

INDICE.



INDICE.

RESUMEN.	
ABSTRACT.	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: ACEITES LUBRICANTES.....	7
1.1. Breve reseña histórica del uso de los lubricantes.....	7
1.2. Procesos de obtención de bases para aceites lubricantes.....	10
1.2.1. Bases lubricantes.....	10
1.2.2. Clasificación de aceites básicos minerales.....	13
1.3. Aditivos.....	15
1.3.1. Antioxidantes.....	16
1.3.2. Anticorrosivos y antiherrumbres.....	16
1.3.3. Antiespumantes.....	16
1.3.4. Detergentes.....	17
1.3.5. Dispersantes.....	17
1.3.6. Mejoradores del índice de viscosidad.....	17
1.3.7. Depresores del punto de fluidez.....	18
1.3.8. Emulsificantes.....	18
1.3.9. Aditivos antidesgaste AW y de presión extrema (EP).....	19
1.4 Lubricantes formulados para motores a Gasolina y Diesel.....	19
1.5. Procesos de degradación de los aceites lubricantes durante su uso.....	21
1.6. Análisis de Aceite. Fallas relacionadas al análisis de aceite.....	26
1.6.1. Fallas relacionadas con la lubricación.....	28
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
2.1. Caracterización de la Central eléctrica Fuel Oil Bayamo 110 kV.....	34
2.2. Objetivo y alcance del análisis del proceso de degradación de lubricante.....	34
2.3. Caracterización de la fuente energética utilizada para el proceso de generación distribuida.....	35
2.4. Descripción del experimento.....	36
2.4.1 Protocolo para la determinación de la viscosidad cinemática en lubricantes.....	36
2.4.2. Determinación de la viscosidad de la muestra.....	37
2.4.3. Selección de la serie del viscosímetro y temperatura de trabajo.....	37
2.4.4. Determinación.....	38
2.4.5. Cálculo de la viscosidad cinemática.....	39
2.5. Protocolo para la determinación del porcentaje de insolubles en lubricantes.....	39
2.5.1. Preparación de la muestra.....	40
2.5.2. Determinación de los Insolubles en n-Pentano.....	40
2.5.3. Determinación de los Insolubles en tolueno.....	41
2.5.4. Cálculo de los insolubles.....	41
2.6. Protocolo para la determinación del número total de bases en lubricantes.....	42

2.6.1. Determinación del TBN de la muestra de ensayos.....	43
2.6.2. Procedimiento.....	43
2.6.3. Selección del método de trabajo.....	44
2.6.4. Análisis de la muestra de ensayos.....	46
2.7. Protocolo para la determinación del porcentaje de agua en combustibles y lubricantes.....	46
2.7.1. Determinación del % de agua en la muestra de ensayos.....	47
2.7.2. Cálculo del % de agua.....	48
2.8. Toma de muestras.....	48
2.9 Interpretación de los resultados.....	49
2.9.1 Evaluación del impacto medioambiental.....	49
CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	51
3.1. Toma de muestras.....	51
3.2. Interpretación de los resultados.....	51
3.2.1. Análisis relacional del comportamiento del número total de base y la viscosidad en los motores 11 y 12.....	57
3.3. Evaluación del impacto medioambiental.....	58
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS.....	64

DEDICATORIA.



DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen Guadalupana por brindarme la oportunidad y la dicha de la vida, al brindarme los medios necesarios para continuar mi formación. A mi familia por haberme brindado el apoyo extraordinario en los momentos de necesidad quienes depositaron confianza y solidaridad para hacer de mí un profesional

Este trabajo lo dedico a mis queridos padres: Oswaldo Salinas y Piedad Espín, por todo el esfuerzo realizado, por haber confiado siempre en mí por brindarme su apoyo incondicional e incentivar me durante toda mi vida como estudiante, quienes me supieron aconsejar para no desmayar y culminar con éxito lo que siempre anhele; mi Ingeniería.

A mis hermanos: Paulina y Oswaldo Salinas Espín que me acompañaron a lo largo del camino, brindándome la fuerza necesaria para continuar así mismo ayudándome en lo que fuera posible

A mí querida abuelita: Mercedes Carrillo Álvarez por ser la guía y aliciente que me estimula a seguir superándome, estoy muy agradecido.

A mí adorada hija: Sofía Isabel Salinas Villacrés, por ser el motor que me impulsa a seguir adelante y la razón del éxito alcanzado.

A mi sobrino y cuñado: Diego Alejandro Zurita Salinas y Edwin Alfonso Zurita por los consejos y apoyo incondicional.

A mis tutores de la Universidad de Granma Dr.C Yoandro Rodríguez Ponce. Dr.C Rubén Jerez Pereira, quienes nos han orientado en todo momento en la realización de este proyecto que enmarca el último escalón hacia un futuro en donde sea participe en el mejoramiento

Mauricio.L.Salinas.E.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis queridos padres, a mis hermanos por todo el esfuerzo realizado, por haber confiado siempre en mí a pesar de mis tropiezos y fracasos, por brindarme su apoyo incondicional e incentivarme durante toda mi vida como estudiante, quienes me supieron aconsejar para no desmayar y culminar con éxito lo que siempre anhele; mi Ingeniería.

A todas aquellas personas con quienes disfrute de mi estadía en Cuba, en especial a mis tutores Dr.C Yoandro Rodríguez Ponce y Dr.C Rubén Jerez Pereira quienes supieron guiarme y contribuyeron de manera significativa en el desarrollo y culminación de mi tesis.

Milton Fernando Viera Díaz

AGRADECIMIENTOS.



AGRADECIMIENTOS

Es justo reconocer el mérito de todos aquellos que de alguna u otra forma han participado en estas líneas sin cuya colaboración, apoyo y ánimo este no habría sido posible.

Gratificante porque supone la culminación de un proceso de estudio que se inicio hace cinco años. Y responsables pues son muchas las personas que han estado a mi lado, y a quienes debo mi más sincera gratitud y mis esfuerzos en la elaboración de este trabajo.

Mi gratitud, principalmente está dirigida a Dios y a la Virgen Guadalupe por haberme dado la existencia y permitido llegar al final de mi carrera

A la Universidad Técnica de Cotopaxi y la Universidad de Granma, Cuba; de manera especial a la especialidad de Ingeniería Electromecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión.

A mis padres: Oswaldo Salinas y Piedad Espín por haberme guiado por el buen camino de la educación, la dedicación y la responsabilidad.

A mis hermanos en especial: Paulina y Oswaldo Salinas Espín.

A mí sobrino: Diego Alejandro Zurita Salinas.

A mí cuñado: Edwin Alfonso Zurita.

A mí querida abuelita: Mercedes Carrillo Álvarez.

A mí adorada hija: Sofía Isabel Salinas Villacrés.

A los docentes y compañeros que me han acompañado durante el largo camino brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando mi formación.

A mis tutores Dr.C Yoandro Rodríguez Ponce y Dr.C Rubén Jerez Pereira, quienes nos han orientado en todo momento en la realización de este proyecto que enmarca el último escalón hacia un futuro en donde sea participe en el mejoramiento.

Mauricio.L.Salinas.E.

Muchas Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, mi verdadero agradecimiento a diario es a DIOS, por brindarme el regalo maravilloso que es la vida guiándome por el camino correcto sin desampararme de su mano protectora.

Agradezco a mi familia, especialmente a mis padres por sus sabios consejos y buenos ejemplos, a quienes con especial cariño dedico mi esfuerzo.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi y la Universidad de Granma, de manera especial a la especialidad de Ingeniería Electromecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión.

Mi agradecimiento muy especial a mi tutor Dr.C. Yoandro Rodríguez Ponce y al Dr.C. Rubén Jerez Pereira, siendo mis guías en la dirección de esta tesis y por su total apoyo en la realización de este trabajo

Finalmente, quiero extender un reconocimiento especial a mis amigos/as, compañeros/as con quienes he compartido mi empeño y esfuerzo para lograr lo que hoy es una meta más cumplida.

Milton Fernando Viera Díaz.

RESUMEN.



RESUMEN.

La preservación del medio ambiente y el creciente consumo de recursos energéticos constituyen dos cuestiones de relevante significación para el mundo actual así como para el próximo futuro. El calentamiento global, principal flagelo ambiental que enfrenta la humanidad tiene un origen antropogénico y el uso de fósiles y sus derivados son responsables del 60 % de las emisiones de CO₂, gas con mayor responsabilidad en el fenómeno del calentamiento global.

La búsqueda de soluciones que garanticen eficiencia energética, y a la vez propicien la disminución de los impactos ambientales de las tecnologías de las que dispone el hombre para satisfacer sus necesidades energéticas, de confort, etc, resulta hoy más que nunca una tarea de primordial orden que deben enfrentar los especialistas. En este sentido la óptima utilización de materiales de explotación con un origen fósil se constituye en actividad prioritaria.

En el presente trabajo, desarrollado en la central eléctrica Fuel Oil Bayamo 110 kV, se hace un estudio conducente a verificar la relación del proceso de degradación de los aceites usados en Motores Hyundai 9H21/32, con el diagnóstico temprano de fallas y la posibilidad de la disminución del consumo de estos como una vía para reducir el impacto ambiental.

ABSTRACT.

Environment preservation and the increase in energy use are two major issues that are effecting our world today and in the vary near future. The global warming, main environmental that to confront the mankind has an origin *anthropogenic* and the use of *petroleum* and his derived are responsible of the 60 % of the broadcasts of CO₂, gas with main responsibility in the *problem* of the global warming.

To come upon a solutions that guarantee *efficiency energetic*, and at the same time *proficient* to decrease of the environmental impacts of the *technologies* of which *dispose* the man to satisfy his needs *energetic*, of *comfort*, *etc*, results today *ms* that never a task of overriding order that have to *confront* the specialists. In this sense the *optima utilization* of materials to work with an origin *fossil* constitute in activity *principal*.

In the present work, developed in the head office *electric Fuel Oil Bayamo 110 kV*, there are doing a study to find *verification* the *relations* of the process of *degradation* of the oils used in Engines *Hyundai 9H21/32*, with the *diagnostic* early of fail and the possibility of the to decrease of the consumption of these like one goes to reduce the environmental impact.

INTRODUCCIÓN.

INTRODUCCIÓN.

El análisis de aceites lubricantes automotrices, durante el proceso de explotación de los motores de combustión interna reviste gran importancia, mediante este se pueden diagnosticar posibles fallas en el ciclo de trabajo de los mismos así como las causas de avería que provocan las paradas no planificadas para la solución de problemas. Otro de los objetivos de los análisis es comprobar las propiedades del lubricante para garantizar la lubricación entre los componentes que están en permanente movimiento y roce en el interior del motor y de esta manera acometer acciones que prolonguen la vida útil del aceite y con ello la disminución de los costos de producción por este concepto. (Trujillo, 2000; Troyer y Berry, 1999).

La función del aceite es lubricar y proteger al motor, generando una película separadora de las partes móviles y disminuyendo así el desgaste y el calentamiento excesivo, que puede provocar una falta de eficacia en el funcionamiento interno del motor y rigidez a corto plazo.

El aceite debe ser renovado periódicamente debido a que los cambios de temperatura y el desgaste propio de las mismas piezas provocan que en este, de forma progresiva se pierdan propiedades como lubricante. No existe en el mundo automotriz algún auto que por sofisticado o sencillo que sea no requiera lubricación, ya que con esta se mejora tanto el funcionamiento, como la vida útil de los equipos y maquinarias.

Los lubricantes se contaminan durante su utilización con productos orgánicos de oxidación y otras materias tales como carbón, producto del desgaste de los metales y otros sólidos, lo que reduce su calidad. Cuando la cantidad de estos contaminantes es excesiva el lubricante ya no cumple lo que de él se demandaba y debe ser reemplazado por otro nuevo. Estos son los llamados Aceites Usados, de Desecho o Residuales y deben ser recogidos y reciclados para evitar la contaminación del medio ambiente y para preservar los recursos naturales.

Los aceites residuales generados representan más del 60% de los aceites lubricantes consumidos. Esto hace que los aceites usados sean uno de los residuos contaminantes más abundantes que se generan actualmente, pudiendo alcanzarse la cifra de $24 \cdot 10^5$ t/año.

Los aceites usados se están eliminando por procedimientos tales como el vertido en terrenos y cauces de agua o la combustión indiscriminada que no aprovechan su auténtico valor potencial, produciendo peligrosas contaminaciones en los recursos naturales donde son dispuestos finalmente.

Si se disponen de forma directa en alguno de los componentes del medio ambiente, agua o suelo, su propiedad de ser insolubles en el agua determina que el tiempo para su degradación sea prolongado, llegando a alcanzar entre 10 a 15 años en el mar por no ser biodegradables. Su disposición ocasiona películas impermeables que impiden el paso del oxígeno y matan la vida, además esparcen productos tóxicos que pueden ser ingeridos por los seres humanos de forma directa o indirecta provocando estos serios daños en la salud.

Tabla 1: Agua contaminada, cambios en su calidad provocada por la disposición en ella de aceites usados. (Tekniker, 2011).

Volumen de aceite contaminado	Agua contaminada	
	Volumen (L)	Superficie (m ²)
1	1000000	
5		5000
Cantidad de aceite contaminado	Propiedades del agua	
0.44mg/L	Cambio de sabor del agua	
0.01mg/L	Percibe el cambio del sabor	
0.001mg/L	Inicio de la percepción del sabor	

Otro gran problema asociado al anterior lo crea el plomo, que emitido al aire en pequeñas partículas perjudica la salud de los seres humanos. El plomo es el más volátil de los componentes metálicos que forman las cenizas de los aceites usados, por lo que puede afirmarse que, prácticamente, cuando se quema aceite todo el plomo es emitido a la atmósfera.

La cantidad de plomo presente en el aceite usado oscila entre el 1 % al 1,5 % en peso y proviene de las gasolinas y de los aditivos. Estudios realizados en los Países Bajos han estimado que si llegaran a quemarse las 70.000 t al año de aceite usado, se recargaría la atmósfera con 350 t adicionales de plomo, lo que representaría una tercera parte más de lo que actualmente emiten los escapes de los vehículos.

La peligrosidad de un lubricante se puede determinar a partir de la evaluación de varios parámetros que se utilizan para caracterizar a los mismos, entre ellos:

Biodegradabilidad	Emisión de gases
Bioacumulación	Degradación química
Toxicidad	Tiempo requerido para ser eliminado del agua.
Ecotoxicidad	

Un aceite usado, por su naturaleza y composición, en muchas ocasiones es utilizado como medio portador de cualquier producto orgánico tóxico o peligroso que de forma fraudulenta haya sido mezclado con el aceite para eliminarlo a un costo bajo. Esta es una práctica que se da con excesiva frecuencia, ocasionando contaminaciones en los aceites.

Los aceites vírgenes pueden contener cantidades pequeñas controladas de PHA's (compuestos aromáticos policíclicos) que durante el funcionamiento del lubricante, mediante la descomposición de los distintos componentes así como reacciones catalizadas por metales, incrementan su presencia en el aceite usado. Muchos de estos PHA's tienen un efecto marcadamente cancerígeno y plenamente demostrado, y de una forma u otra son arrojados a la atmósfera que respiramos.

Entre el 40 al 70 % de los PHA's que se emiten en los gases, proceden del aceite de motor, otro 30 - 60 % se origina en el proceso de combustión del combustible. La tendencia revelada a partir de estudios que se realizan indica que se debe de ir hacia la utilización de lubricantes sintéticos y aceites vegetales, que debido a su bajo impacto ambiental y a su superior rendimiento frente a los minerales, precisan menor aditivación, pero lógicamente son más caros.

Otros elementos que se producen durante la combustión de los aceites son el Cl (Cloro), NO₂ (óxido de nitrógeno), SH₂ (sulfuro de hidrógeno), Sb (antimonio), Cr (cromo), Ni (níquel), Cd (cadmio), Mn (manganeso), Cu (cobre), estos actúan sobre el tejido respiratorio superior y tejido pulmonar.

Metales como el Pb (plomo), Cd (cadmio), Mn (manganeso), tienen efectos tóxicos sobre el riñón, el cadmio además efectos cancerígenos sobre la próstata y el cromo sobre el pulmón. Los compuestos aromáticos como tolueno y benceno, pueden llegar a provocar leucemias, otros hidrocarburos más ligeros se acumulan en la sangre y podrían llegar a producir parálisis. (Dorta, García et al., 2009).

La combustión, es uno de los mecanismos utilizados por el hombre para deshacerse de los aceites usados aunque este es un método que también genera impactos negativos sobre el medio ya que 5 litros de aceite usado combustionados son capaces de contaminar un volumen de aire equivalente al que respira un hombre adulto a lo largo de 3 años de su vida, debido a que los componentes de metales y cloro, que contienen producen gases tóxicos que deben ser depurados.

Los análisis anteriores demuestran que en la actualidad no existe un método mediante el cual se pueda desactivar el aceite usado sin que durante este proceso se incurra en daños al medio ambiente o al hombre, lo que connota la necesidad de adoptar estrategias vías o métodos mediante los cuales se minimice el consumo de este como vía más eficaz para evitar estos efectos nocivos. (Dorta, García et al., 2009).

El monitoreo de aceite lubricante en uso es un proceso científico de ensayos de laboratorio que permite determinar el grado de deterioro (degradación en tiempo real) mediante la presencia y origen de contaminantes en el aceite, así como de verificar eventuales cambios en las características del fluido. Los resultados del análisis proporcionan el accionar, desde la economía en el consumo del fluido (mayor tiempo de utilización en servicio) hasta la toma de decisión de la oportunidad de una intervención correctiva evitando grandes perjuicios económicos debido a fallas severas y minimiza los impactos ambientales debido la disminución del consumo por el aumento del tiempo en servicio, (Pignalosa et al., 2003).

Lo expresado anteriormente constituye antecedentes de la investigación que connotan la necesidad de buscar vías para la mitigación de los efectos que sobre el medio ambiente, con serias implicaciones en la salud y la vida de todos los seres vivos conlleva al siguiente problema:

Problema de la investigación:

¿Cómo influye el proceso de degradación de los lubricantes en el diagnóstico anticipado de fallas y en el impacto ambiental en los motores de combustión interna durante su explotación?

Hipótesis:

El análisis de las propiedades de los aceites y su corrección durante la explotación de los motores de combustión interna del emplazamiento Fuel Oil de Bayamo permitirá anticiparse a las fallas, prolongar su vida útil y disminuir su impacto ambiental.

Objeto de la investigación:

Propiedades del aceite motor durante la explotación de los motores de combustión interna.

Campo de acción:

Análisis de la Viscosidad, % de Agua, Número Total de Base (TBN) e Insolubles en los lubricantes de los motores de combustión interna durante su explotación.

Objetivo general:

Determinar la relación entre las fallas, el impacto ambiental y el proceso de degradación de los lubricantes durante la explotación de los motores de combustión interna del emplazamiento Fuel Oil de Bayamo.

Objetivos específicos:

- Estudiar las principales propiedades de los aceites lubricantes.
- Estudiar el proceso de degradación de propiedades de los aceites lubricantes y los métodos más utilizados para su devolución durante la explotación.
- Establecer la relación entre las fallas, el impacto ambiental y la degradación de propiedades de los lubricantes durante el proceso de explotación de los motores de combustión interna.

Métodos empleados

Documental (bibliográfica): Investigación realizada en fuentes de información: libros, periódicos, casetes, folletos, revistas, antologías, etc.

Métodos de investigación.

En el desarrollo de la investigación se aplican diferentes métodos. Dentro de los teóricos, el análisis – síntesis para la revisión de la literatura y el histórico – lógico necesario para abordar el proceso de conformación y funcionamiento para la finalidad del proyecto que se propone, así como la consecuente selección de su metodología. Se considera también el método inductivo y el método deductivo para el análisis del tema.

Los métodos analíticos matemáticos para el procesamiento de la información y para la ejecución de los análisis y obtención de los resultados.

CAPÍTULO I.



CAPÍTULO I: ACEITES LUBRICANTES.

Los aceites lubricantes son sustancias líquidas de origen animal, vegetal, mineral o sintético, que pueden utilizarse para reducir el rozamiento o fricción entre piezas y mecanismos en movimiento. Contribuye a mantener el equilibrio térmico de la máquina, disipando el calor que se produce en la misma como consecuencia de frotamientos, combustión, etc.; es capaz de eliminar por circulación impurezas siendo capaz de mantenerlas en suspensión en su seno y llevarlas hasta los elementos filtrantes apropiados; tienen propiedades naturales anticorrosivas y reductoras de la fricción y el desgaste. (Linares, 2005).

1.1. Breve reseña histórica del uso de los lubricantes.

La lubricación es una técnica tan antigua en la historia humana como la rueda y el eje. Cuando hace algunos años se abrió una tumba del Egipto antiguo, uno de los carros que en ella se encontraban aún tenía en el eje vestigios del lubricante que se le aplicó, el cual era una sustancia pegajosa y ligeramente grasienta cuyo punto de fusión de 45°C hace pensar que podría ser sebo de carnero o de vaca. (Paul D. Hudson, 1970).

El uso de lubricantes data desde la época del neolítico. En Egipto como en Mesopotamia el bitumen, así como los aceites vegetales y animales fueron los primeros lubricantes empleados por el hombre al enfrentarse con problemas de desgaste y fricción. En la fabricación de muebles, los egipcios utilizaban el aceite de oliva como lubricante para los taladros simples o triples. (De Vita. 1995, Hudson. 1970).

Los documentos históricos muestran el uso de la rueda desde el 3500 A.C., lo cual ilustra el interés de nuestros antepasados por reducir la fricción en movimientos de traslación. Los egipcios tenían el conocimiento de la fricción y los lubricantes, el transporte de grandes bloques de piedra para la construcción de monumentos y pirámides revela el uso de los lubricantes. Para realizar esta tarea utilizaban agua o grasa animal como lubricante. (De Vita, 1995).

El artista científico renacentista Leonardo Da Vinci fue el primero que postuló un acercamiento a la fricción. Da Vinci dedujo la leyes que gobernaban el movimiento de un bloque rectangular deslizándose sobre una superficie plana, también, fue el

primero en introducir el concepto del coeficiente de fricción. Desafortunadamente sus escritos no fueron publicados hasta cientos de años después de sus descubrimientos. Fue en 1699 que el físico francés Guillaume Amontons redescubrió las leyes de la fricción al estudiar el deslizamiento entre dos superficies planas. (De Vita, 1995).

Muchos otros descubrimientos ocurrieron a lo largo de la historia referente al tema, científicos como Charles Agustín Coulomb, Robert Hooke, Isaac Newton, entre otros, aportaron conocimientos importantes para el desarrollo de esta ciencia. (De Vita, 1995).

Al surgir la Revolución Industrial el desarrollo tecnológico de la maquinaria para producción avanzó rápidamente. El uso de la potencia del vapor permitió nuevas técnicas de manufactura. En los inicios del siglo veinte, desde el enorme crecimiento industrial hasta la demanda de una mejor tribología, el conocimiento de todas las áreas de la tribología se expandió rápidamente. (Linares, 2005).

Los primeros lubricantes usados por el hombre en las primeras máquinas y dispositivos que inventó para auxiliarse en su trabajo, fueron el agua y la arcilla y en lo posterior el cebo de origen animal, todos cuando como material principal se utilizaba la madera.

Durante cientos de años se excavaron pozos para recoger petróleo. El empleo de aceites minerales como lubricantes se inició con el descubrimiento en agosto de 1859 del pozo Drake en Titusville, Pennsylvania (Estados Unidos) con el cual comenzó la llamada industria moderna del petróleo. Un año después se construyó en este mismo lugar la primera instalación refinadora de este país de la cual el residuo de destilación o mazut se empezó a utilizar parcialmente como grasa para ejes. En 1876 el gran químico ruso D. I. Mendeléiev fundamentó la posibilidad de obtener a partir del mazut aceites lubricantes. Los aceites del petróleo comenzaron a desplazar los materiales de lubricación de origen vegetal y animal, y en Rusia, Estados Unidos y algunos otros países se construyeron plantas para la producción de aceites a partir del petróleo. (Benlloch, 1986)

En la primera mitad del siglo XX la cantidad fundamental de aceites lubricantes se obtenía a partir de clases especiales de petróleos por los métodos de depuración

ácida, alcalina y de absorción, más tarde, en la práctica industrial, se introdujeron los procesos de extracción (desasfaltado, desparafinación, depuración selectiva) y catalíticos (hidrodepuración) que permiten obtener aceites básicos de alta calidad a partir de petróleos comunes. También se empiezan a utilizar aditivos que refuerzan sus propiedades anticorrosivas, antioxidantes, detergentes y otras. (Bhushan, B.y B.K, 1991).

Desde el desarrollo de la primera lubricación simple, la tecnología ha avanzado en tres generaciones. Dentro de la primera generación se encuentran los aceites que llevan incorporados aditivos de extrema presión químicamente activos (S, Pb, P, Zn, Cl), estos aditivos reaccionan químicamente en las superficies metálicas formando sales (sulfuros, fosfuros, cloruros) las cuales revisten las superficies en contacto, separando las superficies metálicas. Se logra que un 25% de la superficie total entre en contacto. (Benlloch, 1986)

Como lubricantes de segunda generación se consideran los que contienen elementos sólidos (disulfuro de molibdeno, grafito, teflón, etc.) cuyos objetivos principales son formar capas de un bajo coeficiente de fricción, separando las superficies en contacto y distribuir mejor la carga. Con esta generación se logra un aumento de la superficie de contacto al 40%.

La tercera generación es una nueva tecnología de lubricación que contiene aditivos de base organometálica que basándose en la teoría eutéctica forman un estado eutéctico en las capas atómicas superiores de las superficies en fricción. Esta tecnología entre otras cosas aumenta las superficies en contacto hasta el 75%, optimiza el periodo de puesta en marcha, alarga la vida del lubricante y disminuye el coeficiente de fricción.

Actualmente, como resultado de los últimos estudios ambientales, se ha empezado a tomar conciencia en la lubricación por parte de la industria mundial y de los productos de lubricantes, surgiendo como consecuencia los lubricantes con conciencia ambiental (EAL) los cuales permiten la reducción de las fuentes de contaminación ambiental reciclaje y biodegradabilidad. Se tienen bien definidos tres grupos de lubricantes EAL: Ecológicos, Biodegradables y no tóxicos. (Childs, 1998).

Desde entonces se ha estudiado cómo optimizar la acción de los lubricantes para poder cubrir las necesidades de la industria automotriz. Los mayores logros se han alcanzado principalmente a través de sustancias llamadas aditivos. La primera aplicación comercial de aditivos químicos ocurrió al inicio de la década de los años 30. En U.S.A se sintetizó un polímero para bajar el punto de fluidez, lo cual permitió que los aceites minerales fluyeran a temperaturas más bajas. A fines de esa misma década, ya se habían desarrollado los primeros aditivos: detergentes, anti-oxidantes, anticorrosivos y polímeros mejoradores de viscosidad. Después de la segunda guerra mundial ya en U.S.A. había en el mercado aceites formulados para motor. (Jentgen, 1965).

Actualmente más de 350 millones de libras de aditivos para aceites y grasas lubricantes son producidos anualmente, y la mayor parte se emplean en los aceites para motor de gasolina y diesel. En la tabla 1.1 se puede apreciar el consumo mundial de aceites formulados.

Tabla 1.1: Consumo mundial de aceites formulados por áreas. (De Vita, 1995).

Area	Millones de TM
Norte América	10
China	9
Europa	6
Resto del Mundo	9
Total	34

1.2. Procesos de obtención de bases para aceites lubricantes.

1.2.1. Bases lubricantes

Las bases lubricantes son una mezcla de parafinas con cadenas lineales, hidrocarburos cíclicos, aromáticos y una pequeña cantidad de heteroátomos (nitrógeno, azufre y oxígeno). Las bases típicas generalmente tienen un 15-30% en peso de aromáticos, un 70-85% de mezcla de hidrocarburos lineales y cíclicos, y aproximadamente un 0.5-2% de especie con heteroátomos polares, de los cuales el azufre está presente en mayores concentraciones (1.2% a 12000 ppm), distribuido en forma de sulfuros de alquilos, sulfuros cíclicos y tiofenos. Las bases se clasifican según su origen en dos tipos: (Hsu, et al. 1986)

- Bases minerales, obtenidas por refinación del petróleo crudo.

- Bases sintéticas, obtenidas mediante procesos de síntesis.

La manufactura de las bases minerales se logra a través de procesos de separación que aparecen resumidos en la Figura.1.1, y de procesos de tratamiento.

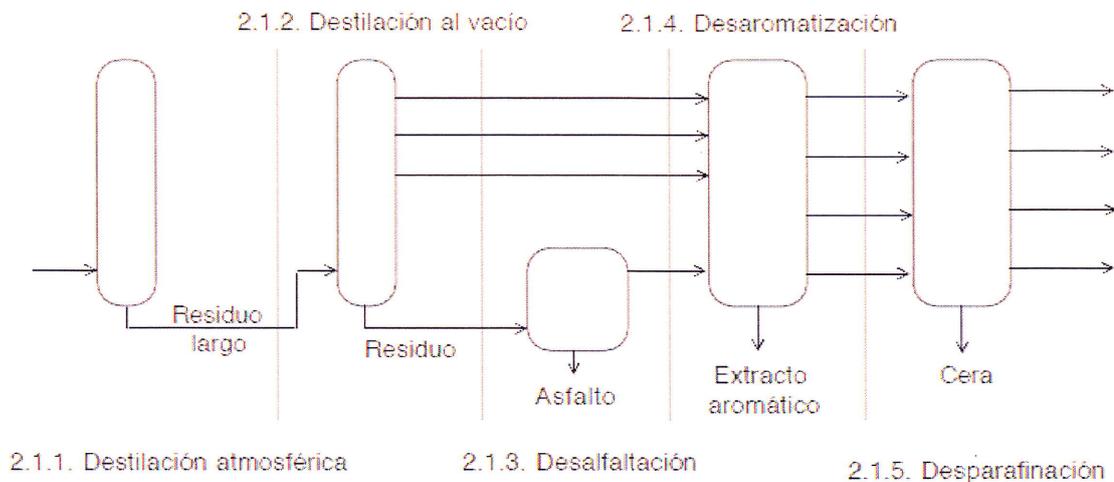


Figura 1.1: Esquema de obtención de aceites básicos, (Hsu, et al. 1986, De Vita, 1995).

Durante la refinación del petróleo, con el objetivo de separar las fracciones livianas por cortes, basándose en la diferencia de volatilidad de los constituyentes del crudo. El crudo caliente se inyecta en la torre de destilación donde los vapores se condensan en los platos de burbujeo a medida que se separan de la zona más caliente. Las fracciones más volátiles son retiradas como gases o gasolina condensada, mientras que en las regiones inmediatamente inferiores se separa el kerosén y el gasoil. Por la base de la columna se recoge el "residuo largo", el cual es procesado para la obtención de lubricantes, los cuales una vez obtenidos se someten a los procesos que se describen en la figura 1.1 para separar de ellos los diferentes elementos componentes de el residuo largo nocivos para el logro de las características requeridas en la base del lubricante. (Galiasso, 1989).

Además de los procesos de separación descritos anteriormente; se incorporan los procesos de tratamiento en la manufactura de las bases, que se realizan para que éstas adquieran las propiedades necesarias que permitan alcanzar los parámetros de control, ver tabla 1.2.

Tabla 1.2: parámetros de control para bases lubricantes. (Galiasso, 1989)

Propiedad	Parámetros de control	Utilidad práctica
Fluidez	Viscosidad (varía según grado.) Punto de fluidez (0°C máx.). Punto de nube.	Facilidad de flujo. Flujo a bajas temperaturas. Formación de película lubricante.
Inflamabilidad	Punto de inflamación (145 0°C. min). Punto de fuego.	Volatilidad. Presencia de fracciones livianas.
Color	Color ASTM (N° 5 máx.).	Grado de refinación. Viscosidad relativa.
Corrosividad	Acidez (0,1 mg KOH/g máx.). Corrosión lámina de Cu (1B máx.).	Corrosión de partes a lubricar. Presencia de ácidos nafténicos.
Composición	Prueba de oxidación. Contenido de aromáticos. Contenido de parafinas/naftenos.	Durabilidad en uso. Estabilidad a la oxidación. Identificación de tipo de base.
Residuos	Carbón Conradson (0.1 % máx.)	Depósitos carbonosos
Comportamiento	Propiedades de desgaste E/P Pruebas de motor Contenido de aditivos	Soporte de cargas Detergencia/Depósitos. Propiedades. Antioxidantes

Después de haber obtenido las bases con las propiedades idóneas, a partir de la destilación del crudo y de los procesos para la separación de cada uno de los elementos indeseables se pasa procesos de tratamiento de las mismas para lograr un producto con mejores cualidades se hacen necesarios que los tratamientos que a continuación se citan:

- Tratamiento con H₂SO₄ (98%)
- Tratamiento con arcilla
- Tratamiento con hidrogeno

Tratamiento con H₂SO₄ (98%). (De Vita, 1995).

Las bases nafténicas, con alto contenido de aromáticos son tratadas con H₂SO₄ concentrado (98 %) o con oleum (103 %), dependiendo del uso del aceite. El ácido y el aceite son mezclados en tanques con ayuda de agitadores mecánicos o con aire, y después de cierto tiempo se separa el lodo ácido, por gravedad o

centrifugación. Los básicos nafténicos resultantes muestran alta estabilidad a la oxidación. (McCool, 1987).

Tratamiento con arcilla. (De Vita, 1995).

Para mejorar la estabilidad del aceite básico a la oxidación, se pone en contacto con arcilla, activada o no, en un tanque de mezcla, la cual luego es bombeada a unos filtros para separar la arcilla del aceite. Durante la depuración por contacto, el aceite se mezcla con el adsorbente, la mezcla se calienta y se deja a una temperatura determinada, luego el aceite se filtra. El calentamiento es necesario para disminuir la viscosidad del aceite y facilitar así su penetración en los poros del adsorbente. Como adsorbentes se utilizan arcillas naturales (tierras decolorantes): gumbrin, bentonitas, así como silicatos de aluminio sintéticos. (McCool, 1988).

La arcilla, debido a sus propiedades adsorbentes, elimina del aceite trazas de productos inestables a la oxidación, coloreados, productos de reacción y lodos ácidos, resultantes del tratamiento con H_2SO_4 .

Tratamiento con hidrogeno. (De Vita, 1995).

El tratamiento del lubricante con hidrógeno en presencia de un catalizador Co/Mo/Al es utilizado no solamente para mejorar y estabilizar el color de las bases, sino también para neutralizar los ácidos nafténicos en la obtención de básicos tipo MVI/LVI e inclusive para la desparafinación de básicos HVI. Si el proceso se lleva a cabo a temperaturas altas (375-425°C) se mejora el índice de viscosidad, eliminando así el proceso de desaromatización de las bases lubricantes con furfural, fenol, etc.

1.2.2. Clasificación de aceites básicos minerales. (Malone, 1968; De Vita, 1995).

Dependiendo de la composición química mayoritaria de los hidrocarburos, los básicos se agrupan en aceites básicos parafínicos o nafténicos, y aceites sintéticos.

Aceites básicos parafínicos.

Predominan los hidrocarburos parafínicos y de acuerdo a su índice de viscosidad se clasifican en:

- Bases de muy alto índice de viscosidad (VHVI-P), cuyo índice alcanza valores mayores que 105.
- Bases de alto índice de viscosidad (HVI-P), cuyo índice de viscosidad está en el rango 85-105.

Aceites básicos nafténicos.

Predominan los hidrocarburos con anillos saturados y cadenas ramificadas. Según el rango del índice de viscosidad se divide en:

- Bases de mediano índice de viscosidad (MVI-N). El rango oscila entre 40 y 85.
- Bases de bajo índice de viscosidad (BVI-N), cuyo índice es menor que 40.

En la producción de los lubricantes para motor, se usan exclusivamente las bases parafínicas, debido a que poseen mayor índice de viscosidad, dan mejor respuesta a los aditivos empleados en la formulación y su volatilidad es baja. De todas formas, el uso de nafténicos está siendo estudiado debido a que los nafténicos HVI presentan algunas ventajas sobre los básicos parafínicos, tales como: (Moore, 1997).

- Menor punto de fluidez, lo cual elimina la necesidad de añadir aditivos depresores del punto de fluidez para ciertos lubricantes, como los aceites para compresores de refrigeración.
- Poder disolvente natural, debido a su mayor contenido en aromáticos que le confiere cierto carácter detergente debido a su capacidad de disolver compuestos orgánicos, producidos por el deterioro del aceite, y por su habilidad de suspender el hollín formado.
- Menor tendencia a la formación de carbón.
- Mayor versatilidad como aceite de procesos.

Bases sintéticas. (De Vita, 1995)

Son obtenidas a partir de materias primas de bajo peso molecular y presentan algunas ventajas sobre los aceites minerales tales como: mejor estabilidad termo-oxidativa, menor volatilidad y mejores características viscosidad-temperatura. Las bases sintéticas presentan una gran limitación con respecto a los básicos minerales, debido a su alto costo. De todas formas el uso de básicos sintéticos se ha ido incrementando para la lubricación de motores semi-adiabáticos con componentes cerámicos. (De Vita, 1995).

1.3. Aditivos.

Las bases por sí solas no cubren todas las necesidades que se exigen en la actualidad a los aceites para motor; por lo cual son formuladas con químicos, conocidos como aditivos. Estas sustancias químicas deben presentar las siguientes propiedades:

- Solubles en hidrocarburos, manteniendo la solubilidad en el rango de temperatura al cual trabaja el lubricante. La solubilidad debe ser total y rápida.
- Insolubles y no reactivos en soluciones acuosas.
- Coloración clara.
- Baja volatilidad.
- Inodoros.
- Estables durante la mezcla, almacenamiento y uso del lubricante. No deben hidrolizarse ni descomponerse a elevadas temperaturas.
- Compatibles entre sí, sin mostrar cambio de color o formación de compuestos insolubles.
- Flexibles, lo cual implica que los aditivos puedan formar parte de un paquete sin perder sus propiedades.
- Activos a la temperatura requerida por el sistema.

La acción de los aditivos para lubricantes se puede resumir en:

- Proteger al lubricante de cambios químicos, tal como la oxidación del aceite.

- Proteger la maquinaria del ataque de los productos de la combustión y/o de las posibles fallas del combustible o lubricante.
- Mejorar o añadir más propiedades físicas al lubricante, tal como mejorar la fluidez del aceite.

1.3.1. Antioxidantes.

El lubricante tiene tendencia a reaccionar con el oxígeno formando barnices, lodos, resinas y ácidos, que actúan incrementando la viscosidad del lubricante. La disminución de fluidez hace que el aceite pierda su capacidad circulante y refrigerante, ocasionando de esa forma el desgaste del motor. Los aditivos antioxidantes retardan la degradación del aceite y son en su mayoría aminas, fenoles, ditiofosfatos, sulfuros, etc. (De Vita, 1995).

1.3.2. Anticorrosivos y antiherrumbres.

La corrosión es el resultado del ataque químico a las superficies metálicas. En el caso de metales ferrosos, este tipo de corrosión se llama herrumbre y es el resultado del ataque químico del agua a las superficies de hierro en presencia de aire. Los inhibidores de herrumbre se agrupan en tres clases: materiales básicos, neutros y ácidos. Los más usados son los ácidos carboxílicos de alto peso molecular como el ácido alquilsuccínico, los ácidos sulfónicos y fosfóricos, sus respectivas sales y los compuestos formados por neutralización de estos ácidos con bases orgánicas tal como las aminas. (De Vita, 1995).

1.3.3. Antiespumantes.

La formación de espuma en un lubricante es motivo de serios problemas, debido a que la capacidad lubricante del aceite disminuye y favorece su oxidación. Afortunadamente pequeñas cantidades de varias siliconas pueden controlar muy bien la formación de espuma, rompiendo la interface líquido-aire, como las polidimetilsiliconas más usadas en aceite de motor. (Malone. 1968, De Vita. 1995).

1.3.4. Detergentes.

Son sustancias que actúan como el jabón común que dispersa o peptiza las partículas de sucio. En los lubricantes, los detergentes mantienen en suspensión las partículas contaminantes, evitando la formación de depósitos, tales como lacas, barnices, lodo y hollín los cuales son originados en el motor por los productos de combustión incompleta y por la descomposición oxidativa del aceite. Además, estos aditivos neutralizan los productos ácidos resultantes de los dos procesos mencionados anteriormente: oxidación del aceite y combustión incompleta. (Munchen. 1998, 1989).

Los detergentes son sustancias anfífilas, cuyos componentes son: a) un metal: Al, Zn, Ba, y Ca; b) Un componente aniónico: carboxilatos, fenatos, sulfonatos, y salicilatos; c) Un componente oleofílico que generalmente es una cadena lineal o ramificada de grupos alquílicos. (McKetta, 1963).

1.3.5. Dispersantes.

Estos aditivos tienen una función similar a los detergentes ya que también son anfífilos, con la diferencia de que no contienen metales, por lo cual son conocidos como dispersante sin cenizas y controlan principalmente la formación de lodos. (Rodríguez, 2005).

Numerosos estudios han sido realizado para poder elucidar el mecanismo de acción de estos aditivos, y se ha concluido que los dispersantes se adsorben sobre las partículas contaminantes presentes en el aceite, manteniéndolas en suspensión. Por otra parte se ha encontrado que pueden prevenir la formación de depósitos a través de la adsorción sobre las superficies metálicas. (McKetta, 1963).

Se puede concluir que los dispersantes además de suspender el lodo, minimizan los depósitos de barniz y neutralizan los ácidos de combustión.

1.3.6. Mejoradores del índice de viscosidad, (Malone, 1968; De Vita, 1995).

Estos aditivos tienen la capacidad de controlar los posibles cambios de viscosidad, debido a efectos de la temperatura. Son generalmente polímeros de

alto peso molecular que a bajas temperaturas tienen su cadena ovillada y a medida que la temperatura aumenta se va extendiendo, aumentando de esa forma la viscosidad del aceite. Las ventajas operacionales de un lubricante con un alto índice de viscosidad son: menor fricción, menor pérdida de lubricante y menor desgaste. (Olver, 1996).

1.3.7. Depresores del punto de fluidez, (Malone, 1968; De Vita, 1995).

Las parafinas que están en el lubricante tienden a cristalizar a medida que baja la temperatura, lo cual trae como consecuencia la disminución de fluidez del aceite.

Los aditivos depresores del punto de fluidez retardan la cristalización de las parafinas cambiando la forma y tamaño de los cristales mediante un efecto de adsorción, sin interferir con las propiedades del aceite. Ellos pueden ser materiales poliméricos o no-poliméricos tales como: los alquilnaftalenos, los polimetacrilatos, los alquil fenoles y poliésteres de estireno que son las sustancias más utilizadas como agentes depresores del punto de fluidez. (Ordaz, 2010).

1.3.8. Emulsificantes, (Malone, 1968).

Son sustancias especiales que permiten crear y mantener una dispersión del aceite con el agua, lo cual es muy importante para ciertos usos, como en aceites de corte anticorrosivo para radiadores. Las emulsiones sea agua en aceite o aceite en agua son dispersiones de uno en otro, y cuya naturaleza depende del tipo y de la cantidad de aditivo usado, como también de la relación agua/aceite y del orden de como se añadieron los ingredientes. El mecanismo de acción de estos aditivos consiste en la emigración de moléculas emulsificantes hacia una interface, formando una capa monomolecular. Esto trae como consecuencia una disminución drástica de la tensión interfacial y la formación de una emulsión con un contenido de energía relativamente baja.

Los emulsificantes más usados en la industria de lubricantes incluye jabones de aceite vegetal y animal, naftenatos y sulfonatos: sulfonatos de sodio, amidas con cola lipofílica, sales de amonio cuaternario, ésteres de polialquilenos de fenol, ácidos grasos etoxilados, y sales de ácidos grasos. Todos los emulsificantes tiene dos características en común: poseen peso molecular relativamente grande y un grupo hidrofílico y lipofílico.

1.3.9. Aditivos antidesgaste AW y de presión extrema (EP), (Malone, 1968).

Para poder visualizar la acción de estos aditivos es necesario dar una idea general de los diferentes regímenes de lubricación existente entre dos metales en movimiento en presencia de un lubricante (19).

a) *Lubricación hidrodinámica (H.D.):* Las dos superficies metálicas están separadas por una película de lubricante y el desgaste es producido por la deformación plástica inducida por los esfuerzos transmitidos a través de la película de fluido.

b) *Lubricación mixta:* Aparecen puntos de contacto entre las dos superficies y el peso de la carga es compartido por la película del fluido y por las asperezas en contacto.

c) *Lubricación Límite.* Las dos superficies están en contacto y la película del lubricante no existe debido a efecto de altas cargas.

Las sustancias químicas que previenen el desgaste entre dos superficies metálicas en movimiento han sido identificadas como "aditivos portadores de carga" y se dividen en dos grupos:

- Aditivos antidesgaste (AW)
- Aditivos de extrema presión (EP)

1.4 Lubricantes formulados para motores a Gasolina y Diesel. (Malone, 1968; De Vita, 1995).

Después de la Segunda Guerra Mundial los aceites para motor formulados con aditivos químicos se conocían como aceites detergentes o aceites premium para diferenciarlos de los no aditivados. En el 1965 la American Petroleum Institute (API) emitió la primera clasificación de calidad para aceites de motor. A medida que la industria automotriz exigió mayores niveles de comportamiento, en el 1972 nació la clasificación conjunta API/ASTM/ SAE para aceites de motor, que utiliza siglas como: SA, SB, SC, SD, SE, SF y SG, (Tekniker, 2011).



Figura 1.2: Relación entre las asociaciones técnicas de la Industria en el desarrollo de nuevas especificaciones de calidad para lubricantes.

La viscosidad ha constituido la característica más importante para los lubricantes, estos son clasificados según el índice de viscosidad. Como regla general para climas cálidos o vehículos muy usados se usan los lubricantes con la más alta viscosidad tal como un aceite monogrado SAE 30 a 50, mientras que para climas fríos o motores recién anillados se recomiendan lubricantes SAE 10W o 20W. Para climas donde hay una gran variación de temperaturas se recomiendan aceites multigrados, por ejemplo 10W30 o un 20W40. Los grados W (winter) son los correspondientes a la máxima viscosidad en Cp, determinada en un viscosímetro minirotatorio (MRV) y a una viscosidad cinemática medida a 100°C en un tubo capilar. Ver tabla 1.3.

Tabla 1.3: Clasificación (SAE J 300. 1984).

Grado de viscosidad	Viscosidad a T (0C máx.) (cP) ASTM; D-2602	Temperatura límite de bombeo máxima (°C) (ASTM D-3829)	Viscosidad a 100°C (cS+) (ASTM D-445)
0 W	3250 a -30	-35	3,8
5W	3500 a - 25	-30	3,8
10W	3500 a -20	-25	4,1
15W	3500 a -15	-20	5,6
20W	4500 a - 10	-15	5,6
25W	6000 a -5	-10	9,3
20	-	-	5,6 - 9,3
30	-	-	9,3 - 12,5
40	-	-	12,5 - 16,3
50	-	-	16,3 - 21,9

1.5. Procesos de degradación de los aceites lubricantes durante su uso.

La duración del aceite lubricante de un motor térmico, su vida útil, depende directamente del diseño del motor, la calidad del lubricante utilizado, el mantenimiento de la maquinaria y las condiciones de operación de la misma. (Trujillo, D et al., 2004).

Los aceites, se oxidan al ser sometidos a altas temperaturas o al estar en contacto con el aire, dando lugar a la formación de ácidos y compuestos de oxidación que pueden ser corrosivos y fomentar la formación de depósitos dando lugar al bloqueo de válvulas y circuitos y provocan un mal funcionamiento de los equipos. (Trujillo, D et al., 2004).

Esta reacción se acelera al aumentar la temperatura del aceite. Además muchos materiales actúan como catalizadores de la reacción. El cobre, procedente del desgaste de rodamientos, tuberías y refrigerantes; compuestos ferrosos formados por la acción del agua y de algunos compuestos oxidados del aceite; materias extrañas suspendidas en el aceite y otros productos de oxidación, son catalizadores muy activos del proceso de oxidación (Radhakrishnan, 2003; Trujillo, D et al., 2004)

De todo esto se deduce que el aceite debe poseer una elevada resistencia a la oxidación.

La vida útil de un aceite, o vida remanente, es el periodo de tiempo de funcionamiento del aceite en máquina hasta que los antioxidantes se consumen, produciendo grandes cambios en las propiedades físicas y químicas del aceite base debido a la oxidación. La vida útil del aceite está relacionada con la estabilidad a la oxidación del mismo y consecuentemente con la capacidad antioxidante que todavía posee. Esta capacidad antioxidante está claramente relacionada con el grado de deterioro que ya ha sufrido el lubricante, por lo que determinar e identificar los productos de oxidación que presenta también permite estimar su tiempo de vida útil. (Trujillo, D et al., 2004).

Si un aceite sobrepasa este límite de vida útil, puede producirse una excesiva degradación del aceite base, resultando un desgaste de los componentes y un eventual mal funcionamiento de la máquina.

Las causas fundamentales que más afectan a la vida en servicio de un aceite son la entrada de aire al sistema, elevada temperatura, compatibilidad del aceite con el material con el cual está hecho el sistema, condensación o entrada de agua en el sistema, contaminación, pérdida de inhibidores de corrosión, etc.

Durante la degradación oxidativa y térmica a elevadas temperaturas, los hidrocarburos están sujetos al craqueo térmico, como consecuencia se forman compuestos inestables debidos a cambios químicos. El problema del deterioro del aceite se debe a una degradación prematura del mismo por deterioro de los inhibidores de la oxidación y por la reacción de los metales con los productos procedentes de la descomposición de los aditivos añadidos para evitar la formación de óxidos (Radhakrishnan, 2003)

Estos productos, en etapas más avanzadas, son más fácilmente convertidos en resinas polimerizadas o fangos. Este hecho conlleva la necesidad de utilizar aceites de alta calidad, especialmente con características de antioxidantes.

La oxidación de la fase líquida de los hidrocarburos tales como lubricantes y fueles producen una formación de una variedad de compuestos que contienen oxígeno que influyen en las propiedades del lubricante.

El control de las propiedades de degradación oxidativa de un lubricante es fundamental para mantener un correcto funcionamiento de la máquina. Esto es particularmente importante cuando están implicadas altas temperaturas, debido a que estas aumentan el gasto de los antioxidantes del lubricante, volviéndolo inservible. Para conocer los fenómenos de degradación de un aceite es muy útil conocer los productos de degradación del mismo. Estos compuestos son radicales oxigenados ROO^* , RO^* , OH^* , R-CO-OO^* , etc. (Radhakrishnan, 2003; Trujillo, D et al., 2004).

El tiempo que tarda un aceite en comenzar a oxidarse en unas condiciones dadas depende tanto de la naturaleza del aceite base como del tipo y concentración de los antioxidantes. Existen varias etapas en la degradación de un aceite:

- a) En la etapa inicial de la degradación lo que se observa es la pérdida (consumo) de antioxidantes.
- b) En una segunda etapa se empiezan a identificar las sales metálicas,

sulfóxidos y peróxidos, productos procedentes de los aditivos y de la oxidación del aceite.

- c) En una última etapa, se forman hidroperóxidos, los cuales inducen a reacciones Secundarias de oxidación. Se suelen identificar sales metálicas, sulfatos metálicos y ácidos carboxílicos.

La ruptura del lubricante se puede producir por algunos de los siguientes mecanismos:

1. *Oxidación.* Los dobles enlaces son atacados por el oxígeno. Se forman ácido, alcoholes y aldehídos.

Esta ocurre cuando el oxígeno reacciona con el aceite base del lubricante, el cual típicamente es un hidrocarburo. Cuando el aceite se oxida algunas moléculas del hidrocarburo se transforman en ácido y lodo, lo cual afecta las propiedades de desempeño del aceite. Algunas moléculas están mejor equipadas para resistir la oxidación que otras. Por lo tanto, algunos aceites base tienen mejor estabilidad a la oxidación que otros. El oxígeno es un componente necesario para el proceso de oxidación; consecuentemente el nivel de aeración que tenga el lubricante afecta la tasa de oxidación. La presencia de agua y metales reactivos, como hierro o cobre, también influye en la tasa de oxidación. Los aditivos inhibidores de oxidación se sacrifican para proteger el aceite base de esta forma de degradación.

2. *Hidrólisis.* El agua los ataca convirtiéndolos en ácidos grasos y alcoholes. El pH disminuye.

Es la reacción directa de la mezcla de aceite base con agua, la cual modifica en forma permanente la estructura molecular del aceite. Los aceites lubricantes base éster, incluyendo el éster ácido dibásico, el poliéster y fosfato-éster, son los más susceptibles a la hidrólisis. La esterificación de alcohol y ácido, proceso por el cual se crean aceites básicos éster, produce éster y agua como subproductos. Cuando el éster se expone al agua, reacciona rápidamente con esta volviendo a los componentes originales alcohol y ácido. La hidrólisis afecta las propiedades de desempeño de los aceites base que utilizan ésteres. Muchos lubricantes y fluidos hidráulicos emplean ésteres como su aceite base primario o como co-

base para mejorar la solubilidad y desempeño de sello de aceites sintéticos y minerales altamente refinados.

3. *Degradación térmica.* Polimerización debida a la alta presión y temperatura. Se forman nuevos productos.

Al contrario de la oxidación, la degradación térmica no requiere de oxígeno para ocurrir. La falla térmica ocurre cuando el aceite entra en contacto con superficies calientes dentro de la máquina, tales como las áreas de combustión o escape, o cuando entra en contacto con burbujas comprimidas, en el caso de sistemas hidráulicos. La falla térmica deriva en la pérdida de hidrógeno, dejando partículas ricas en carbón en forma de lodos y depósitos. La degradación térmica no produce ácidos, sin embargo genera depósitos que afectan las propiedades de desempeño del aceite. En algunos casos la cadena de hidrocarburo se rompe en segmentos más pequeños, reduciendo el peso molecular promedio de las moléculas y la viscosidad.

4. *Evaporación.* Los compuestos volátiles desaparecen debido a la alta temperatura.

Un lubricante en presencia de aire y temperatura actúa de la siguiente forma:

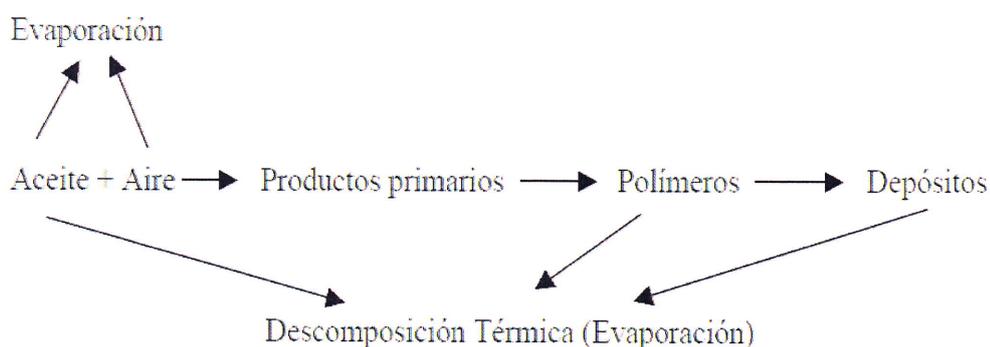


Figura 1.3: Mecanismo de degradación de aceites lubricantes (Tekniker, 2011).

Mientras un aceite esté protegido por los antioxidantes, la degradación oxidativa del aceite y los cambios en las propiedades del lubricante serán mínimos. Una vez que el antioxidante se ha agotado se producen diferentes cambios físicos en las propiedades del lubricante. El gasto de los antioxidantes de un aceite puede eventualmente permitir rápido deterioro del aceite base, produciendo ácidos corrosivos, barnices e incluso, al final, gomas insolubles.

Dependiendo de la formulación de los aditivos y del aceite base un aceite se degrada de diferente manera. Las reacciones de condensación son del tipo *condensación al dólida*, resultando materiales poliméricos primarios, los cuales son solubles en el aceite, y pueden producir, mediante reacción, otros polímeros secundarios insolubles en el aceite, productos los cuales constituyen los depósitos o sedimentos fangosos.

Tales polímeros pueden actuar como *descomponedores* de cadenas en la etapa de oxidación del aceite envejecido. A consecuencia de esto, y como última etapa de oxidación del aceite, la cantidad de hidroxiperóxidos y ácidos carboxílicos formados podrán disminuir drásticamente al formarse los polímeros secundarios.

El mecanismo de oxidación de un lubricante se podría representar como sigue:

1. *Inicio*: Esta etapa puede deberse a la excitación térmica de las moléculas, radicales libres presentes o introducidos, metales catalíticos o la luz. Se ha comprobado que la reacción más importante en la iniciación es la formación de los hidroperóxidos. El oxígeno presente en la atmósfera ataca los dobles enlaces formando los peróxidos. Estos son los compuestos precursores de la auto-oxidación del aceite. (Tekniker, 2011).
2. *Propagación*: Energéticamente la descomposición molecular de los hidroperóxidos es favorable. Cuando la cadena es larga, se forman muchas moléculas de hidroperóxidos para cada radical libre iniciando la reacción antes de que la terminación ocurra. (Tekniker, 2011).
3. *Estabilización*: Los fenoles impedidos estéricamente son los radicales basura más utilizados en las formulaciones de aceites. Finalizan con éxito el paso de propagación de la reacción, es decir, $k_4 \gg k_3$. Se forman radicales fenólicos estabilizados por resonancia. Los inhibidores actúan transfiriendo un átomo de hidrógeno al radical peróxido, formando el hidroperóxido y previniendo al radical del ataque de otras moléculas del hidrocarburo en el paso de la propagación de la cadena. Algunos aditivos actúan reduciendo los hidroperóxidos a sustancias inactivas. (Tekniker, 2011).

EL envejecimiento del aceite produce aldehídos volátiles, cetonas, ácidos, ésteres y lactonas. En la figura 1.3 se describe el proceso de oxidación de un aceite hasta sus componentes finales, los polímeros.

Los polímeros se forman cuando el aumento de la viscosidad del aceite, la formación de barnices insolubles en el aceite y depósitos causan un peligro potencial al aceite, pues los depósitos poliméricos pueden bloquear el paso del aceite a través de la maquina, los filtros y dificultar el intercambio de calor.

1.6. Análisis de Aceite. Fallas relacionadas al análisis de aceite.

El Análisis de aceite es una de las técnicas simples, que mayor información proporciona al Administrador de Mantenimiento, con respecto a las condiciones de operación del equipo, sus niveles de contaminación, degradación y finalmente su desgaste y vida útil.

El enfoque de este análisis es totalmente predictivo y en muchas ocasiones el programa tiene como único objetivo el de determinar si es necesario un cambio de aceite o si el desgaste de la maquinaria indica una condición de falla. (Trujillo, 2000)

La aplicación de un enfoque Proactivo en esta técnica, para conocer las causas que generan el desgaste y tomar las decisiones de control antes de que estas dañen el equipo es lo que puede hacer la diferencia en la ampliación de la vida de la maquinaria (tabla: 1.4). El Mantenimiento Proactivo se enfoca al monitoreo de las causas que originan la falla. (Maxwell H. y B. Johnson, 2010)

Algunas de las fallas que el análisis de aceite puede ayudar a detectar:

- Partículas abrasivas en el aceite
- Aceite contaminado con Agua
- Combustibles
- Productos químicos
- Operación en alta temperatura
- Desalineamiento
- Desbalanceo
- Cavitación
- Fatiga

- Sobrecarga
- Agotamiento de aditivos
- Aceite aplicado erróneamente
- Inicio de falla en cojinetes
- Inicio de falla en rodamientos
- Inicio de fallas progresivas.

Ventajas del análisis del aceite.

- *Conservación de recursos.* El aceite es un recurso no renovable; las fuentes de suministro están decreciendo, lo cual derivará en un incremento de precios. Al extender la vida del aceite de motor mediante su análisis, usted puede ayudar a conservar este recurso no renovable!
- *Reducción de recursos.* Al reducir la frecuencia del cambio de aceite a través del análisis, se reduce la generación de aceite usado en la fuente.
- *Ahorros.* Al extender la vida del aceite se reducen los costos de compra y disposición de éste, así como la mano de obra invertida en los cambios.
- *Monitoreo de las prácticas de mantenimiento.* Después de algunas pruebas, usted puede identificar las tendencias para verificar que el mantenimiento rutinario se realiza adecuadamente.

Mantener la menor cantidad de reparaciones menores. Las pruebas permiten de manera temprana identificar problemas de los componentes del motor antes de que se vuelvan más serios, lo cual permitirá: 1) reducir los costos de reparación, 2) ayudarlo a anticipar el tiempo de reparación del vehículo, y 3) minimizar el desmantelamiento y la inspección innecesarios

Tabla 1.4: Pruebas del análisis de Aceite. (Trujillo, 2000; Troyer y Berry, 1999).

Análisis de Aceite.	Objetivo	Resultado esperado
Viscosidad.	Salud del lubricante	Estable
Número de Neutralización (AN y BN).	Degradación del lubricante	Tendencia decreciente lenta
Punto de inflamación.	Contaminación	Estable
Análisis de elementos por emisión atómica.	Degradación de aditivos. Contaminación. Metales de Desgaste.	Decremento suave. Negativo. Negativo – Tendencia suave
FTIR – Análisis infrarrojo.	Degradación de aditivos. Contaminación	Decremento suave Negativo
Conteo de partículas.	Contaminación y/o desgaste	Estable en la meta establecida
Análisis de humedad.	Contaminación	Negativo -
Densidad ferrosa o partículas ferrosas.	Desgaste	Decremento o Estable
Ferrografía analítica.	Localización del tipo de desgaste presente	Identificación del tipo de desgaste, procedencia y causa
Resistencia a la oxidación (TBN).	Salud del lubricante	Estable
Pruebas de membrana y Gota.	Salud del lubricante. Contaminación. Desgaste.	Conservación de aditivos. Negativo Negativo - Estable

1.6.1. Fallas relacionadas con la lubricación. (Dorta, García et al., 2009).

Se considera que del 60 al 80 por ciento de las fallas (catastróficas, funcionales y prematuras) en los motores de combustión interna están relacionadas con la lubricación, independientemente que sean por una mala selección del lubricante, mala aplicación, por contaminación o degradación del lubricante.

Los programas de mantenimiento predictivo (análisis de vibraciones, termografía y el análisis de partículas de desgaste) son muy efectivos para encontrar problemas que pueden resolverse durante un paro programado; se pierde de vista el hecho de que muchos componentes fallan tempranamente debido a que las mejores prácticas de lubricación (lubricante correcto, momento correcto, cantidad correcta, limpio, seco y frío) no se han establecido.

El periodo de desarrollo de la falla puede variar considerablemente. La mayoría de las fallas de muerte súbita por niveles moderados de contaminación y degradación de los aceites, usualmente tendrán uno o más factores agravantes (el efecto combinado). Por el contrario, concentraciones masivas de uno o más contaminantes pueden resultar en fallas de muerte súbita sin ayuda de una circunstancia agravante. Lo más común es que un problema moderado pase desapercibido y se desarrolle con el tiempo, lo que puede acortar la vida del motor, figura 1.4.

El efecto acumulado de la contaminación del aceite en la confiabilidad del motor, economía de combustible, emisión de gases y costo de mantenimiento es muy alto. No hay aditivos en el aceite de motor que controlen el daño causado por estos contaminantes. Por lo tanto, el mantenimiento proactivo y el análisis de aceite son estrategias críticas para contrarrestar estos riesgos. (Trujillo, 2000; Troyer y Berry, 1999).

La ejecución de determinados exámenes a los lubricantes permite, a tiempo poder determinar el grado de deterioro de los elementos del motor, permitiendo de esta manera la acción oportuna de los técnicos de mantenimiento con vistas a la prevención de la falla y por este concepto disminuir los costes que podrían producir dichas fallas de no tomarse a tiempo las medidas correspondientes

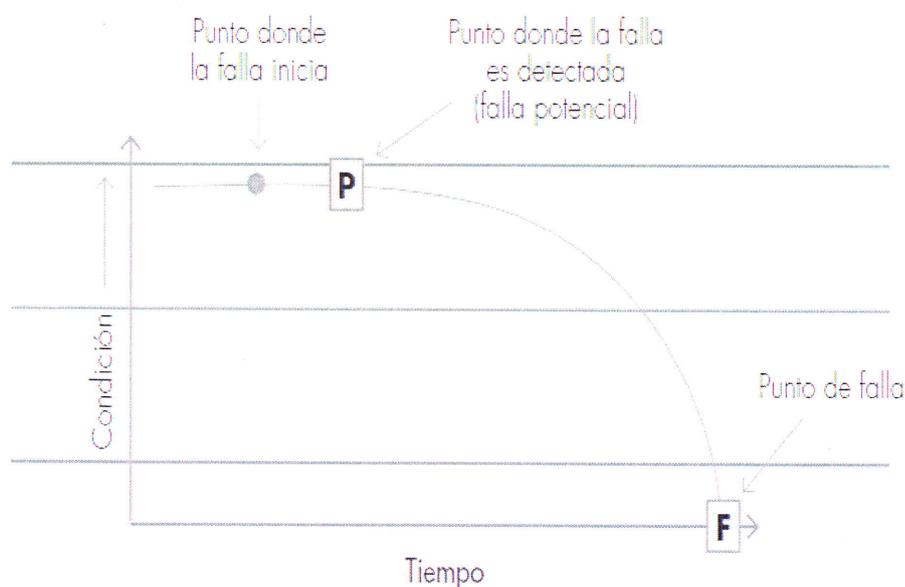


Figura 1.4: Relación entre la degradación del aceite y el estado técnico del equipo. (Tekniker, 2011).

Dentro de los análisis más realizados a los aceites, en Cuba, teniendo en cuenta el nivel de compromiso entre el análisis y la detección de la posible o existente falla se encuentran:

- Insolubles.
- La Viscosidad.
- Número total de base (TBN).
- Agua.
- Punto de inflamación.
- Metales.

Insolubles. ASTM D 893-97: Constituyen los contaminantes formados por materias carbonosas, procedentes de la combustión tales como hollín y carbón duro, partículas metálicas procedentes del desgaste y formación de herrumbre, polvo, fibras y toda clase de basura procedentes del medio exterior y productos resultantes de la oxidación o degradación del lubricante y combustible. (Dorta, García et al., 2009). El significado de los análisis de esta propiedad brinda información acerca del funcionamiento del motor acorde a lo establecido en la tabla 1.4

Tabla 1.4: Significación práctica del análisis de los insolubles. (Dorta, García et al., 2009).

Variación	Significado	Causa
Aumento	Presencia de materia carbonosa Problema de combustión y mal ajuste de los aros	Problema de combustión y mal ajuste de los aros
	Presencia de partículas metálicas	Incorrecto funcionamiento del sistema de depuración y filtración
	Presencia de polvo, fibra o basuras del medio exterior.	Incorrecto funcionamiento del sistema de filtración del aire
	Presencia de productos resultante de la oxidación del lubricante	Condiciones de trabajo excesivas (Temperatura, carga y presión).

Viscosidad. ASTM D 445-97: La viscosidad en un líquido es una medida de su fricción interna o de su resistencia a fluir y en el caso del lubricante, determina además su capacidad para soportar cargas. Es la característica esencial que determina el comportamiento del lubricante, grado de fricción fluida y consumo de lubricante. Esta puede ser afectada por factores físicos (contaminación) y factores

químicos (oxidación, (Dorta, García et al., 2009). El significado de los análisis de esta propiedad da una medida de la funcionabilidad de los motores de combustión de acuerdo a lo referido en la tabla 1.5

Tabla 1.5: Significación práctica del análisis de la viscosidad. (Dorta, García et al., 2009).

Variación	Significado	Causa
Aumento.		Combustión deficiente
	Presencia excesiva de insolubles	Contaminación externa, subproductos de oxidación
	Presencia de líquidos refrigerantes	Fuga en el circuito refrigerante
	Presencia de agua	Fugas del sistema refrigerante y condensación de humedad ambiental
	Oxidación	Exceso de temperatura o tiempo de trabajo
		Presencia de agua
	Volatilización de fracciones ligeras	Exceso de temperatura
Disminución.	Contaminación con otros lubricantes	Mezclas o reposiciones
	Cizallamiento de los productos poliméricos en lubricantes multigrados	Esfuerzo de trabajo excesivo
	Reposición con lubricantes de menor viscosidad	Mezclas o reposiciones inadecuadas
	Dilución por combustibles	Inyectores mal reglados

Número total de base, (TBN). ASTM D 2 896-98: Es una medida de la capacidad del lubricante para neutralizar ácidos procedentes de la combustión (motores diesel) y los ácidos producidos por la oxidación del lubricante. (Dorta, García et al., 2009).

Tabla 1.6: Significación práctica del análisis del Número total de base, (TBN). (Dorta, García et al., 2009).

Variación	Significado	Causa
Aumento.	Reposición lubricantes de TBN más elevado	Reposición con lubricante nuevo.
	Contaminación producto a ácidos de la combustión	Consumo de aditivo alcalino para neutralizar los ácidos.
Disminución.	Oxidación del lubricante	Exceso de temperatura o tiempo de trabajo, presencia de agua.
	Combustible con alto índice de azufre	Los ácidos generados a partir del azufre presente consumen estos productos.

Agua. NC-ASTM D 95-99. Es cantidad de agua presente en cien partes del lubricante. (Dorta, García et al., 2009).

Tabla 1.7 Significación práctica del análisis de agua (Dorta, García et al., 2009).

Variación	Significado	Causa
Aumento	Presencia de agua del sistema refrigerante	Problemas de roturas de canastillas y culatas
	Condensación de la humedad ambiental	Mal funcionamiento del sello del conducto de compensación del cárter.

Punto de inflamación. NC-ASTM D 92-98: Es un índice de las fracciones más volátiles o livianas del lubricante y nos permite determinar el grado de dilución ocasionado por la presencia de combustibles, producida por fugas en el sistema de alimentación de combustible hacia el cárter o por paso del combustible no quemado a través de los anillos de los pistones hacia el cárter. (Dorta, García et al., 2009).

Metales. ASTM D 5 185-97: Es la cantidad presente de los distintos metales que forman parte de la composición de las diferentes piezas que son lubricadas, componentes de contaminación atmosférica y constituyentes de los productos del lubricante, estos son: hierro, plomo, cobre, cromo, aluminio, estaño, molibdeno, silicio, boro, fósforo, zinc, calcio, bario, y magnesio. (Dorta, García et al., 2009).

Tabla 1.8 Significación práctica del análisis del punto de inflamación. (Dorta, García et al., 2009).

Variación	Significado	Causa
Aumento.	Reposición con lubricantes de mayor punto de inflamación	Mezclas o reposiciones inadecuadas
	Reposición con lubricantes de menor punto de inflamación	Mezclas o reposiciones inadecuadas
Disminución.	Ruptura de la estructura molecular del lubricante por el fenómeno conocido como cracking (es la descomposición de una molécula compleja en otras más pequeñas)	Condiciones de trabajo excesivas (Temperatura, carga y presión).
	Presencia de combustible	Problemas en la combustión, pérdida del reglaje de inyectores, mezclas ricas.
	Presencia de disolvente de baja viscosidad	Petroleado de los motores

Tabla 1.9: Significación práctica del análisis de metales. (Dorta, García et al., 2009).

Metales	Significado	Causa
Aumento		
Silicio.	Contaminación ambiental externa.	Sistema de filtración deficiente
Aluminio.		Desgastes, corrosión de piezas fabricadas en aleaciones ligeras (desgaste en los pistones y cojinetes).
Cromo.		Desgastes de piezas cromadas, aceros inoxidable (desgaste en los pistones, camisa embolo, barras de válvulas).
Cobre.		Desgaste y corrosión de piezas y aleaciones de cobre (bronce, latón, cobre-plomo), desgaste en los cojinetes y anillos.
Hierro.	Problemas mecánicos.	Desgaste y corrosión de aceros y piezas ferrosas, desgaste de los cilindros, balancines, émbolos, piñones, cadenas y levas.
Plomo.		Desgaste y corrosión de los materiales antifricción, desgaste en los cojinetes.
Estaño		Desgastes en los cojinetes
Molibdeno		Contaminación con grasas y desgaste de émbolos
Níquel		Desgastes
Disminución		
Corrección de problemas mecánicos en el sistema		Intervención mecánica

CAPÍTULO II



2.3. Caracterización de la fuente energética utilizada para el proceso de generación distribuida.

Motores Hyundai 9H21/32.

Potencia: 1700 kW.

Numero de cilindro: 9 en línea.

Velocidad de rotación: 1000 (rpm).

Potencia por cilindro: 200 (kW).

Diámetro del cilindro: 210 (mm).

Carrera del embolo: 320 (mm).

Cilindrada: 11,1 (dm³).

Velocidad del embolo: 10,7 (ms).

Presión efectiva: 21,7 (bar)

Relación de compresión: 17/1.

Orden de encendido de los cilindros: 1-3-5-7-9-8-6-4-2.

Estos motores son compactos, potentes, fiables, de escaso mantenimiento y extraordinariamente económicos. Su inyección Common Rail conjuga el aprovechamiento óptimo del combustible con el cumplimiento de todas las normas medioambientales relevantes.

Sistema de lubricación.

Técnica.

- Sistema de circulación forzada por cárter húmedo.

Funcionamiento.

La bomba de aceite del motor aspira el aceite a través de una alcachofa del cárter de aceite, impeliéndolo a través de un conducto de unión. El aceite purificado retorna, sin presión, al cárter de aceite. La corriente principal del aceite pasa a través de los filtros de aceite de motor directamente a los puntos de engrase existentes en el motor y al canal principal de aceite.

Una válvula de descarga regula la presión de aceite independientemente del número de revoluciones del motor.

Las válvulas presostato abastecen las toberas de inyección para la refrigeración de los pistones sólo a partir de una presión mínima de aceite. De esta forma aseguran la lubricación del mecanismo en la gama de revoluciones inferior.

La bomba de aceite de motor es de engranajes. Es accionada por el cigüeñal a través de una rueda dentada intermedia. Una válvula de sobrepresión la protege de una presión de aceite excesiva.

2.4. Descripción del experimento.

Para la realización del experimento se tomaron los análisis realizados en un ciclo de trabajo de aceite motor (12000 horas), para ello se tomaron como muestra 7 de las 16 fuentes energéticas con que se dispone para la generación, motores Hyundai 9H21/32, al azar asumiendo. Se asume que el comportamiento de estos por su representatividad es expresión de la totalidad de las fuentes energéticas; luego se compararon los resultados con los valores admisibles establecidos por el Manual de gestión de generación distribuida según (Dorta, García et al., 2009), Para cada análisis, lo cual permite diagnosticar desde el punto de vista técnico algunos de los elementos de los motores de combustión interna, y hacer valoraciones acerca de las cualidades del lubricante.

Al aceite en uso se le ejecutaron los siguientes análisis.

- La Viscosidad.
- Insolubles.
- Número total de base (TBN).
- Metales.
- Agua.

Los análisis se ejecutaron por personal especializado a partir de las siguientes técnicas:

2.4.1 Protocolo para la determinación de la viscosidad cinemática en lubricantes. (ASTM D 445/04 IP 71/95).

Materiales utilizados en el análisis.

- Viscosímetros Cannon–Fenske opaque.

- Baño de calentamiento de temperatura controlada, relleno con aceite mineral.

Termómetros (precisión de 0,02°C o más)

- ASTM 121C, F/IP32 C (100°C / 212°F).
- ASTM 46C, F/IP66C (50°C / 122°F).
- ASTM 120C, F/IP92C (40°C).
- Beaker 80 ml
- Tapón de goma.
- Filtro para combustibles y lubricantes (mesh: 75µm).
- Bomba de vacío.

Reactivos

Solventes para limpieza del equipamiento y la cristalería.

Mezcla crómica: Disuelva 5-6 g de Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en 10 ml de agua. Añada con mucho cuidado y agitando 100ml de H_2SO_4 , concentrado.

2.4.2. Determinación de la viscosidad de la muestra.

Tratamiento previo de la muestra.

1. Caliente la muestra media hora en la estufa a una temperatura lo suficientemente alta como para que fluya y permita la homogenización de la misma, pero por debajo de la temperatura a la cual se realizará la determinación. Luego agite vigorosamente para homogenizar (1 minuto).
2. Filtre a un beaker entre 50 – 60 ml de muestra utilizando el filtro de 75 µm.

2.4.3. Selección de la serie del viscosímetro y temperatura de trabajo.

Tabla 2.1: temperatura y viscosímetros para el análisis de viscosidad

Producto	Temperatura de análisis	Serie viscosímetro
Lubricantes	100 °C	150 (aunque puede utilizarse la serie 100)

2.4.4. Determinación.

1. Encienda el baño de calentamiento y con las flechas $\uparrow\downarrow$ predetermine la temperatura de trabajo. Coloque el termómetro de la serie ASTM correspondiente en el dispositivo concebido para ello. Con independencia de la temperatura reportada por el termostato del baño, verifique la temperatura de trabajo según la lectura marcada por el termómetro de la serie ASTM, ajustando la del baño con las teclas $\uparrow\downarrow$, si fuera necesario. La temperatura de trabajo es la deseada $\pm 0,02$ °C.
2. Con ayuda de la bomba de vacío, aspire la muestra dentro del viscosímetro, (Coloque la manguera para la aspiración por el extremo más ancho del viscosímetro y la parte estrecha sumergida en la muestra filtrada contenida en el beaker. Encienda la bomba para que comience la aspiración y apáguela en cuando se llene el glóbulo.
3. Una vez alcanzada la temperatura de trabajo, coloque en el viscosímetro el dispositivo que le permitirá fijarlo al baño de calentamiento y sitúelo en una de las posiciones posibles. Puede realizar al unísono hasta 7 determinaciones.
4. Permita que el fluido se desplace a través del capilar, llenando el primer bulbo hasta la mitad. Coloque con cuidado el tapón de goma por la parte ancha del viscosímetro y manténgalo así por 20 minutos, para lograr que la muestra alcance la temperatura del trabajo. Cerciórese que el resto de las posiciones que no estén en uso en el baño estén debidamente tapadas.
5. Concluidos los 20 min, destape el viscosímetro y observe detenidamente cuando se alcanza el primer menisco. Justo entonces presione la tecla del cronómetro que corresponde a esa posición para que comience a contar los segundos.
6. Cuando el fluido llegue al segundo menisco, detenga el cronómetro, lea el tiempo (T_1) y vuelva a hacerlo andar y anote el valor en el registro correspondiente.
7. Cuando el menisco llegue al tercer aforo, detenga el cronómetro, lea el tiempo (T_2) y anótelo

2.4.5. Cálculo de la viscosidad cinemática.

$$\delta_{(cSt)^n} = \frac{(T_1 * Cte_{Bulbo\ Inf}) + [(T_2 - T_1)] * Cte_{Bulbo\ Sup}}{2}$$

donde:

$Cte_{Bulbo\ Inf}$: Constante del Bulbo inferior del viscosímetro a la temperatura de la determinación.

$Cte_{Bulbo\ Sup}$: Constante del Bulbo superior del viscosímetro a la temperatura de la determinación.

2.5. Protocolo para la determinación del porcentaje de insolubles en lubricantes.

Materiales utilizados en el análisis.

- Centrífuga.
- Balanza Analítica (precisión 0,1 mg).
- Cono graduado de centrífuga.
- Estufa.
- Desecadora con silica-gel desecante.
- Filtro 150 μ m.
- Varilla fina y firme para separar el residuo adherido a las paredes del tubo de centrífuga.

Reactivos

n - Pentano (p.a.).

Tolueno (p.a.).

Etanol Absoluto (p.a.)

Solución tolueno-etanol: Mezcle un volumen de tolueno con igual cantidad de etanol.

2.5.1. Preparación de la muestra.

Caliente la muestra, tomada según las normas de muestreo, a $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ en una estufa. Agite vigorosamente para homogenizar (1 minuto) y filtre a través de un filtro No. 100 ($150\mu\text{m}$).

2.5.2. Determinación de los Insolubles en n-Pentano.

1. Seque un tubo de centrífuga limpio, por 30 min a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ en una estufa, enfríe en la desecadora.
2. Pese el tubo de centrífuga en balanza analítica con precisión de 0,1 mg (m_{Tubo}).
3. Pese alrededor de 10 ± 1 g de la muestra de aceite en el tubo de centrífuga, con una precisión de 0,1 mg ($m_{\text{Tubo}+\text{Muestra}}$).
4. Complete hasta la marca de 100 ml del tubo de centrífuga con n- Pentano.
5. Coloque el tapón en la boca del tubo y agite hasta que la muestra sea homogénea. (No permita que la mezcla esté en reposo por más de tres horas).
6. Quite el tapón y enjuague los restos en él con un mínimo de n-pentano, permita que escurran al tubo de centrífuga (utilice un frasco gotero plástico como frasco lavador).
7. Coloque pareados los tubos en la centrífuga, ubicándolos transversalmente en el cabezal de la centrífuga. Centrifugue por 20 minutos a una velocidad de 1500 ± 5 rpm.
8. Decante con cuidado el líquido sobrenadante, evitando dispersar el precipitado. Deje unos 3 ml de solución en el tubo de centrífuga.
9. Adicione 10 ml de n-pentano en el tubo. Con ayuda de una varilla de alambre muy fino y firme, remueva y descompacte el precipitado en el fondo y las paredes del tubo. Lave los insolubles adheridos a la varilla, rellene el tubo hasta la marca de 50 ml con n –Pentano.
10. Ponga el tapón y agite vigorosamente hasta homogeneidad, no deben existir residuos adheridos a las paredes del tubo.
11. Quite el tapón y lávelo, permita que los residuos escurran en el tubo. Centrifugue por otros 20 minutos a la misma velocidad.

12. Deseche todo el líquido sobrenadante del tubo de centrífuga, evite el desprendimiento del precipitado del fondo del tubo.
13. Repita una vez más las operaciones desde.9 hasta 12.
14. Seque los tubos de centrifugas con los precipitados por 30 minutos a 105 ± 3 °C. Enfríe en la desecadora y pese con una precisión de 0,1 mg. ($m_{\text{TUBO+IP}}$)

2.5.3. *Determinación de los Insolubles en tolueno.*

1. Comience con una muestra nueva y sométala al procedimiento descrito en 1.4 desde 1 hasta 13.
2. Adiciónese 10 ml de la solución de tolueno-alcohol y con ayuda de la varilla disperse el residuo adherido a la pared del tubo de centrífuga. Enjuague la varilla con una cantidad mínima de solución de tolueno–alcohol, permita que los residuos escurran dentro del tubo de centrífuga. Complete con esta misma solución hasta el aforo de 50 ml.
3. Tape el tubo de centrífuga con el tapón y mezcle vigorosamente hasta desprender todo el residuo de las paredes. Quite el tapón y lave los residuos adheridos al mismo con una cantidad mínima de tolueno, permita que escurran en el tubo de centrífuga.
4. Centrifugue otros 20 minutos, a la velocidad establecida. Decante con cuidado toda la solución, evite desprender el precipitado.
5. Repita el procedimiento desde 2 hasta 4.
6. Seque los tubos de centrifugas con los precipitados por 30 minutos a 105 ± 3 °C. Enfríe en la desecadora y pese con precisión de 0,1 mg. ($m_{\text{TUBO+IT}}$).

2.5.4. *Cálculo de los insolubles.*

$$\% IP_{\text{Insolubles en Pentano}} = \frac{(m_{\text{Tubo}} + IP - m_{\text{Tubo}}) * 100}{m_{\text{Tubo}} + m_{\text{Mtra}} - m_{\text{Tubo}}}$$

$$\% IT_{\text{Insolubles en Pentano}} = \frac{(m_{\text{Tubo}} + IT - m_{\text{Tubo}}) * 100}{m_{\text{Tubo}} + m_{\text{Mtra}} - m_{\text{Tubo}}}$$

$$\text{OXIDACION} = IP + IT$$

2.6. Protocolo para la determinación del número total de bases en lubricantes.

Materiales utilizados en el análisis.

- Titulador Automático TITROLINE EASY SCHOTT.
- Balanza Analítica (precisión 0,1 mg)
- Beaker 100 ml.
- Magneto.

Reactivos.

Ácido Acético Glacial (p.a.).

Ácido Perclórico (HClO₄) (p.a.).

Ácido Sulfúrico 97-98 % (H₂SO₄)

Anhidrido Acético (p.a.).

Hidrógeno Phtalato de Potasio (p.a.) (Biftalato de Potasio)

Buffer de pH 4.

Buffer de pH 7.

Clorobenceno (p.a.).

Dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇)

Solvente de Titración: Ácido Acético Glacial / Clorobenceno (1:2). Por cada 100 ml de Ácido Acético Glacial, adicione 200 ml de Clorobenceno. Homogenice bien.

Solvente valorante (Ácido Perclórico 0,1 N): Mezcle 8,5 ml de ácido perclórico al 70 - 72 % ó 10,2 ml al 60 - 62 % con 500 ml de ácido acético glacial y 30 ml de anhídrido acético. Diluya a 1000 ml con ácido acético glacial y deje en reposo la solución por 24 horas.

Mezcla crómica: Disuelva 5-6 g de K₂Cr₂O₇ en 10 ml de agua. Añada con mucho cuidado y agitando 100 ml de H₂SO₄, concentrado (no viceversa).

2.6.1. Determinación del TBN de la muestra de ensayos.

Tratamiento previo de la muestra.

Caliente la muestra durante media hora a 60°C en una estufa. Luego agite vigorosamente para homogenizar (1 minuto). Filtre una pequeña cantidad utilizando un tamiz con un mesh de 75 µm.

2.6.2. Procedimiento.

Encienda el Titroprocesador aproximadamente 15 min antes de realizar el análisis. En la parte inferior aparece el método seleccionado "mV 0,1 ml 10 seg". De no ser así seguir los pasos a partir de 2.6.3.

1. Estandarización del valorante.
2. Pese alrededor de 0,08 g de Biftalato de Potasio con una exactitud de 0,1mg, secado durante 2 horas a 120°C.
3. Disuélvalo en 20 ml de Ácido Acético caliente. Enfríe y adicione 40 ml de Clorobenceno. Homogenice con el agitador magnético, para lograr un mezclado eficiente sin causar salpicaduras y que permita una lectura estable del equipo.
4. Ubique la punta de bureta en el soporte de modo tal que cuando baje el soporte, el electrodo quede introducido en la solución ~ 30 mm y la punta de bureta, ligeramente por encima de la solución. Asegúrese que exista la mayor separación posible entre el electrodo y la punta de bureta, de esta forma evitará que la solución dosificada, caiga directamente sobre el electrodo, lo cual podría ser considerado por el equipo como un salto, falseando la medición.
5. Siguiendo las instrucciones de 2.6.3, en la programación de la fórmula seleccione "no".
6. Presione SET y comenzará la dosificación del valorante. Al llegar al punto de equivalencia, en la pantalla aparecerán los ml consumidos. Determine la concentración exacta del valorante (HClO₄) según:

$$\text{NHClO}_4 = \frac{m_{\text{Biftalato}} * 1000}{204,23 * (V_{\text{Muestra}} - V_{\text{Blanco}})}$$

donde:

$m_{\text{Biftalato}}$: masa pesada de biftalato, expresada en g.

V_{Muestra} : Volumen de Valorante (HClO_4) consumido en la valoración del biftalato, expresado en ml.

V_{Blanco} : Volumen de Valorante (HClO_4) consumido en la valoración del blanco, expresado en ml.

2.6.3. Selección del método de trabajo: mV 0,1 ml 10 seg.

1. Presione la tecla **F3** por 3 segundos y aparecerá la pantalla "Ajuste".
2. Presione **F3** nuevamente y en la pantalla "Selección parámetro", presione las teclas **F4** (\uparrow) y/o **F5** (\downarrow) hasta que aparezca en la pantalla, al lado de <F1> "mV 0,1 ml 10 seg". Presione **F1** para almacenar el método y volver a la pantalla "Ajuste".
3. Para seleccionar la fórmula de cálculo presione la tecla **F4** (\uparrow) y aparecerá la pantalla de "Calculación selec.". Presione **F1** y en la pantalla "Fórmula de cálculo", presione **F2** para seleccionar la Fórmula 2. Aparecerá entonces la pantalla "Poner valor", con la presentación de la Fórmula y sus componentes. En el desglose de la fórmula, se asumirá que:

<F1> Concentración del valorante (N).

<F2> Equivalente gramo del KOH (56,1 g/mol).

<F3> No se le asignará ningún valor.

<F4> Peso de la muestra (g).

<F5> Volumen del Valorante consumido en la valoración de Blanco (ml).

4. La introducción de datos se realizará con las teclas **F4** (\uparrow) y/o **F5** (\downarrow) para aumentar o disminuir el valor en la fórmula, auxiliado por la tecla **F1** (FILL) para desplazar la posición del cursor.

5. Presione **F1** y aparecerá la pantalla “Fórmula”, con la opción para entrar el valor de <F1>, introduzca la concentración del valorante (Sln. HClO₄ / Ácido Acético) auxiliándose de las teclas **F1**, **F4**, y **F5**. Presione la tecla **F3** <SET>, para almacenar y volver a la pantalla “Poner valor”.
6. Presione **F2** y aparecerá la pantalla “Fórmula”, con la opción para entrar el valor de F2, introduzca el equivalente gramo del KOH (56,1 g/mol), auxiliándose de las teclas **F1**, **F4**, y **F5**. Presione la tecla **F3** <SET>, para almacenar y volver a la pantalla “Poner valor”.
7. Presione **F4** y aparecerá la pantalla “Fórmula”, con la opción para entrar el valor de Q (peso de la muestra), auxiliándose de las teclas **F4**, y **F5**, seleccione el modo manual. Presione la tecla **F3** <SET>, para almacenar y volver a la pantalla “Poner valor”.
8. Presione **F5** y aparecerá la pantalla “Fórmula”, con la opción para entrar el valor de B (Blanco), introduzca el volumen en ml de Valorante consumido por el Blanco, auxiliándose de las teclas **F1**, **F4**, y **F5**. Presione la tecla **F3** para almacenar y volver a la pantalla “Poner valor”.
9. Para seleccionar las unidades en que se dará el resultado, presione la tecla **START** nuevamente y volverá a aparecer la pantalla “Calculación selec.”, presione la tecla **F3** y con las teclas **F4** (↑) y/o **F5** (↓), seleccione “mg/L” y presione nuevamente **SET** para almacenar y luego **START** para volver a la pantalla “Ajuste”
10. Presione la tecla **START** nuevamente y caerá en la pantalla principal “Equipo listo”, que deberá verse de la siguiente forma:

Equipo listo	
Auto find (EQ)	<START>
Lavado	<F1>
Calibrado	<F2>
Moda: EQ/EP/Man	<SET>

2.6.4. Análisis de la muestra de ensayos.

1. Pese con una precisión de 0,1mg una cantidad de muestra aproximadamente igual a 10 / TBN esperado.
2. Adicione 60 ml de Solvente de Titración, homogenice bien. Baje el soporte con el electrodo y la punta de bureta. Cerciórese que están en la posición correcta.
3. Presione la tecla **F3** hasta que aparezca "Auto find (EQ)" y después presione **START** y aparecerá una pantalla para que introduzca el peso de la muestra en gramos. Con las teclas **F1**, **F4**, y **F5** entre el valor y al presionar **SET** comenzará la titulación.
4. Cuando se alcance el punto de equivalencia el equipo mostrará una pantalla donde aparecerá el volumen de valorante V_{MTRA} consumido hasta el punto de Equivalencia y el TBN de la muestra. Haga un Blanco.

2.7. Protocolo para la determinación del porcentaje de agua en combustibles y lubricantes.**Materiales utilizados en el análisis.**

- Manta de calentamiento.
- Balón de destilación de capacidad 1 litro.
- Trampa de agua 0 – 10 ml
- Condensador
- Probetas de 100 ml (2)
- Pipeta de 1ml

Reactivos.

Xileno (tec).

Tolueno (tec).

Solución Solvente para arrastre: Xileno: Tolueno (4:1): Para 1 litro de solvente, mezcle 800 ml de Xileno con 200 ml de Tolueno.

Solvente para limpieza de cristalería.

2.7.1. Determinación del % de agua en la muestra de ensayos.

1. Mida en una probeta 100 ml \pm 1 de la muestra a ensayar, bien homogenizada y transfíralo al balón de destilación.
2. En otra probeta mida 100 ml del Solvente para arrastre. Adicionando pequeñas porciones, enjuague el material adherido en las paredes de la primera probeta con 50 ml de esta solución, escúrralo en el balón. Repita el procedimiento, dividiendo el total restante en dos fracciones de 25 ml cada una. Adicione unos pedacitos de antidumping.
3. Si la trampa de agua no tiene escala de 0 – 1 ml, tome una pipeta aforada de 1 ml y aspire agua para análisis, seque bien la punta con papel de filtro, e introdúzcala con cuidado hasta el fondo de la trampa y libere el líquido. Verifique que el menisco del agua en la trampa está en 1ml.
4. Ensamble el aparato (coloque el balón de destilación en la manta de calentamiento, conéctelo a la trampa de agua y esta al condensador de reflujo). Conecte la entrada de agua por la parte inferior del condensador y la salida por la superior. Abra la llave del desagüe y luego la de entrada de agua, verifique el flujo de agua a través del condensador. Tanto el condensador como la trampa deben estar químicamente limpios para garantizar el drenaje del agua al fondo de la trampa. Coloque un tapón de goma en la parte superior del condensador para evitar la condensación de la humedad atmosférica dentro de este.
5. Conecte la manta de calentamiento a la corriente y comience a aumentar temperatura gradualmente, esperando un tiempo de 5 minutos entre una posición y la siguiente, hasta que llegue a la temperatura de ebullición de la mezcla. Ajuste la razón de evaporación a una descarga desde el condensador de 2-5 gotas por segundo. Continúe la destilación hasta que no haya agua visible en ningún lugar del aparato, excepto en la trampa y que el volumen de esta, en la misma se mantenga constante por 5 minutos. Si en las paredes del condensador persistieran algunas gotas de agua, con cuidado incremente la temperatura o corte el flujo de agua por el condensador por unos minutos.

6. Cuando toda el agua ha sido recolectada, permita que el aparato se enfríe a temperatura ambiente. Si aún quedaran algunas gotas adheridas a las paredes, desplácelas con una varilla bien fina hasta la capa de agua en la trampa. Lea el volumen de agua recolectado con la mayor precisión posible ($V_{H_2O/MTRA}$).
7. Realice un blanco, con 100ml del solvente de arrastre ($V_{H_2O/BCO}$). (Mientras se mantengan los mismos reactivos, no será necesario repetir el blanco).

2.7.2. Cálculo del % de agua.

$$Agua(\% V|V) = \frac{V(H_2O)_{MTRA} - V(H_2O)_{ECO} * 100}{V(H_2O)_{MTRA}}$$

donde:

$V(H_2O)_{MTRA}$: Volumen de muestra utilizado en el análisis..

2.8. Toma de muestras.

Las muestras para los análisis son tomadas del interior del depósito de aceite en uso del motor a través del registro para tomas de muestras con que cuenta el depósito, la preparación de la muestra se realiza acorde a lo establecido en los protocolos para el análisis de las mismas.

Los resultados de cada uno de los análisis se recogerán acordes a la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Prototipo para la recogida de los resultados de los análisis al lubricante en uso.

		Motor 1															
Índice de Calidad	Horas de trabajo del lubricante																
	750	1500	2250	3000	3750	4500	5250	6000	6750	7500	8250	9000	9750	10500	11250	12000	
Viscosidad 100 °C																	
Número total de base (TBN)																	
% Agua																	
Insolubles																	

2.9 Interpretación de los resultados.

Los resultados se procesan a través de los criterios técnicos establecidos por la tabla 2.3, donde aparecen los límites condenatorios, a partir de los cuales, estableciendo las comparaciones con los resultados se tomarán las decisiones correspondientes en cuanto al accionar lo que determina la forma de procedencia, que se relacionan, para cada uno de los análisis en las tablas, 1.4 a 1.9 del capítulo anterior.

El análisis permitirá a los técnicos de mantenimiento acometer acciones inmediatas para la solución a la causa, de origen mecánico, que ocasiona la anomalía en el aceite. Los criterios técnicos en este orden también son recogidos en las tablas 1.4 a 1.9 del capítulo anterior.

Tabla 2.3: Especificaciones del lubricante CUBALUB Martron TI y límites condenatorios

Lubricante Motor: CUBALUB Martron TI				
Índice de Calidad	UM	ASTM	Especificación	Límites condenatorios.
Densidad a 15 °C.	kg/m ³	D-1298	900-920	Min. - 20% del valor inicial. Máx. +30% del valor inicial.
Viscosidad a 100 °C.	cSt	D-445	13,3-14,7	
Índice de Viscosidad.	-	D-2270	≥ 95	
Temp. de inflamación.	°C	D-92	≥ 230	Min. 180 °C
Temp. de fluidez.	°C	D97	≤ -12	
Contenido de Calcio.	% mm	D-6481	1,34-1,54	
Contenido de Zinc.	% mm	D-6481	0,039-0,048	
Número total de base TBN.	mgKOH/g	D-2896	37,5-42,3	Min. 50 % del valor inicial.
Contenido de agua.	% mm ³	D-95	≤ 0,05	Menor 0,3 %
Insolubles.	% mm ³	D-893	-	Máx. 2,5%
Apariencia	Visual.	Homogéneo, brillante, libre de impurezas mecánicas.		

2.9.1 Evaluación del impacto medioambiental.

La utilización de materiales de explotación derivados de la industria petrolera ocasiona grandes daños al medio ambiente debido a los productos nocivos que se generan durante su obtención, utilización y disposición final. Los aceites lubricantes para motores de combustión interna no escapan a esta realidad, y los impactos negativos que ocasionan estos al medio ambiente inician el ciclo desde la obtención hasta su disposición final, con serias implicaciones, tanto para los recursos bióticos como para los abióticos, transformando todo el entorno. Los derrames de este producto ocasionan problemas al suelo y a los recursos

hídricos, y su combustión aumenta significativamente las concentraciones de muchos elementos gaseosos liderados por el CO₂, los NO_x y otras sustancias gaseosas resultado de este proceso con grandes responsabilidades en el fenómeno del calentamiento global con todas sus implicaciones.

El análisis ambiental se realiza, a partir de las disminuciones esperadas en el consumo de este material de explotación en el emplazamiento Fuel oil de Bayamo, por el monitoreo sistemático de las cualidades de este que mediante políticas proactivas permitirá devolver cualidades a partir de técnicas que reemplazan los cambios totales cada 750 horas como se prevé en sistema de mantenimiento que permiten hacer más longevos a los aceites en uso. Las emisiones gaseosas no se evalúan debido a que en el interior del motor siempre existirán las mismas cantidades de este material y que estas dependerán en gran medida del estado técnico de cada uno de los motores en explotación, aunque es de señalar que el análisis le permite al personal de mantenimiento accionar sobre el estado técnico de los motores.

CAPÍTULO III.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos del estudio y el análisis del proceso de degradación del lubricante CUBALUB Martron TI en la central eléctrica Fuel Oíl Bayamo 110 kV como una vía para la predicción del estado técnico de los diferentes sistemas que conforman los motores de combustión interna Hyundai 9H21/32, y de esta manera lograr anticiparse a la falla y a las paradas imprevistas. Se exponen además los resultados del análisis ambiental, teniendo en cuenta el ahorro del lubricante.

3.1. Toma de muestras.

La toma de muestras se realizó tomando como periodicidad el número de horas en que por mantenimiento se prevé el completamiento de la capacidad volumétrica en cada uno de los motores, 750 horas, establecido por el plan de mantenimiento existente en la entidad, y se llevó hasta el número de horas en que se prevé el cambio total del aceite en el motor (1500 L) a las 12000 horas de trabajo.

3.2. Interpretación de los resultados.

La toma de las muestras y el procesamiento de estas para cada uno de los análisis se realizó de acuerdo a los protocolos descritos en el capítulo anterior.

La interpretación de cada uno de los resultados se realiza de acuerdo a lo establecido en las tablas 1.4, 1.5, 1.6 y 1.7 del Capítulo I del presente trabajo, mediante las cuales se relaciona cada uno de los resultados con las posibles anomalías en los sistemas mecánicos que garantizan el correcto funcionamiento de los motores.

Los resultados obtenidos a partir de las corridas realizadas a cada motor seleccionado se muestran en las tablas 3.1 y 3.2 que se presentan a continuación.

Tabla 3.1: Resultados de los análisis realizados a los motores 1, 2, 4, 11.

Índice de Calidad	Motor 1															
	Horas de trabajo del lubricante															
	750	1500	2250	3000	3750	4500	5250	6000	6750	7500	8250	9000	9750	10500	11250	12000
Viscosidad 100 °C						15,45	15,56	15,63	15,84	15,91	15,92	15,92	15,92	15,92	15,21	15,06
Número total de base (TBN)									31,45	27,2	28,75	32,47				
% Agua	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas
Insolubles											0,118	0,098	0,119			
Motor 2																
Viscosidad 100 °C						15,28	15,64	16,07	15,9	15,6	14,54	14,81	15,31	15,56		
Número total de base (TBN)							28,7	27,45	29,1	26,54						
% Agua	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas
Insolubles									0,24	0,12	0,09	0,2805	0,3127			
Motor 4																
Viscosidad 100 °C						15,06	15,03	15,12	15,9	15	15,3	15,36	15,84	15,88		
Número total de base (TBN)							25,17	28,8	33,16							
% Agua	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas
Insolubles									0,31	0,088	0,144	0,212	0,314			
Motor 11																
Viscosidad 100 °C						15,35	15,68	15,83	15,49	15,68	16,56	15,08	14,99	14,99	15,74	
Número total de base (TBN)							23,50	27,2	29,45	21,94						
% Agua	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas
Insolubles									0,29	0,24	0,23	0,2875	0,1201	0,2458		

Tabla 3.2: Resultados de los análisis realizados a los motores 12, 14, 15.

Índice de Calidad	Motor 12															
	Horas de trabajo del lubricante															
	750	1500	2250	3000	3750	4500	5250	6000	6750	7500	8250	9000	9750	10500	11250	12000
Viscosidad 100 °C			15,18	15,24	15,00	15,42	15,89	16,58	14,45	15,52	15,18					
Número total de base (TBN)						29,81	29,31	29,6	18,54							
% Agua	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas
Insolubles							0,25	0,29	0,65	0,0824	0,5429					
Motor 14																
Viscosidad 100 °C					15,08	15,1	15,31	15,11	15,45	15,69	15,02	15,31	15,1			
Número total de base (TBN)							32,35	29,56	28,13	34,27	27,44					
% Agua	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas
Insolubles												0,0528	0,1025	0,0877		
Motor 15																
Viscosidad 100 °C		15,05	15,11	14,96	15,32	14,79	14,9	15,65	15,11	15,12	15,6	15,75	15,65			
Número total de base (TBN)				32,74	26,48	26,9	28	27,2								
% Agua	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas	trazas
Insolubles					0,0578	0,06	0,1139	0,2425	0,142	0,1139	0,3185	0,2838	0,2689			

El análisis revela que en cada uno de los motores analizados el porcentaje de agua e insolubles se comportan acorde a lo establecido para el funcionamiento normal y estable del motor según (Dorta, García et al., 2009), aunque en el caso de los insolubles el comportamiento es diferente en cada una de las fuentes energéticas. El agua que aparece se encuentra en forma de trazas en ínfimas cantidades.

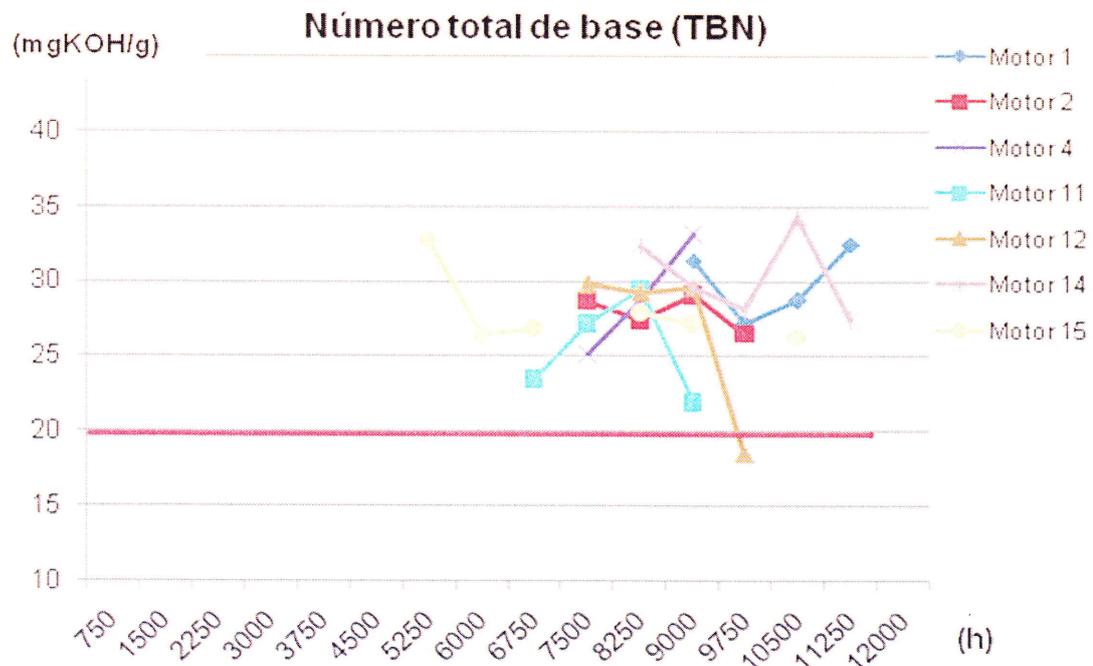


Figura 3.1: Curvas representativas comportamiento del Número Total de Base en los motores 1, 2, 4, 11, 12, 14, 15.

El comportamiento del número total de base, (TBN) en cada uno de los motores analizados, figura 3.1, es singular y diferente a pesar de ser los motores analizados, todos de las mismas características y estar sometidos a los mismos regímenes de trabajo, lo que connota la singularidad del parámetro analizado y su relación con los regímenes de funcionamiento de cada una de las máquinas térmicas acorde a su estado técnico.

Es de señalar que para cada una de las máquinas en la medida en que se acercan al límite de explotación de los aceites el TBN mantiene una tendencia de regresión lineal descendente si los aceites no son removidos en su totalidad o al menos en proporciones tales que permitan que haya una recuperación de este indicador, como es el caso del análisis que se presenta, el cual por verse afectado por el completamiento del lubricante, cada 750 horas, muestra en algunos casos una recuperación del indicador evidenciándose en la curva que describe el comportamiento del indicador en el motor 1.

Aunque a todos los motores se les realiza el completamiento del lubricante cada 750 horas de trabajo los motores 11 con 9000 horas y el 12 con 9750 horas, son los que muestran mas deterioro del indicador, lo que sugiere que hay pérdidas de cualidades en el lubricante que limitan su capacidad de lubricación a partir de la pérdida de su basicidad, aumenta la acidez, y por tanto la posibilidad de agresividad, ácida, a los elementos mecánicos con un incremento de la oxidación de acuerdo al aumento de la temperatura.

En el caso de estos dos motores se ejecutó el cambio total del aceite por encontrarse muy proximos o por debajo de los límites establecidos por (Dorta, García et al., 2009) para este indicador.

Atendiendo a la relación del deterioro del indicador con anomalías en el funcionamiento del motor y con el estado técnico de los elementos que lo conforman se recomendó la revisión de los inyectores por ser el exceso de temperatura una de las causas más probables en el proceso de oxidación del lubricante, se desecha la probabilidad de la mala calidad del combustible por encontrarse este en el resto de los motores analizados dentro de los valores permisibles.

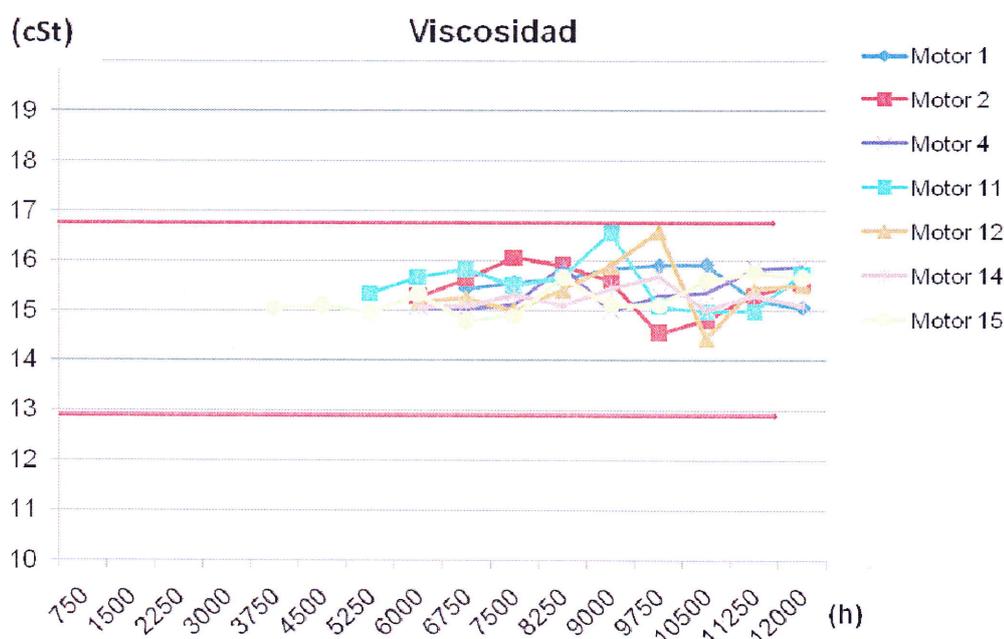


Figura 3.2: Curvas representativas comportamiento de la Viscosidad en los motores 1, 2, 4, 11, 12, 14, 15.

El comportamiento de la viscosidad es muy similar en los lubricantes de los motores analizados figura 3.2, manteniéndose la mayoría de estos dentro de los límites permisibles establecidos para este tipo de regímenes de trabajo muy próximos a los valores medios de este indicador. Al igual que en el caso del análisis del número total de base (TBN) son los motores 11 y 12 los que muestran más deteriorados el indicador con valores que se encuentran en la frontera de los valores superiores establecidos.

En este caso, los aumentos de la viscosidad, son atribuibles a incrementos de proceso de oxidación y volatilización de fracciones ligeras en el lubricante, relacionado estos a su vez con aumentos de temperatura, por lo que se recomienda una revisión a los inyectores, se descartan las posibilidades de presencia de insolubles y agua, pues los análisis posteriores confirman la invalidez de esta posibilidad, además de la contaminación del lubricantes por no verse afectadas el resto de las fuentes energéticas.

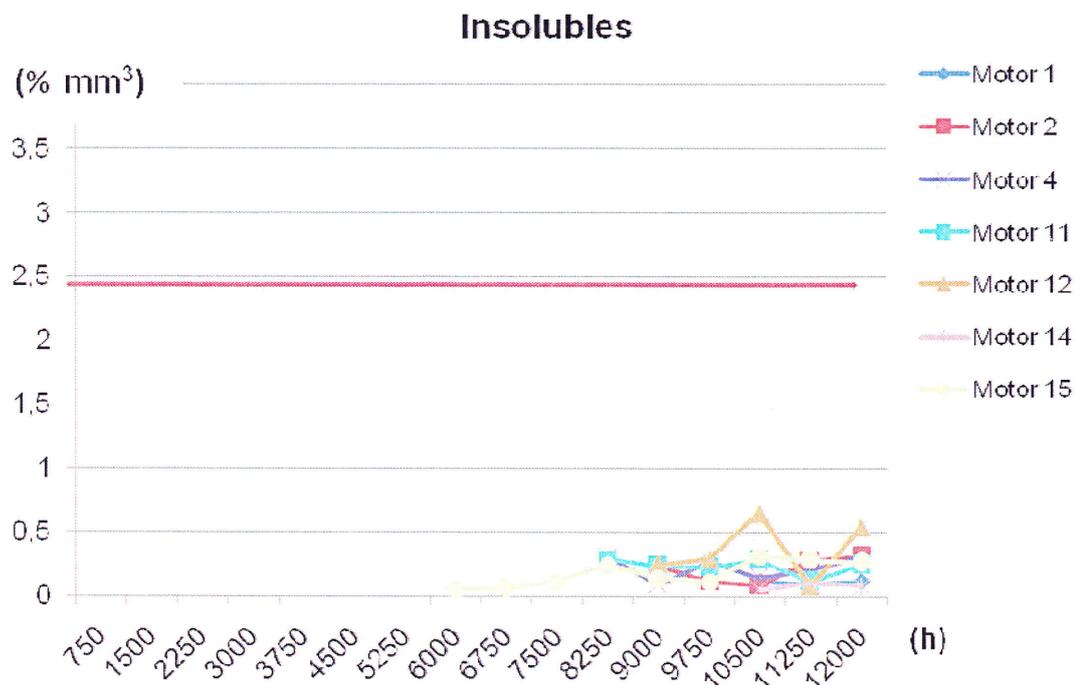


Figura 3.3: Curvas representativas comportamiento de los Insolubles en los motores 1, 2, 4, 11, 12, 14, 15.

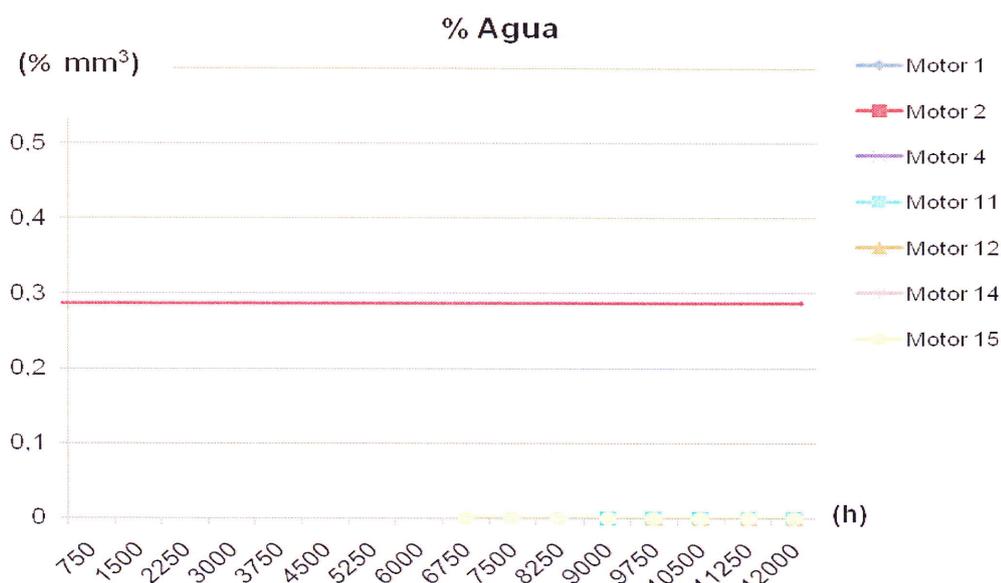


Figura 34: Curvas representativas comportamiento del Porcentaje de Agua en los motores 1, 2, 4, 11, 12, 14, 15.

Los gráficos 3.3 y 3.4 muestran el comportamiento de los insolubles y del porcentaje de agua presente en los lubricantes de los motores analizados. Los resultados se encuentran acorde a los valores establecidos para este tipo de regímenes de explotación, lo que evidencia la no existencia de problemas en los aros de los embolos ni rotura en las culatas ni en los sellos retenedores de agua.

3.2.1. Análisis relacional del comportamiento del número total de base y la viscosidad en los motores 11 y 12.

Después de haber analizado cada uno de los indicadores de calidad del aceite de forma aislada se procedió al análisis de la viscosidad y del número total de base en los motores 11 y 12 de forma conjunta. El análisis arrojó que en el caso de los dos motores el comportamiento de los dos indicadores de calidad del aceite es similar, lo que confirmó que el deterioro de estos se debió en gran medida al aumento de la temperatura por posibles problemas en los inyectores de ambos motores, confirmandose la hipótesis anterior. Figuras 3.5 y 3.6.

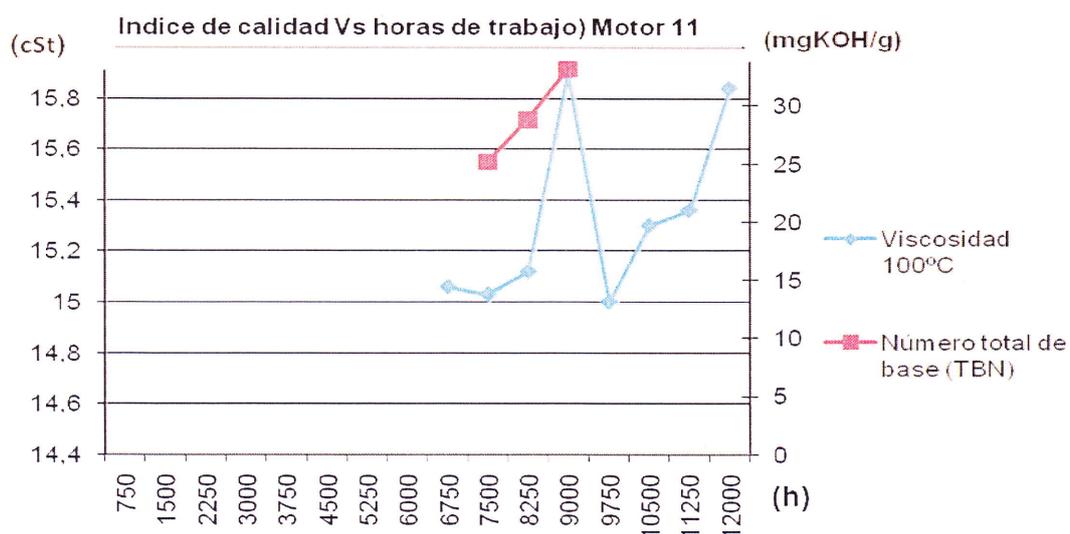


Figura 3.5: Curvas representativas comportamiento de la Viscosidad y el Número Total de Base en el motor 11.

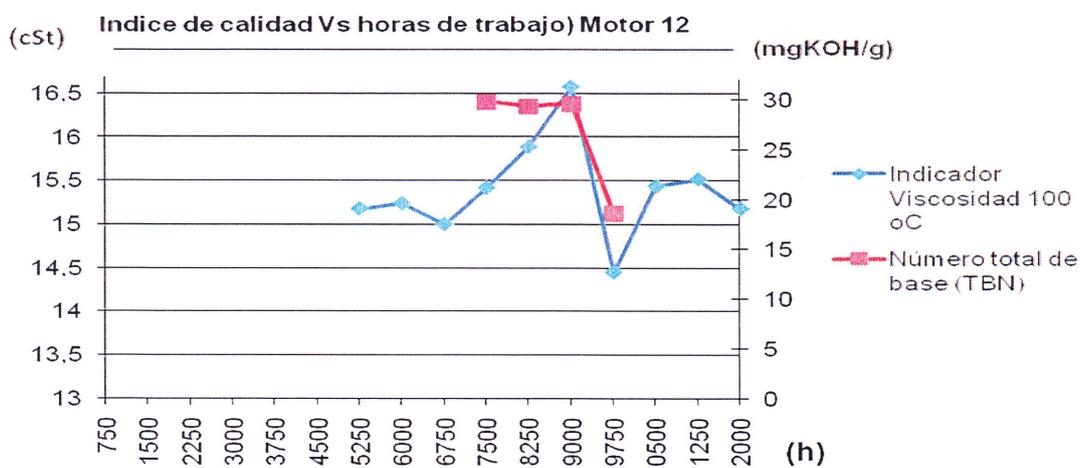


Figura 3.6: Curvas representativas comportamiento de la Viscosidad y el Número Total de Base en el motor 12.

3.3. Evaluación del impacto medioambiental.

El análisis ambiental se realiza, a partir de las disminuciones esperadas en el consumo de este material de explotación en el emplazamiento Fuel Oil de Bayamo, que mediante políticas proactivas permitió el ahorro de este material de explotación en el orden de un 4 % en un año de explotación, a partir de devolver

calidades que reemplazan los cambios totales ante dudas por la inspección visual de los especialistas en el análisis cada 750 horas como se prevé.

CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES.

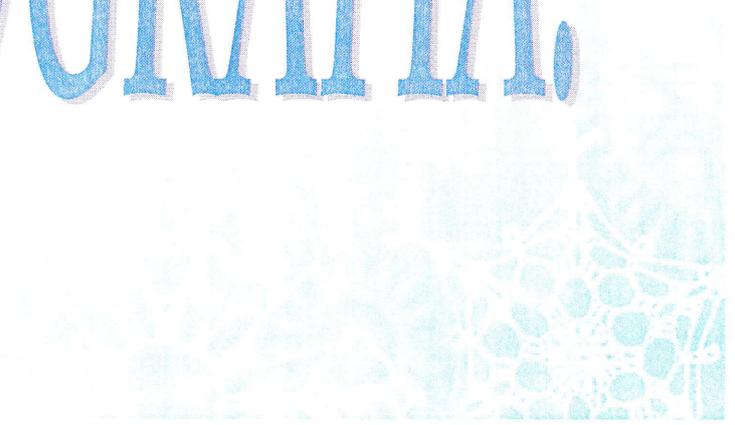
1. Los análisis con mayor compromiso en la detección de las fallas resultaron el Número Total de Base TBN y la Viscosidad.
2. Los motores con problemas a partir del análisis de aceite resultaron ser el 11 y 12.
3. Las principales fallas detectadas se ubicaron en los inyectores del combustible, ocasionando la elevación de la temperatura durante el proceso de combustión.
4. Se logró una disminución del 4 % del consumo de lubricantes, por lo que se contribuye a la protección del medio ambiente.

RECOMENDACIONES.

RECOMENDACIONES.

1. Continuar con la aplicación de los análisis y las políticas proactivas para el diagnóstico temprano de fallas.
2. Lograr mayor sistematicidad en los análisis que se ejecutan.
3. Incrementar el número de análisis a los lubricantes para lograr mayor número de posibilidades en el proceso de detección temprana de las fallas.

BIBLIOGRAFÍA.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ASTM D 4739 - 02 Método estándar para la determinación del número total de bases por Titración potenciométrica.
- ASTM D 445/04 IP 71/95 Método Estándar para la determinación de la Viscosidad Cinemática de Líquidos Transparentes y Opacos (Calculo de la Viscosidad Dinámica).
- Bhushan, B.y B.K. (1991). Gupta, Handbook of tribology. McGraw-Hill, New York.
- Benlloch, M. J. (1986) Lubricantes y lubricación aplicada. Ediciones Revolucionarias. Habana.
- CFR 279.22. (2003). Used Oil Storage. EPA Web site <http://ecfr1.access.gpo.gov>.
- CFR 279.24. (2003). Shipments. EPA Web site at <http://ecfr1.access.gpo.gov>.
- Childs, T.H. (1998). The mapping of metallic sliding wear. Proceedings Institution of Mechanical Engineers. 202.
- CubaLub S.A. (2012). Catalogo de Lubricantes.
- De Vita, Y. (1995). Aditivos para Lubricantes para motores a gasolina. Universidad de los andes. Mérida. Venezuela. FIRP.
- De Vita, Y., I.C. Grigorescu, et al. (1990). 7th International Colloquium I Essling.
- Dorta, H., García B, et al. (2009) Manual de gestión de generación distribuida de electricidad en cuba. Cuba.
- Drew, D. T. (1999). Effective Integration of vibration analysis and Oil. Maintenance Technology Magazine. November.
- ELF Lubricants. (1992). Lubricants and industrial maintenance.
- Galiasso, R. (1989). Refinación. Curso dictado en INTEVEP S.A.
- HSU, S. M., P. Pe et al. (1986). Lubrication Scientific. 164: 1-2.
- James, E. B. (1999) Technical Associates of Charlotte- Good Vibes about Oil Analysis. Practicing Oil Analysis Magazine November-December
- Jentgen, R. L. (1965). Lubricant Additives Product Engineering, August 30.

- Linares, O. (2005). Tribología y mantenimiento proactivo. Widman International S.R.L. Santa Cruz, Bolivia.
- Malone, B.W. (1968). Use of Additive in Industrial Lubrications. Annual Meeting of the American Society of Lubrication Engineers, Cleveland
- McCool, J. I. (1987). Relating profile instrument measurements to the functional performance of rough surface. *Journal of Tribology* 2. 264-275.
- McCool, J. I. (1988). The distribution of microcontact area, load, pressure and flash temperature under Greenwood- Williamson Model. *Journal of Tribology* 1. 106-118.
- McKetta, J. (1963). *Advances in Petroleum Chemistry and Refining*. Interscience. 7.
- Maxwell H. y B. Johnson, (2010). Integration of Lubrication and Vibration analysis technologies. Palo Verde Nuclear Generations Station.
- Moore, A. J. (1997). The behavior of lubricants in elastohydrodynamic contacts. *Journal of Engineering Tribology* 211. 91-106.
- Munchen. K. G. (1998). Kluber Lubrication. Aceites Minerales y Aceites sintéticos.
- Munchen. K. G. (1998). Kluber Lubrication. Grasas lubricantes.
- Munchen. K. G. (1999). Kluber Lubrication. Biolubricantes.
- Munchen. K. G. (1999). Lubrication. The guide to lubrication.
- Radhakrishnan, M. (2003). *Hydraulic Fluids: A Guide to Selection, Test Methods and Use*. New York: ASME.
- Rodríguez, M. C. (2005). *Fundamentos de la tribología*. Santiago de Cuba. Cuba.
- Olver, A. V. (1996). Prediction of traction in elastohydrodynamic lubrication. *Journal of Engineering Tribology* 212. 321-332.
- Ordaz, D. (2010). *El Análisis de Aceite y el análisis de fallas*. Noria Latinoamérica. Monterrey. México.
- Pignalosa, G., C. Mantero et al. (2003). Mantenimiento predictivo en base al análisis de aceite lubricante. Jornadas Técnicas de END, Montevideo 24-26 septiembre.

- Tekniker, C. (2011). Proceso de degradación de un lubricante y técnicas de análisis. Wearcheck Iberica.
- Trujillo, G., D. Troyer et al. (2004). Machinery Lubrication Best Practices Course Book. Noria Corporation. Tulsa. Okla.
- Trujillo C.G, (2000). Integrando el Análisis de Aceite con el Análisis de Vibración. Noria Latinoamérica. México.

ANEXOS.



ANEXO. 1**Control del régimen químico combustible y lubricante. (Dorta, García et al., 2009).**

Análisis	Visc. 50°C	Visc. 100°C	Pto Inf	VC	% Agua	% Agua Sed	% Rec	% CC	% API	% de Ceniz	% de Asf	% Azuf	TBN	Insol.	Limpio claro
Análisis Recepciones Lubricantes Motor Diesel.	X	X	X	X	X	X			X				X	X	X
Análisis Lubricantes Motor Fuel Oil cada 750 horas.	X	X	X	X	X	X							X	X	X
Análisis Lubricante Usado Motor Diesel.	X	X	X	X	X	X								X	X
Análisis Recepciones Lubricantes Motor Fuel Oil.	X	X	X	X	X	X			X				X	X	X

ANEXO. 2**Sistema de clasificación API para aceites de motor.** (Dorta, García et al., 2009).

Clasificación	Destino
SA	Antigüedad para servicios de motores a gasolina Diesel.
SB	Para servicio en motores a gasolina de trabajo ligero
SC	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores a gasolina modelo 1968
SD	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores a gasolina modelo 1970
SE	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores a gasolina modelo 1972
SF	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores de gasolina modelo 1980
SG	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores de gasolina modelo 1989
SH	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores a gasolina modelo 1993
SJ	Para servicio de mantenimiento por garantía en motores a gasolina modelo 1996

ANEXO. 3.**Lubricantes automotrices.** (Tekniker, 2011).

Aceite de motor gasolina.	Aceites de motor Diesel	Aceites para motocicletas
Mobil 1-15W-50	Mobil delvac 1	Mobil super 2T
Mobil Super xhp 20w – 50	Mobil delvac MX 15w – 40	Mobil super 4T
Mobil super 20w - 40	Mobil delvac súper 15w – 40	
Mobil hd	Mobil delvac serie 1300	
Mobil delvac Serie 1100	Mobil delvac 1240D	

ANEXO. 4**Composición de los lubricantes bases. (Tekniker, 2011).**

Hidrocarburos totales (85 – 75%)	
Alcanos	45 - 76%
Ciclo alcanos	13 - 45%
Aromáticos	10 - 30%
Aditivos (15 - 25%)	
Antioxidantes	Ditiofosfatos, fenoles, minas.
Detergentes	Sulfonatos, felonatos, fosfonatos.
Anticorrosivos	Ditiofosfatos de zinc y bario, sulfonatos.
Antiespumantes	Siliconas, polímeros sintéticos.