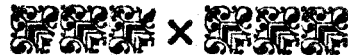


T  
6655385  
CORE  
C-2



**Escuela Superior Politécnica del Litoral**  
**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA**  
**Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION**



**”Estudio del Rendimiento de  
Lubricantes en Compañías Constructoras  
su Impacto Económico y Alternativas  
Ecológicas para el Aceite Usado”**

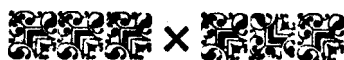
**TESIS DE GRADO**

Previa a la Obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentada per:

**Pablo José Cornejo Zuñiga**



Guayaquil • Ecuador

Año • 1998

## AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme  
culminar mi carrera.

A mis padres, a mi esposa,

y al Ing. Alfonso

Benites por su

colaboración y aliento

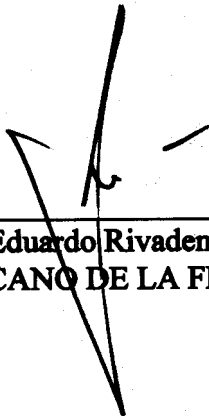
# **DEDICATORIA**

**A MIS PADRES**

**A MI ESPOSA**

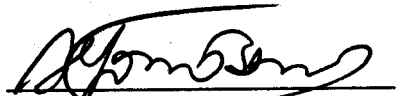
**A MIS HERMANOS**

TRIBUNAL DE GRADUACION



---

Ing Eduardo Rivadeneira  
DECANO DE LA FIM



---

Ing Alfonso Benites  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Mario Patiño A.  
VOCAL




---

Ing. Francisco Andrade  
VOCAL

## DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Sr. Pablo/Cornejo Zúñiga

## RESUMEN

El proyecto demuestra **que se puede optimizar el tiempo de cambio de los aceite para motores diesel, logrando también disminuir el volumen de aceite usado que se arroja al medio ambiente.**

**Para esto, se realiza un programa de monitoreo de los aceites en diversos rnotores a diesel, que trabajan en una misma empresa y bajo condiciones similares. Como se desea obtener uno de los casos mas extremos, se estudia a una empresa constructora como la Norberto Odebrecht. Las muestras son analizadas en el laboratorio de la compañía Shell Ecuador, luego cornparando los resultados con los límites condenatorios que recomiendan los fabricantes de los equipos, se determina si es todavia util el lubricante. Estos resultados periniten niostrar si se esta, o no aprovechando el recurso aceite.**

De lo anterior se desprenden dos aspectos, el econbmico y el ecologico.

El aspecto económico indica que hay un ahorro significativo de dinero, si se aumentan las horas de trabajo del aceite en el motor, y el aspecto

ecológico expresa que al prolongar la vida media del lubricante en la máquina, se logra enviar al medio ambiente, menos volumen de aceite usado, que es causa de contaminación.

**Pero** no sólo se muestra cuanto se beneficia en estos dos aspectos la empresa que genera el aceite usado, **sino** que analizando la alternativa de quemarlo como parte de un sistema térmico, también resulta rentable para la empresa que recibe el aceite usado.

## ABREVIATURAS

TBN	Total Base Number
Fe	Hierro
<b>Zn</b>	Zinc
<b>S</b>	Azufre
<b>Al</b>	<b>Aluminio</b>
<b>Pb</b>	Plomo
<b>Cr</b>	Cromo
Si	Silicio
<b>Cu</b>	Cobre
TAN	Total Acid Number
KOH	Hidróxido de Potasio
Na	Sodio
B	Boro
ASTM	American Standar Testing Materials
SAE	Society American Engienering
St	Stoke
<b>PPM</b>	Partes Por Millón
° C	Grados centigrados
" F	Grados Farenheit
IP	Instituto del Petróleo
DIN	Instituto Alemán de Normalización
<b>ILSAC</b>	Comité hternacional de Estandarización de Lubricantes
API	Instituto Americano del Petróleo
<b>CGS</b>	Centlmetro, segundo y gramo
<b>SI</b>	Sistema Internacional
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>Kv</b>	Kilovoltio
<b>Cm</b>	Centimetro
<b>IV</b>	Indice de Viscosidad
<b>cSt</b>	Centistoke



## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	VI
ABREVIATURAS .....	VIII
INDICE GENERAL .....	X
INDICE DE TABLAS .....	XI
INDICE DE GRÁFICOS .....	XII
INTRODUCCIÓN .....	13
<b>I. REFERENCIAS TÉCNICAS SOBRE LUBRICANTES .....</b>	<b>16</b>
1.1 <b>Procesos de obtención del aceite base .....</b>	<b>17</b>
1.2 <b>Tipos de lubricantes .....</b>	<b>20</b>
1.3 <b>Propiedades de los lubricantes .....</b>	<b>23</b>
1.3.1 <b>Propiedades físicas .....</b>	<b>24</b>
1.3.2 <b>Propiedades químicas .....</b>	<b>36</b>
1.4 <b>Aditivos para aceites lubricantes .....</b>	<b>37</b>
1.5 <b>Condiciones de trabajo de los equipos seleccionados .....</b>	<b>46</b>
1.6 <b>Limites condenatorios para el aceite usado .....</b>	<b>49</b>
<b>II. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ACEITE USADO .....</b>	<b>63</b>
2.1 <b>Diseño del programa de monitoreo .....</b>	<b>67</b>
2.2 <b>Presentación de los datos experimentales .....</b>	<b>72</b>

2.3	Comparación con los límites condenatorios .....	74
<b>III.</b>	<b>EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>89</b>
3.1.	Proyecciones estadísticas de los resultados .....	90
3.2.	Impacto Económico .....	103
3.3	Impacto Ecológico .....	107
<b>IV.</b>	<b>CONCLUSIONES Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL ACEITE USADO .....</b>	<b>115</b>
	BIBLIOGRAFÍA .....	125
	APENDICES .....	126

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Clasificación de los aditivos	41
Tabla 1.2	Límites condenatorios sugeridos para aceite usado	<b>59</b>
Tabla 2.1	Recomendación del fabricante para motores diesel	<b>68</b>
Tabla 2.2	Muestreo de los resultados de laboratorio	<b>76</b>
Tabla 3.1	Consumo de lubricantes para motores diesel <b>SAE</b> 30 durante 1996.....	104
Tabla 4.1	Comparación entre el costo del Bunker y el aceite usado..	121
Apéndice 1.1	Límites condenatorios sugeridos para aceite usado en motores Caterpillar	
Apéndice 1.2	Límites condenatorios sugeridos para aceite usado en motores Cummins	
Apéndice 1.3	Límites condenatorios sugeridos para aceite usado en motores Detroit Diesel	
Apéndice 1.4	Límites condenatorios sugeridos para aceite usado en motores Mack	
Apéndice 3	Consumo de lubricantes y combustibles de las principales empresas cementeras del Ecuador	



## ÍNDICE DE GRAFICOS

Figura 2.1	Histograma de frecuencias de cambio de aceite	73
Figura 2.2	Comportamiento de la viscosidad del aceite usado	77
Figura 2.3	Comportamiento del <b>TBN</b> en el aceite usado	<b>79</b>
Figura 2.4	Comportamiento del <b>hierro</b> en el aceite usado	<b>81</b>
Figura 2.5	Comportamiento del <b>silicio</b> en el aceite usado	<b>83</b>
Figura 2.6	Comportamiento del <b>cobre</b> en el aceite usado	<b>84</b>
Figura 2.7	Comportamiento del <b>plomo</b> en el aceite usado	85
Figura 2.8	Comportamiento del <b>aluminio</b> en el aceite usado	87
Figura 2.9	Comportamiento del <b>chromo</b> en el aceite usado	88
Figura 3.1	Tendencia de la viscosidad en función del tiempo en el aceite usado	<b>91</b>
Figura 3.2	Tendencia del <b>TBN</b> en función del tiempo en el aceite usado	<b>93</b>
Figura 3.3	Tendencia del <b>plomo</b> en función del tiempo en el aceite usado	<b>95</b>
Figura 3.4	Tendencia del <b>aluminio</b> en función del tiempo en el aceite usado	<b>96</b>
Figura 3.5	Tendencia del <b>cobre</b> en función del tiempo en el aceite usado	<b>99</b>
Figura 3.6	Tendencia del <b>chromo</b> en función del tiempo en el aceite usado	<b>100</b>
Figura 3.7	Tendencia del <b>silicio</b> en el aceite usado	<b>101</b>
Figura 3.8	Tendencia del <b>hierro</b> en función del tiempo en el aceite usado	<b>102</b>
Figura 4.1	Comparacion entre las tendencias del <b>hierro</b> y el <b>TBN</b> del aceite usado en función del tiempo	117

## INTRODUCCIÓN

Los que poseemos un vehículo sabemos la importancia que tiene la lubricación del motor para su correcto funcionamiento, ya sea por conocimientos técnicos, sentido común o porque alguien nos recuerda el hecho.

Muchas veces se duda de lo anterior, y surgen preguntas como: ¿cuál es la vida útil de los aceites?, ¿qué tenemos que considerar para cambiarlos?. Estas son quizás dos de las más frecuentes, tanto para las personas que tienen a cargo el mantenimiento de gran cantidad de vehículos, como para el ciudadano común. Existe otra gran cantidad de preguntas relacionadas con la duración del aceite de acuerdo a su aplicación.

La manera correcta de determinar la vida útil de los aceites, es haciendo un seguimiento de sus propiedades físicas y químicas después de un periodo de tiempo, estas propiedades se pueden monitorear luego de un análisis de laboratorio, el cual indicara si el lubricante puede seguir en uso o no. Lo anterior es válido para cualquier equipo.

Resulta complejo llegar a tomar una muestra de aceite a cada vehículo para hacerle un seguimiento sistemático, lo que se puede hacer es una recomendación general teniendo un soporte técnico. Es en este punto donde aparecen opiniones encontradas sobre lo que es más conveniente.

Existe la opinion de aquella persona que esta segura que si realiza el cambio de aceite en un período corto tendra su motor en mejor estado, el caso mas común de este tipo de persona es el del dueño de un carro nuevo. No se encuentra muy alejado de la verdad pues en un periodo corto y bajo condiciones normales, el aceite no se llega a degradar, conservando sus propiedades iniciales y protegiendo las piezas del motor.

De otro lado esta la persona que trata de hacer, que el cambio de aceite se realice en el mayor lapso posible, porque no tiene tiempo para cambiarlo o por tratar de economizar, esta ultima opción resulta la principal razón, si se usa un vehiculo como medio para obtener ingresos familiares, o cuando es la base del funcionamiento de una empresa, como es el caso que se estudia. En ocasiones, dichas personas opinan que los periodos recomendados para el cambio de aceite no son más, que una estrategia de las compañías productoras de aceites para vender, idea que se encuentra lejos de la verdad.

Estas no son las únicas razones por las que se realiza un cambio de aceite al motor de un vehiculo, pero son los grupos mas representativos.

El objetivo de este estudio consiste en determinar, que opinion relatada en los parrafos anteriores es la más conveniente. La conclusion se basara en análisis estadísticos de resultados obtenidos en laboratorios calificados, pudiendo de esta manera dar una recomendacion tecnica acertada.

Los datos estadísticos resultan interesantes para una compañía que desea reducir sus egresos de dinero en mantenimiento de equipos.

Los aceites usados en motores diesel, en un gran porcentaje se convierte en desechos líquidos, que para nuestro medio son difíciles de controlar. Durante **1996** se comercializaron en el país **17 millones** de galones de aceite para diferentes aplicaciones, aproximadamente el **30 %** de este volumen era para motores diesel.

Otro de los objetivos de este estudio es determinar las horas promedio de vida útil del aceite en un motor a diesel, teniendo como referencia, los resultados obtenidos en laboratorio de las muestras tomadas, a los equipos de la constructora Norberto Odebrecht, y así poder determinar cuánto del volumen que compra la empresa se pudo evitar arrojar al medio ambiente. Además se analiza soluciones prácticas y convenientes para dar utilidad al aceite usado.

# **Capítulo I**

## **Referencias técnicas de lubricantes**



## 1.1 Procesos de obtención del aceite base

La definición de lubricantes, por sencilla que parezca, es la de todo aquello que reduce el rozamiento entre dos cuerpos en movimiento. Se presenta en estados sólido, semi-sólido o líquido, y su origen puede ser animal, vegetal, mineral o sintético.

Los lubricantes para motores son en su mayoría aceites obtenidos de la refinación del petróleo, para dar una idea breve, una refinería es una instalación industrial que consta de zonas de descarga, una serie de tanques para almacenaje del petróleo crudo que se recibe e instalaciones para el fraccionamiento y purificación de los productos obtenidos. Mediante un calentamiento del petróleo crudo se lo lleva a temperaturas de alrededor de  $360^{\circ}\text{C}$ , haciéndolo circular por medio de bombas centrífugas a una presión de 3 o 4 atmósferas.

De aquí se lo introduce a una columna (o torre) de destilación, de donde se obtiene en la parte superior los gases ligeros (metano - etano), los gases licuables (propano y butano) y las naftas ligeras (pentanos y más pesados). Por extracciones laterales de la columna de fraccionamiento se extraen hidrocarburos de mayor peso molecular tales como nafta pesadas, kerosene que por su peso molecular y tensión de vapor servirán para la obtención de

combustibles de aviación y gasoleos. Por el fondo de la torre se obtiene aquella parte que no ha sido posible vaporizar a la temperatura de 350 ° C.

Esta parte, más viscosa y de mayor peso molecular que no se ha destilado, se la llama residuo atmosférico y es la materia prima para la obtención de los **fuel** - oil, aceites lubricantes, parafinas y asfaltos.

Los productos son purificados eliminando los compuestos de azufre que forman parte de los crudos, a estos procesos se los llama de desulfuración. Para la obtención de el aceite base, partimos de otra torre de destilación fraccionada, que difiere de la explicada anteriormente en que está sometida a vacío, y su carga es el residuo atmosférico, o sea lo que queda en el fondo de la primera torre de destilación, que vuelve a redestilarse calentando a una mayor temperatura, alrededor de unos 400 ° C.

En esta torre de vacío es de donde se obtiene la materia prima para la fabricación de los aceites lubricantes, extrayéndose en este nuevo proceso de destilación de un gas - oil, tres productos que se les puede denominar lubricantes ligero, medio y pesado, además de un residuo de vacío por fondo. Con estos tres productos ( o cortes laterales ) y el residuo de vacío, una vez tratados y refinados, es de donde partimos **para** obtener las bases de los aceites

lubricantes. Esta refinación se realiza en otras unidades llamadas de desfaltado, furfural, de desparafinado, de ácidos y de tierra.

En la primera se coloca el residuo del vacío, de aquí se obtienen los lubricantes de mayor viscosidad, eliminando los componentes asfálticos y metálicos cuya presencia es variable dependiendo de la procedencia del crudo.

En la unidad furfural, se colocan los productos ligeros, medios y pesados con el fin de eliminar las materias nocivas para obtener bases con un buen índice de viscosidad y un adecuado grado de refinamiento, eliminando parte de los hidrocarburos aromáticos y nafténicos.

La unidad de desparafinado se carga con todos los productos obtenidos en las unidades anteriores, y se trata de eliminar justamente los crudos parafínicos; los cuales pueden perjudicar los trabajos de los lubricantes debido a sus elevados puntos de solidificación.

En la unidad de ácido, se tratan una o dos bases (mediano y pesado), para obtener aceites de elevadas exigencias como los de las turbinas a vapor que requieren trabajar periodos largos. La unidad de tierras se carga con las bases que han pasado por la unidad de ácidos con el fin de neutralizar las trazas de este que puedan quedar retenidas en el aceite, a estas se las llaman bases y por

su naturaleza hidrocarbúrica se pueden clasificar en bases parafínicas, bases nafténicas y bases aromáticas, las cuales combinadas le proporcionan al lubricante final características particulares.

El tratamiento por hidrogenación catalítica puede también utilizarse para la obtención de aceites de calidad excepcional, con una gran resistencia a la oxidación y elevados índices de viscosidad naturales. Consiste en hacer pasar el aceite e hidrógeno a través de un lecho catalítico, bajo condiciones variables de presión y temperatura. Sus bases suelen utilizarse para aceites de transformadores, turbinas y multigrados naturales.

Las distintas bases obtenidas con estos tratamientos, convenientemente mezcladas y con los aditivos indicados, dan lugar a la obtención de los aceites lubricantes que se comercializan en el mercado mundial; tema que trataré en detalle posteriormente.

## 1.2 Tipos de Lubricantes

Al consultar a cualquier persona sobre las fuerzas que rigen las actividades en la tierra, la gravedad es la que encabeza la lista, **pero** tan común como esta y tan importante, es el rozamiento, que es <sup>\*</sup>la fuerza que impide el libre movimiento de dos cuerpos. El rozamiento existe en todo lo que nos rodea, en

cosas tan complejas un motor de avanzada tecnología o tan sencillas como rodar una pelota sobre el césped, en ocasiones nos sentiríamos mejor sin el, como por ejemplo al mover un gran peso; así como existen momentos en que la vida depende de ello como es el caso de los frenos de vehículos. Para el caso en que lo que buscamos es facilitar un trabajo es que necesitamos los lubricantes.

Hoy en día, el hecho de relacionar a un lubricante con aceite, cruza instantáneamente por la cabeza de muchas personas, **pero** la definición de un lubricante es la de toda sustancia sólida, semisólida, líquida o gaseosa de origen animal, vegetal, mineral o sintética que puede utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.

Como se ve en la definición los lubricantes se pueden clasificar por su estado, **pero** también se lo puede clasificar por su naturaleza como se vio cuando se revisaba el proceso de elaboración.

Por su estado los lubricantes pueden ser sólidos, como es el caso de los sulfuros de molibdeno y grafitos; esto son comunes encontrar en la industria aérea espacial por su peso y su capacidad de soportar grandes cambios de temperatura. Los semisólidos son las grasas; éstas son producto de mezclar aceites lubricantes con jabones espesantes que son los que le dan

características particulares. Los líquidos, que son los aceites lubricantes. Los lubricantes gaseosos son gases que inyectados a grandes presiones, que forman colchones de aire los que facilitan el movimiento entre las piezas; es común encontrar este tipo de lubricación en herramientas de alta precisión como las micro sierras.

Los lubricantes agrupados por su naturaleza molecular pueden ser parafínicos, nafténicos y aromáticos.

Los parafínicos que se caracterizan por un alto índice de viscosidad, baja volatilidad, bajo poder disolvente y un alto punto de congelación. Los nafténicos tienen como peculiaridad un bajo índice de viscosidad, una densidad muy alta, una mayor volatilidad y un bajo punto de congelación.

Los aromáticos son los de menor índice de viscosidad, son bastante volátiles, se oxidan fácilmente, tienden a formar resinas, se hacen emulsión rápidamente con el agua es complicado separarlos.

Es necesario recordar que los lubricantes son una combinación de estos tres tipos de moléculas en mayor o menor grado dependiendo de su aplicación final. Así pues si se requiere un aceite que deba soportar grandes cambios de

temperatura y que mantenga sus propiedades de lubricante en frío o en caliente se requiera más base parafinica.

También se pueden clasificar dependiendo del mercado para el que será utilizado, es decir el sector automotriz para motores a gasolina, o para motores a diesel, el sector industrial, el sector marino **pero sin** tomar en cuenta el **tipo** de combustible usado y sector aéreo.

Como el presente estudio se centra en los aceites lubricantes para motores a diesel se tratará en detalle el proceso de obtención de estos.

### **1.3 Propiedades de los lubricantes**

Los principales fabricantes de maquinarias y equipos en general exigen que los lubricantes que se deben utilizar en sus fabricados, cumplan ciertas especificaciones y exigencias acordes con la severidad de las condiciones de servicio de sus maquinas.

Con el fin de unificar criterios, distintas corporaciones y organismos han desarrollado procedimientos de ensayo normalizados, capaces de medir las propiedades del lubricante en cuanto a su calidad, identificación, detección de

adulteraciones, y contaminaciones, así como la vigilancia de su comportamiento en servicio.

Los de mayor uso en nuestro país son las correspondientes a ASTM ( American Society of Testing Materials), IP ( Institute of Petroleum) y DIN (Deutsche Institut für Normung ).

A partir de 1995 apareció también un organismo que rige la calidad de los lubricantes a nivel americano, la ILSAC (Comité Internacional de Estandarización de Lubricantes). A continuación vamos a describir brevemente estas propiedades.

### **1.3.1 Propiedades físicas**

El color y la fluorescencia. Actualmente estas características carecen de valor como criterio de evaluación de los aceites terminados, ya que pueden ser modificados o enmascarados por aditivos.

Sin embargo, hace unos años los usuarios daban una gran importancia al color de los aceites, como indicativo de un mejor o peor grado de refinado, y por otro lado esta propiedad se tomaba como indicativa de la procedencia del crudo. Así, la fluorescencia azulada caracterizaba a los aceites nafténicos y la



fluorescencia verde a los parafínicos. El procedimiento más usual para determinar el color es el ASTM-D-1500 con el que se comparan vidrios patrón de distintos colores con el aceite a medir y se establece una numeración del 0 al 8 en el sentido creciente .

**Pero** en los productos muy claros, tales como los aceites aislantes y otros, la escala **ASTM** es incapaz de matizar diferencias por lo que se emplea el colorímetro Saybolt con una escala que comprende desde el -16 ó blanco amarillento hasta + 30 ó blanco no muy diferente del agua.

En los aceites en servicio, un cambio de color se puede alternar sobre una posible alteración en su integridad, deterioro, contaminación, etc.

La densidad de los aceites lubricantes está relacionada con la naturaleza del crudo y el punto de destilación de la fracción. Para fracciones equivalentes los aceites parafínicos son de menor densidad y los aromáticos son los de mayor densidad, correspondiendo a los tipos nafténicos las densidades intermedias.

La terminología que se emplea al referirse a esta característica puede conducir a ciertas confusiones; entre los términos más comunes están gravedad específica y grados API , a continuación definiré estos términos.

La densidad cuando se habla de aceites, es la razón entre el peso de un determinado volumen de aceite y el peso de el mismo volumen en agua, aunque existen otras defmiciones, como la de que es el peso en el vacío de una unidad de volumen de una sustancia dada.

La gravedad específica se define como la relación entre el peso de un cierto volumen de producto y el peso de el mismo volumen de **agua a 60 ° F**.

Los grados **API** también suelen darse como característica, en vez de su densidad y existe una relación matemática entre la densidad a **60 ° F** y los grados **API**

$$\text{Grados API} = \frac{141.5}{\text{Densidad a } 60^\circ \text{ F}} - 131.5$$

La viscosidad es la propiedad física más importante de un lubricante líquido. En términos sencillos, la viscosidad de un líquido puede definirse como la resistencia de un fluido a fluir y como una medida del rozamiento entre las moléculas.

Como la resistencia a **fluir** depende de las fuerzas intermoleculares que se desarrollan en el interior del líquido, es de estas de quien dependerá finalmente la resistencia mecánica observada cuando se hace deslizar una capa de líquido sobre otra capa adyacente de este mismo líquido.

Por ello se comprende fácilmente que la viscosidad de un fluido **tan** complejo como un aceite mineral, puede verse modificada considerablemente. De un lado porque las variaciones internas de su composición y estructura, que es determinada por el origen del petróleo crudo y su proceso de refino; y por otro lado las condiciones externas tales como la temperatura y la presión, que pueden influir sobre las fuerzas moleculares.

La viscosidad absoluta o viscosidad dinámica, puede definirse usando un esquema de dos placas horizontales paralelas y que se encuentran separadas por una distancia cualquiera. La placa superior es móvil mientras que la placa inferior es fija. Ambas están separadas por una película de aceite. Para que se produzca el desplazamiento de la placa superior de la superficie a una velocidad constante sobre la superficie del aceite **y** hacer deslizar las capas adyacentes **unas** sobre otras resulta necesario aplicar una fuerza tangencial.

Como la película de aceite se adhiere a las superficies de las placas la capa inferior de moléculas quedan **pegadas** y las filas intermedias se deslizan a



velocidades proporcionales a la velocidad de la capa superior. Dado que es la propiedad mas importante en el análisis de un lubricante líquido dare un poco en detalle sus unidades.

En el sistema *C.G.S.* la unidad de medida es el poise, en honor de Dr. Poiseville, francés experto en el movimiento de los fluidos a través de los tubos capilares. **Pero** es más común utilizar el submultiplo, el centipoise.

En el **S.I.** se le denomina Poiseville. En el sistema inglés el Reyn, en honor de Sir Osborne Reynolds. Esta unidad es bastante grande y se emplea la millonésima parte designada como microreyn.

La viscosidad cinematica no obstante en la industria del petroleo se usa habitualmente, el concepto de viscosidad cinematica es la que matemáticamente se relaciona con la viscosidad absoluta a traves de la densidad del fluido analizado.

La unidad de medida es el Stoke **pero** por resultar también bastante grande se usa su submúltiplo, el centistoke

Para la medida de la viscosidad, se utilizan diversos tipo de aparatos llamados viscosímetros, que se diferencian entre si por la forma que tienen.

**Al** determinar la viscosidad de tan diferentes formas, utilizando tan distintos aparatos , sus valores vienen expresados en diferentes escalas, siendo las más usuales :

- la Engler para la Europa Continental
- Saybolt en EE.UU.
- Redwood **en Gran** Bretaña

Sin embargo se esta imponiendo el expresar a la viscosidad cinemática como símil de la viscosidad absoluta, y también el uso del centistoke como unidad de medida.

La idea del indice de viscosidad, nace de la observación de como varia la viscosidad de un líquido con la acción de un agente externo. La viscosidad de un fluido disminuye con el aumento de la temperatura, y viceversa con la disminucion de la temperatura la viscosidad aumenta.

En la practica de la lubricación, interesa siempre que la viscosidad del lubricante disminuya lo menos posible al elevarse su temperatura. El indice de viscosidad es un sistema arbitrario que **fue** desarrollado en 1929 por Dean y Davis.

En este sistema a los aceites parafínicos caracterizados por variar muy poco su viscosidad con la temperatura, se les asignó un índice de viscosidad de 100, mientras los nafténicos del **Golfo** de México, cuya viscosidad varía mucho con la temperatura se le dio un índice de viscosidad de **0**.

El método propuesto por Dean y Davis, consiste en comparar la viscosidad a  $100^{\circ}\text{F}$  de aceite analizado **con** las que tienen los aceites de referencia de  $IV=100$  e  $IV=0$ .

La rigidez dieléctrica es una propiedad que viene determinada por la tensión en la que se produce un arco eléctrico permanente entre dos electrodos sumergidos en el aceite en las condiciones normalizadas del ensayo y utilizando en aparato llamado Spinterometro, se expresa en KV/cm.

Este ensayo se orienta sobre las cualidades de aislamiento eléctrico de los aceites, que disminuyan con la presencia de contaminantes tales como el agua, polvo, suciedad y barros, etc.

No solamente en el campo de los aceites dieléctricos, la rigidez dieléctrica tiene su significación, sino también en el de los aceites de compresores de refrigeración, ya que dicha característica se ve muy afectada por trazas de humedad.

Tension interfacial. es cuando se ponen en contacto dos liquidos de no son micibles, se crea una interfase, el grado de resistencia que ofrecen ambos liquidos a su separación se define como tension interfacial. Los factores que influyen sobre la tension interfacial son los siguientes:

- La naturaleza quimica de los liquidos en contacto.
- La temperatura, si la micibilidad de los liquidos en contacto aumenta con la temperaturta, el valor de la tensión interfacial disminuye.
- La presencia de cuerpos polares rebaja la tensio interfacial.

La tension interfacial se utiliza como indicativo de la presencia o ausencia de coinpuestos polares en muy bajas concentración, como es el caso de ciertos aditivos contaminantes o por productos de la degradación del propio aceite.

Por ello dicho valor se considera de importancia en el caso de los aceites de turbinas y dieléctricos, viendo su evolución durante su servicio.

La espuma se forma por, agitación superficial con aire o algún otro gas lo cual es normal pero puede convertirse en un grave problema si no se controla su formación de alguna manera.

La manera de determinar cuanta espuma produce un aceite, es sumergiendo una esfera porosa por la que inyecta aire y luego que se estabiliza la espuma que se forma, se procede a su medicion.

La espuma es muy perjudicial para la lubricación, ya que afecta el comportamiento de los sistemas hidraulicos, **asi** como efectos por la cavitación. Cuando hablamos de motores el problema **está** en que las piezas en movimiento no están protegidas por aceite, sino por **una** pelicula de aire y aceite.

Emulsibilidad, esta propiedad indica la facilidad que tiene el aceite de mezclarse o separarse del agua cuando se ha mezclado. Esta característica es de fundamental importancia en el caso de turbinas, aceites hidraulicos y en general todos aquellos lugares expuestos a trabajar en contacto con el agua, siendo lo ideal que el aceite no se mezcle, es decir desear que la emulsion sea inestable. **Pero** hay factores que favorece en las emulsiones, como una viscosidad muy elevada de los aceites, una pequeña diferencia en la densidad de dos líquido o una tension superficial suficientemente baja.

En los casos en los que las emulsiones son deseables se encuentran casos como los refrigerantes de las herramientas de corte, los aceites para cilindros y



en ciertos aceites marinos para maquinarias de cubierta **en** donde se necesitan que las emulsiones sean estables.

La aereoemulsión es una emulsión de aire y aceite, formada **por** muy pequeñas burbujas de aire de tamaño bastante inferior a las de la espuma superficial, dispersas en la masa de aceite. La manera para **determinarla es** también **por** observación del ritmo de separación del aire que quedó envuelto en la muestra de aceite, después de sometida a un proceso de soplado o dispersión en condiciones controladas.

La persistencia de este fenómeno puede suponer, como **en** el caso de la espuma superficial, dificultades en la aplicación del lubricante. Cuando las partículas de aire retenidas **en** el aceite tienen un diámetro entre una micra y 0.1 cm, es que se forman las llamadas aereoemulsiones. Los **inconvenientes** causados por este fenómeno son semejantes a los producidos por la espuma y son muy difíciles de eliminar.

Puntos de inflamación y combustión. El punto de inflamación o “flash point” de un aceite es la temperatura mínima a la cual el aceite desprende la cantidad suficiente de vapores para inflamarse, momentáneamente al ser aplicada una llama.

La temperatura de inflamación se determina calentando la muestra en aparatos normalizados y aplicando una pequeña llama en la proximidad de la superficie. Se puede aplicar el método de copa abierta ( open cup o Cleveland ) para el caso de puntos de inflamación elevados, o copa cerrada ( closed cup o Pensky-Martens ) para aceites más ligeros o de más baja inflamabilidad.

Para un mismo producto, la inflamabilidad en el primer procedimiento es de un valor más alto que en el segundo. La temperatura a la cual hay que llevar el aceite para que al aproximar una llama, sus vapores se inflamen y permanezcan en combustión durante cinco segundos como mínimo, se denomina punto de combustión y se determinan con el método de copa abierta.

El punto de combustión suele ser entre  $30^{\circ}\text{C}$  y  $60^{\circ}\text{C}$  superior al punto de inflamación. La inflamabilidad de un aceite da una orientación sobre la volatilidad del mismo, posibles contaminaciones o diluciones con combustibles que son los casos más comunes en los análisis de aceites usados, riesgos de incendios y procedimientos inadecuados en la elaboración de aceites.

Puntos de congelamiento y enturbiamiento. El punto de congelación o “pour point” es la temperatura más baja a la cual no fluye el aceite cuando es

enfriado bajo condiciones normalizadas. El punto de enturbiamiento o “cloud point” es cuando un aceite es sometido a un proceso de enfriamiento y llega a una temperatura a la que las parafinas y otras sustancias comienzan a separarse en forma de cristales, y el aceite obtiene una apariencia turbia.

Ambas características tienen significación para los casos en que el aceite va a ser sometido a bajas temperaturas de trabajo especialmente antes de encender la máquina que se va a lubricar.

En los aceites parafínicos como consecuencia de la congelación, ocurre la cristalización de la parafina, por eso en ellos existen puntos de niebla y de congelación.

Punto de floculación de un aceite es la temperatura a la que comienza a separarse parafina y otras sustancias de la solución, cuando se somete a un proceso de enfriamiento una mezcla formada por un 10% de dicho aceite y el resto de un refrigerante normalmente R-12.

Esta característica es de importancia en la selección de un lubricante para su empleo en sistema un de enfriamiento, que trabajan con refrigerantes miscibles en el aceite y puede orientar sobre su comportamiento en los serpentines del evaporador.

### 1.3.2 Propiedades químicas

En un aceite su grado de acidez o alcalinidad se expresa con su número de neutralización, que es la cantidad de ácido o alcalino que se necesita para neutralizar la cantidad de ácido o base que se produce en el aceite por su tiempo de trabajo. La unidad de medida son los miligramos de Hidroxido de Potasio (KOH) y se presentan en como **TAN** en el caso del número ácido total, que constituye la cantidad de ácidos presentes en una muestra de aceite, y **TBN** que es el número básico total, que es la cantidad de alcalinos de el aceite, normalmente se menciona este último cuando se usa un motor de **tipo** diesel.

Existen dos procedimientos para determinar el número de neutralización: el volumétrico (**ASTM-D-974**) y el potenciométrico (**ASTM-D-684**). La acidez y alcalinidad de un aceite puede dar indicaciones de importancia sobre su grado de refinado, su aditivación, los contaminantes y especialmente en el seguimiento analítico de su vida útil en servicio que es el fondo del presente estudio.

El residuo de carbono se define como el porcentaje de depósitos de carbono que se obtienen al someter una muestra de aceite a evaporación en las condiciones normalizadas de ensayo. Esta característica permite obtener, con reservas, algunas conclusiones sobre la tendencia a la carbonización de los aceites. Por

ello es de interés en el caso de los lubricantes de motores de combustión interna.

La corrosión al cobre es la propiedad que determina la tendencia de un lubricante para provocar corrosión. La mayoría de aceites nuevos son absolutamente inofensivos frente a los metales de los mecanismos a lubricar, en especial si son blandos como los cojinetes antifricción.

El método de para determinación de corrosión al cobre es exponiendo una lamina de cobre perfectamente pulida a la acción de un aceite durante tres horas y a 100 ° C. El grado de corrosión que ha sufrido se determina por su aspecto y coloración y su comparación con las coloraciones de placas tipo normalizadas.

Los aceites bien refinados y que no contengan cierto tipo de aditivos, no atacan sensiblemente al cobre, **pero** si pueden hacerlo por causa de su previa degradación, presencia de contaminación o especial aditivación.

#### **1.4 ADITIVOS PARA ACEITES LUBRICANTES**

**Los** procesos a seguir para la obtención de los distintos tipos de aceites lubricantes son:

- 1.- El aceite base producto de los distintos procesos de refinación descritos anteriormente pasan a la planta de mezclas (blending).
- 2.- Se efectúa la mezcla de las bases para obtener la viscosidad y calidad requeridas.
- 3.- Se mejoran las características de los aceites base incorporando distintos tipos de aditivos de acuerdo a las aplicaciones y necesidades que deben satisfacer.

Se llaman aditivos lubricantes a aquellos compuestos químicos destinados a mejorar propiedades naturales de un lubricante y confiere otras que no posee las que **son** necesarias para cumplir un determinado servicio.

Las exigencias de los tiempos modernos, los grandes equipos, los motores de altas revoluciones, materiales especiales y la era espacial, obligan a reforzar las propiedades naturales de los lubricantes mediante la incorporación de aditivos químicos, en cantidades pequeñas durante las mezclas.

Los aditivos se incorporan a los aceites en muy diversas proporciones, desde partes por millón, hasta el 20% en peso de algunos aceites de motor. Cada aditivo tiene una o varias misiones que cumplir, clasificándolas como uni o multifuncionales.

Los objetivos que persiguen los aditivos son:

- 1.- Limitar el deterioro de un lubricante a causa de fenomenos quimicos o fisicos debido a su entorno o actividad.
- 2.- Proteger **una** superficie lubricada de la **acción** de ciertos contaminantes.
- 3.- Mejorar las propiedades fisico quimicas del lubricante o proporcionarle nuevas.

**Como** es lógico, los aditivos deben ser solubles en el aceite base y el efecto que le confieren es en algunos casos, peculiar para el aceite en el que se incorpora, o sea, que un aditivo que es efectivo para un **tipo** de aceite basico, puede no serlo para otro. **A** esta propiedad se la puede llamar susceptibilidad del aceite para con el aditivo.

Al formular la composición de un aceite multiaditivado, se tiene muy en cuenta el comportamiento de los distintos aditivos entre sí. La compatibilidad es una característica muy importante, en mezcla con aceite, dos o mas aditivos son compatibles si no dan lugar a reacciones que formen compuestos indeseables, o bien anulen los efectos que persiguen. Por otro lado existe el caso en el que algunos aditivos pueden reforzar la acción propia de otros. Hoy en dia, la mayoría de lubricantes necesitan aditivos para que cumplan con su misión, conforme los aditivos se van degradando con el uso, el aceite va

perdiendo sus propiedades iniciales, y por ello se comprende que sea necesario el respetar los periodos estipulados para la renovación de aquel, no sobrepasandolos.

Los aditivos normaimente utilizados en aceites lubricantes podriamos clasificarlos en grupos según sus propiedades como se indica en la tabla 1.1

Brevemente se explica sobre las funciones que debe cumplir un aceite en motores de combustion interna, y que no solamente las propiedades intrinsecas del lubricante eran suficiente para proteger los elementos, a continuación un detalle de los más importantes .

Hay propiedades particulares que dependen del diseño y el tipo de combustible del motor como por ejemplo el TBN que sere fundamental en el análisis de aceite usado en el estudio.

Como el estudio se basa en motores a diesel dara un mayor énfasis a explicar, en detalle los aditivos que requieren los aceites para este tipo de motor, y como influye en las propiedades originales del aceite base.

Un motor debido a sus condiciones de trabajo esta expuesto siempre al deterioro fisico de las partes, los cuales como mencionó en parrafos anteriores



## TABLA 1.1

EFFECTOS DE LOS ADITIVOS		
Propiedades sobre las que actúa		Tipo de Aditivo
a) Propiedades Físicas:	Viscosidad	Mejorador de Índice de Viscosidad
	Congelacion	Depresores de punto de congelación
b) Propiedades Químicas:	Oxidaciones a baja o alta temperatura	Antioxidantes
c) Propiedades Físico - Químicas:	Resistencia al Impacto	Aditivos E.P.
	Espuma	Antiespuniente
	Mezcla con agua	Emulsionantes
	Dispersantes	Detergentes

Esta tabla presenta un resumen de las propiedades físicas y químicas de los lubricantes que se ven afectadas por los aditivos

produce los barnices y lodos los que requieren ser removidos de las piezas por acción de un agente químico.

Resulta muy común confundir los términos detergentes y dispersante por cuanto la limpieza de motor se asocia más con la propiedad detergente que la dispersante, pues **sin** la ayuda de un detergente el aceite no puede desprender o mantener en suspensión los **depósitos** que se producen, cabe indicar que este **tipo** de aditivos es químico de un aceite de motor para otro **tipo** de aplicación su presencia sería perjudicial.

Los aditivos detergentes más importantes son de acuerdo a la bibliografía consultada los siguientes:

- a) Jabones de ácido graso superiores que fueron los primeros y que dejaron de usarse por que promovían la oxidación de los propios aceites.
- b) Los Sulfatos
- c) Los fosfatos y tiofosfatos que son producto de la condensación del penta-sulfuro de fósforo y una poli-olefina de alto peso molecular que se neutraliza con la base del metal polivalente, bien sea calcio o bario.
- d) Los Fenatos son los más utilizados actualmente por ser los que dan mejores resultados a altas temperaturas. Estos también se neutralizan con calcio y bario

- e) Alquil-salicilato Estos también poseen buenas propiedades antioxidante y se las podría considerar como aditivos multifuncionales.

Algunos de estos detergentes especialmente sulfonatos y fenatos, no incorporan un exceso de alcalinidad destinado a neutralizar los ácidos de la combustión. Por ello se incorporan a estos detergentes hidróxidos de calcio o magnesio para formar un solo cuerpo unidos por anhídrido carbonico.

La manera como actúan los detergentes químicamente hablando no es muy clara, según la consulta hecha **pero** agrega que puede actuar frenando el proceso de desintegración térmica, análogamente a la actuación de el tetraetilo de plomo en la mejora del octanaje de gasolinas, **pero** físicamente su efecto es visible.

Los aditivos llamados antiácidos o alcalinos son aquellos productos de tipo detergente que poseen una reserva alcalina capaz de neutralizar los ácidos producto del azufre presente en el combustible, principalmente en los motores a diesel, dicha alcalinidad se expresa como TBN.

Como se dijo anteriormente, puede existir confusión entre un aditivo detergente y un dispersante. El dispersante es aquel que puede impedir la precipitación de lodos húmedos (mezcla compleja de productos no quemados

de la combustión , carbon, oxido de plomo y agua ) producto de la operación de motores a bajas temperaturas con abundante condensación de agua sobre el aceite .

Los dispersantes recubren a cada partícula con una película por medio de fuerzas polares que se repelen eléctricamente de otras partículas, evitando que se aglomeren, es decir que complementa la acción de los detergentes pero solamente operan cuando las temperaturas de motor son normales .

Para temperaturas bajas del motor se desarrollaron compuestos orgánicos los cuales se denominaban detergentes sin cenizas .

La oxidación de un aceite es una medida del grado de deterioro del mismo, es producto de la presencia de oxígeno, altas temperaturas y agentes contaminantes que sirven de catalizadores para la oxidación .

Existen varias teorías para este fenómeno la más aceptada es la de los radicales libres, la cual se caracteriza por la formación a partir de moléculas inertes de radicales y la transformación de hidropéroxidos en ácidos, este mismo fenómeno ocurre en el cuerpo humano. Como consecuencia la propiedad que se ve más afectada es la viscosidad, la cual aumenta directamente con la oxidación .



Las antioxidantes son aditivos que se emplean para reducir estos efectos, son sustancias capaces de retardar la fijación de oxígeno libre sobre los compuestos antioxidables y su consecuente polimerización.

Los principales antioxidantes son:

- a) ditiófosfato de zinc también efectivo como inhibidor de corrosión
- b) Fenoles los cuales están bloqueados estrictamente en el grupo hidroxilos
- c) Aminas

De todos estos antioxidantes los que más uso tienen en motores son los de ditiófosfato de zinc por su resistencia a altas temperaturas siempre y cuando no exista una contra indicación del fabricante del equipo, para temperaturas normales el más utilizado son los fenoles bloqueados

Los anticorrosivos o inhibidores de corrosión son productos que protegen los metales no ferrosos susceptibles de corrosión o al ataque de contaminantes ácidos presentes en el lubricante. Los primeros inhibidores se utilizaron a base fosfitos orgánicos luego fueron reemplazados por compuestos a base de azufre y óxido los que se usan hasta esta fecha. Los principales tipos de inhibidores utilizados actualmente son :

- a) Diofosfatos metalicos especialmente de zinc que es el mas comercializado
- b) Dicarbonatos metalicos

Existe la necesidad de que el aceite posea también propiedades antidesgaste para proteger la superficie de la fricción, propiedades inhibidoras de corrosion y propiedades dispersantes, estas últimas para evitar la formación de lodos.

## 1.5 Condiciones de trabajo de los equipos seleccionados

Las condiciones en las que trabaja hoy en día un motor de combustion intema, **no** se asemejan en nada a la de los primeros motores. Siempre hay mayores exigencias, necesitan llevar mayores cargas **y** a mayores velocidades, se requieren motores cada vez mas compactos y mas ligeros, es decir la presencia de nuevos materiales y nuevos diseiios.

La lubricación es una parte integral de motor, **y** por tanto su diseiio y selección deben ser hecho con el mismo cuidado y precision que el empleado en los otros conponentes. Por ejemplo el **uso** de pistones o metales de menor calidad a los del resto de elementos podría llevar a todo el sistenia a disniinuir su vida útil o quizás a una falla catastrofica, lo mismo podriamos decir de un lubricatite inapropiado.

Dentro de un motor las condiciones a las que está sometido el aceite son: temperaturas extremas (entre  $80^{\circ}\text{C}$  y  $750^{\circ}\text{C}$ ), humedad, grandes fricciones debido a las velocidades, tolerancias mínimas, ambientes nocivos, entre otros.

Sobre las funciones que el aceite debe satisfacer están, las de formar una película fluida entre las partes móviles del motor, para prevenir el desgaste, la herrumbre y la corrosión.

También está el hecho de enfriar las piezas, limitar la formación de depósitos y sellar tolerancias entre las partes. Para cumplir con estas funciones, el aceite debe poseer especiales características físicas y químicas, que las define el tipo de aceite base usado y su grado de refinación, así como la clase y la cantidad de aditivos incorporados.

Analizando las funciones que debe cumplir un lubricante, hay que anotar que el resistir grandes cambios de temperatura es la más importante, esto va directamente relacionado con la viscosidad del aceite pues esta propiedad física varía con la temperatura lo que hace que la velocidad relativa del fluido no sea suficiente para producir un gradiente de presión capaz de soportar las cargas, además de permitir sellar tolerancias y fugas que pudieran existir entre las piezas. En este último punto está uno de los principales problemas por los que se desecha el aceite.

La contaminación del aceite con combustible, puede deberse al desgaste avanzado a causa de los años de servicio, o a una mezcla demasiado rica, lo cual en nuestro medio es muy común particularmente en la sierra debido a la menor presencia de oxígeno. Esta afirmación es válida tanto para motores a gasolina como los de diesel.

Ya hablando de las propiedades adicionales que debe tener un aceite para motor, una de las más importantes es la acción detergente. Los depósitos de carbon producto de la combustion dependen directamente de la temperatura en el motor en la cual se produce, así se pueden encontrar depósitos de alta, media y baja temperatura.

Los de alta temperatura se forman en los anillos de fuego (que es el anillo que se encuentra más cerca del lugar de la explosión), en la parte interior de la cámara de combustion, en la cabeza de los pistones o en las válvulas de descarga.

Los de mediana temperatura llamados barnices o lacas, se concentran en los anillos medios. en las válvulas de admisión o en las camisas.

Los de baja temperatura se llaman también lodos y se encuentran en el cárter o el filtro.



Los depósitos de carbon contaminan los aceites, promueven el desgaste e impiden la disipación del calor .

## 1.6 Límites condenatorios de aceites usados

Luego de haber hecho un recuento teórico de la manera como se elabora el aceite y sus propiedades intrínsecas o adicionales, toca prestarle atención al aceite luego que ha cumplido su vida útil. La pregunta está en ¿ cuándo se considera que el aceite deja de ser útil ?, ¿qué factores se consideran para tomar ésta decisión ? ¿cuales son las propiedades físicas o químicas que se observan para condenar un aceite ? ¿ es alguna de estas mas importante que otra ?, son algunas de las dudas que me impulsaron a realizar este estudio . Aquí es donde comienza la disyuntiva, donde se cruza el factor económico, la técnica y la experiencia de los jefes de mantenimiento de equipos. Lo que se trata es de encontrar un soporte técnico para determinar cuando es conveniente el cambio de aceite, el enfoque será solo de los aceite a diesel.

Desgraciadamente no siempre se puede contar con los equipos para realizar la verificación de cuanto a variado un aceite de las propiedades con las que fue fabricado, esta limitación no lo es tanto, pues si bien las propiedades físicas y químicas varían existen algunas que son mas importantes, desde el punto de vista práctico que otras.

En esta parte del estudio se hará un recuento de las propiedades y pruebas más importantes para el análisis de aceite usado.

Ahora nos concentramos en el aceite usado, las muestras llegan por cientos a los laboratorios y los análisis son una carrera contra el tiempo tomando en cuenta que el servicio técnico es un soporte para las ventas, de aquí la importancia de la inspección preliminar.

Aunque no es resultado de alguna prueba realizada a la muestra, la experiencia de los técnicos de los laboratorios lleva a simplificar el análisis del aceite, así pues es un gran ahorro de tiempo encontrar por ejemplo presencia de agua cuando esta se encuentra separada por una capa del aceite, o cuando se pueden ver partículas metálicas de regular o gran tamaño, las cuales nos indican de un desgaste abrasivo en el equipo sin necesidad de un análisis espectrográfico.

También por ejemplo se dan casos en los cuales el sedimento de material insoluble es fácilmente distinguible del aceite particularmente en los aceites hidráulicos.

Otro caso es el color del aceite el cual normalmente debe ser oscuro o negro para el caso de los aceites usados de motor, si notáramos que el aceite está plomo o café claro podríamos llegar a suponer que está emulsionado.

Finalmente, aunque no es muy recomendable, una persona con experiencia puede distinguir el olor del combustible en el lubricante. Todas estas observaciones son producto de experiencia en el trabajo de los analistas **pero** no las **tomo** en cuenta al momento de alimentar los datos para la estadística .

Existen básicamente, dos tipos de diseños de motores **a** diesel fabricados a nivel mundial, los motores de dos tiempos **y** los de cuatro tiempos.

Los motores de dos tiempos son fabricados en **USA** por la Detroit Diesel Corporation al igual que por la Bedford en Inglaterra. Hay otra gran cantidad de fabricantes que diseñan sus motores de cuatro tiempos como la Cumins Engine Co. Caterpillar, Mack, Mercedes Benz, Volvo, Scania e Iveco entre otras.

Sin embargo de estos dos tipos de diseiio de motor y la gran cantidad de fabricantes se pueden tomar pruebas especificas para determinar las condiciones del aceite usado.

La Detroit Diesel, que lidera el mercado de motores de dos tiempos, **indica** que las pruebas que deben realizarse al aceite son: viscosidad , insolubles, TBN, agua, flash point, dilusion por combustible, presencia de Fe, Na, B.

La Cummins, puede ser usada como patron para las pruebas de aceite en motores de cuatro tiempos. Los análisis que deben realizarse son: viscosidad, insolubles, **TAN**, TBN, agua y contenido de aditivos. (DDC tomado de boletín **7SE 270 880 S**).

Como es fácil darse cuenta, existen pruebas en común para determinar las condiciones del aceite en ambos diseños de motor, lo cual simplifica la labor de separar a los equipos, dependiendo si es de dos o cuatro tiempos.

La contaminación por agua del aceite de motor puede ocurrir por diversos motivos. El mas común es que sea producto del proceso de combustión, el agua puede llegar hasta el interior como parte de los gases que se condensan al momento de parar el motor.

El agua una vez condensada llega hasta los anillos que separan al carter la acumulación de agua por este método es común bajo condiciones frías.

El agua también puede entrar al motor a través de alguna grieta en los sistemas de enfriamiento o por algún otro problema mecánico. La presencia de agua libre no es aconsejable en el aceite.

Existen operaciones en las cuales los equipos tienen continuas paradas y arranques, este tipo de operación favorece la formación de agua, mientras que las continuas velocidades altas las disminuye.

La excesiva presencia de agua en el lubricante produce severos daños :

1. **Corrosion** y desgaste de las piezas que deberían lubricarse
2. El agua produce lodos al mezclarse con los contaminantes
3. Si se mezcla con los oxidos de azufre que salen con los gases de las camaras se forman acidos sulfúricos.
4. Tiene un efecto contrario a los aditivos y puede llegar a precipitarlos.

La contaminación del aceite de motor con agua se puede determinar **por** un aumento de la concentración de anticorrosivo. Si a una determinada teinperatura el agua se evapora y sale del motor el aumento de este aditivo, que es común en los refiiigerantes para radiadores es indicativo de algun problema.

Contenidos de agua superiores **al** 0,25% se considera peligroso. Se puede condenar un aceite con un contenido de agua de 0.1%. El método utilizado para la determinación de agua es el **ASTM D-95**.

## MEMORÁNDUM

**PARA** : GOP, **SSA**, GRI/1,GOS,GOI Y GLT/1  
**DE** : GOP/3  
**ASUNTO** : ACTA DE LA REUNION DEL CASO DE DESCARGA DE BUQUE  
**FECHA** : 03/02/98

---

En la reunión del team encargado del caso de descarga de buque se resolvió lo siguiente:

1. Las reuniones se efectuarán dos veces por semana los días Lunes y Viernes y el caso debe ser terminado el 30 de Abril.
2. SSA convocará a GLT/1 para que integre el team en reemplazo de GLT.,
3. GOI, **GOS** y GOP/3 entregarán el Viernes **6/02/98** un informe de las operaciones que actualmente se realizan previo y durante la recepción de un buque en **sus** respectivas áreas.
4. **SSA** y **GOP** entregaran el Viernes **6/02/98** el cronograma de actividades a realizar en las distintas reuniones del caso.
5. **SSA** entregará a demás miembros del team la información sobre el caso de descarga de buque.
6. Próxima reunion el Viernes **6/02/98** de 12h00 a 14h00.

Atentamente

GOP/3

Diluciones de alrededor de **5%** de diesel se consideran aceptables. Grandes diluciones pueden resultar en una reducción de la viscosidad lo que a su vez haría que aumentara el desgaste en el motor pues las capas de lubricante serían muy delgadas. **Los** efectos de la dilución por combustible son más notorios en los aceites para motores a gasolina por la baja viscosidad de esta.

Esta labor se complica en los aceites a diesel pues **su** viscosidad **es** mayor, no hay un método estándar para determinar la dilución por diesel en el aceite usado. Esto es porque se pueden confundir entre fracciones de combustibles pesados y fracciones de aceite ligeros.

En ocasiones la mejor manera de determinar la contaminación por combustible es haciendo un gráfico comenzando con un aceite nuevo midiendo su viscosidad y agregándole pequeñas fracciones de diesel. **Así** cuando se este analizando un aceite usado se comparará la viscosidad con la de el aceite nuevo con fracciones de diesel y medir aproximadamente el combustible diluido.

Otro método para determinar la dilución por diesel en el aceite, es midiendo la temperatura donde el aceite enciende la primera luz o flash point. Igualmente se construye un gráfico de el flash point versus aceite para motores diesel contaminado con diversas proporciones de combustible.

Aunque no es el tema en estudio, los resultados demuestran que la principal causa de condensación del aceite de motores a gasolina en la sierra es justamente la dilución, lo cual se debe principalmente por la menor cantidad de oxígeno y la necesidad de que la mezcla sea más rica en combustible.

La viscosidad del aceite usado normalmente se **determina a 40 ° C** pues las elevadas temperaturas reducen **la viscosidad y** materiales insolubles pueden afectar las mediciones del viscosímetro. Los cambios que se ven en la viscosidad del aceite usado son complejos y dependen de varios factores, que pueden hacer que esta suba o baje. Lo más complicado es encontrarse con **el** caso de un aceite que se encuentra oxidado y como consecuencia aumenta su viscosidad, **pero** que a la vez tenga dilución con combustible lo que hace que la viscosidad este aparentemente normal.

La dilución por combustible casi siempre causa una reducción en la viscosidad del aceite. Como regla general de operación la viscosidad no puede ser menor a un 25% de la original o que disminuya un grado SAE. Esto como mencioné antes se debe a que con una menor viscosidad no se logra una correcta lubricación pues la película es muy delgada.

La viscosidad tampoco debe ser 35% mayor que la original en el aceite usado, o que auniente un grado SAE, aumenta por la degradación (oxidación) normal



del aceite. El principal problema es la limpieza del equipo, otro punto es que los aceites demasiado viscosos dan problemas al momento que se encuentran fríos. La contaminación con cualquier partícula sólida también resulta en un incremento de la viscosidad.

**El** alto peso molecular de los polímeros mejoradores de la viscosidad usados en la preparación de los aceites multigrados, por las grandes cargas durante la operación se rompe, lo que causa una reducción en la viscosidad del aceite. Este efecto es normalmente pequeño, **pero** es muy notable si existe un gran consumo de aceite.

Es de tener claro que en ningún momento la viscosidad disminuye por degradación natural del aceite. La oxidación, la degradación de los aditivos y los contaminantes lo que producen es un aumento de la viscosidad, y que el combustible diluido es lo único que la disminuye.

Este análisis se lo hace teniendo en cuenta que, aunque el lubricante disminuya el desgaste, este ocurre, y son estas partículas en suspensión provenientes de las piezas las que permiten diagnosticar algún problema en el equipo que se está analizando. Al igual que los médicos toman muestras de sangre a las personas, para a través de los resultados poder prescribir la

medicación, los analistas de aceite prescriben las correcciones que se deben hacer para evitar una parada innecesaria del equipo.

La metalurgia de los motores, las determina el fabricante **y** de aquí que también sean ellos, los que indiquen **cuales** son los **límites**, en los cuales se puede continuar trabajando con el aceite. Este sistema de **análisis** de aceite comenzó en 1955 en el ejército de **EUA**, inicialmente **fue** usado para los equipos de combate, excepto los motores de aviones. Esta es la base para el diseño de un programa preventivo de mantenimiento de equipos, que es lo que ocurre con la Constructora Norberto Odebrech.

Para determinar las partículas de metales que contaminan el aceite se usa el análisis espectrográfico, el cual consiste en colocar el aceite usado en un equipo llamado *ICP plasma* el cual en una atmósfera de gases neutros, se excita a las partículas logrando medir la longitud de onda del espectro que emite un determinado metal, esta es la huella digital de cada uno.

Una vez que se determina la cantidad de cada metal en partes por millón se comparan estos con los que el fabricante determina que son límites condonatorios. Como es complicado tener una tabla de desgaste para cada motor, existen patrones colocados por los fabricantes. La que se utilizará para la comparación de este estudio es una guía sugerida por la compañía *Lubrizol*

*Petroleum Chemicals Company* que es la tabla 1.2, se utiliza tanto para aceites de motores, como para transmisiones y diferenciales.

Las condiciones del vehículo, la historia de reparaciones, el tipo de lubricante y el tiempo que sobrepasa el aceite, deben ser considerados. Es también claro que el comportamiento de los límites condinatorios, dependen del elemento analizado. Así una concentración de Fe, puede ser peligrosa en un motor y considerada como normal en una transmisión o en un diferencial.

La acidez es otro de los problemas que afectan al motor, por lo que tener un control de este factor, es importante. El TAN de un aceite nuevo normalmente será menor que el TBN, la atención para el cambio de aceite para motores diesel se centra en el segundo.

El TAN en el aceite usado tiene una tendencia a incrementarse, se debe a los residuos de antioxidantes y los ácidos orgánicos de combustiones incompletas, un aumento en el valor del TAN no es razón que precipite un cambio de aceite.

Lo que significa esta elevación es que la basicidad ya no contrarresta con la constante formación de ácidos. Cuando esto ocurre, en el peor de los casos, se produciría una elevación de los depósitos y lodos en el aceite.

## TABLA 1.2

LÍMITES CONDENATORIOS SUGERIDOS PARA ACEBES USADOS Basada en PPM de metales						
	Fe	Cr	Pb	Cu	Al	Si
Motores Diesel	100	25	40	50	30	20
Motores Gasolina	600	50	100*	75	75	60
Transmisiones	500	10	300	300	100	40
Hidráulicos	75	10	20	50	50	20
Diferencial	750	10	20	50	50	75

(\*) En caso de usar gasolina con plomo el valor cambia a 999 PPM

El **TBN** de un aceite nuevo puede variar entre **2** y **20** con una tendencia a decrecer durante el **uso** el cual se debe a la presencia del azufre en el combustible.

El momento en que se debe cambiar el aceite a causa del **TBN** no es muy claro, es bastante aceptado que el hecho de que con un **20%** de disminución de el valor original se cambie ( tomado de los limites condenatorios dela Cummins Engine Co. ), es mucho más importante el control de el **TBN** pues un descenso brusco provocaria los acidos atacaran las piezas del motor.

Tal importancia se le da al análisis del **TBN**, que la **ASTM** elaboro tres pruebas para su medicion, inicialmente existia la prueba **ASTM D-664** en la cual se media tanto **TBN** como **TAN** de los aceite nuevos o usados, en ella se media la diferencia de potencial de la muestra y determinar su acidez.

Posteriormente, en **1987** para poder diferenciar mas aún el contenido de **TBN** en el aceite, de otros elementos que podrian llevar a confusiones como los contaminantes, aparece la prueba **ASTM D-4937** el cual difiere del anterior por el uso de otro solvente, acido clorhidrico. Este es uno de los métodos que actualmente se usa en los laboratorios de Shell Ecuador. El otro método de se utiliza es el **ASTM-D-2896**, el cual tambien difiere por el solvente que utiliza, ácido perclorico.

Las diferencias de estos últimos métodos son que, el **ASTM-D-4739** mide la basicidad de los aditivos detergentes, mientras que el **ASTM-D-2896** puede detectar la basicidad de los aditivos dispersantes **y** la presencia de metales de desgaste en el aceite usado.

Es por ello, que para realizar la medición de **TBN** de aceite nuevo los dos métodos son válidos, **pero** no es aceptable la medición del aceite usado con el **ASTM-D-2896**, debido a los errores que produce en la medida de los metales de desgaste.

Experimentalmente la compañía Lubrizol Petroleum Chemicals Company, indica que el momento justo para cambiar el aceite es cuando el **TBN** y **TAN** del aceite usado son iguales, **pero** además los resultados indican que en ese punto el nivel del hierro comienza a aumentar rápidamente (asemejando una curva cuadrática o cúbica), siendo también una referencia para el cambio de aceite.

Los metales de desgaste también serán analizados pues un factor determinante en la continuidad del aceite. Los metales que se analizarán son: Fe, Cu, Cr, Pb, Al, Si, cuyos valores se presentaron en la Tabla **1.2**.

**La concentración de estos metales indican que algun elemento del motor, transmision o diferencial, esta desgastándose peligrosamente y que el equipo requiere un cambio de aceite además de un mantenimiento profundo.**

## **Capitulo II**

### **Análisis de resultados del aceite usado**



La determinación de un periodo para el cambio de aceite en una flota de vehículos no es algo fácil de determinar, se involucran en ello factores tales como el económico, el técnico, el logístico y la experiencia de los mecánicos por mencionar algunos.

Las recomendaciones de los fabricantes de los motores vienen dados en horas, en kilómetros o en cualquier unidad de longitud. Estas recomendaciones, vistas en detalle dependen del tipo de trabajo que realiza el equipo y de la capacidad del cárter, lo correcto es tener en cuenta ambas variables para una recomendación.

Agrupados por el tipo de trabajo, se tienen los siguientes grupos: los de trabajo severo, trabajo ligero y trabajo moderado o suave, estos se encuentran en la mayoría de los manuales de diversos equipos. No existe ninguna definición tajante y absoluta para separarlos, ninguna medida que indique que un equipo está sometido a un trabajo ligero y no moderado, estos son términos muy subjetivos; lo único que puede usarse es la experiencia y el sentido común. Para poder seguir un patrón al utilizar estos términos a continuación se detallan en forma general.

El concepto de un trabajo ligero es aquel que se presenta eventualmente, es decir que no cumple un periodo fijo de trabajo. Se puede hablar de que un motor eléctrico está sometido a trabajo ligero cuando se enciende solamente en respuesta a la señal de algún sistema de control, un caso común es el de una bomba de agua que se enciende cuando la presión del depósito al que está conectado cae. Esta idea es válida también

cuando se habla de un carro que solo se usa para ir de paseo, este trabajo es ligero pues no sabemos si lo usará los fines de semana, en la temporada, y aunque fuera en todos los días de esta última, si el resto del año no lo mueve es un trabajo ligero, así muchos casos más.

Un trabajo moderado será aquel que cumpla diariamente un período fijo de trabajo. Aquellos equipos que trabajan durante una jornada de trabajo de 8 horas todos los días pertenecen a este grupo. Volviendo al ejemplo de un vehículo particular, que sirve al ciudadano promedio está sometido a un trabajo moderado.

El trabajo severo no solamente puede implicar una relación con el tiempo, sino también al tipo de carga al que se lo somete en general será aquel en el que el equipo está sometido a los límites de diseño. Si lo comparamos con los grupos anteriores en función del tiempo, podría decirse que son aquellos equipos que se detienen solo para un cambio de turno o su reparación.

Existe una línea muy delgada que separa las condiciones de trabajo antes mencionada sería entrar en el campo de la casualidad si tomamos estrictamente las definiciones que antes menciono, pues un equipo generador que trabaja eventualmente puede trabajar las 24 horas pasaría de ser un equipo sometido a trabajo ligero en uno de trabajo severo.

Conio el objetivo es mejorar el rendimiento de un lubricante al igual que en diseño de cualquier equipo se tomaran como base los resultados obtenidos de las condicioties de trabajo mas severas . Es para esto que se realizaron las definiciones anteriores.

**Los** equipos en una compañía constructora están, cuando menos, sometidos a un trabajo moderado y en **su gran** mayoría a un trabajo severo, así se cumplen con las expectativas de encontrar si el rendimiento indicado por el fabricante del motor para los lubricantes pueden ser aumentado teniendo como apoyo los resultados del laboratorio, lo que sea válido para esta muestra y seguramente sera valido para los equipos sonietidos a trabajos inferiores.

Dentro de los equipos que estamos analizando tenemos volquetes , camiones, grúas, tractores, excavadoras etc. Todos estos equipos seleccionados tienen motores de la marca Caterpillar de los modelos 35 16 DITA, 35 12 DI y **3406** DI, las capacidades del carter son entre **40 AG** y **53 AG**, variando en litros para la mayoría de los casos. Tener un progrania de manteniniiento preventivo es fundamental para lograr evitar las “paras “ innecesarias y tomando en cuenta que la reparación de un motor en algunos casos iguala en valor total del vehiculo.

Se nienciona el hecho de las capacidades de los carter, pues es lógico que una mayor volumen de aceite tardara mas tiempo en degradarse es por ello que los fabricantes de presentan las horas recomendadas para el cambio de acuerdo a la capacidad del carter.

Así se puede ver en la tabla 2.1 en que se muestra las recomendaciones hechas por un fabricante, la Mitsubishi Caterpillar F. A. Inc.

## 2.1 Diseño del programa de monitoreo

Un programa estadístico de monitoreo debe ser resultado de una correcta selección de **las** muestras y la obtención de datos puesto que de ellos se **harán** las inferencias del estudio **y** si tenemos muestras incorrectas **o** mal seleccionadas tendremos resultados equivocados .

Los datos no surgen de la nada deben ser recopilados . Para el caso en estudio el universo a ser seleccionado corresponde a los aceites usados en motores diesel. de estos la población base del estudio son los equipos utilizados por la constructora Norberto Odebretch durante su trabajo en la construcción de la represa Daule Peripa **y** de estos los aceites para motores a diesel con viscosidad **SAE 30** .

Estadísticamente la variable a ser analizada sera el tiempo de vida útil del aceite de motor, que sera el objetivo del estudio.

## Tabla 2.1

Modelo	Litros Recomendados
3516	
• Carter 53 AG.	250
• Carter 106 AG.	500
• Carter 209 AG.	1000
3512	
• Carter 40 AG.	250
• Carter 81 AG.	500
• Carter 162 AG.	1000
3406	250
D 342	300
D 8K	300
3508 SITA	1250

Los equipos que se analizarán tienen capacidades de depósito de aceite que van entre los 40 AG. y los

53 AG

Otro de los puntos que no se analizara en este capítulo **pero** que es también importante resaltar es la manera como se obtiene los datos, estos son producto de un sistema de mantenimiento preventivo que poseía dicha empresa, en el cual era obligación para todos los equipos tener **frecuentes** tomas de muestra de aceite de todos los elementos lubricados. Una vez **reunida esta** información se procederá a inferir los resultados a través de **analizar** las tendencias más adecuadas para cada caso.

**A** continuación se procederá ya en detalle a la explicación del programa de monitoreo.

Para comenzar la muestra de aceite debe ser tomada correctamente pues de lo contrario se pueden llegar a resultados equivocados, los pasos para la toma de la muestra son sencillos y tienen su razón:

- 1.- Tener un recipiente adecuado para la muestra, debe estar seco y limpio dado que la presencia de agua es uno de los factores de condensación inmediata del aceite. Si se recibe una muestra con agua que no proviene del motor se arrojará aceite que aún puede ser útil. De igual manera los metales también son motivo de análisis y polvo en el recipiente de muestra podría llevar a un error en el contenido de Si y probablemente hacer una reparación innecesaria del equipo, por poner un ejemplo. De

igual manera se debe mantener limpio el lugar por donde sale el aceite ya sea el drenaje del carter o la manguera si se utiliza una bomba para sacar el aceite.

- 2.- El aceite debe estar caliente, esto significa que el motor debe estar recién apagado se debe tener en cuenta que los materiales sólidos tienden a depositarse en el fondo, por lo que si se toma la muestra del drenaje puede que se obtenga gran cantidad de este material, más de lo que normalmente se encuentra en suspensión lo que también llevaría a un criterio equivocado de las condiciones del aceite.
- 3.- La identificación de la muestra, esto sirve para llevar un correcto seguimiento del equipo. Se debe identificar el modelo, número de serie, año de fabricación del equipo, la parte de donde se toma la muestra (motor, transmisión, diferencial, etc.), el tiempo que tiene trabajando el aceite

Las toma de muestras tienen una frecuencia irregular, dependen de la cantidad de equipos de trabajo y además de algún problema en particular al que se este haciendo seguimiento. Para el caso que se esta analizando los datos se recibían con una frecuencia quincenal para hablar en promedio, y se los tomo desde

Febrero de **1996** hasta Septiembre del mismo año, a los equipos se les hacia muestreo cada doscientas horas de promedio.

El volumen de las muestras también dependen de el trabajo que realicen las máquinas, **asi** pues, muestras de diferentes volquetes serán el mayor aporte para la elaboración de las curvas pues son las que cumplen mas rápidamente el período recomendado por los fabricantes . **Para** no confundirlas de equipo, estas están catalogadas de acuerdo a un código, lo cual facilita saber exactamente a que equipos se refieren cuando se detecta algun problem. En algunos casos las horas que trabaja el lubricante superan las indicaciones del fabricante, estos casos nos servirán para verificar si estas recomendaciones pueden ser mejoradas.

En cuanto a la frecuencia de toma de las muestras, seria preferible que se tomara una muestra de aceite sin que sea necesario sacarlo del motor, **pero** en el caso de una constructora se acostumbra a un determinado período para cambiarlo, sin saber si el aceite a cumplido o no su vida útil.

Por lo general la toma se hace cada 10 dias, variando el tiempo que ha trabajado el equipo. Parte de la presente investigación era demostrar que se puede sacar mas provecho del aceite. Se tiene que recalcar que si el aceite





presentaba un problema antes del tiempo que se había estimado, también se lo cambiaba por lógicas razones.

## **2.2 Presentación de los datos experimentales.**

Los resultados de los análisis de laboratorio hechos a los aceites, se presentan en los apéndices al final del estudio, estos se encuentran separados por equipos ya sean volquetes, grúas y otros.

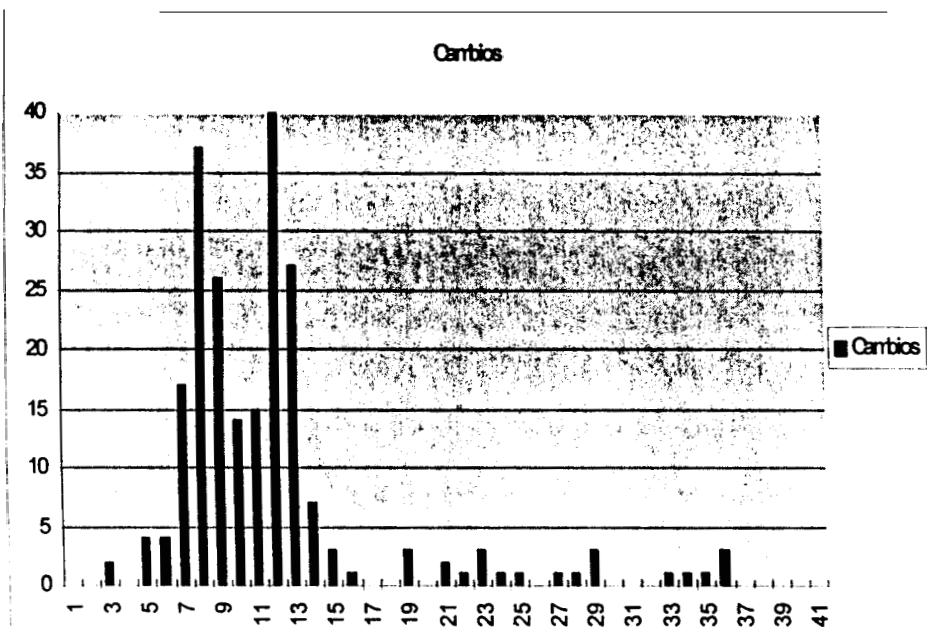
Lo primero que se presenta es un histograma de frecuencias de cambio de aceite de todos los equipos, en la figura 2.1 se observa cual es el intervalo de horas que presenta la mayor cantidad de cambios de aceite realizados. En la figura se tomó un intervalo de 30 horas para poder dibujarlo.

Existen dos observaciones que hacerse a este gráfico, la primera es que estos son los cambios debido a la necesidad de apresurar la obra, no son basadas en recomendaciones del fabricante de los equipos.

La segunda es que existen algunos cambios de aceite que se realizaron muy **por** arriba de las horas de trabajo sugeridas, estos casos en particular se deben a pruebas que se realizaban en algunos equipos, con filtros de aceite que presentaban como novedad la de duplicar el rendimiento del aceite, estos casos

FIGURA 2.1

## Histograma de frecuencias de cambio de aceite



El gráfico presenta las frecuencias de cambio de aceite de los motores. Si se asemeja a una curva bimodal se puede obtener que la media de las horas de cambio son 324 con una varianza de 125 horas.

Los intervalos mostrados en el gráfico corresponden a 30 horas de trabajo

especiales se presentarán para verificar si realmente cumplen con su objetivo, mas no para la determinación del período optimo de cambio de aceite. Hay que anotar que los equipos estudiados no tenian la acción de ningún aditivo adicional, a los que se colocan en el lubricante.

Analizando **la figura 2.1**, se ve una clara tendencia **a** que el cambio ocurra entre las **240** horas **y** las 350 horas, **pero** hay que tomar en cuenta la observación hecha anteriormente. Estadísticamente, **y** asemejando la curva a una distribución normal **se** pueden obtener valores, que para el final del estudio nos pueden ser utiles. La media de esta distribución se encuentra en las **324** horas de trabajo **y** muestra una varianza de 125 horas.

Las pruebas y los motivos porque se han realizado análisis a los aceites usados son:

- Viscosidad; esta prueba se realiza a todos los aceites.
- Punto de inflamacion; solo cuando se sospecha que hay combustible.
- Contenido a agua; si la apariencia visual hace presumir contaminación.
- TBN; para determinar si el producto esta en condiciones de proteger al equipo de la acidez del combustible.
- Contenido metálico de Cu, Fe, Pb, Cr, Si y Al. Este resultado nos da la idea del grado de desgaste que existe en el equipo, además permite

diagnosticar un problema y predecir una falla si se lleva un registro de análisis de aceite.

### 2.3 Comparación con los límites condenatorios

La idea en esta parte del estudio, es tomar una muestra representativa de cada uno de los equipos, y con ellos se trabajará comparándolos con los límites. Dado que todos son motores a diesel y todos usando el mismo tipo de lubricantes, el criterio del muestreo es aleatorio, lo único que se excluire son los valores que se relacionan con los filtros para alargar la vida de lubricante, pues se trata de tener las situaciones lo más normal posible. Será necesario tener en cuenta lo que se expuso antes sobre los límites condenatorio y la información de la tabla 1.2 sobre los metales de desgaste. En la tabla 2.2 se presentan los datos resultado del muestreo.

Luego se analiza el comportamiento a través de gráficos de cada una de estas propiedades, comenzando por la viscosidad. Para hacerlo es necesario recordar que la viscosidad no debe ser superior a un 35% ni menor a un 25% del valor inicial, que el caso del aceite **SAE 30** es 11 cSt. a 100°C.

Se puede observar en el gráfico 2.2, que la viscosidad en los casos que resultaron del muestreo y en los otros, no supera los límites condenatorios ni

## Tabla 2.2

MUESTREO DE UN NÚMERO DE EJEMPLOS DE UN PUNTO										
Equipo	Horas de trabajo	Costo de los materiales	Punto de inflamación	Temperatura	Presión	Velocidad	Distancia	Altura	Profundidad	Superficie
190	16950	11.69		3.9						
195	21330	11.06		7	8	15	1	1	3	4
200	17775	12.3		6.1	11	44	1	2	1	5
215	13330	12		2	2	19	1	0	0	0
300	8316	10.65	189	7	3	70	1	1	0	7
320	16605	11.34		1.9	1	6	0	1	0	5
320	15030	12.6		4.2	2	116	1	1	1	2
325	15576	11.24		3.8	2	115	1	3	0	0
325	15306	12.5		3.7	1	7	1	3	0	4
340	23029	12.55		5.9	38	413	23	2	191	507
357	19132	12.06		4.3	2	115	6	2	8	5
377	21532	11.18		1.4	7	21	1	4	2	6
388	20545	9.8	174	3.8	6	17	1	0	2	0
390	17965	11.72		3.8	15	60	1	2	1	6
401	17161	11.85		2.6	18	6	1	0	1	6
415	17830	11.18		4	3	52	1	0	0	0
415	19520	12.39		4.6	4	40	0	4	5	5
525	16033	11.63		5.74	1	12	0	1	3	1
530	15509	11.74		1.8	3	24	1	2	1	6
540	15250	12.55		7.7	0	8	1	0	3	15
590	17350	12.19		1.6	18	67	4	1	4	13
609	20759	10.9		3.5	89	29	1	0	5	0
650	16560	12.7		3	19	83	2	25	4	5
655	16365	12.53		3.9	10	44	1	3	1	0
680	15930	11.49		4.6	4	40	2	1	1	8
695	15670	11.34		6.4	3	34	1	1	5	11
765	17050	12.02		4.8	1	16	0	2	1	1
815	17575	12.6		3.9	21	80	2	1	3	5
815	20962	10.37		4.9	87	42	2	0	6	6
939	15696	10.99		7.2	22	82	2	0	3	14
964	16760	11.23		3.2	12	41	1	0	0	0

Los datos que se muestran en esta tabla son producto de una muestra aleatoria de los datos mostrados en el anexo de los resultados de laboratorio por equipo.

FIGURA 2.2

## Comportamiento de la viscosidad del aceite usado



En el gráfico se muestran los límites superiores e inferiores de la viscosidad de un aceite usado SAE 30, estos valores tienen referencia a los porcentajes mencionados en el capítulo anterior. Se puede ver que en ningún momento los cambios realizados se debieron a que la viscosidad del aceite estaba fuera de los límites permitidos.

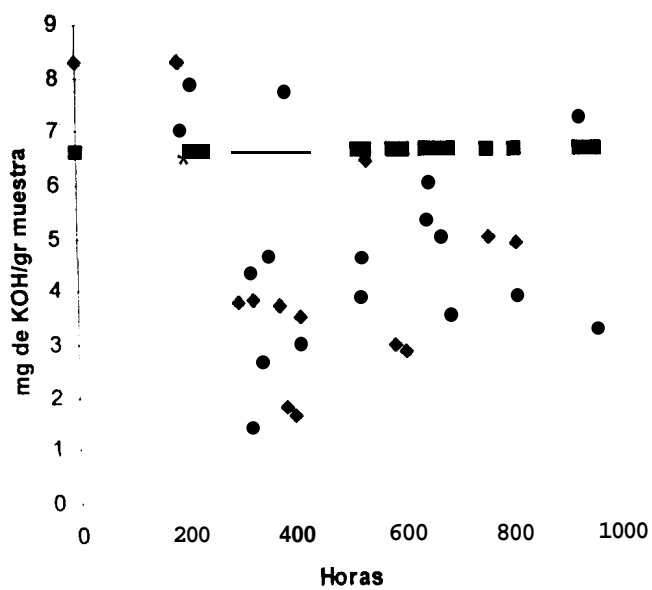
superior, ni inferior. Esto indica que para un **gran** porcentaje de los casos, la viscosidad no fue razón para cambiar el aceite. Esto no excluye el hecho de que, en periodos cortos se presenten valores inapropiados para la aplicación, **pero si** indica que el cambio de aceite puede **respecto a** la viscosidad, ser un poco más largo y lo que se debe hacer es un muestreo de los equipos dependiendo de su historial para poder tener un control.

El punto de inflamación es un **parámetro** que tiene interacción con la viscosidad, pues si existe una variación en la viscosidad también hay una posibilidad de que el producto sea afectado por combustible, mas en los casos de estudio los resultados indicaron que tampoco presentaban problemas y se encontraban dentro de los límites.

Al analizar el comportamiento del aditivo TBN en el aceite usado, se puede notar en **el** figura **2.3**, que existe una **gran** dispersión de los resultados, así como una clara disminución del aditivo en relación al tiempo. La disminución de este aditivo hace que el aceite no proteja al motor, de la acción de ácidos corrosivos. También se puede observar que los valores del TBN después de las 600 horas vuelve a incrementarse, la razón es que los depósitos de carbón y la propia degradación del aditivo hacen que la cantidad de básico de la muestra se incremente. Esta observación puede ser engañosa pues si bien sube la

FIGURA 2.3

Comportamiento del TBN en el aceite usado



El comportamiento de los resultados es muy variado, pero se puede observar una disminución del TBN y que pasadas las 500 horas existe un incremento. La línea horizontal en el gráfico muestra el límite para el TBN en un aceite SAE 30 para motores a diesel.



reserva básica ya ha pasado el aceite por un punto en el cual no protege al motor.

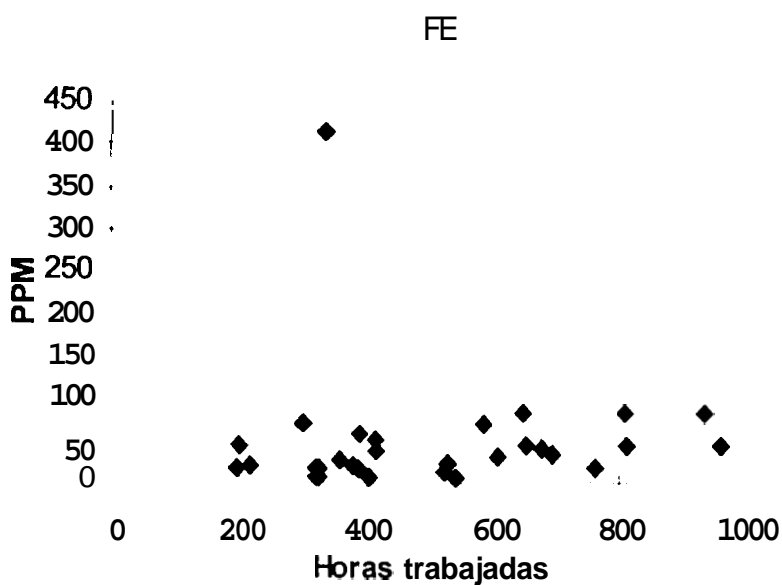
El TBN y la viscosidad, son propiedades que se conocen del lubricante al momento que se está elaborando en una planta. Los metales presentes en el aceite usado son producto del desgaste, del manque de material debido a la fricción entre las piezas en movimiento, y depende mucho del estado en que se encuentra el motor. Un motor que tiene elementos en malas condiciones hara que la concentracion de los metales aumente aunque el aceite sea nuevo.

El Fe, es el metal que mas esta presente en los elementos del motor, por lo que se debe esperar que sea uno de los más comunes en el aceite usado. En el caso de los aceites de motor una concentracion superior a 100 PPM se considera de riesgo, para el normal funcionamiento del equipo. Es frecuente relacionar la concentracion del Fe con otro metal para determinar el elemento preciso que se está desgastando, por ejemplo si hay un aumento de Cr, significa desgaste en los anillos porque están hechos de Cr. En los apendices al final del estudio se menciona estas piezas de acuerdo al tipo de motor.

En el grafico 2.4 se puede ver, que de la muestra tomada solo un valor sobrepasa el limite, y que los otros valores presentan una tendencia a incrementarse y alcanzar el limite condenatorio en jomadas superiores a las

**FIGURA 2.4**

Comportamiento del hierro aceite usado



El gráfico muestra que los resultados excepto uno no supera el límite. A pesar de esto los resultados se encuentran muy cerca de ser condenados por un alto nivel del hierro.

1000 horas de trabajo. Este metal puede ser considerado al momento de buscar el tiempo de vida útil, pues si existiera algún problema en cualquier parte del equipo, la concentración de Fe se elevaría.

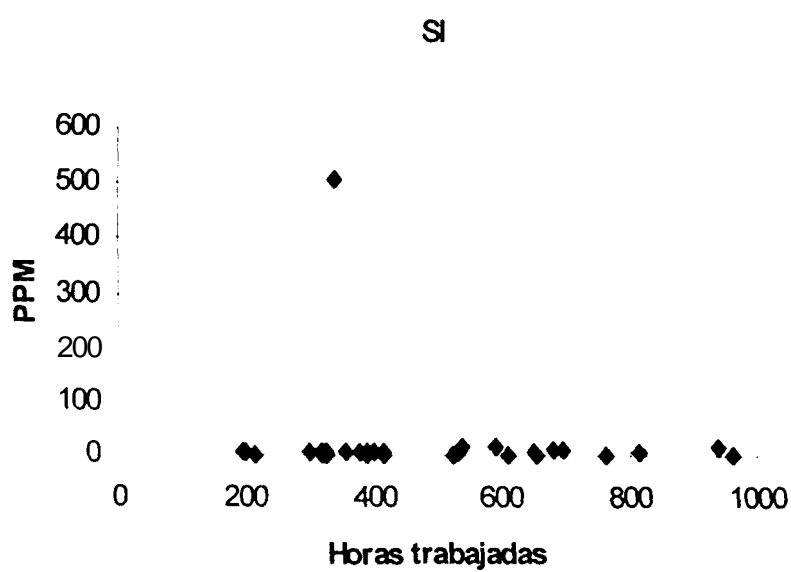
El Si, se debe principalmente al polvo que puede entrar en el motor, a través de los filtros de aire o por una limpieza incorrecta al momento de colocar el aceite, su acción es similar a la de una lija sobre las superficies metálicas. Aquí se presenta un límite de trabajo de 20 **PPM**, el cual apenas es superado por una muestra y el resto de los valores obtenidos, se acercan cuando los trabajos son superiores a 500 horas. El comportamiento se ve en el gráfico 2.5

El Cu es después del Fe, el metal más común en la elaboración de piezas para motores a Diesel, su límite es de 50 PPM. Los resultados indican que el Cu es para algunos casos el motivo para cambiar el aceite pero su comportamiento es muy irregular, existe un incremento inestable a partir de las 330 horas de trabajo. Es parte primordial de los sistemas de enfriamiento, gráfico 2.6.

El Pb tiene concentraciones bajas para ser considerado como causa para condenar. El diesel no es rico en plomo y los elementos del motor a Diesel que se fabrican con Pb tienen un desgaste tal que no influye al momento de analizar la muestra. El límite de trabajo para este metal es de 40 PPM, pero de los resultados obtenidos se puede observar en el gráfico 2.7, que son tan

FIGURA 2.5

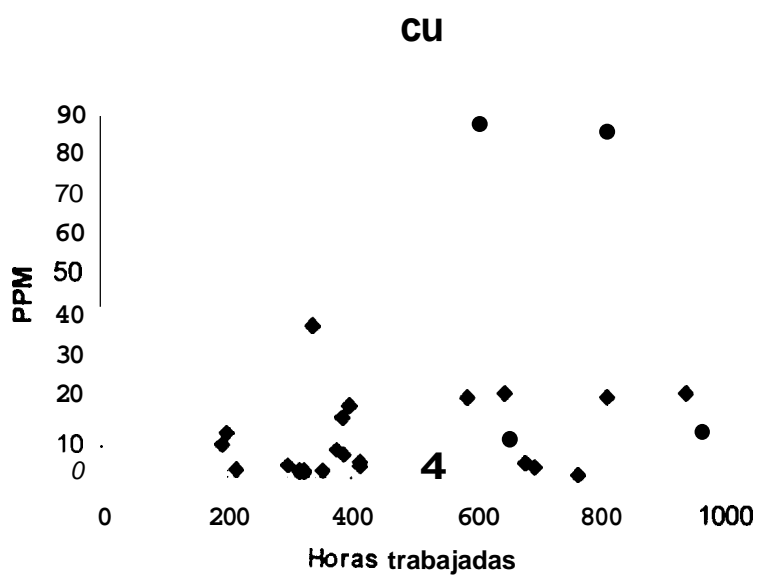
## Comportamiento del silicio en el aceite usado



El silicio muestra que algunos resultados se acercan más a cero que al límite.

FIGURA 2.6

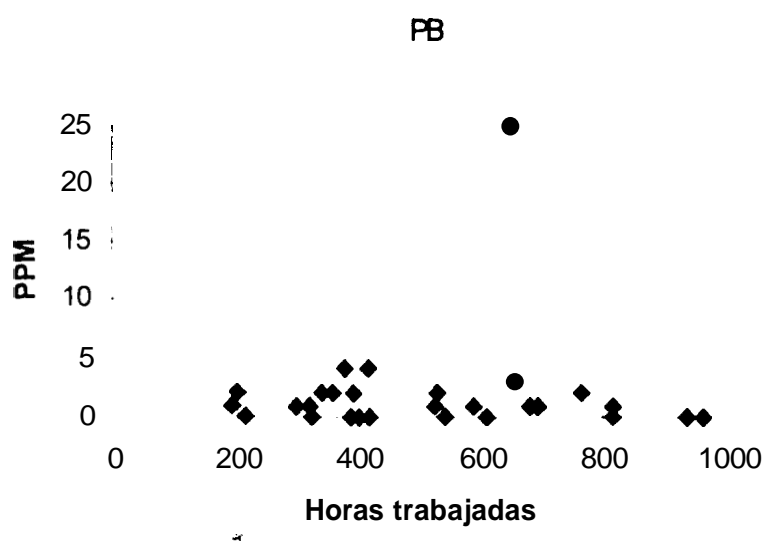
## Comportamiento del cobre en el aceite usado



Los resultados en su mayoría tampoco superan el límite condinatorio del cobre en los motores a diesel.

**FIGURA 2.7**

Comportamiento del plomo en el aceite usado



El caso del plomo es similar a los metales analizados anteriormente no se sobrepasa a los límites condonatorios.

pequeñas las concentraciones que se comprueba no ser motivo para condenar el aceite.

El **Al** con **30 PPM** mostrado en el gráfico 2.8 y el **Cr** con **25 PPM** en el gráfico 2.9, tampoco son las causas para que el aceite se condene, además en estos metales, que son los de menor concentración en el aceite usado, se observa una casi insignificante presencia de estos metales en la construcción de los motores a diesel. El **Al** se encuentra en los anillos, pistones, chapas valvulas y asientos de valvulas, el **Cr** también forma aleaciones con el **Al** y el **Sn** en las chapas.

Lo que queda demostrado en esta parte es que los metales de desgaste pocas veces es el motivo para un cambio de aceite **pero** existen sus excepciones, en la muestra de los resultados se tiene un caso que confirma esta regla, el caso de un comportamiento catastrófico del motor. El **TBN** si es motivo para realizar un cambio

FIGURA 2.8

Comportamiento del aluminio en el aceite usado

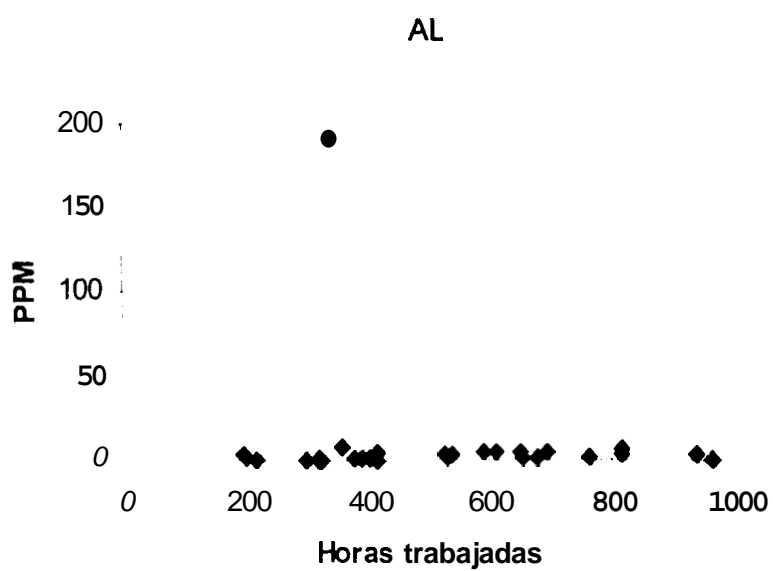
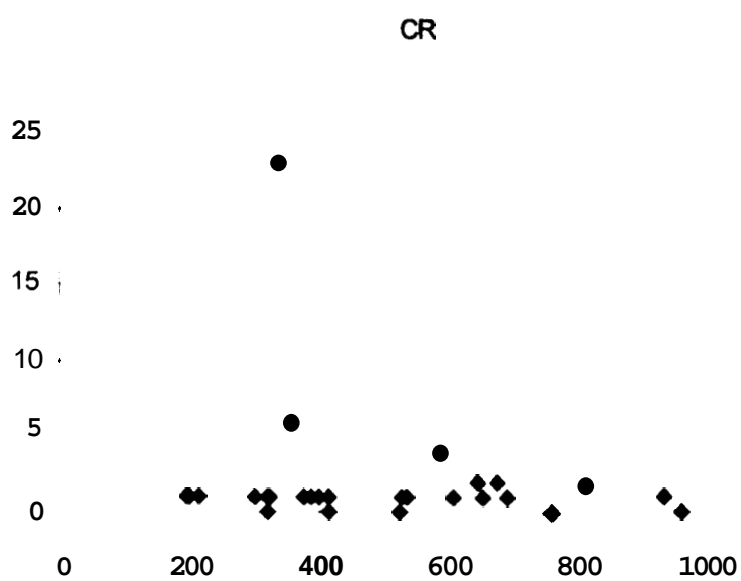




FIGURA 2.9

Comportamiento del cromo en el aceite usado



## **Capítulo III**

### **Evaluación preliminar de los resultados**

En esta parte se presentan los resultados de lo que se vio en el capítulo anterior, cuando se compararon los límites condenatorios de los diferentes parámetros. También se verá como afecta el resultado a la parte económica de la empresa y la ecológica del medio ambiente.

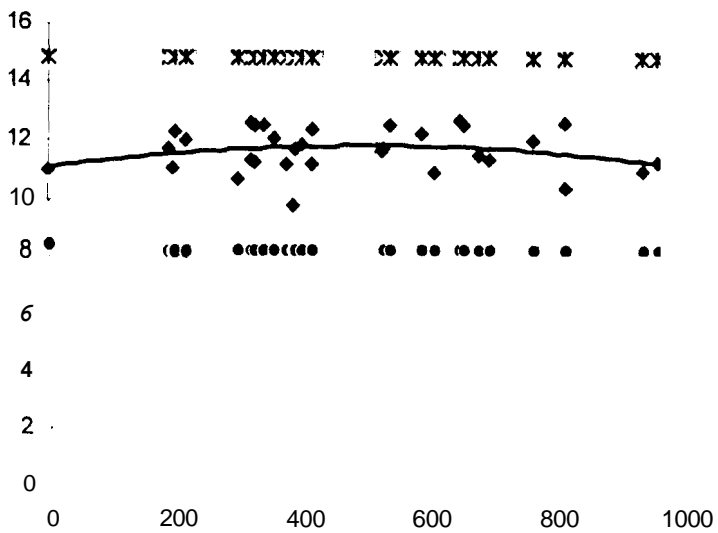
### **3.1 Proyecciones estadísticas de los resultados**

Se presenta a continuación son las tendencias de cada uno de los parámetros medidos anteriormente. Se busca un punto en el cual el cambio de aceite sea adecuado. Comienza presentando los gráficos obtenidos de los resultados de los análisis y las tendencias de los valores analizados.

Para poder observar una tendencia de los valores obtenidos experimentalmente se procede a una regresión de los datos, para encontrar la que más satisfaga, pues los resultados son muy dispersos y no es fácil ver una representación geométrica clara. En el gráfico 3.1 se comienza con la viscosidad, la tendencia de los resultados se prueba con diversos tipos de regresiones, desde lineales, hasta exponenciales pero sus comportamientos muestran una estabilidad de los resultados, si se hace una regresión cuadrática se puede observar que la viscosidad experimenta una tendencia a elevarse entre 200 y 500 horas, lo cual es comprensible pues como se mencionó antes el comportamiento de un aceite

**FIGURA 3.1**

Tendencia de la viscosidad en funcion del tiempo en el aceite usado



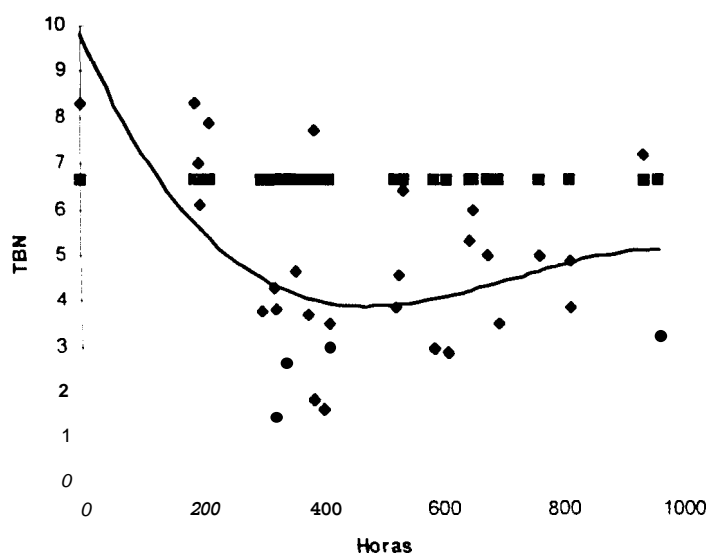
En el gráfico se muestra que el comportamiento de la viscosidad en el aceite usado es el de mantenerse constante. Se ve un intervalo en que la viscosidad aumenta justificable por la oxidación propia del uso, luego disminuye debido a contaminación por combustible en la mayoría de los casos.

en proceso de degradación es un aumento de la viscosidad. Luego de las quinientas horas el hecho de disminuir la viscosidad es también comprensible pues es muy probable que exista contaminación por combustible, en algunos de los resultados se muestra que el punto de inflamación disminuye; desgraciadamente no se puede presentar un gráfico pues no existen los suficientes datos. Estas dos premisas me llevan al gráfico 3.1 mostrado, pero en realidad no contribuye mucho a la conclusión de la vida útil pues la viscosidad no es causa para condenar un aceite, pero como análisis es interesante indicarlo.

El comportamiento del TBN en el aceite usado se muestra en el gráfico 3.2, nuevamente se analizan las tendencias que muestran diferentes regresiones. A diferencia del gráfico anterior los resultados de los análisis de laboratorio muestran que en varios resultados, el motivo de desechar el aceite fue el TBN. Se puede ver que existe una disminución brusca de la reserva alcalina desde las 200 horas hasta casi las 400 horas de trabajo luego de lo que se observa una "recuperación". Este comportamiento es explicable pues los resultados de la degradación propia de los aditivos del aceite, incluyendo el TBN, llega un punto en que saturan al aceite y hacen que la base aumente. Esta diferencia se haría mayor si se usara el método **ASTM-D-2896** y es precisamente una de las razones por las que no se usa para análisis de aceite usado.

FIGURA 3.2

Tendencia del TBN en función del tiempo en el aceite usado



El comportamiento del TBN es debido a que el aditivo tiende a disminuir rápidamente luego de lo que aparenta una recuperación para luego descender. Este comportamiento engañoso es debido a que la degradación de los aditivos propios del trabajo hacen que la basicidad aumente.

En realidad es engañoso pues uno se confiaría que el producto está protegido contra el ataque de los ácidos, mas cuando ocurre esto el equipo ya sufrió el ataque de los agentes corrosivos. La curva es una polinómica de tercer orden. Como el resultado muestra que la tendencia es por debajo del límite permitido se lo considera un resultado para determinar cual es el punto óptimo para cambio de aceite.

El siguiente elemento que se analizará es el Pb, como se mencionó la influencia del combustible en los resultados es nula, se entiende el hecho de que la curva comience en un valor cercano a cero y todo lo que se encuentra en el aceite es producto de las piezas del motor. La regresión de los datos obtenidos, es una curva cuadrática que no comienza desde el origen pues el Pb no es parte de la fórmula de este tipo de aceite, su incremento es constante a partir de las 200 horas de trabajo pero no sobrepasa el límite, en un lapso entre las 500 y 800 horas hay un descenso del contenido de Pb, también existen resultados en los cuales no se registra presencia del Pb en el aceite. Difícilmente puede considerarse a este metal como causa para condenar el aceite, en el gráfico 3.3 se ve el comportamiento de la tendencia en el aceite usado, .

Comenzamos con el análisis del gráfico 3.4 que muestra la tendencia del Al , la curva que la representa es una polinómica de tercer orden. Los resultados

**FIGURA 3.3**

Tendencia del plomo en función del tiempo en el aceite usado

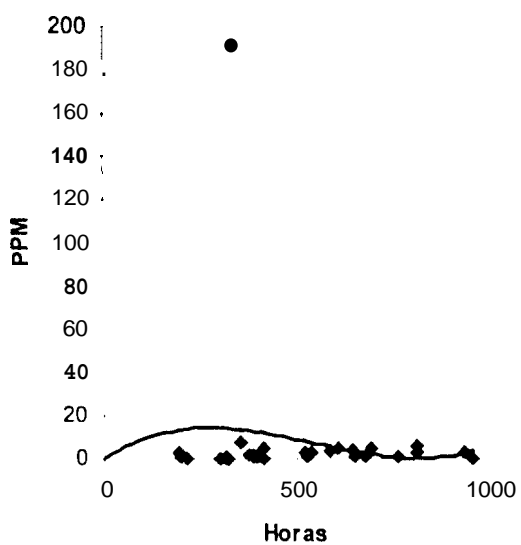


El plomo presenta un claro incremento en función del tiempo. En el intervalo en que se hicieron los mayores cambios de aceite no se sobrepasó el límite.



**FIGURA 3.4**

Tendencia del aluminio en función del tiempo en el aceite usado



El gráfico muestra la poca influencia del Al en la muestra, después de las 500 horas se nota una disminución de la concentración del metal hasta estabilizarse en cero

que arroja en laboratorio indican que al igual que el Pb, su influencia en el cambio de aceite es insignificante se puede ver que los resultado se encuentran casi todo el tiempo cerca del eje horizontal. Es comprensible pues el Al no es común en las piezas que constituyen un motor a diesel lo que hace que las pocas piezas que se hacen de este metal se desgasten rápidamente durante las primeras horas de recorrido y luego su presencia disminuya en el intervalo mayor a 500 horas.

Otro elemento que tiene un comportamiento parecido, y por razones similares es el Cu, que se muestra como una curva polinómica de tercer orden que se muestra en el grafico 3.5. La tendencia de este, como la de los metales antes vistos, es de un ascenso durante las primeras horas y un decrecimiento posterior a las 600 horas. Los resultados no permiten considerarlo como patron en la detenninacion del tienipo optirno de vida del aceite pues no supera los límites cotidenatorios.

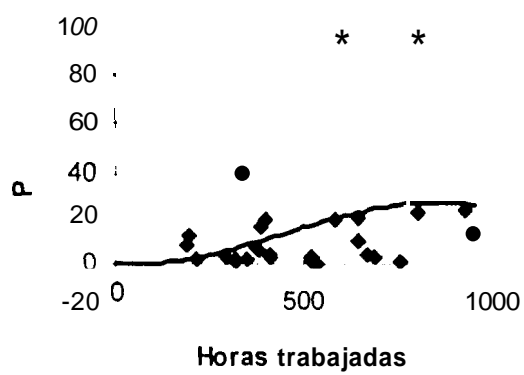
En los graficos 3.6 y el 3.7 se muestran respectivamente al Cr y al Si. resultados de ambos metales muestran que no influyen al momento de decidir condenar un aceite. El Cr es parte constitutiva del motor aunque sea en cantidades mínimas y muestra una estabilidad de resultados, pero el Si indica una presencia externa que puede distorsionarse si no se toma correctaniente la niuestra.

Es interesante anotar que al comienzo el nivel de Si es alto en un intervalo que comienza un poco antes de las 200 horas, probablemente se debe a que no existe el suficiente control al momento de colocar el aceite y el polvo que hay en el ambiente entra en contacto con el aceite antes de comenzar a funcionar, se debe recordar que la acción del Si es similar a la de una lija que devasta los metales del motor. Se puede anotar que incremento de Si coincide con el incremento de los otros metales es muy probable que se deba a una acción de este metal. Se debe también señalar que, el Si elevado puede ser resultado de una toma errada de la muestra que se analiza en el laboratorio.

Finalmente esta el Fe cuya tendencia se muestra en el gráfico 3.8. Este elemento tampoco supera el límite condinatorio pero los resultados lo acercan lo suficiente para tomarlo en cuenta al momento de determinar la vida útil del aceite. Es sin duda el de mayor presencia dentro de la composición de las piezas del motor por lo que cualquier elevación podría derivar en un daño catastrófico del equipo. La curva que resulta de la regresión de los datos obtenidos muestran a una curva exponencial como la más representativa; su tendencia a elevarse permanentemente en función el tiempo, es un comportamiento particular pues en los otros metales existe un ascenso y descenso de la concentración de los metales, lo cual es comprensible por la presencia de piezas con Fe.

**FIGURA 3.5**

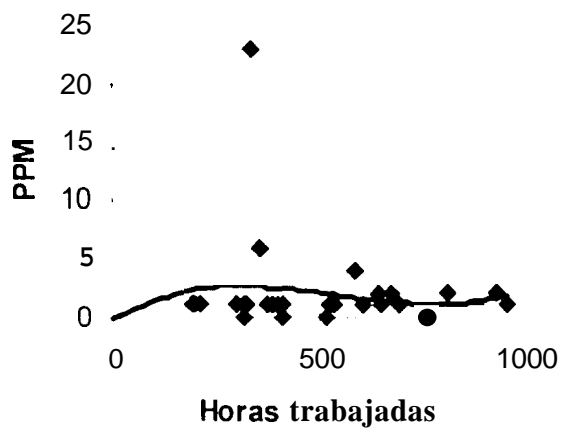
Tendencia del cobre en funcion del tiempo en el aceite usado



El gráfico muestra que el cobre tiene una tendencia a elevarse en el intervalo de 250 y 500 horas luego de lo cual comienza a decrecer.

**FIGURA 3.6**

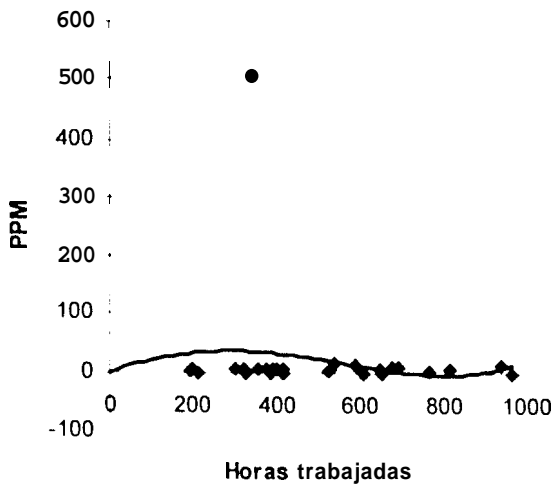
Tendencia del cromo en funcion del tiempo en el aceite usado



El cromo tiene una estabilidad de sus resultados de laboratorio y estos no superan el limite condenatorio

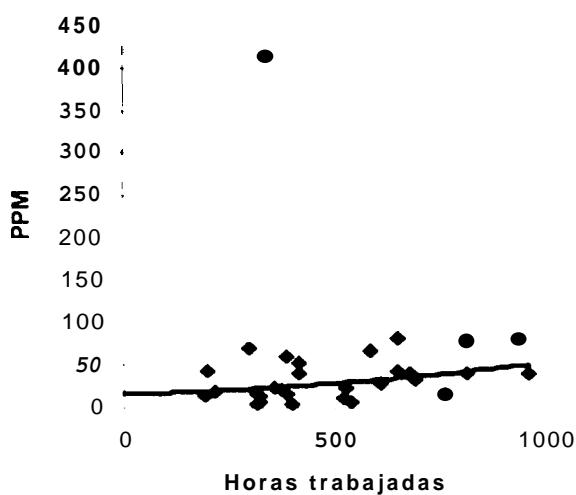
**FIGURA 3.7**

Tendencia del silicio en el aceite usado



**FIGURA 3.8**

Tendencia del hierro en funcion del tiempo en el aceite usado



El caso de hierro muestra un comportamiento diferente a los otros metales, pues este tiende a incrementarse constantemente. Se considera útil para la determinación de la vida útil del aceite porque sus resultados son bastante cercanos al límite condinatorio aunque no lo supera.

### 3.2 Impacto Economico

Un análisis preliminar de los resultados mostrados, permite concluir que el aceite puede trabajar un poco más de tiempo, protegiendo el motor, lo que nos lleva a otra conclusión, de que existirá un ahorro en la compra de lubricantes.

Pero además, teniendo en cuenta las alternativas ecológicas para el aceite usado, que se verán más adelante, existirá una fuente de ingreso para la empresa o para un particular, si se utiliza el aceite usado como parte de un sistema de generación térmica. El impacto económico será medido como el beneficio que tendrá la empresa que genera aceite usado, así como la que recibe el aceite usado en cuanto a lo que ahorraría en la compra de combustibles.

Para analizar el ahorro se presenta primero cuánto se gastó dicha empresa en el período analizado, esto se observa en la tabla 3.1, los datos totales muestran que gastaron 105838 USD, todo esto de un mismo producto, es decir que si analizamos los totales la cantidad gastada por la empresa constructora es mucho mayor. En este punto es cuando se puede ver la efectividad de buscar el tiempo óptimo de cambio de aceite, en el caso de una empresa como las constructoras su intención es la de disminuir los gastos de repuestos y horas de máquina paradas.



### TABLA 3.1

CONSUMO DE LUBRICANTES PARA MOTORES DIESEL SAE 30 DURANTE EL AÑO 1996			
Mes	Tanques	Galones Comprados	USD
Enero	10	550	4183
Febrero	20	1100	8367
Marzo	20	1100	<b>8367</b>
Abril	25	1375	10458
Mayo	35	1925	14642
Junio	35	1925	14642
Julio	38	1090	15897
Agosto	35	1925	14642
Septiembre	35	1925	14642
<b>Totales</b>	<b>253</b>	<b>13915</b>	<b>105838</b>

La presente muestra los galones de un tipo de aceite consumidos por la empresa constructora durante los primeros meses de 1996. El tipo de cambio de que se usó es 3000 sucres

En cuanto a la empresa que va a recibir el aceite usado, debe compararse lo que le costaría el combustible que normalmente usa comparado con el aceite usado que va a mezclar. El combustible que se va a comparar es el Bunker o también conocido como Fuel Oil 6, el cual tenía un costo de s /. 1060 por galón, al momento de realizar la investigación.

Para saber el costo del galón de aceite usado, se hicieron varias investigaciones y consultas a las personas que normalmente lo venden, claro que en ninguno de los casos sabían, que es lo que se hace con él. Debería resultar un negocio rentable, pues existe movimiento de personas y dinero, no sólo se compra a lubricadoras en la ciudad, sino que incluso se presentan en empresas, además existen vehículos que se usan para transportar los tanques con aceite usado, es decir que incluyen en el costo los gastos operacionales.

El promedio que pagan los negociantes de aceite usado, es de s /. 25000 por un tanque de 55 **AG** en la ciudad de Guayaquil y s /. 20000 por un tanque de igual volumen en ciudades como Cuenca y Machala.

Con estos valores se puede realizar un ejercicio para demostrar en cifras cuánto dinero se puede obtener de la venta de aceite usado. Supongamos que la empresa que compra el aceite usado, desea obtener un 30% de utilidad es

decir que una persona particular o una empresa, vendería el galón de aceite usado en s / . 590.

Este valor es mucho más conveniente, comparándolo con el Bunker, el ejercicio mostraría mayor rentabilidad si se elimina el intermediario y la misma empresa que genera, vende el aceite usado. Para tener una referencia un poco más valedera en el tiempo y poder hacer un análisis en el capítulo final, estos valores se transforman a dolares, el costo del Bunker es de **0.24** USD y el costo del aceite usado 0.13 USD.

Se necesita luego una empresa que este en capacidad de quemar el aceite. En el caso de la empresa como Cridesa, que es productora de vidrio y bastante interesada en el aceite usado como combustible para su sistema de fundición, se consume 800000 galones de Bunker mensuales y sería una de las candidatas para aplicar la mezcla de aceite y combustible, pues de acuerdo a investigaciones realizadas por el grupo internacional al que pertenece esta empresa, en otras partes del mundo donde se hace este tipo de mezcla se puede usar una proporción de 85% de combustible y 15% de lubricante. Hay que recalcar que esta proporción depende del control de emisiones de gases que exista en el lugar y no por motivos técnicos por lo que sería lo mejor realizar pruebas para ver la combinación más adecuada ecológica, económica y técnicamente.

Esta alternativa sería vista a corto plazo pues existe predisposición de la empresa. Otra alternativa local es la de quemarlo en la Cemento Nacional cuyo consumo es de casi 2.5 millones de galones por mes de combustible. En el caso de la Cemento en realidad es mucho más conveniente desde el punto de vista económico pues consume el doble de combustible que la anterior y el beneficio sería proporcional.

### **3.2 Impacto Ecológico**

En esta parte del estudio se presenta como afecta en general el aceite usado al medio ambiente y con lo teniendo en cuenta de las alternativas se puede tener el beneficio económico mostrados en los párrafos anteriores.

El problema de los destinos finales que se dan al aceite usado no son locales sino mundiales. pero sí más influyente en países del tercer mundo o en desarrollo. Depende mucho de la cultura y educación que tenga la población.

Si nos ponemos a imaginar que todo el aceite que se comercializa a nivel mundial, en su gran mayoría se convierte en aceite usado, solo tomando como referencia la venta de lubricantes para motores a diesel a nivel mundial en 1997 habrá 6.2 millones de toneladas de lubricantes para motores a diesel, de acuerdo a un estudio realizado por la compañía Lubrizol y tomando como

referencia la misma fuente en el Ecuador hubieron 18.5 Kton. de lubricante de este tipo; **mas** informacion se puede ver en el **anexo** correspondiente. Se dice que no todo el aceite que se comercializa se convierte en aceite usado pues en el caso de los motores de combustion intema es normal que un 15 % del volumen del aceite en el motor se quema. Existe el caso del aceite para motores de dos tiempos enfriados **por** agua o aire, en el cual el combustible **y** el aceite se mezclan para lubricar las piezas **del** motor, en este caso el 100 % del aceite se quema. También esta el caso de los aceite de tipo industrial como los de engranajes o de sistemas hidráulicos en los que bajo condicioties normales, todo se convierte en aceite usado. Para el caso de los motores a diesel se tiene como referencia que 15.7 toneladas de aceite usado se generaron.

La pregunta salta a la pregunta, ¿ cómo nos afecta todo este aceite usado?, ¿ que se puede hacer con **el** ?. Por ser un desecho de tipo líquido existen maneras de controlarlo y almacenarlo si es necesario lo que es una ventaja si lo comparamos con un contaminante gaseoso que una vez en el ambiente no se lo puede controlar.

Para responder a la primera pregunta tenemos dos visiones, el general y el particular. La primera es una vision macro del problema , los hidrocarburos interrumpen el ciclo del nitrógeno y a su vez la cadena alimenticia pues ayuda

a la proliferación de micro organismos capaces de afectar los suelos. Por ser un líquido puede filtrarse y alcanzar afluentes subterráneos que son utilizados por el hombre. En un caso cercano se hace contantemente la denuncia de que las aguas utilizadas para cultivos y cuidado de animales proviene de los desechos de industrias. Este tipo de casos **es** común observar en la Sierra. **Como** se demuestra en los resultados de laboratorio **existen** metales pesados que también afectan a los seres que se ponen en contacto con ellos y pueden absorberlos unos de los más peligrosos son el Pb que puede venir del equipo y el Zn que es parte de los aditivos antidesgaste.

Si es vertido directamente en un afluente, un río o en el mar, como es lógico pensar afecta a las especies que se ponen en contacto con el aceite usado por la presencia de los residuos metalicos que son toxicos. En los casos mencionados **afecta** directamente a la cadena de alimentos del hombre. Además de esto el aceite usado hace que el agua se ponga obscura lo que disminuye **la** entrada de luz en el agua lo que lleva a un decremento del oxigeno producto de la fotosintesis. Esto no quiere decir que el agua no pueda disolver el oxígeno de la superficie del agua **pero** no lo suficiente para mantener a los microorganismos y la vida acuatica.

Desde el un punto de vista más cercano, debido a una falta de rigidez en el cumplimiento de leyes y ordenanzas en nuestra ciudad, el aceite usado es uno

de los causantes del colapso de el sistema de alcantarillado pues al entrar en las tuberías y mezclarse con los desechos sólidos forman corchos que impiden el normal flujo de las aguas de lluvia e inundan las calles ,y lo que es peor si llega a pasar el aceite y llega a los sistemas de tratamientos de aguas residuales estos **no** son capaces de retenerlos produciendose los problemas mencionados anteriormente.

La solución más lógica es impedir que el aceite usado *o* no, llegue al alcantarillado y existen maneras de evitar que se presenten estos problemas. Desde el punto de vista del aceite usado dentro de la ciudad hay tres tipos de aguas residuales ,las que continuamente tienen aceite, las que accidentalmente tienen aceite y las que no lo tienen.

Una de las principales fuentes del primer tipo de agua residual son las lubricadoras, talleres y estaciones de servicio, para controlarlas el sistema mas simple es la trampa de aceite, el cual deja que luego de un tiempo el aceite que se puede mezclar con el agua se separe por diferencia de densidades y es recolectado y separado en tanques especiales.

Existen otros sistemas de recolección que además de aprovechar esta característica física colocan un sistema de placas paralelas, que ayudan a eliminar otros desechos sólidos.

Algunos sistemas que permiten que el agua sea regresada al medio ambiente en condiciones optimas, estos son la floculacion que es aire inyectado al agua que hace que el aceite se concentre en pequeñas burbujas que viajan a la superficie donde se las puede recoger, este es un sistema muy economico, y un biotratamiento que consiste en un microorganismo que **se** alimenta de aceite y producto de lo cual se obtiene dióxido de carbon **y** agua, este sistema requiere que el ingreso de aceite sea constante **y** la temperatura controlada pues de **lo** contrario los microorganismos moririan, e inclusive existe el tratamiento de filtros de carbon activado, el cual se coloca **al** final del sistema para recoger los residuos de lubricantes que pueden haber pasado los sistemas anteriores, dejando el agua apta para regresar al medio ambiente. Cabe resaltar que el carbon activado no se puede usar sin los sistemas anteriores, pues grandes cantidades de aceite lo bloquearian.

\*

Hasta ahora se menciona como evitar que el aceite usado vaya a los afluentes, pero salta otra pregunta ¿ qué hacer con el aceite usado que se recolecta?, no se lo puede tener almacenado para siempre. **A** nivel mundial la tendencia es la de reciclar el aceite usado.

Existen varias alternativas; una es la de obtener otro **tipo** de hidrocarburo o reprocesarlo, otro es aprovechar la capacidad calorifica del producto como fuente de energia o tambien eliminarlo a elevadas temperaturas pero sin



utilizar su energía. Hay usos tan poco éticos como el centrifugarlo para venderlo como aceite de baja especificación, para eliminar parásito (garrapatas, pulgas) de los animales, o para evitar que se levante polvo de caminos vecinales.

El primero de los métodos requiere una **gran** infraestructura pues se trata de obtener **crudo** o aceites base que sea útil en otro proceso de **refinación**, para ello se necesita cumplir con las siguientes condiciones:

1. Separar el agua y los combustibles que se pueden haber mezclado con el aceite usado.
2. Separar los agentes corrosivos que pueden causar problemas en la refinación de productos livianos como la gasolina.
3. Separar los metales que pueden afectar los procesos de las columnas de destilación

Todo esto es previo al ingreso del producto a la refinería. Como se supone no es sencillo y puede parecer costoso, pero en lugares donde existe la ayuda de las leyes este tipo de proyecto tiene éxito. Hay que notar que este proceso tiene un cierto producto que no se puede utilizar como hidrocarburo y se lo usa como parte de los asfaltos. Como es de suponer este tipo de inversión está **muy** alejada de nuestro país.



Se tiene que diferenciar este proceso de lo que se hace clandestinamente al centrifugar aceite y venderlo, pues es segundo método constituye una estafa y los residuos de Cste pueden ser mas perjudiciales que el aceite usado siendo una incógnita su destino final.

La segunda alternativa es la reciclarlo y de aprovechar el valor energético del aceite usado para mezclarlo con combustibles pesados y quemarlos a altas temperaturas, aunque también se realizan estas mezclas en sistemas de temperaturas medias pero existe el problema que se producen gases que son perjudiciales, a pesar de lo cual se realiza en especial en el sector marítimo.

En nuestro país las industrias del cemento son las que pueden alcanzar temperaturas superiores a los 2000 ° C especialmente en el primero de los procesos. Pero existe también la opción de la industria del vidrio, en la cual en los quemadores existes temperaturas cercanas a los 1900 ° C que es una temperatura que tambien permite que la combustión del aceite usado, sin dar problemas con los gases de combustión. Existe en otras partes del mundo en que este sistema constituye un tipo de negocio muy bien visto e inclusive muestra rentabilidad tanto para la empresa que recolecta, como a la que los quema.

La incineración también es aceptada como método de eliminación de aceite usado **pero** es menos rentable, pues no se aprovecha la energía mas **que** para eliminar otros desechos.

En el ultimo capitulo se presentará cual alternativa es más factible usar desde el punto de vista ecologico y los beneficios económicos que presenta.

## **Capitulo IV**

### **Conclusiones y alternativas de solución para el \* aceite usado**

En este capítulo se muestra la conclusión del estudio, de acuerdo a los análisis de laboratorio que determinan que, se puede extender los periodos de cambio de aceite y se reducir los gastos, así como el tiempo que no trabajan los equipos por mantenimiento. Finalmente se muestra la conveniencia de que algunas empresas, utilicen el aceite usado mezclándolo con bunker

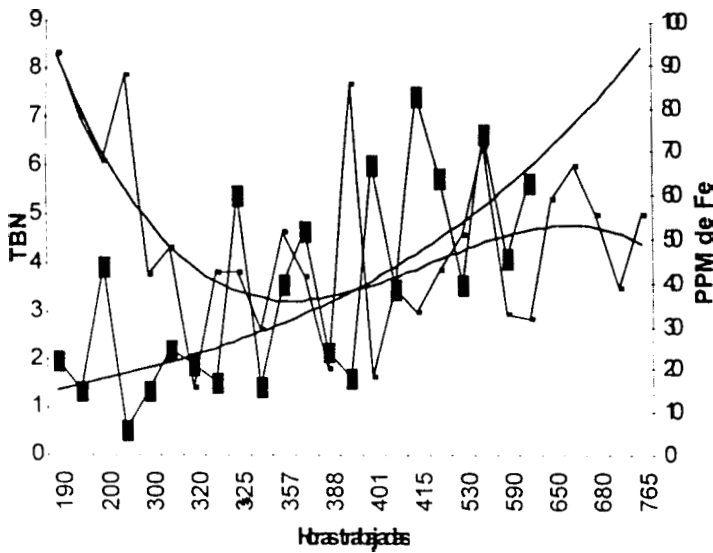
Si analizamos las curvas de tendencias mostradas en el capítulo anterior se puede observar que existen dos parámetros que se muestran como las principales causas para hacer un cambio de aceite, son el TBN y el nivel de Fe.

De acuerdo a un estudio de la compañía Lubrizol estos son los parámetros que determinan el cambio de aceite. Se observa que también, que en el caso del TBN, es el único de los parámetros analizados que sobrepasa el límite condinatorio. La concentración de Fe es de los metales la que más se acerca al límite condinatorio.

Se muestran las curvas de las tendencias de los dos parámetros mencionados en un sólo gráfico, con lo que se puede ver que las curvas coinciden en un punto ( el incremento de partes por millón de Fe y la disminución del contenido de TBN), el punto se encuentra en las 390 horas de trabajo del equipo como lo muestra el gráfico 4.1

### FIGURA 4.1

Comparacion entre las tendencias del hierro y el TBN del aceite usado en funcion del tiempo



Aquí se muestra las dos principales causas de cambio de aceite. El punto donde se cortan las curvas de ambas tendencias es donde más probablemente el aceite requiere ser cambiado pues dos de sus propiedades están fuera de los límites permitidos

Revisando el histograma de frecuencias de cambio de **tipo bimodal** mostrado en el capítulo **2**, se puede observar que la mayor parte de los cambios de aceite ocurre en periodos inferiores a la **390** horas (el número exacto es de **193** cambios). Si comparamos con las **324** horas que era la media de los cambios de aceite hechos en la empresa constructora, se puede concluir que los aceites para motores a diesel de viscosidad **SAE 30** pueden ser cambiados un **20%** más del tiempo normal.

Se debe recalcar que esta es una recomendación que no debe alejarse de un concepto de mantenimiento, pues siempre será necesaria un análisis del aceite usado de la misma manera que un médico lleva una ficha con los datos de los análisis hechos a sus pacientes, además de un control histórico y estadístico para evitar que en los equipos de la compañía cualquier variación grande de los parámetros analizados vaya a terminar en una falla catastrófica. Lo que sí se debe impedir es que el aceite tenga que ser arrojado a medio ambiente cuando aún es útil como queda demostrado en el estudio.

Si el sistema de mantenimiento fuera estricto a las 390 horas de trabajo debería hacerse el cambio, lo que realmente ocurre es que existe un rango de tiempo en el que se lo realiza. Si tomáramos el comportamiento de la frecuencia de cambios de aceite como distribución normal y el valor de 390 horas como su media se puede realizar una nueva curva de histogramas de frecuencia.

Como se requiere una referencia para poder hacer un análisis, se toma la misma desviación estándar de la figura 2.1 que era 125 horas, lo interesante aquí es poder ver que los cambios que se harían antes de las **390** horas serían **139**, es decir que un **28%** de los cambios de aceite serían innecesarios.

Hay que anotar que no es del todo conveniente el cambiar la concentración del aditivo TBN, porque un exceso de aditivo podría provocar una elevación de los depósitos producto del mismo aditivo cuando se ha degenerado.

El resultado desde el punto de vista económico es evidente, lo que se trató de comprobar es que los cambios de aceite pudieron tener un período de cambio mucho más largo, quedó demostrado con la comparación de los análisis de laboratorio y los límites condenatorios de los lubricantes.

**Como** se mencionó en el capítulo anterior, la Constructora Norberto Odebrecht compra mensualmente un promedio de 1500 AG de lubricante para motores a diesel.

¿Cuánto se hubiera ahorrado si se extendía el tiempo de cambio?

De acuerdo con lo que se vio en los resultados anteriores el cambio de aceite puede realizarse con seguridad a las **390** horas de uso. Es decir las horas se



extendieron un 20% mas de los que se cambia normalmente, por consiguiente dado que el consumo de lubricantes tienen una relación inversamente proporcional con las horas que trabaja un lubricante, se puede decir que la disminucion en el consumo tendra igual porcentaje.

De los 1500 **AG** de aceite que se consumían como promedio mensual, lo ideal es que solo 1200 **AG**, sea el consumo mensual de la empresa. Visto en cifras reales, el costo del galón de aceite es de **8 USD** aproximadamente, al final del mes un ahorro seria de 2400 USD, solo en el consumo de lubricantes sin tomar en cuenta otros factores como la disminucion de los tiempos muertos por mantenimiento o la mano de obra relacionada con ellos, todo esto visto en cifras redotidas.

Alora se debe mostrar en cuanto se beneficia la empresa que utiliza aceite usado como parte de su generacion de energia. Tomando como referencia el ejercicio del capitulo anterior, en el cual el costo del galon de aceite usado estaria alrededor de s /. 590, contra s /. 1200 de costo del Bunker en el terminal, hay que sobresaltar que cualquier valor de galon de aceite usado inferior al costo del terminal sera util. Transformándolo a dolares para tener como compararlo con el resultado anterior tenemos lo que se presenta en la tabla **4.1**. Es necesario recordar que este costo del aceite usado es con referencia al costo que se tiene en las lubricadoras. Tomando el caso de la empresa Cridesa, cuyo consumo mensual

## TABLA 4.1

### COMPARACION ENTRE EL COSTO DEL BUNKER Y EL ACEITE USADO

Producto	Costo en Sucres	Costo en Dólares (*)
Bunker de terminal	1200	0.27
Aceite usado *	590	0.13

(\*) Cotización de s/. 4300 por USD.

es de 800.000 **AG** de Bunker, esta tiene un desembolso de 216000 USD de en el mismo periodo, este consumo es real.

De acuerdo pruebas realizadas en otros países mezclando hasta un **15%** de aceite usado con bunker (que es el porcentaje que usa una empresa similar en Puerto Rico) se obtienen resultados satisfactorios. Si tomamos **esre** porcentaje del consumo mensual de la empresa se muestra que se ahorrarán **32400** USD en el mismo periodo, que en la economía de hoy en día no son nada despreciables.

Existen enipresas cuyo consumo es mucho mayor y su beneficio será proporcional a su consumo, pero cabe recordar que no toda mezcla de aceite usado con Bunker es recomendable . El mercado de las empresas cementeras es de casi **8** millones de galones de combustible por mes.

Lo que queda deniostrado es que existe un beneficio relacionado a recoleccion y uso correcto de los desechos del aceite.

Entonces ¿qué impide qie se lleve a efecto?

La falta de información de los mandos superiores y la administración de las operaciones, este proyecto iniplica un costo que no desea asumir ninguna de las

empresas involucradas en el sistema, son dos de los motivos que alejan las intenciones de invertir.

**Pero no todo** esta en las empresas sino **también** esta la pregunta **¿dónde** recoger la cantidad de aceite que se necesita para hacer efectivo este proyecto? Es lógico que sin una **correcta** legislación es difícil que comience un proyecto como este.

Analizando solo el caso de la empresa Cridesa se necesitan 120000 **AG** de aceite usado para que funcione el proyecto, el caso de la Constructora Norberto Odebrecht tiene un promedio mensual de 1500 **AG** solo de aceite para motores a Diesel **SAE** 30, apenas el 1.25% de lo que se necesita, es decir que se deben buscar algunas enipresas para poder cumplir el requerimiento de este caso, si se toma en cuenta el caso de las compañías cementeras el objetivo seria mas lejano y no es que no haya la cantidad de aceite usado pues las cuatro principales plantas de lubricantes producen mensualmente una media de 600000 AG de aceite de diversos tipos.

Sin leyes que controlen el destino final de estos desperdicios que se generan en las industrias y en otros canales ( lubricadoras, talleres y estaciones de servicio) sera muy complicado que se de un uso ecologico al aceite usado.

Existe un caso en Sud-Africa en el cual las empresas que producen el aceite se hacen cargo de suministrar fondos para hacer util al aceite usado hasta que el movimiento del producto pueda balancear el flujo de caja y han merecido la atencion a nivel de la region, un ejemplo a imitarse.

\*

## **BIBLIOGRAFIA**

1. BENLLOCH MARIA **JOSE**, Los lubricantes, Ediciones Ceac **S.A.**, Barcelona, 1990
2. LUBRIZOL, Tendencias de aceites para motores diesel 1996, Cleveland, **1996**.
3. LUBRIZOL, Tendencias de aceites para motores diesel 1997, Cleveland, 1997, 2p.
4. LUBRIZOL, Diesel Engine Oil Change Intervals, Cleveland, 1989, 31p.
5. ROBERT JOHNSON, Estadística Elemental, Grupo Editorial Iberoamérica, Mexico 1991.
6. S.I.P.C.. The Enviromental Challenge In Distribution Vol 1, London, 1993
7. **S.**.I.P.C.. The Enviromental Challenge In Distribution Vol 2, London, 1993.
8. S.E.S.A., HSE - Managemente Systems, Guayaquil, 1997

# **APENDICES**

Los apéndices que se presentan a continuación dan información adicional sobre los límites condenatorios de los motores, según sea el fabricante del motor, la fuente de esta información **fue** un manual interno de la compañía Norberto Odebrecht, comparado luego con el manual de una de las empresas. En ellos también se muestra la procedencia del metal lo que **permite realizar algún mantenimiento preventivo oportuno**

También presenta cuáles son algunos de los pronósticos de ventas de lubricantes para motores a diesel durante 1997, a nivel mundial como a nivel latinoamericano, estos resultados no se pudieron comparar con los reales.

En otra parte de los anexos se muestran todos los resultados de laboratorio que se registraron durante el período de estudio, se encuentra separado por equipo y están diferenciados entre los equipos por el número de identificación interna de la empresa.

Se presenta también el consumo de lubricantes y combustibles de las principales empresas del cemento en el país.



# Apéndice 1.1

## LÍMITES CONDENATORIOS SUGERIDOS PARA ACEITES USADOS EN MOTORES

### CATERPILLAR

Basada en PPM de metales

Modelo	Fe	Cr	Pb	Cu	Al
3208	100	15	100	12	15
3406	50	15	100	45	15
Todos	~100	15	100	45	15

De acuerdo al metal su procedencia puede ser:

- Al Pistones, conectores, rodamientos
- Cu Pin, conectores y brazo de piston
- Pb Contaminación del diesel
- Cr Anillos de piston, cilindros. Puede provenir de sistema de refiigeracion
- Fe Cilindros, pistones y valvulas

# Apéndice 1.2

## LÍMITES CONDENATORIOS SUGERIDOS PARA ACEITES USADOS EN MOTORES

### CUMMINS

Basada en PPM de metales

Modelo	Fe	Cr	Pb	Cu	Al
290	60-84	15	100	20	15
350	60-84	15	100	20	15
Todos	60-84	15	100	20	15

De acuerdo al metal su procedencia puede ser:

- Al Pistones
- Cu Bocines, brazo de piston, rodamientos. sistemas de enfriamiento
- Pb Bocines de Cu-Pb, contaminación del diesel
- Cr Anillos de piston, cilindros. Puede provenir de sistema de refrigeración
- Fe Cilindros, bomba de aceite, pistones y válvulas

# Apéndice 1.3

## LÍMITES CONDENATORIOS SUGERIDOS PARA ACEITES USADOS EN MOTORES

### DETROIT DIESEL

Basada en PPM de metales

Modelo	Fe	Cr	Pb	Cu	Al
8V 71	96-170	15	100	23	15
6V 92	96-140	15	100	23	15
Todos	<b>96-140</b>	<b>15</b>	100	<b>23</b>	15

De acuerdo al metal su procedencia puede ser:

- Al Carcaza y rotores de la bomba de aceite, rodamientos
- Cu Turbocargadores, levas, pistones, válvulas, sistemas de enfriamiento
- Pb Contaminación del diesel
- Cr Anillos de piston, cilindros. Puede provenir de sistema de refrigeración
- Fe Cilindros, pistones y válvulas

## Apéndice 1.4

### LÍMITES CONDENATORIOS SUGERIDOS PARA ACEITES USADOS EN MOTORES

#### MACK

Basada en PPM de metales

Modelo	Fe	Cr	Pb	Cu	Al
Todos	100	15	100	45	15

\*

De acuerdo al metal su procedencia puede ser:

- Al Pistones, conectores y rodamientos
- Cu Brazo del pistón y pin conector
- Pb Contaminación del diesel
- Cr Anillos de piston, cilindros. Puede provenir de sistema de refrigeración
- Fe Cilindros, pistones y válvulas

## **Apéndice 2**

### **Resultados de laboratorio**

\*

### CARGADORA NEUMÁTICA

MAQUINA	HORAS	Horas/e	Color	visc. a 100°	pto.de infl.	agua	TBN	CU	FE	CR	PB	AL	SI
966068	160	12545	negro	10.4			8	1	9	1	1	0	5
966068	165	12900	negro	11.58		no	7.5	1	15	1	1	0	1
966069	175	11010	negro	11.25			6	3	3	2	0	0	4
966073	185	10145	negro	12.35		no	6.2	1	6	2	22	0	0
966069	190	12023	negro	10.08		no	6.4	7	14	2	26	0	4
966074	205	12835	negro	11.5		no	5	1	21	3	1	0	15
930045	210	19190	negro	11.6		no	5	4	11	2	0	0	0
966070	215	13330	negro	12		no	2	2	19	1	0	0	0
966074	215	11790	negro	12.6		no	5	1	29	2	2	7	9
966071	325	15306	negro	12.5			3.73	1	7	1	0	0	4
966071	525	16033	negro	11.63		no	5.74	1	12	0	1	3	1
966071	530	15509	negro	11.74			1.8	3	24	1	2	1	6
966071	695	15670	negro	11.34			6.42	3	34	1	1	5	11

## VOLQUETA

LAQUINA	HORAS	Horas/e	Color	Vasc a 100°	pto de inf	agua	TBN	CU	FE	CR	PB	AL	SI
1771028	92	8717	negro	10 4		no		3	102	1	1	0	9
1760610	145	17990	negro	10 58		no	8 1	2	9	1	0	0	0
1771021	155	7383	negro	12 3		no	7 5	1	86	1	0	0	5
1760609	175	17773	negro	10 33		no	7						
1760604	190	17970	negro	10 4		no	7	6	92	1	3	0	7
1760609	200	18050	negro	12 2		trazas	7 4	1	30	1	1	1	18
1771029	220	7735	negro	12 7		no	6 2	3	49	1	0	0	3
1760603	225	17336	negro	11 25		no	7 2	3	45	2	6	1	6
1770004	230	23946	negro	12 06		no	6	8	196	1	6	1	11
1760606	240	16555	negro	10 55		no	5 9	2	24	1	2	0	7
1760603	250	17109	negro	10 55		no	6	3	47	0	7	0	9
1760601	253	17678	negro	12 5		no	6	5	20	2	1	0	3
1760603	270	18519	negro	11 55		trazas	5 4	3	43	1	3	1	8
1771025	270	7390	negro	12 5		no	5	2	45	1	7	0	3
1771028	280	8019	negro	14 34		no							
1770004	290	23236	negro	10 9		no		1	15	0	0	0	0
1771023	294	7329	negro	12 04									
1771023	294	7329	negro	12 04		no		6	128	2	0	0	11
1771011	295	8317	negro	11 35				4	173	1	0	0	11
1760609	300	17282	negro	12 46		no		2	24	1	33	0	1
1771023	300	8316	negro	10 65			7	3	70	1	1	0	7
1760610	305	18896	negro	11 73				2	20	1	2	0	5
1760604	310	16416	negro	11 65		no	7	2	48	2	1	2	9
1771026	310	8362	negro	11 18				2	28	2	1	0	15
1771028	310	8625	negro	11 2				6	207	2	0	0	9
1760602	314	18804	negro	11 34		trazas	6	1	7	0	1	0	6
1770002	315	22414	negro	11 36									
1770002	315	22414	negro	11 36		no	6	6	118	4	0	27	107
1771026	315	7406	negro	12 55		no	6 1	1	23	1	1	1	6
1760607	316	16486	negro	10 35		no	6 3	2	22	1	12	0	4
1760606	319	18279	negro	11 83				2	19	1	1	1	7
1760604	320	17427	negro	12 34				15	137	1	7	0	8
1760605	320	19105	negro	12 5				6	42	1	4	1	8
1760611	320	16605	negro	11 34			7 87	1	6	0	1	0	5
1760611	320	15030	negro	12 6		no	4 18	2	16	1	1	1	2
1771025	320	8638	negro	12 31				2	53	1	0	0	6
1771029	320	9032	café	11 74		si		3	49	1	1	2	10
1771029	320	8714	negro	10 43				2	65	1	0	1	9
1760611	325	15576	negro	11 24		no	3 76	2	15	1	0	0	0
1770001	325	23502	negro	12 25				7	42	1	4	0	8
1760601	330	18723	negro	11 55									
1760601	330	18723	negro	11 55		no		4	58	1	0	0	9
1760603	330	18250	negro	11 2		no	4 6	8	67	2	0	2	0
1760603	330	18250	negro	11 2		no		8	67	2	0	2	0
1760604	330	17111	negro	11 27									
1771022	330	7391	negro	12 63		no	5	3	25	1	1	1	6
1760607	334	17409	negro	11 61				1	33	1	1	0	6
1771021	335	6287	negro	12 63		no	5	4	130	2	0	2	19
1771029	335	9370	negro	12 25				2	31	1	1	2	14
1760608	140	19866	negro	12 25			5	5	28	0	5	0	6
1770002	140	23029	negro	12 55			5 88	38	413	23	2	191	507
1771023	340	7677	negro	10 31				6	158	2	1	1	10
1771025	340	8976	negro	11 34				4	49	1	2	0	6
1760605	345	18785	negro	12 29			4 8	3	52	1	3	2	7
1760605	345	18440	negro	12 44				3	61	2	0 2	1	9
1771022	350	8830	negro	11 8				1	22	1	2	0	4
1771023	350	7036	negro	10 44		no	4 3	5	117	2	1	1	8
1760606	351	17365	negro	11 39		no	5	2	17	1	0	0	3
1771028	355	7739	negro	8 35	161C	no	5	6	202	3	0	1	8
1760604	356	17783	negro	11 43				22	268	2	11	0	11
1760608	361	18846	negro	11 21		trazas	3	2	37	1	0	0	0
1760604	369	16778	negro	10 9		no	5 1	7	130	1	0	0	0
1770001	370	22502	negro	11 25		no	4	3	36	1	0	0	0
1771022	390	8472	negro	11 45				2	51	1	1	1	6
1760602	415	17830	negro	11 18		no	3 99	3	52	1	0	0	0
1760605	415	19520	negro	12 39		no	4 64	4	40	0	4	5	5
1760611	540	15250	negro	12 55		no	7 7	0	8	1	0	3	13
1760611	680	15930	negro	11 49			4 58	4	40	2	1	1	8
1760611	765	17050	negro	12 02		no	4 8	1	16	0	2	1	1
1760611	1035	16285	negro	11 1		no	2 34	4	39	2	1	1	6
1760611	1035	16285	negro	11 1			2 34	4	39	2	1	1	6
1760611	1035	16285	negro	11 1			5 27	4	39	2	1	1	6

MOTONIVELADORA

MAQUINA	HORAS	Horas/e	Color	visc a 100°	pto de infl	agua	TBN	CU	FE	CR	PB	AL	SI
140018	185	16630	no	11.67		no		1	7	1	2	0	6
140019	190	16950	no	11.69		no	3.88						
140018	199	17955	no	11.7				11	27	1	1	0	6
140019	200	17775	no	12.3			6.1	11	44	1	2	1	5
140008	200	14000	no	12.4				3	46	1	1	1	6
140019	214	15910	no	12.7		no		11	41	2	0	1	3
140020	238	17480	no	11.46		no							
140019	390	17965	no	11.72		no	3.81	15	60	1	2	1	6
140019	401	17161	no	11.85		no	2.63	18	6	1	0	1	6
140019	434	16135	no	13.2		no		23	78	2	0	11	1
140019	590	17350	no	12.19		no	1.63	18	67	4	1	4	13
140019	650	16560	no	12.7		no	3.01	19	83	2	25	4	5
140019	655	16365	no	12.53		no	3.85	10	44	1	3	1	0
140018	660	18293	café obc	16.83		trazas		6	132	1	1	0	7
140019	795	18370	no	12.53		no	4.23	15	63	1	1	7	2
140019	815	17575	no	12.6		no	3.86	21	80	2	1	3	5
140019	939	15696	no	10.99			7.19	22	82	2	0	3	14
140019	964	16760	no	11.23		no	3.22	12	41	1	0	0	0



## RETEXC 321.003

MAQUINA	HORAS	Horas/e	Color	visc a 100°	pto de mfl	agua	TBN	CU	FE	CR	PB	AL	SI
3233602	40	495	negro	10.65				7	2	0	1	0	5
3558603	172	13653	negro	11.23		no	7.8	1	8	0	0	0	0
3210013	175	13820	negro	11.51				1	25	3	1	4	9
3210004	175	13670	negro	10.06				1	20	2	1	5	7
3210013	179	13999	negro	11.15		no	6.54	2	16	2	3	2	8
3210003	180	12150	negro	11.38		no	6	3	57	21	5	9	23
3210004	185	13305	negro	12.03		no	6	1	11	1	0	0	0
3210003	190	12515	negro	11.65		no	6.3	2	28	15	2	13	13
3233001	200	10042	negro	10.51			6.1	17	22	1	1	0	6
3233001	200	9844	negro	10.42		no							
3233001	200	9844	negro	10.42		no	5.8	19	13	1	0	0	3
3233001	200	9415	negro	10.57		no	6	83	20	2	14	2	2
3233001	200	9215	negro	10.2		no	6.3	53	15	2	23	0	0
3210003	215	11760	negro	10.2		no	5.9	2	39	15	7	12	17
3233001	225	9015	negro	10.8		no	6.5	119	29	2	0	2	5
3233001	230	9645	negro	9.83	171C	no	6	73	20	1	1	1	2

CAMION

MAQUINA	HORAS	Horas/e	Color	visc.a 100°	pto de infl	agua	TBN	CU	FE	CR	PB	AL	SI
1419018	31	7760	negro	12.45		no	8.2	3	21	1	1	2	8
1412005	120	10442	negro	11.7		no		1	19	2	1	2	19
1144016	120	10360	negro	12.5		no	7	5	30	3	2	4	10
1420606	140	7665	negro	11		no	7.4	1	16	1	1	2	8
1450604	192	13989	negro	12		no		6	33	0	3	0	6
4456601	205	6015	café	10.37		si							
4456601	205	6015	negro	10.37		no							
1114601	210	12824	negro	10.43		no	5.12	4	31	1	3	4	9
1454603	220	9597	café	12.5				3	17	2	4	2	10
1114602	220	12572	negro	10.47		no							
1114602	220	12532	negro	10.47		no	6.25	4	48	1	0	0	9
1629602	225	12700	negro	11.21		no	6.78	3	19	3	2	1	21
1420604	230	12449	negro	11.82		no	5	4	151	8	4	43	131
1526601	230	13717	negro	11.59				1	22	0	1	1	6
1420603	236	10030	café	11.99				1	18	0	1	14	16
1629603	240	13615	negro	12.02		no	4.58	1	28	2	1	3	30
1629601	244	15631	negro	10.96				3	19	2	4	1	8
1148602	250	14326	negro	11.69		no							
1148603	250	14105	negro	11.23		no	6.45	3	22	1	0	0	0
1148602	250	14326	negro	11.69		no	5.62	2	28	1	0	0	10
1454601	250	13821	negro	12.9		no	6	2	41	1	20	2	3
1636602	264	14609	negro	10.18		no							
1636602	264	14609	negro	10.18		no		1	12	1	0	0	8
1148604	265	12370	negro	11.23		no							
1143004	266	13921	negro	12.57		no		1	29	4	19	0	7
1144016	269	10623	negro	12.08		no		3	15	0	0	2	0
1438601	285	15505	negro	11.57		no		4	46	1	5	1	10
1412005	290	9992	negro	7.95		no		4	28	1	0	2	0
1148605	292	12502	negro	12.67		no		17	26	3	0	3	0
1450603	294	12349	negro	12.55		no		2	36	1	1	1	3
1419016	303	8978	ncgro	11.4	n		5.21	2	18	1	1	0	11
1420606	305	8275	ncgro	12.12		no	5	1	13	1	1	1	24
1419018	305	7165	ncgro	11.75		no	6.2	1	9	1	4	1	9
1212001	310	19572	negro	10.59			5.9	2	53	10	1	5	10
1420604	310	11588	negro	11.21		no		1	29	1	0	0	0
1419016	312	8675	negro	12.02		no							
1419018	315	8760		11.72				2	18	1	2	13	3
1636611	315	18184	negro	10.53		no	6	2	39	7	6	6	15
1454603	320	9061	negro	11.95		no	5	3	29	12	3	4	35
1454604	325	9714	negro	12.19		no	6.2	4	7	5	1	8	16
1420604	330	12219	negro	11.9	n			1	69	4	0	2	11
1420605	330	8467	ncgro	11.27		no	6.25	1	25	1	1	1	11
1450602	335	11115	ncgro	11.95		no	6.3	3	23	3	4	1	17
1143003	335	12935	ncgro	11.33		no		2	51	1	1	4	11
1420601	335	8694	negro	11.37		no							
1420601	335	8694	ncgro	11.37		no							
1212001	335	18549	negro	11.15		no	6.2	1	24	5	0	0	0
1420604	335	11277	negro	12.4		no	4	1	32	2	17	0	10
1422007	340	9185	negro	11		no	5.3	2	14	2	0	0	0
1450604	344	13454	negro	11.05		no	5	3	68	1	3	2	9
1420603	345	9452	negro	10.36				2	31	1	1	4	12
1450603	350	13330	ncgro	10.86		no	5	2	40	2	3	1	6
1454602	355	13600	ncgro	12.47		no	4.9	1	24	3	1	2	12
1636601	357	19132	negro	12.06		no	4.31	2	25	6	2	8	5
1450601	360	11928	ncgro	11.15		no	4.2	3	43	1	0	0	0

4011601	205	9330	nego	114	n	657	0	0	0	1	0	5
4011609	205	5088		11.93		6	2	14	1	1	5	9
4011601	205	8330	nego	11.65	n	596	1	5	0	1	0	4
						645	8	57	3	0	1	17

MOTOBOMBA

MAQUINA	HORAS	Horas/e	Color	visc a 100°	pto de infl .	agua	TBN	CU	FE	CR	PB	AL	SI
4208604	115	4455	negro	12.64		n	7	8	70	2	0	9	23
4208602	125	3130	negro	12.48			73	3	34	1	1	5	11
4208602	130	2825	ncpro	12.58		n	623	7	81	25	0	10	19
4208602	180	3003	negro	13.66			745	6	83	1	0	11	21

### TRACTOR

MAQUINA	HORAS	Horas/e	Color	visc a 100°	pto de infl	agua	TBN	CU	FE	CR	PB	AL	SI
804601	175	12855	negro	11.72				1	0	0	3	0	7
806052	180	19839	negro	5.56	155C	n							
804601	180	11929	negro	12.1		n		0	9	0	1	0	4
804602	185	14575	negro	13.35		N		1	9	0	5	0	7
806049	195	21330	negro	11.06			7.01	8	15	1	1	3	4
806048	195	23470	negro	10.58		trazas		2	21	3	0	4	8
806048	200	24670	negro	10.92		N		1	13	2	3	2	15
806048	200	24470	negro	12.02				2	26	3	3	6	18
804602	200	13985	negro	11.25		n		1	5	0	0	0	0
806049	200	20100	negro	11.65		n		2	17	1	0	2	2
806052	220	18836	negro	12.6		n		8	20	1	4	0	3
806052	225	20702	negro	10.85				2	4	0	2	0	4
806048	280	22405	negro	10.62		n		1	23	2	7	3	13
806049	377	21532	negro	11.18		N	1.4	7	21	1	4	2	6
806049	388	20545	negro	9.8		n	3.81	6	17	1	0	2	0
806049	373	21721	café	10.85		si		8	8	0	4	0	8
806049	609	20759	negro	10.9		n	3.51	89	29	1	0	5	0
806049	815	20962	negro	10.37		n	4.88						
806049	815	20962	negro	10.37		n	4.88	87	42	2	0	6	6
806049	1006	21156	negro	10.05		n	4.72	54	49	2	2	8	9

## RODILLO

MAQUINA	HORAS	Horas/e	Color	visc. a 100°	pto de infl	agua	TBN	CU	FE	CR	PB	AL	SI
6128509	175	8560	negro	12.75		no		1	17	11	2	2	23
6128036	175	10260	cafe obscuro	11.6		no		0	7	1	34	0	12
6128015	180	13782	negro	12.23		no	7.21	1	16	7	2	2	25
6128036	185	11480		12.48				4	4	1	1	1	8
6128036	190	10450	negro	10.35		no		1	6	1	0	0	0
6128505	190	11150	cafe obscuro	12.57		no	4.5	1	12	1	14	0	13
6128505	195	11915	negro	12.23		no		1	14	2	1	2	23
6126008	215	10560	negro	12.57		no	6.87	9	37	1	5	1	9
6128015	222	12842	negro	13.25		no	6.3	1	17	3	1	3	8
6128509	230	8110	negro	13.2		no		4	57	2	8	5	16
6128509	1717	8385	negro	11.73		no							

1825604	295	12180	n	1048	n	6	76	2	,	0	0	12		
1825603	310	10443	N	12	n	9	76	.	I	.	14	0	,	12
1825604	324	11884	n	1047	n	4	46	I		20	2	,	6	

## Apéndice 3

### CONSUMO DE LUBRICANTES Y COMBUSTIBLES DE LAS PRINCIPALES EMPRESAS CEMENTERAS DEL ECUADOR

empresa	super	extra	diesel 2	fuel oil	lubricantes
Cemento Nacional C.A.	6000		70000	2500000	4000
Cementos Selva Alegre		6000	180000	728000	1100
Cementos Chimborazo		9000	50000	417000	2325
Industrias Guapan s.a.			18000	326000	1550
Total	6000	15000	318000	3971000	8975

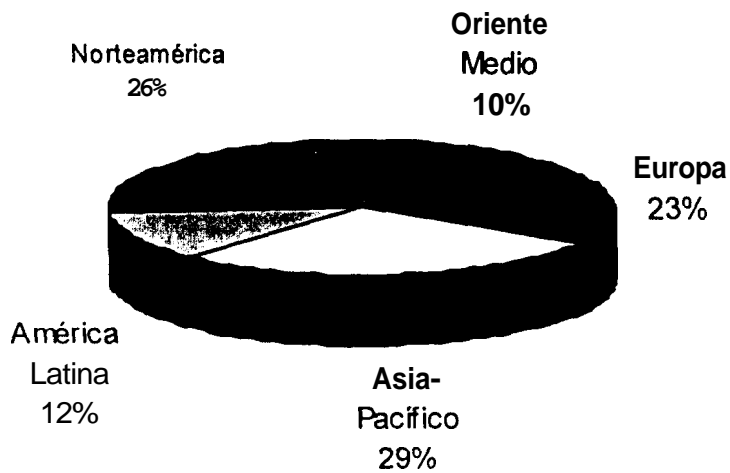


## **Apéndice 4**

### **Mercado de lubricantes para rnotores diesel**

## Anexo

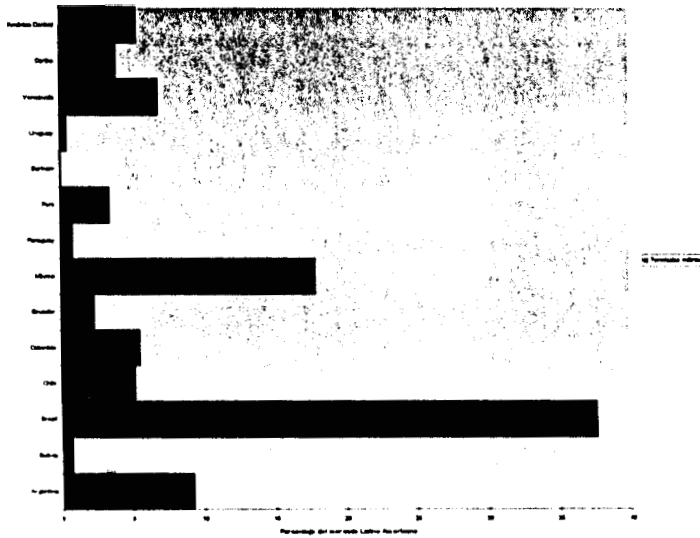
### Mercado Mundial de Lubricantes para Motores Diesel Pesados



6.2 Millones de toneladas de Lubricantes terminados

## Anexo

### Mercado Latino Americano de lubricantes terminados para Motores Diesel Pesados



Total 759000 toneladas métricas