA DEL CAMBIO	29 de Abril del 2017	
	NUMERO DE LA FLOTA	7		KILOMETRO TOTAL	1.129.966 Km	
	TIPO			PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE	8.000 Km	
	L	X	S	FECHA DEL CAMBIO	28 de Agosto del 2017	
				KILOMETRO TOTAL	1.385.162 Km	
			PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE	10.300 Km		
RESULTADOS	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
	KILOMETRAJE DE SERVICIO	12.000 Km	KILOMETRAJE DE SERVICIO	8.000 Km	KILOMETRAJE DE SERVICIO	9.000 Km
	KILOMETRAJE TOTAL	1.121.747 Km	KILOMETRAJE TOTAL	1.129.966 Km	KILOMETRAJE TOTAL	1.385.162 Km
APARIENCIA	NEGRO		NEGRO		NEGRO	
AGUA POR CREPITACION	NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO	
VISCOSIDAD A 100° C CST, ASTM D-445	13.15		12.83		13.24	
TBN, ASTM D-2896	9.18		9.83		9.5	
METALES DE DESGASTE, ATMD D-6595						
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	0		6		14	
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0		0		0	
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	1		1		1	
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0		0		0	
METAL DE DESGASTE ALUMINIO, Al, ppm	8		16		22	
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0		0		0	
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	9		15		18	
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	4		7		20	

Anexo 4.- Informes de análisis reportados por Swissoil de cada muestra

swissoil.

REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

LABORATORIO NUMERO	1362	1363
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	UPTDX 15W40	UPTDX 15W40
NOMBRE DEL CLIENTE	TRANSPORTES MONCAYO	TRANSPORTES MONCAYO
REQUERIDO POR:	CONAUTO CUENCA	CONAUTO CUENCA
REFERENCIA	011/17	011/17
NUMERO DE MUESTRA:	3	4
FECHA DE OBTENCIÓN:	07/04/2017	08/04/2017
FECHA DE RECEPCIÓN:	19/04/2017	19/04/2017
FECHA DE ENTREGA:	20/04/2017	20/04/2017
PROCEDENCIA:	MOTOR MERCEDES BENZ ACTROS #04 DE LA FLOTA MODELO 3353 AÑO 2004	MOTOR MERCEDES BENZ ACTROS #03 DE LA FLOTA MODELO 3353 AÑO 2003
TIEMPO DE SERVICIO: KM	7200	7000
HORÓMETRO TOTAL: KM	476920	831430
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM D-445	13.73	13.73
TBN , ASTM D-2896	8.92	9.19
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595		
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	1	1
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	1	1
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	2	2
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	5	5
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	4	4
COMENTARIOS		
✓ OK	1362	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. El aceite si está apto para continuar en servicio.
✓ OK	1363	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. El aceite si está apto para continuar en servicio.

Atentamente



ING. NURIA PUIG ROJAS
ASISTENTE DE LABORATORIO



REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

LABORATORIO NUMERO	1168	1169
NOMBRE DEL LUBRICANTE:	UPTDX 15W40	UPTDX 15W40
NOMBRE DEL CLIENTE	TRANSPORTES MONCAYO	TRANSPORTES MONCAYO
REQUERIDO POR:	CONAUTO CUENCA	CONAUTO CUENCA
REFERENCIA	008/17	008/17
NUMERO DE MUESTRA:	4	5
FECHA DE OBTENCIÓN:	25/03/2017	27/03/2017
FECHA DE RECEPCIÓN:	03/04/2017	03/04/2014
FECHA DE ENTREGA:	06/04/2017	06/04/2017
PROCEDENCIA:	MOTOR MERCEDES BENZ ACTROS #05 DE LA FLOTA MODELO 3648 AÑO 2004	MOTOR MERCEDES BENZ ACTROS #10 DE LA FLOTA MODELO 3348 AÑO 2011
TIEMPO DE SERVICIO: KM	9000	8100
HORÓMETRO TOTAL: KM	1349641	660641
APARIENCIA	NEGRO	NEGRO
AGUA POR CREPITACIÓN	NEGATIVO	NEGATIVO
VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM D-445	13.12	13.46
TBN , ASTM D-2896	8.91	9.06
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595		
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	1	0
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	2	1
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm	2	2
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0	0
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	8	6
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	3	3
COMENTARIOS		
✓ OK	1168	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. El aceite si está apto para continuar en servicio.
✓ OK	1169	Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. El aceite si está apto para continuar en servicio.

Atentamente

ING. NURIA PUIG ROJAS
ASISTENTE DE LABORATORIO

Anexo 5.- Tabla general del análisis de aceite usado de la flota de camiones

DATOS OBTENIDOS DEL ANALISIS DEL ACEITE USADO EN LA FLOTA DE CAMIONES DE TRASPORTES MONCAYO														
UNIDAD	SERIE	AÑO	KILOMETRAJE	KILOM. SERVICIO	VISCOSIDAD	TBN	CROMO	NIQUEL	COBRE	ESTAÑO	ALUMINIO	PLOMO	HIERRO	SILICIO
1	3348	2003	1430082	7223	12.235	8.90	1	0	1	1	2	0	5	3
2	3353	2003	725230	7767	14.495	9.22	0	0	1	0	2	0	5	3
3	3353	2003	823430	7500	13.73	9.76	3	0	5	0	2	0	7	5
4	3353	2004	1455720	7800	13.73	9.18	1	0	1	0	2	0	5	4
5	2648	2004	1340638	8703	12.875	9.16	1	0	2	0	2	0	8	3
6	2648	2005	1160780	7900	13.145	9.05	5	0	13	0	12	0	15	10
7	3353	2006	1114877	9667	13.195	9.50	7	0	11	0	15	0	14	10
8	3353	2006	595200	7833	13.62	9.57	1	0	1	0	2	0	8	3
9	3348	2009	811652	8149	13.775	9.62	0	0	1	0	2	0	6	3
10	3348	2011	652355	7771	13.36	8.86	0	0	1	0	2	0	5	3
11	3353	2015	165200	9205	13.095	9.67	1	0	2	0	13	0	6	3
12	3353	2015	168571	8957	13.16	9.54	1	0	2	0	15	0	7	3
13	3353	2015	1226	8486	13.43	9.44	14	0	20	0	11	0	31	4
14	3353	2015	1226	8600	12.48	9.66	10	0	20	0	15	1	54	4
15	3353	2015	1226	8420	13.28	9.48	9	0	21	0	17	1	44	4
MEDIA MUESTRAL					13.307	9.37	3.49	0.07	6.84	0.09	7.73	0.11	14.73	4.36
DESVIACION ESTANDAR					0.55	0.29	4.43	0.14	8.00	0.34	6.36	0.24	15.51	2.42
LIMITE MAXIMO					16.3	9.5	10	10	30	20	20	30	100	20
LIMITE MINIMO					12.5	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo 6.- Fotografías y Monitoreo del mantenimiento correctivo de la unidad #7 con un kilometraje de 1.434.165 km

En las siguientes fotografías que a continuación se presenta, estas son de la unidad # 7 de la flota de transportes Moncayo con un kilometraje de 1.434.165 Km aproximadamente. Cabe indicar que en esta unidad tenia mantenimientos preventivos entre los cuales están los cambios de aceite periódicos a 7.000 Km.

Los cuales presentan daños críticos en ciertas partes del motor procediendo a un mantenimiento correctivo de emergencia, entre los elementos con daño crítico están:

El Cabezote con daño por rotura del vástago de la válvula comprometiendo el top brake



Fuente: Autor del proyecto

Otra daño es la rotura del pistón



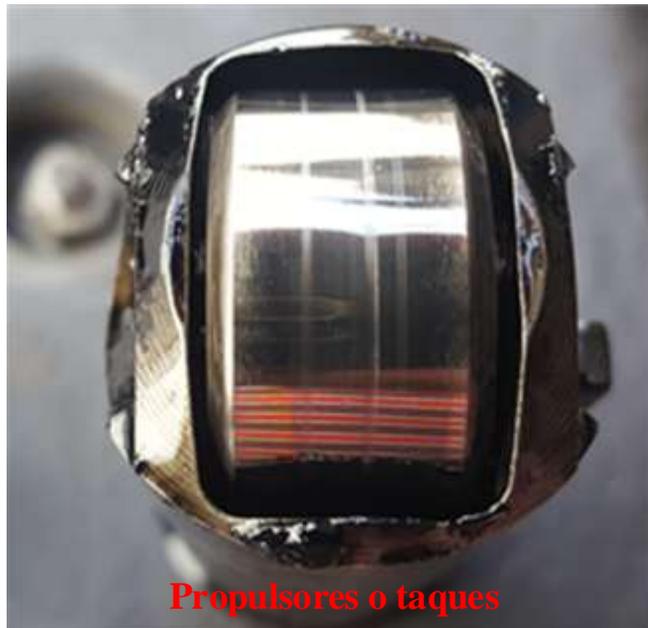
Fuente: Autor del proyecto

Al producirse la rotura del vástago de la válvula, este cae sobre el pistón y lo rompe, provocando la rotura de la camisa y una torcedura de biela por ende el paso del agua al aceite



Fuente: Autor del proyecto

Otros daños están el desgaste de propulsores o taques de válvula.



Mezcla de agua al sistema de lubricación



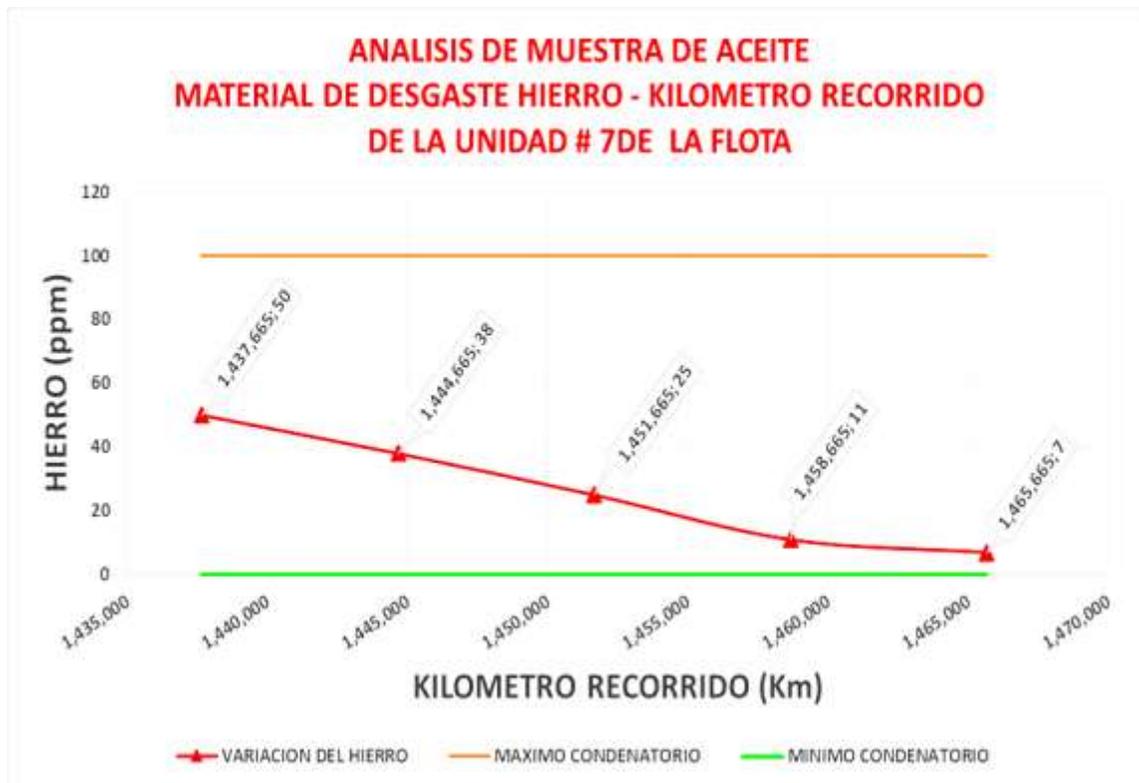
Fuente: Autor del proyecto

ANALISIS DEL ACEITE DE LA UNIDAD # 7 DE LA FLOTA DE CAMIONES DE TRANSPORTES MONCAYO S.A

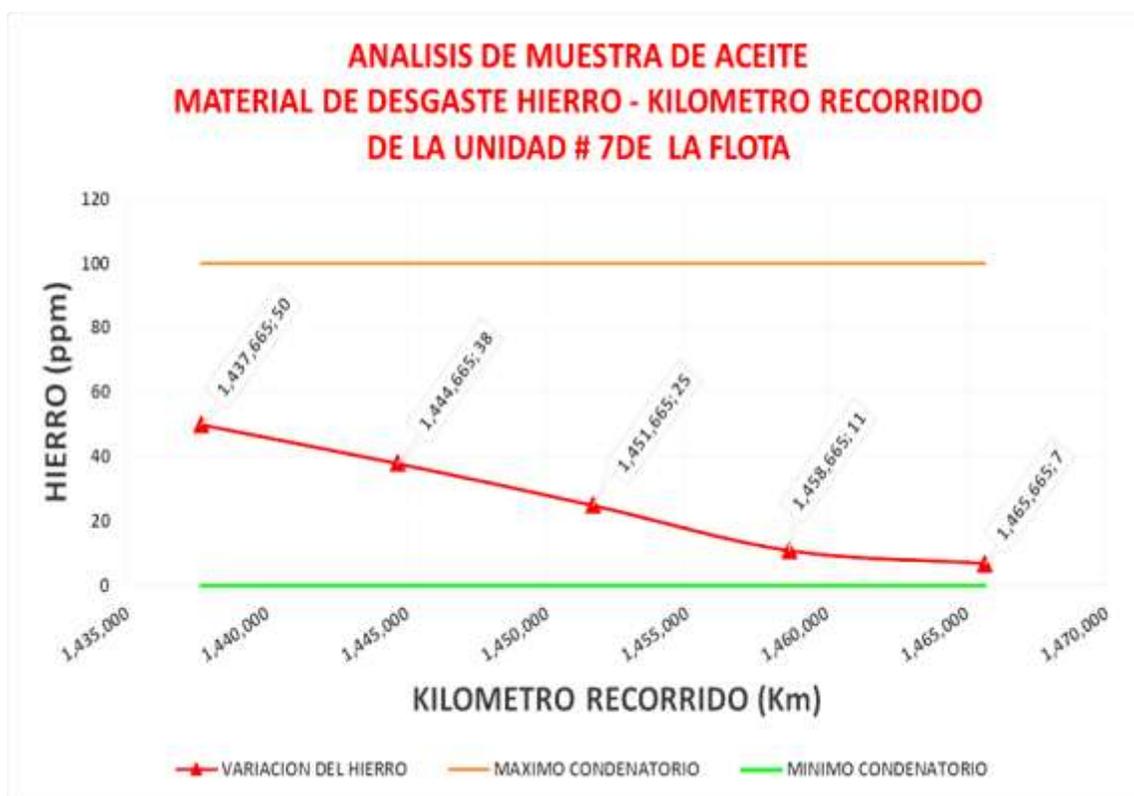
REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO											
	DATOS DEL CAMION			CAMBIOS DE ACEITE				CAMBIOS DE ACEITE			
	MARCA	Mercedes Benz		FECHA DEL CAMBIO	25 de Noviembre del 2017			FECHA DEL CAMBIO	18 de Enero del 2018		
	SERIE	2653		KILOMETRO TOTAL	1.434.165 Km			KILOMETRO TOTAL	1.451.665 Km		
	AÑO DE FABRICACION	2006		PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE	3.500 Km			PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE	7.000 Km		
	PLACA	UCA0798		FECHA DEL CAMBIO	08 de Diciembre del 2017			FECHA DEL CAMBIO	22 de Febrero del 2018		
	NUMERO DE LA FLOTA	7		KILOMETRO TOTAL	1.437.665 Km			KILOMETRO TOTAL	1.458.665 Km		
	TIPO			PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE	7.000 Km			PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE	7.000 Km		
	L	X	S	FECHA DEL CAMBIO	27 de Diciembre del 2017			FECHA DEL CAMBIO	12 de Marzo del 2018		
				KILOMETRO TOTAL	1.444.665 Km			KILOMETRO TOTAL	1.465.665 Km		
				PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE	7.000 Km			PERIODO DE CAMBIO DEL LUBRICANTE	7.000 Km		
		MUESTRA 4		MUESTRA 5		MUESTRA 6		MUESTRA 7		MUESTRA 8	
		KILOMETRAJE DE	3.500 Km	KILOMETRAJE DE	7.000 Km	KILOMETRAJE DE	7.000 Km	KILOMETRAJE DE	7.000 Km	KILOMETRAJE DE	7.000 Km
		KILOMETRAJE TOTAL	1.437.665 Km	KILOMETRAJE TOTAL	1.444.665 Km	KILOMETRAJE TOTAL	1.451.665 Km	KILOMETRAJE TOTAL	1.458.665 Km	KILOMETRAJE TOTAL	1.465.665 Km
RESULTADOS											
APARIENCIA	NEGRO		NEGRO		NEGRO		NEGRO		NEGRO		
AGUA POR CREPITACION	NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO		
VISCOSIDAD A 100° C.CST, ASTM D-445	12.94		12.87		13.06		13.03		13.31		
TBN, ASTM D-2896	9.52		9.78		9.5		9.6		9.02		
METALES DE DESGASTE, ATMD D-6595											
METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm	12		9		5		3		1		
METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm	0		0		0		0		0		
METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm	18		15		11		10		7		
METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm	0		0		0		0		0		
METAL DE DESGASTE ALUMINIO,	22		19		15		12		9		
METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm	0		0		0		0		0		
METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm	50		38		25		11		7		
ELEMENTO SILICIO, Si, ppm	6		3		3		3		2		

En las tablas y graficas siguientes se indican los parámetros de los materiales de desgaste más relevantes obtenidos al analizar el aceite usado de la unidad # 7 de la flota después que se realizó el mantenimiento correctivo.

DATOS DE MUESTRAS DE ACEITE MATERIAL DE DESGASTE ALUMINIO DE LA UNIDAD # 7			
KILOMETRAJE RECORRIDO	ALUMINIO	MAXIMO CONDENATORIO	MINIMO CONDENATORIO
Km	ppm	ppm	ppm
1,437,665	22	20	0
1,444,665	19	20	0
1,451,665	15	20	0
1,458,665	12	20	0
1,465,665	9	20	0



DATOS DE MUESTRAS DE ACEITE MATERIAL DE DESGASTE HIERRO DE LA UNIDAD # 7			
KILOMETRAJE RECORRIDO	ALUMINIO	MAXIMO CONDENATORIO	MINIMO CONDENATORIO
Km	ppm	ppm	ppm
1,437,665	50	100	0
1,444,665	38	100	0
1,451,665	25	100	0
1,458,665	11	100	0
1,465,665	7	100	0



DATOS DE MUESTRAS DE ACEITE MATERIAL DE DESGASTE COBRE DE LA UNIDAD # 7			
KILOMETRAJE RECORRIDO	ALUMINIO	MAXIMO CONDENATORIO	MINIMO CONDENATORIO
Km	ppm	ppm	ppm
1,437,665	18	30	0
1,444,665	15	30	0
1,451,665	11	30	0
1,458,665	10	30	0
1,465,665	7	30	0

