

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



“ACEITES LUBRICANTES Y APLICACIÓN DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA PARA LA CARACTERIZACIÓN”

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

STIVEN ERICK GUTIERREZ HUALLULLO

LIMA – PERÚ

2013

Dedicatoria

El presente trabajo, se lo dedico a mi Padre Eugenio que está en el cielo quien siento su presencia cada vez que lo necesito y mi Madre Stella, los dos son parte importante en mi, por haberme inculcado buenos valores y por la ayuda constante en mi transcurso de mi camino de la vida para ser una persona responsable que a pesar de lo poco que se tiene, se puede conseguir mucho mediante el esfuerzo, retrocediendo a veces pero siempre mirando positivamente las cosas hacia adelante.

Gracias

AGRADECIMIENTOS:

Este Agradecimiento va hacia todas las personas que ayudaron en mi formación como persona, desde el portero, limpieza, administración, Licenciados, Ingenieros, amigos y a la misma UNI, por darme una educación de la más alta categoría, que siempre está creciendo constantemente, son todos un equipo y una familia. Los conocimientos son tan admirables que nunca acabamos por aprender. Gracias por su esfuerzo y empeño en la labor que hacen.

RESUMEN

La función principal de los aceites lubricantes, es la de lubricar dos superficies que están en movimiento, una con relación a la otra, reduciendo la fricción entre ellas, para evitar su desgaste. Esto se logra interponiendo una película lubricante de aceite entre las superficies en movimiento, evitando el contacto de sólido con sólido, disminuyendo así el coeficiente de fricción entre las dos superficies en rozamiento.

Además de reducir el desgaste de los metales por lubricación, el aceite ayuda a refrigerar el sistema para que trabaje a una temperatura adecuada removiendo el calor por transferencia al exterior. Otra función principal es la sellar las partes del sistema de lubricación y amortigua el ruido generado por las partes móviles del motor.

Los aceites básicos son seleccionados de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas y estos son categorizados por ser parafínicos, nafténicos, aromáticos y sintéticos. Los aditivos lubricantes junto con los aceites básicos mejoran sus propiedades fisicoquímicas en la lubricación extendiendo la vida útil del motor o maquina industrial y un mantenimiento mas prolongado.

El siguiente paso de la lubricación es el control del aceite lubricante mediante el monitoreo de los factores que puedan intervenir en la contaminación por factores externo mediante la Espectroscopia Infrarroja con la cual se puede calcular los siguientes parámetros: hollín, oxidación, nitración, sulfatos, glicoles, hidróxidos, contaminación por combustible.

La espectroscopia Infrarroja se basa en la absorción de la radiación infrarroja por las moléculas en vibración y de acuerdo a las diferencia del aceite nuevo y usado mostraran cambios por eso es el más usado y se definirá mucho mas su importancia.

INDICE

I.	Introducción.....	7
II.	Marco Teórico	
2.1.	Espectroscopia Infrarroja.....	8
2.2.	Aceite Lubricante.....	26
2.3.	Función de los Lubricantes	27
2.4.	Tipos de Aceites Lubricantes según su base Mineral o Sintéticos	
2.4.1.	Parafínicos	30
2.4.2.	Naftenicos.....	31
2.4.3.	Aromáticas.....	34
2.4.4.	Sintéticos.....	34
2.5.	Aditivos Lubricantes	
2.5.1.	Aditivos Modificadores de las propiedades Físicas.....	38
2.5.2.	Aditivos Modificadores de las propiedades Químicas.....	40
2.5.3.	Aditivos Modificadores de las propiedades Físico-Químicas.....	42
2.6.	Importancia de la viscosidad en los Aceites Lubricantes.....	45
2.6.1.	Viscosidad.....	45
2.7.	Tipos de Película Lubricante	
2.7.1.	La lubricación límite.....	51
2.7.2.	Lubricación hidrodinámica.....	52
2.7.3.	La lubricación mezclada.....	53
2.7.4.	Lubricación Elastohidrodinamica (EHL).....	53
2.8.	Desgaste y los Mecanismos de Lubricación	
2.8.1.	Tipos de desgaste.....	55
2.8.2.	Consecuencias del desgaste.....	68
2.9.	Propiedades de los Lubricantes	
2.9.1.	Propiedades Físicas.....	68

2.9.2.	Propiedades Térmicas.....	70
2.9.3.	Propiedades Químicas.....	71
III.	Análisis de Aceites Usados	
3.1.	Características de un programa de análisis de aceites usados.....	73
3.2.	Objetivos de hacer análisis a los aceites usados.....	74
3.3.	Implementación de un programa de análisis de aceite usado.....	74
3.4.	Herramientas para aplicar el programa.....	75
3.5.	Problemas relacionados del programa de análisis de aceite con la lubricación.....	75
3.6.	Posibles Contaminantes.....	76
3.7.	Perdida de las propiedades fisicoquímicas de aceite en el motor viscosidad	
3.1.1.	Viscosidad.....	78
3.1.2.	Punto de Inflamación.....	79
3.1.3.	Numero Base o TBN (Numero Básico Total).....	81
3.1.4.	Insolubles Totales.....	82
3.8.	Desgaste de los Metales en el Aceite de Motor.....	83
3.9.	Interpretación de los resultados de laboratorio	86
IV.	Método para hallar el % de Gasolina en un aceite lubricante.	
4.1.	Gasolina.....	89
4.2.	Equipo Infrarrojo.....	91
4.3.	Calibración del Equipo Infrarrojo.....	98
4.4.	Procedimiento de análisis de una muestra de aceite usado por los software utilizados en el método.	
4.4.1.	Alcances.....	100
4.4.2.	Materiales.....	102
4.4.3.	Procedimiento.....	102
4.4.4.	Cálculos.....	107

4.4.5. Discusión de Resultados.....	109
V. Conclusiones y Recomendaciones del Método.....	112
VI. Anexo.....	114
VII. Bibliografía.....	117

I.- INTRODUCCION

La evaluación de aceites usados es un tema muy amplio por abordar, en el cual interviene una serie de análisis desarrollados por normas estandarizadas.

Los analistas cumplen esta función de seguir paso a paso los diferentes análisis según sea el tipo de aceite: automotriz o industrial. Para evaluar el estado del aceite usado se divide en 3 campos:

- Contaminación del Aceite.
- Propiedades del Aceite.
- Desgaste de metales del motor contaminando en el aceite.

Cada uno de estos grupos, tienen sus respectivos métodos que implica procedimientos y equipos que cumplen las normas ASTM y así obtener valores confiables y obtener reportes que ayudan a tomar buenas decisiones.

Uno de los problemas principales en la contaminación de aceite lubricante sucede con el mismo combustible, para ello se determina el %W del contenido de combustible (gasolina) en el aceite por medio de la Espectroscopia.

Actualmente la propiedad más relacionada para este tipo de contaminación es el punto de inflamación por la norma ASTM D-92 por copa abierta o por la Norma ASTM D-56 por copa cerrada, cada uno de ellos es aplicable para puntos de inflamación de diferentes tipos. Con un diseño de equipo totalmente diferente.

Los aceites lubricantes nuevos abarcan un punto de inflamación mayor a 200°C y los usados van de acuerdo a 2 casos: por contaminan con otro aceite o con combustible por la cual bajaría el punto de inflamación, viscosidad, TBN. El procedimiento de la norma ASTM es confiable pero toma su tiempo al momento de llegar cerca del punto de inflamación.

El presente trabajo se presenta una forma evaluar y dar una respuesta rápida además de ser menos contaminante debido a que no emite gases tóxicos al medio ambiente, recurriendo a la Espectroscopia, utilizando un equipo Infrarojo el cual relaciona el espectro de la muestra con los espectros de una data experimental con valores de contaminación de % de combustible en el aceite lubricante conocidos.

II.- MARCO TEORICO

2.1.- ESPECTROSCOPIA INFRAROJA

La Espectroscopia analiza las moléculas que son estructuras formadas por una red de núcleos atómicos unidos entre sí por enlaces electrónicos, cada átomo que la constituye está desplazándose permanentemente, uno con respecto al otro, sobre una distancia promedio llamada longitud de enlace, es decir, las distancias interatómicas oscilan continuamente alrededor de un valor que es propio, manteniéndose por ejemplo, en el estado basal de energía y a temperatura ambiente, a una distancia promedio llamada longitud de enlace. Cada enlace, dentro de una molécula, está vibrando a una frecuencia determinada que le es característica, y puede efectuar un movimiento de estiramiento a lo largo del eje del enlace, figura N°1, o un movimiento de deformación en donde uno de los átomos del enlace, que se aparta del eje del enlace, figura N°2.

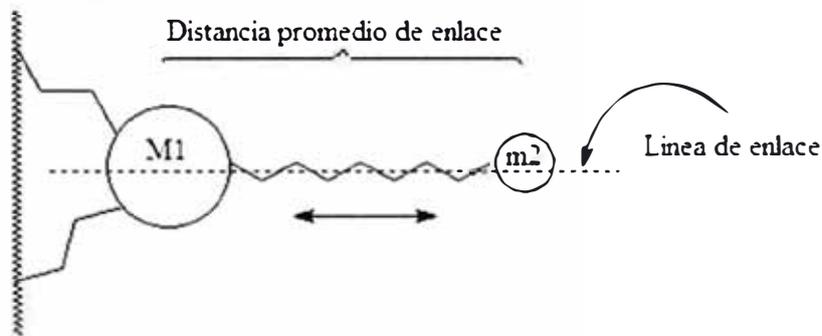


Figura N°1: Vibración de Estiramiento

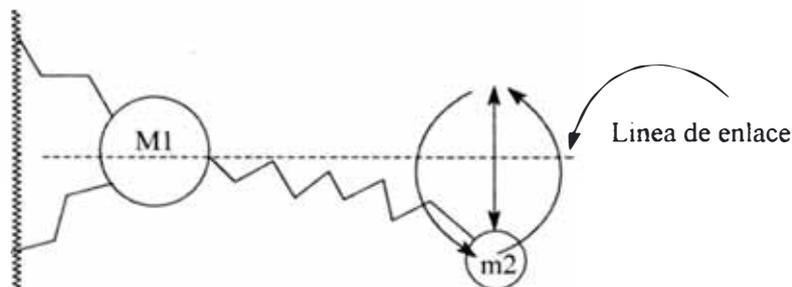


Figura N°2: Vibración de deformación

Una molécula diatómica como la de la figura N°3, solo tiene un modo de vibración que es el de estiramiento a lo largo del enlace. La deformación no existe ya que corresponde a una rotación antes que a una vibración.



Figura N°3: Estiramiento de una molécula diatómica

Si la molécula tiene más de dos átomos, los posibles modos de vibración aumentan de manera considerable, como se puede observar en las figuras de más abajo, con $(3n-5)$ los modos vibracionales en moléculas lineales.

Para moléculas no lineales más complejas, se esperan $(3n-6)$ modos vibracionales, donde n es el número de átomos que forman la estructura. Por ejemplo el tetracloruro de carbono, que tiene cinco átomos según la fórmula, presenta nueve modos vibracionales. Sin embargo, no todas ellas son activas al infrarrojo. Ya que solo son activos aquellos modos en los que el momento dipolar asociado a uno de los enlaces varíe su posición relativa con la vibración. En este caso específico, aquel modo vibracional que implica el movimiento simétrico de los cuatro átomos de cloro alrededor del carbono hace que el momento dipolar permanezca invariante y por lo tanto inactivo al infrarrojo.

Las vibraciones moleculares son en realidad, el resultado de la contribución de todos los átomos que la componen. Sin embargo, con el propósito de simplificar los cálculos, es posible analizar algunas vibraciones moleculares como si en ellas interviniesen solo unos pocos átomos. La vibración de un enlace individual en una molécula poliatómica, es aquella que considera a ambos átomos involucrados, como si se mueven al igual que dos partículas en un oscilador armónico, es decir, como dos partículas unidas por un resorte.

Una forma cualitativa de la frecuencia de vibración del enlace expresado en cm^{-1} , se puede hallar calculando la siguiente expresión:

$$\nu = 3.1416 \times \left(\left(\frac{1}{2} \right) \times C \right) \times \left(\frac{k}{MR} \right) \times \frac{1}{2}$$

Aquí $MR = (m_1 \times m_2) / (m_1 + m_2)$ que expresada en gramos es la masa reducida y, m_1 y m_2 son las masas atómicas también en gramos, de los dos átomos involucrados.

C = velocidad de la luz 3×10^{10} cm/s

k = es una constante que representa físicamente la resistencia del resorte (enlace) al estiramiento o constante de fuerza del resorte, según la ley de Hooke.

Para k es posible encontrar en literatura, valores de $k = 5 \times 10^5$ dinas/cm para un enlace simple C-C y para uno doble $1,0 \times 10^6$ dinas/cm y para un enlace triple $1,5 \times 10^6$ dinas/cm.

Cuando hay más de dos átomos involucrados en una molécula, pueden encontrarse distintos modos de vibración, algunos simétricos y otros asimétricos como se muestra en la figura.

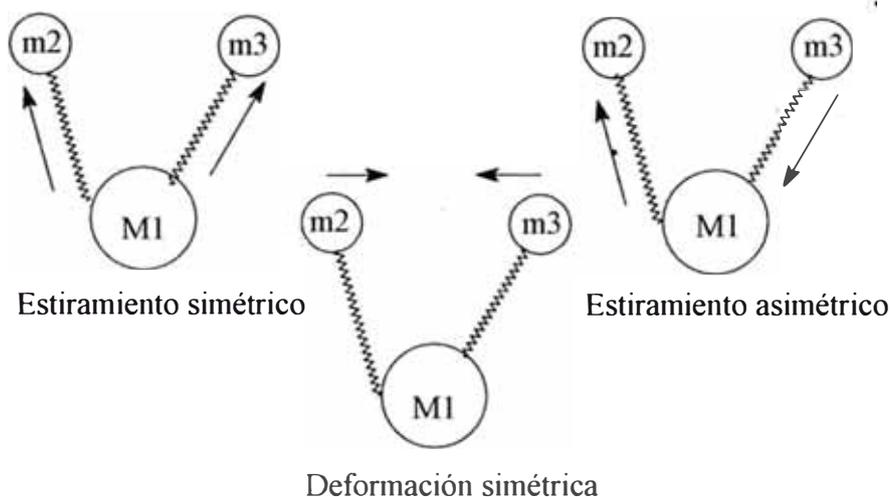


Figura N°4: Vibraciones simétricas y asimétricas

Si a uno de estos enlaces que tiene una frecuencia de vibración característica, se hace incidir radiación infrarroja de la misma frecuencia, este enlace absorberá esa radiación y se traducirá en que la distancia de enlace crecerá, esto hace que ambos átomos se alejen más de lo normal, es decir vibran a una distancia promedio mayor a la distancia de enlace, lo que se traduce en que el enlace ha pasado entonces a otro estado de alta energía que está cuantizado, que se llama estado excitado, como puede verse en el diagrama.

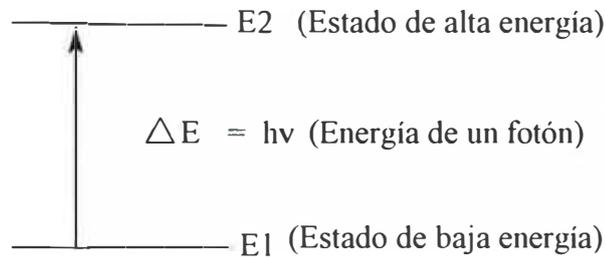


Figura N°5: Cambio de estados de Energía

El estado excitado E2 es el estado al que llega un enlace que ha absorbido un fotón de radiación electromagnética de igual frecuencia o energía al del enlace en cuestión. E1 representa la energía de la frecuencia de vibración normal del enlace.

Una condición importante, que el enlace esté formado por átomos de diferente electronegatividad para que tanto el centro de carga positivo como el centro de carga negativo del enlace no coincidan. De esa manera, este enlace tendrá momento dipolar. Así la variación del momento dipolar definido como el producto de la variación de la distancia “r” entre las cargas del dipolo que lo forman y su carga “q”, al ser excitado, hace que el fenómeno de intercambio de energía sea posible entre este y la radiación electromagnética. Cuanto mayor sea el cambio en el momento dipolar del enlace provocado por la excitación, mayor será la intensidad de la absorción.

Muchas moléculas diatómicas como el N_2 o el O_2 , por ejemplo, que están constituidas por átomos cuyas electronegatividades son idénticas, no presentan actividad en la región del infrarrojo medio, puesto que no cambian su momento dipolar.

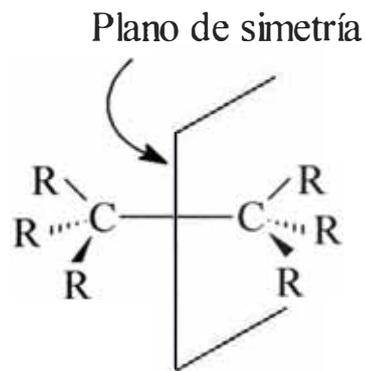


Figura N° 6: Enlace inactivo al infrarrojo

En general, cualquier enlace por el que pase un plano de simetría no será activo al infrarrojo. Vibraciones características de algunas de las funciones química-orgánicas más importantes tenemos:

Prediciendo antes la denominación del uso C-H como tipos de enlaces según su formación:

C-H : Tipo Csp^3-H Alcanos, Csp^2-H Alquenos, $Csp-H$ Alquinos generalmente.

a) ALCANOS NORMALES (LINEALES)

En todos los alcanos normales o ramificados se espera encontrar solo estiramientos y deformaciones de enlaces como los C-H (Csp^3-H) y C-C.

Como ejemplo tenemos al espectro adjunto del dodecano $C_{12}H_{26}$ que es un alcano lineal.

Vibraciones de estiramiento C-H (Csp^3-H):

Aparecen entre los 3000 y 2840 cm^{-1} . Son muy estables.

En los grupos metilo: estos pueden mostrar estiramientos asimétricos de los enlaces C-H entre los 2962 cm^{-1} y simétricos en los 2872 cm^{-1} (ver Figura N°8). Se dice entonces que, los modos simétricos siempre tienen menor energía que los asimétricos.

Grupos metilenos acíclicos y cíclicos: en estos grupos aparecen las vibraciones C-H en el mismo rango de frecuencias que los C-H metílicos, es decir entre los 3000 y los 2840 cm^{-1} , y pueden ser asimétricos (2926 cm^{-1}) y simétricos (2853 cm^{-1}) ver las figura N° 9 más abajo.

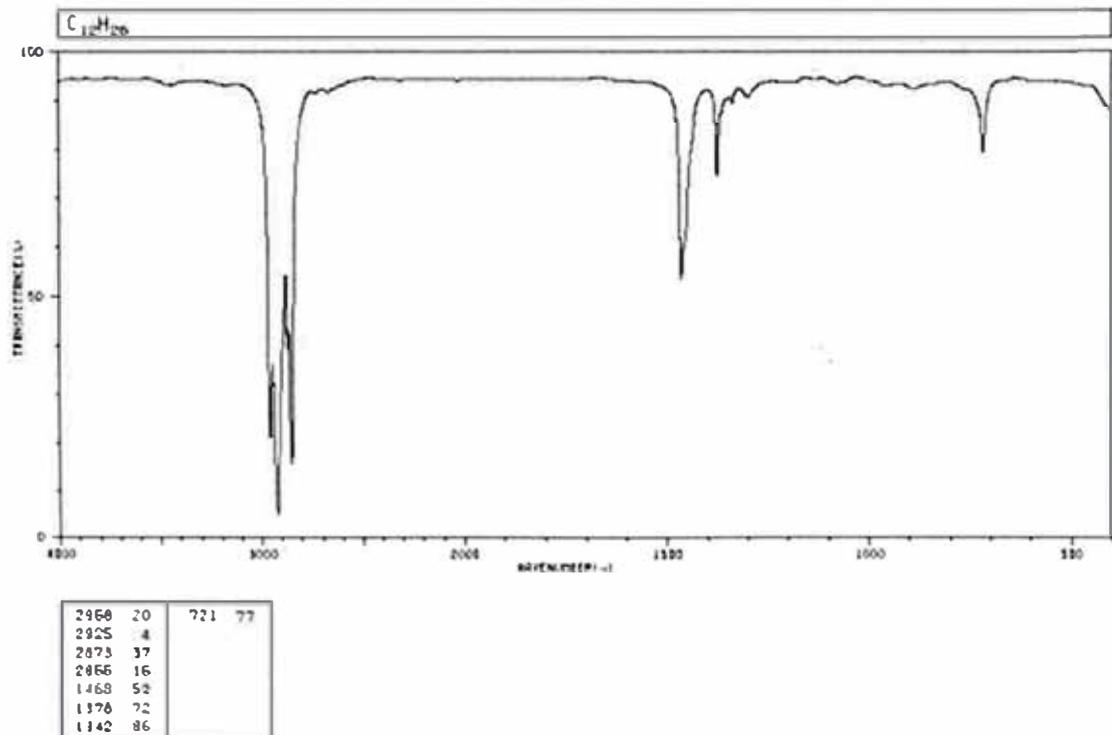
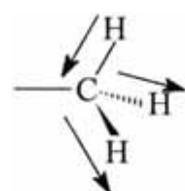
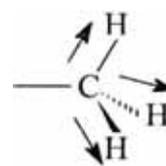


Figura N° 7: Espectro del dodecano $C_{12}H_{26}$



modo asimétrico
dos se estiran y uno
se contrae

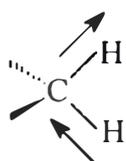
2962 cm^{-1}



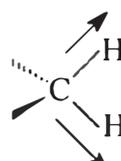
modo simétrico
los tres se estiran
y contraen en fase

2872 cm^{-1}

Figura N°8: Estiramientos asimétrico y simétrico del CH_3



modo asimétrico
2926 cm^{-1}



modo simétrico
2853 cm^{-1}

Figura N°9: Estiramientos asimétrico y simétrico del CH_2

Vibraciones C-H ($\text{Csp}^3\text{-H}$) de deformación:

Todas estas vibraciones aparecen por debajo de los 1500 cm^{-1} . No son útiles en los análisis de los espectros.

Grupo metilo: En estos grupos de tres átomos de hidrógeno iguales, las vibraciones aparecen alrededor de 1450 cm^{-1} para la vibración asimétrica y 1375 cm^{-1} para la simétrica:

Grupos metileno

En los grupos CH_2 o metilenos, están presentes las vibraciones en el plano, Figura N° 11 y fuera del plano de la página, Figura N°12. La forma de representarlos es la que se ve en las imágenes de más abajo.

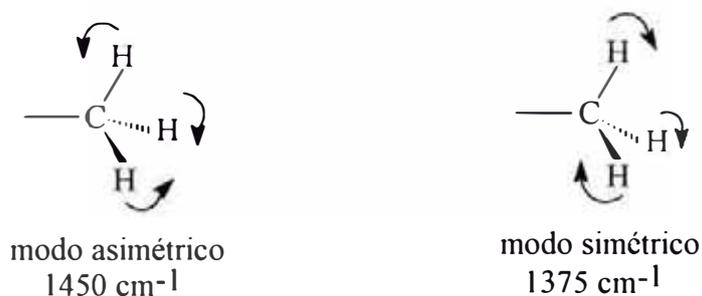


Figura N° 10: Vibraciones de deformación CH_3

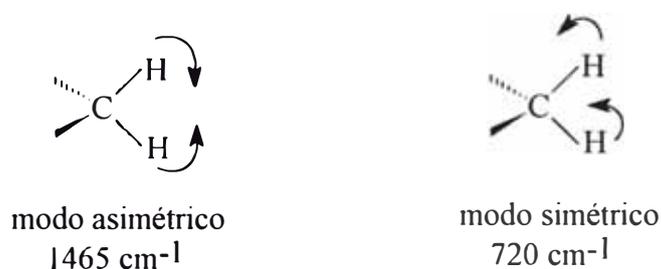


Figura N° 11: Vibraciones en el plano

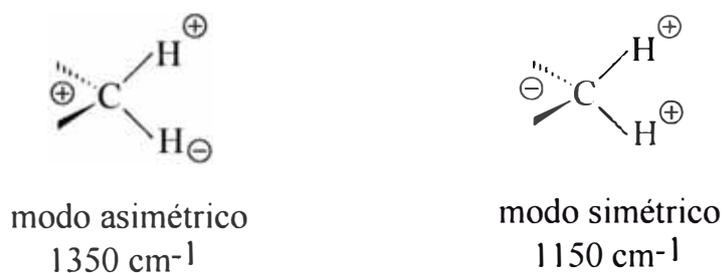


Figura N°12: Vibraciones fuera del plano

En estas figuras, el signo positivo significa sobre el plano y el negativo bajo el plano.

Alcanos ramificados

Las frecuencias de estiramiento y deformación C-H ($\text{Csp}^3\text{-H}$) en los metilos y metilenos de alcanos como los que se muestran a continuación (Figura N°13), ocurren por debajo de los 1500 cm^{-1}



Figura N°13: Alcanos Ramificados

Vibraciones C-H ($\text{Csp}^3\text{-H}$) de estiramiento.

Esta es la banda de estiramiento C-H del grupo metilo, se manifiesta en aproximadamente los 2890 cm^{-1} . Es muy débil y no alcanza a ser notada.

Vibraciones C-H ($\text{Csp}^3\text{-H}$) de deformación.

En el isopropil, aparecen dos bandas muy juntas y muy agudas y de igual intensidad. Una de ellas entre 1385 y 1380 cm^{-1} y la otra entre 1370 y 1365 cm^{-1} . Su apariencia es la de un tenedor de dos dientes. Gráficamente se podría notar en el espectro del 2-metilhexano (figura N° 14).

En el tert-butil aparecen también dos bandas pero de diferente intensidad. Una mediana entre 1395 y 1385 cm^{-1} y la otra intensa en 1370 cm^{-1} . Cuando están presente ambos grupos (iso y ter) en la molécula, es difícil distinguirlas porque se superponen en la misma región de frecuencias. Otro ejemplo por este caso es el espectro del 2,2-dimetilbutano (figura N° 15).

Cuando la ramificación sobre la cadena principal de la molécula está en otra posición entonces no aparece la señal bifurcada que se observaba por debajo de los 1500 cm^{-1} en los espectros de especies químicas con estructura iso o tert.

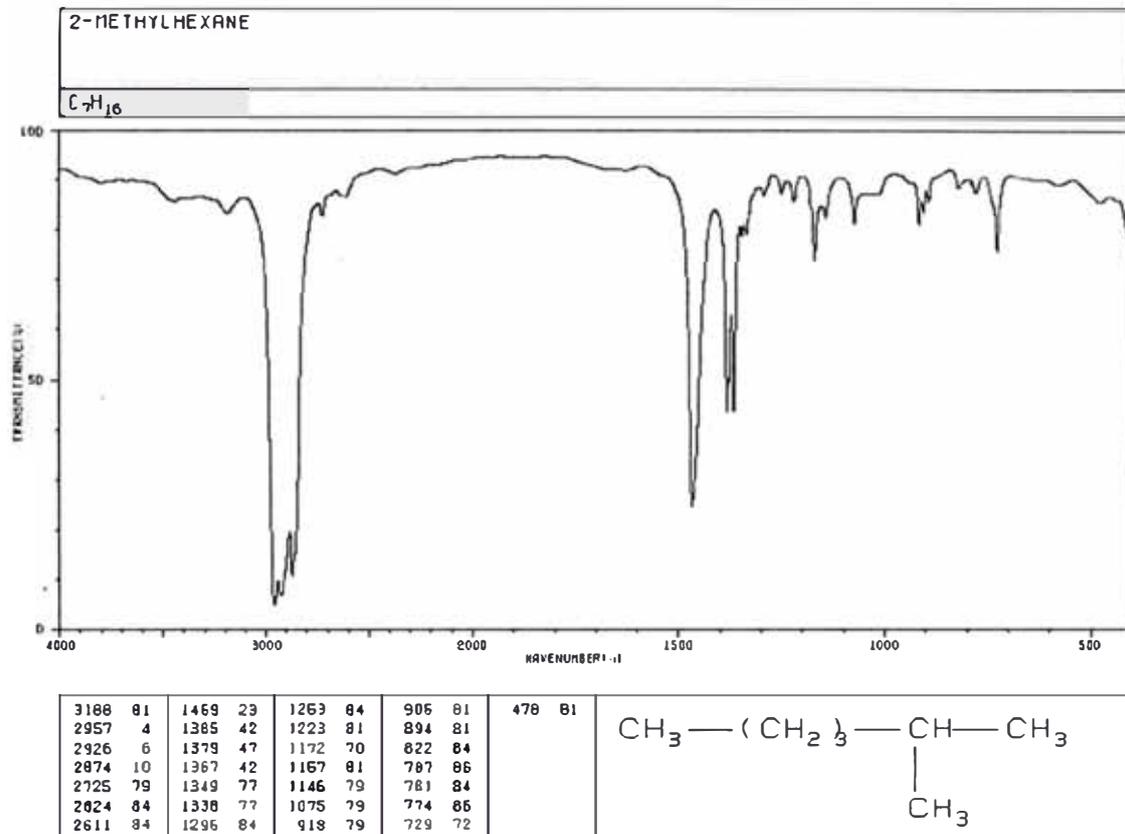


Figura N°14: Espectro del 2-Methylhexane

b) ALQUENOS

En un alqueno es de esperar vibraciones de estiramiento y deformación del tipo C-H (Csp^2 -H) y C=C. Por ejemplo:

Vibraciones de estiramiento C-H (Csp^2 -H)

Estas vibraciones aparecen sobre los 3000 cm^{-1} ya sea de alquenos, aromáticos y hetero-aromáticos.

Vibraciones de deformación C-H (Csp^2 -H)

Están entre los 1000 cm^{-1} y 650 cm^{-1} . Son las bandas más intensas en el espectro de los alquenos.

Cuadro N° 1: Resumen de las más importantes absorciones en los alcanos.

Vibración	Enlace	μm	cm^{-1}	Intensidad	Forma
Estiramiento	C-H (C_{sp^3} -H)	3,5-3,3	2850-3000	intensa	Media estrecha
Tijera CH_2 y CH_3	C- CH_2 con CH_2 o CH_3	6,7-6,8	1450-1470	media	Estrecha
Balanceo de CH_3	C- CH_3	7,25-7,30	1370-1380	baja	Media
Balanceo de cadena de al menos 4 grupos CH_2	-C-(CH_2) $_n$ -C con n mayor o igual a 4,0	13,8	720-725	Depende de la cantidad de grupos (CH_2)	Media
Deformación de enlace C-H en iso-grupos. (Vea nomenclatura de alcanos)	-CH(CH_3) $_2$	7,20 y 7,24	1388 y 1380	media	Medianamente anchas, de aproximadamente igual intensidad.
Deformación del enlace C-H en grupos metilo en carbono terciario.	-C(CH_3) $_3$	7,20 y 7,24	1388 y 1380	media	Media-alta (dos bandas, una menos intensa y otra menor de mayor energía)

Vibraciones de estiramiento C=C

Esta vibración aparece entre los 1670 y 1640 cm^{-1} , es una señal aguda y de baja intensidad. Aparece en sistemas conjugados y no conjugados de dobles enlaces. Sin embargo, a veces no aparece en los alquenos *trans* con grupos alquilo semejantes.

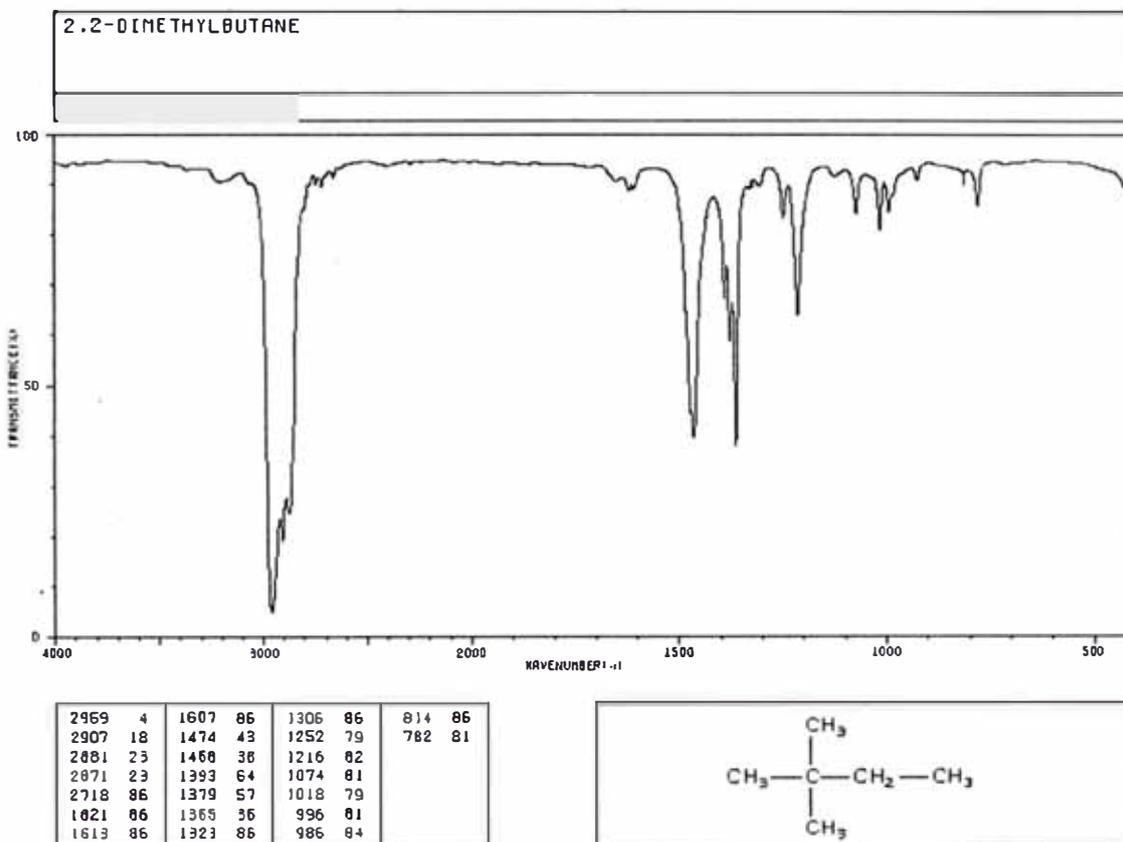


Figura N°15: Espectro del 2,2-dimetilbutano

Como ejemplo se tiene el espectro del 1-penteno (figura N° 16).

El 1-penteno, es un alqueno con la insaturación en el extremo de la cadena. Esta posición de la insaturación posee un aspecto característico en el espectro de estos alquenos: Son dos bandas intensas en 1000 cm^{-1} y 909 cm^{-1} respectivamente. Corresponden a ambos C-H ($\text{Csp}^2\text{-H}$) fuera del plano.

Los alquenos *Cis* y *Trans* también pueden ser distinguidos entre sí al tener sus espectros algunos aspectos característicos. Compare los siguientes espectros de los compuestos *cis*-3-octeno y el *trans*-3-hepteno:

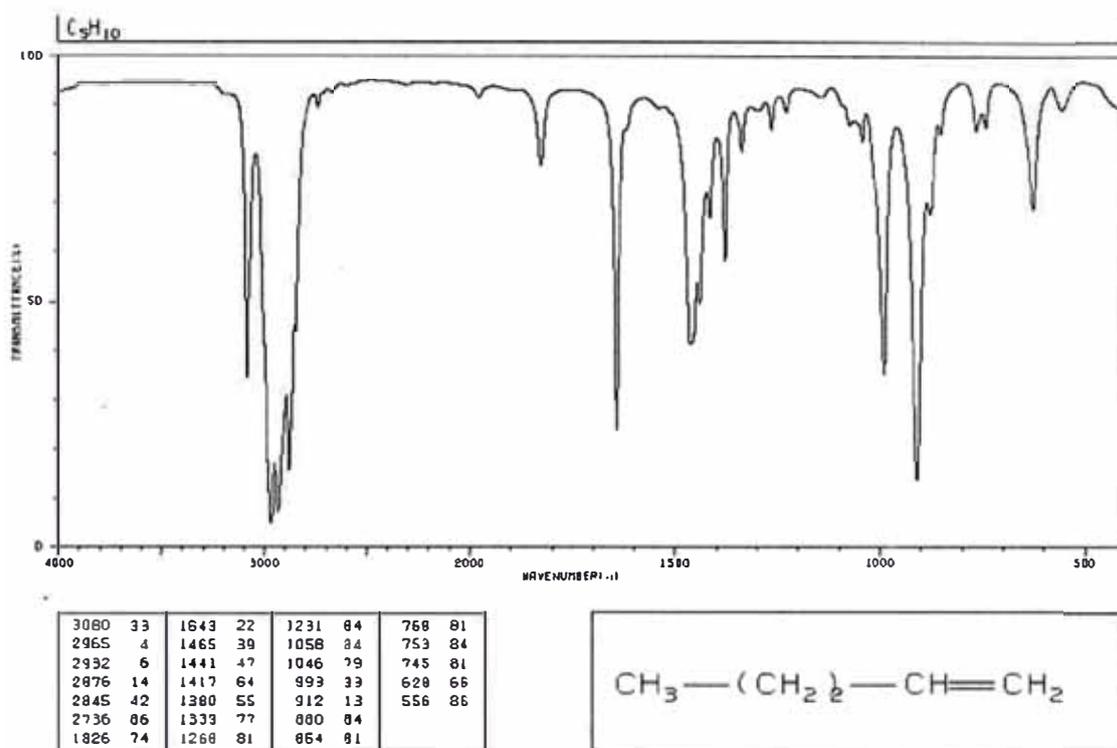


Figura N°16: Espectro del 1-penteno

1°.- El *cis* presenta una absorción pequeña y aguda en la zona de 1640 cm^{-1} ($6,1 \mu\text{m}$) en cambio el *trans* no la presenta o apenas se observa. Esta banda corresponde al estiramiento $\text{C}=\text{C}$. Desaparece completamente cuando los grupos sustituyentes en el doble enlace son iguales o semejantes.

2°.- El compuesto *trans* muestra una banda fuerte en aproximadamente los 960 cm^{-1} ($10,3 \mu\text{m}$) la que corresponde a la vibración de deformación $\text{RC}=\text{CR}'$

3°.- En cambio el compuesto *cis* presenta una absorción media pero extensa entre los 770 y 666 cm^{-1} ($13,0$ hasta $15,0 \mu\text{m}$) aproximadamente.

Cuadro N° 2: Resumen de las más importantes absorciones en los alquenos.

Vibración	Enlace	μm	cm^{-1}	Intensidad
Estiramiento	C-H (C_{sp^2} -H)	3,27-3,17	3050-3150	Media
Estiramiento	C=C	6,1	1640-1670	Débil
Deformación CH ₂ terminal	C-H (C_{sp^2} -H)	15,3-10	650-1000	Media
Deformación C=C terminal	CH ₂ =C	10,0 y 11,0	1000 y 909	Intensas
Deformación CIS	C=C	6,1	1640-1670	Débil
Deformación TRANS	C=C	No hay en 6,1 si es simétrica	1640-1670	Débil
Deformación TRANS	C=C	11,2-11,5	892-870	Fuerte

c) ALQUINOS

En los alquinos se presentan:

Estiramiento C-H ($\text{C}_{\text{sp}}\text{-H}$):

Esta banda aparece entre los 3333 y 3267 cm^{-1} . Es una banda fuerte y muy aguda a diferencia de las que aparecen con los O-H y N-H en la misma región del espectro.

Vibración de estiramiento $\text{C}\equiv\text{C}$

Aparece como banda mediana en los 2140-2100 cm^{-1} , en los alquinos mono-sustituídos y en los 2220 cm^{-1} , en los alquinos disustituídos.

Vibración de deformación C-H ($\text{C}_{\text{sp}}\text{-H}$)

Aparece como una banda fuerte y ancha entre los 700 y 600 cm^{-1} .

Como ejemplo se muestra el espectro del 1-hexino:

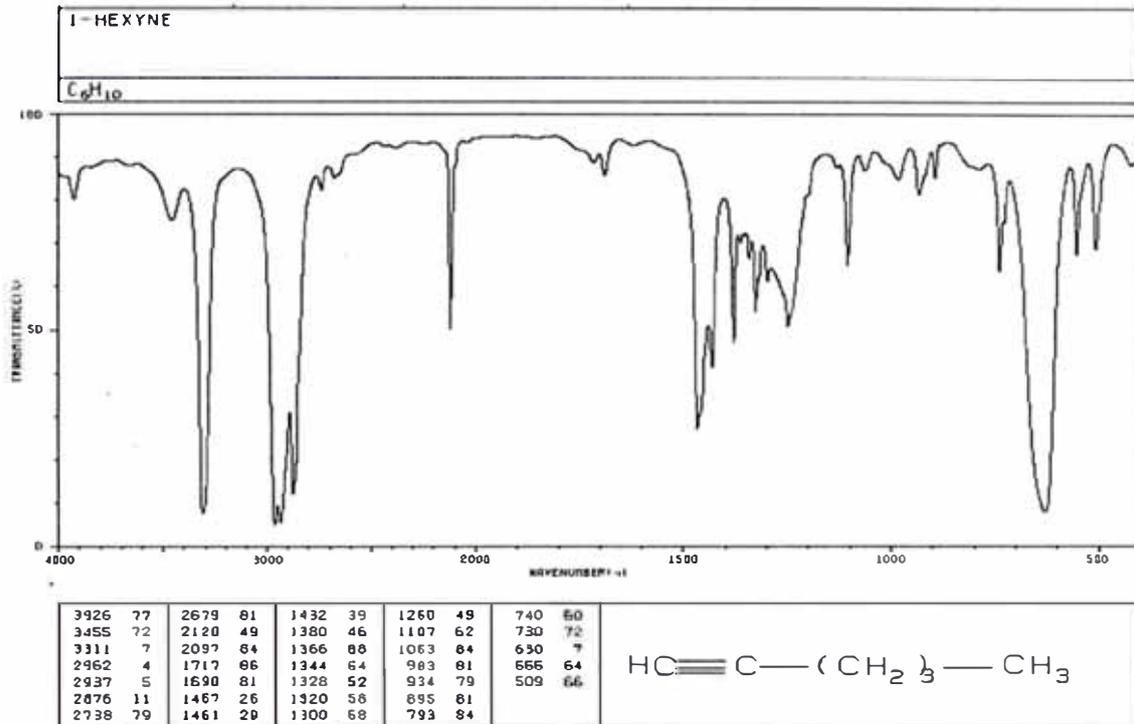


Figura N°17: Espectro del 1-hexino

El espectro del 2-hexino muestra la desaparición de la banda Csp-H.

Cuadro N° 3: Resumen de las más importantes absorciones en los Alquinos.

VIBRACIÓN	ENLACE	μm	cm ⁻¹	Intensidad
Estiramiento terminal	Csp-H	3,0	3300	Fuerte
Deformación	Csp-H	16,6-14,3	600-700	Media
Estiramiento C-C triple enlace terminal.	—C≡C—H	4,7-4,6	2100-2140	Fuerte
Estiramiento C-C triple enlace	R—C≡C—R'	4,5	2220	Media

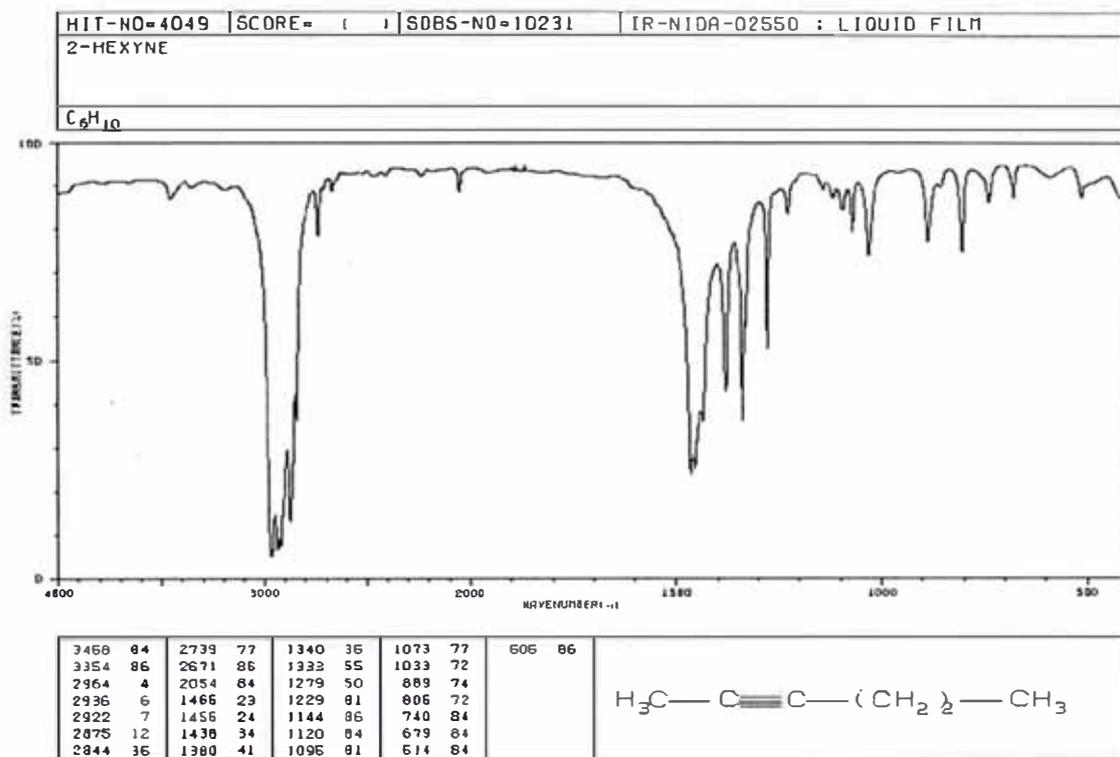


Figura N°18: Espectro del 2-hexino

d) AROMÁTICOS

Vibraciones de estiramiento del enlace C-H (Csp²-H) aromático se manifiestan entre los 3100 y los 3000 cm⁻¹.

Una de las regiones características de los alquinos está entre los 2000 y 1650 cm⁻¹, (5 y 6 μm) que es donde aparecen los sobretonos de las bandas de sustitución. Las vibraciones de estiramiento C-C del esqueleto anular aparece entre 1600 y 1400 cm⁻¹.

Las bandas importantes e informativas de los compuestos aromáticos, se encuentran entre los 900 y 675 cm⁻¹. Corresponden a vibraciones de deformación C-H (Csp²-H) fuera del plano del anillo.

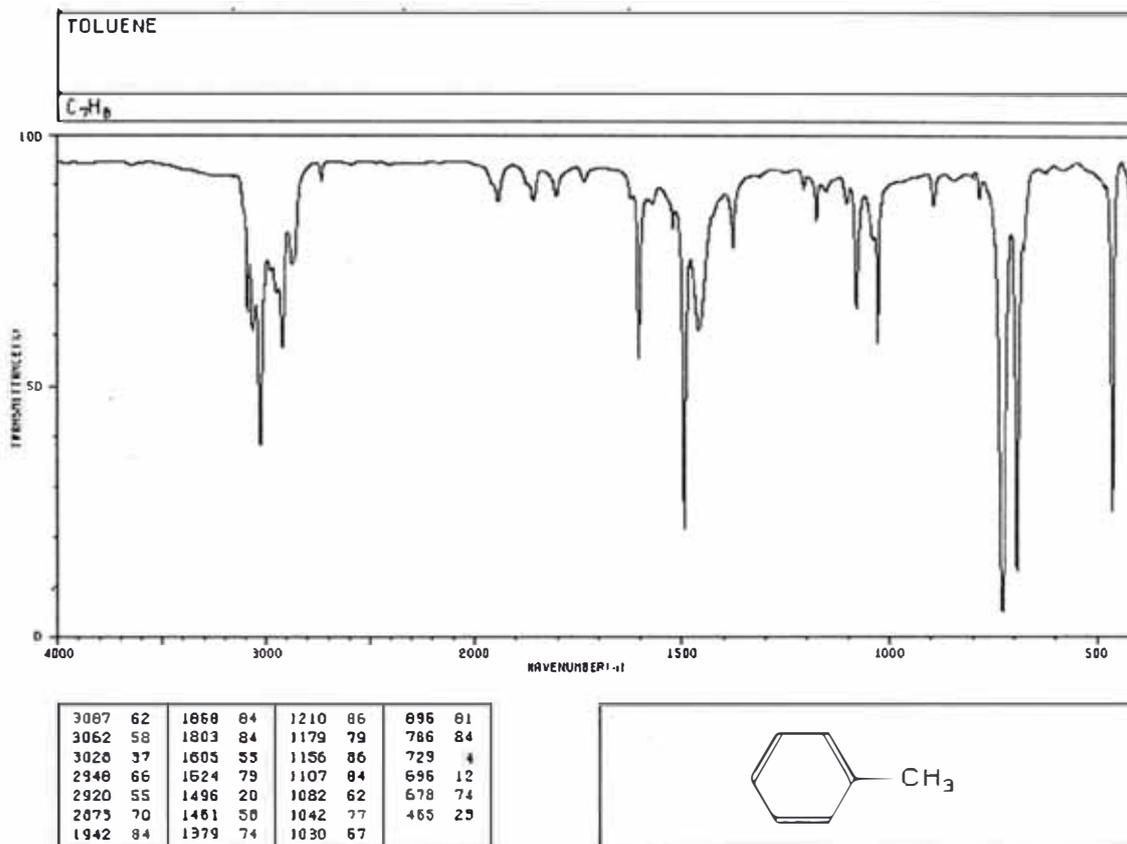


Figura N°19: Espectro del Tolueno

Se puede identificar el tipo de sustitución en los anillos aromáticos observando la región de los 900 hasta 675 cm^{-1} . Con respecto a este caso tenemos las siguientes absorciones características del benceno mono y di-sustituido y los espectros del orto-xileno meta-xileno y para-xileno como ejemplos de benceno disustituido. Como se observa, es perfectamente posible distinguir el tipo de sustitución observando las diferencias que aparecen en la región entre los $830,0\text{ cm}^{-1}$ y los 690 cm^{-1} ($12,0$ y $14,5\text{ }\mu\text{m}$) respectivamente.

En este caso, solo se incluyen las bandas de los aromáticos monosustituidos y disustituidos.

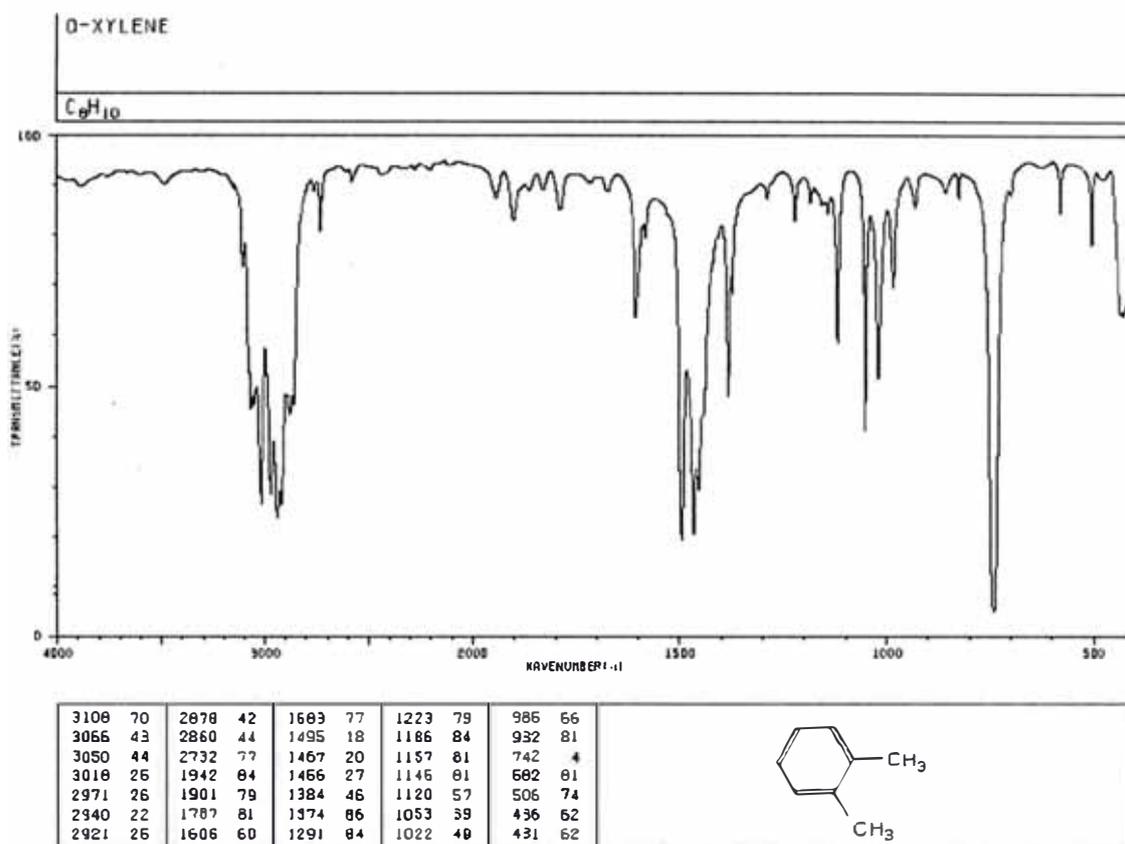


Figura N°20: Espectro del orto-xileno

Cuadro N° 4: Resumen de las más importantes absorciones en los Hidrocarburos Aromáticos (Bencenoides).

a) Monosustituidos

VIBRACIÓN	ENLACE	μm	cm ⁻¹	Intensidad
Estiramiento	C-H (Csp ² -H)	3,3-3,25	3050-3070	Media
Balaneo de CH ₃	C-CH ₃	7,25-7,30	1370-1380	Media
Deformación del anillo	C-H (Csp ² -H)	13,5 y 14,0	740 y 715	Débil

b) Disustituidos

VIBRACIÓN	ENLACE	μm	cm ⁻¹	Intensidad
ORTO	C-H (Csp ² -H)	13,5	740	Fuerte
META	C-H (Csp ² -H)	13,5-14,5	740-690	Fuerte y fuerte
PARA	C-H (Csp ² -H)	12,5	800	Media

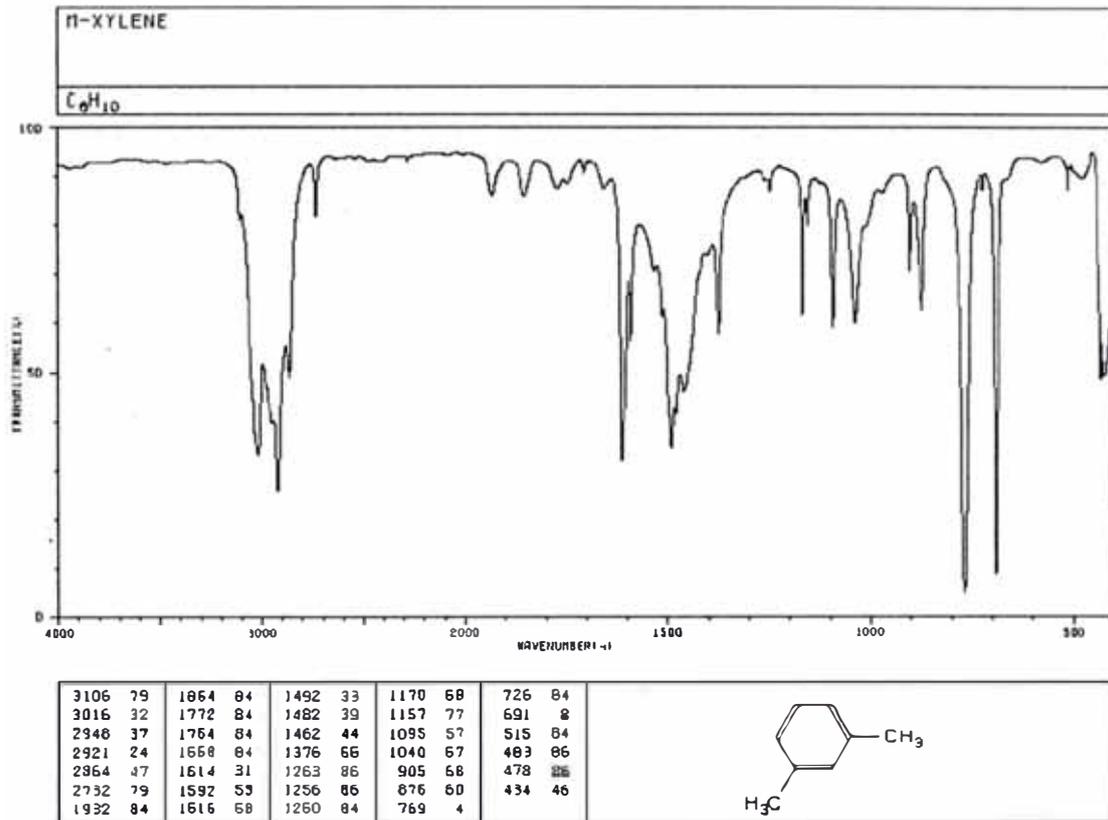


Figura N°21: Espectro del meta-xileno

2.2.- ACEITE LUBRICANTE

Los aceites lubricantes son toda sustancia líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintética que permite separar dos superficies en movimiento relativo, reduciendo el desgaste, refrigerando, eliminando contaminantes y protegiendo las piezas del motor por desgaste.

Un lubricante es una sustancia que se interpone entre dos superficies (una de las cuales o ambas se encuentran en movimiento), a fin de disminuir la fricción y el desgaste. Los aceites lubricantes en general están conformados por un Aceite Base más Aditivos. Las bases lubricantes determinan las propiedades del lubricante, tales como viscosidad, color, etc.

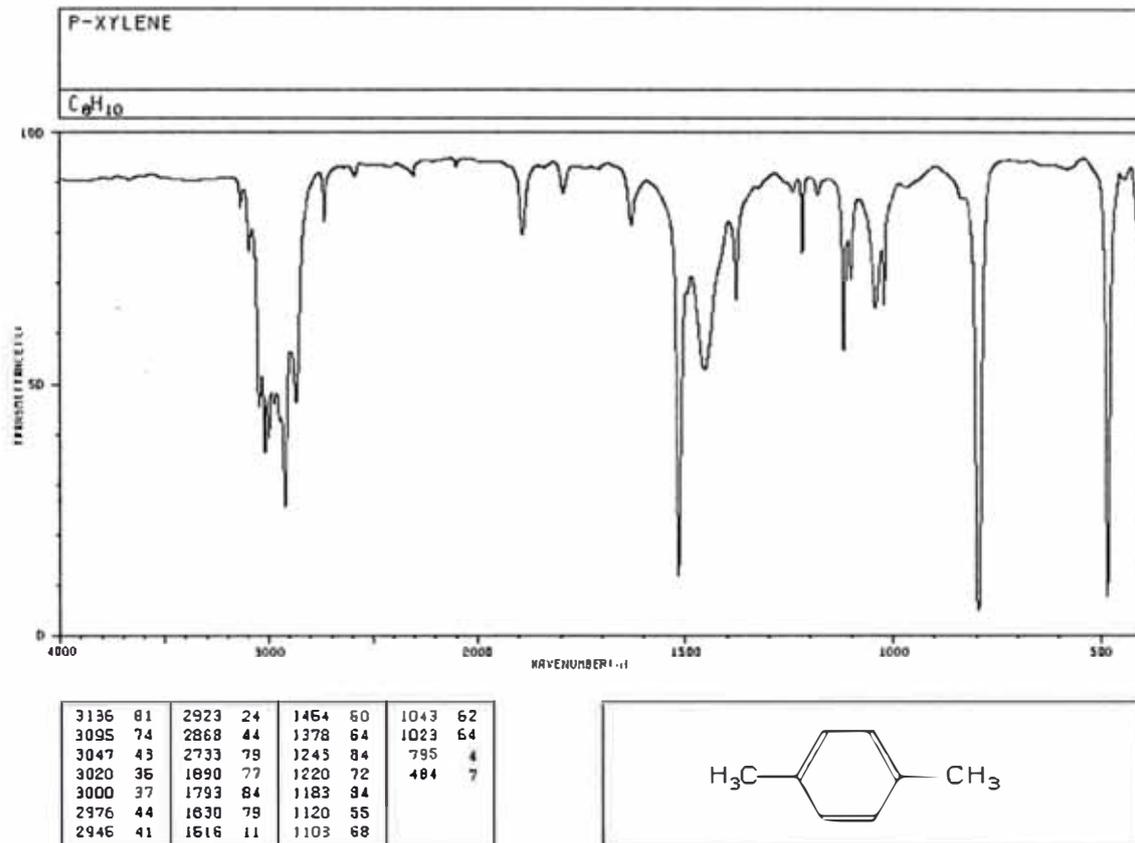


Figura N°22: Espectro del para-xileno

Los aditivos, los cuales adecuadamente mezclados brindan las propiedades y calidad de cada aceite lubricante cumpliendo las especificaciones del fabricante del motor. Los aditivos tienen la función de mejorar las propiedades físicas y químicas de los lubricantes de tal manera extender la vida del motor y el periodo del cambio del lubricante.

2.3.- FUNCION DE LOS LUBRICANTES

La función principal es disminuir el rozamiento entre los materiales, pero además deben desempeñar otras funciones, para asegurar un correcto

funcionamiento del motor, manteniendo en buenas condiciones durante mucho tiempo. Entre estas funciones, cabe destacar las siguientes:

- **Lubricar:**

Minimiza el desgaste de los componentes, se reduce el ruido, se aprovecha mejor la transmisión de fuerza ahorrando energía y combustible.

- **Evitar el desgaste por frotamiento**

- **Ahorrar energía:**

Evitando que se pierda en rozamientos inútiles que se oponen al movimiento, y generan calor.

- **Refrigerar:**

El aceite lubricante contribuye a mantener el equilibrio térmico de la máquina, disipando el calor que se produce en la misma como consecuencia de la fricción, combustión, etc. Esta función es especialmente importante después de lubricar, en aquellos casos en que no exista un sistema de refrigeración, ó éste no tenga acceso a determinados componentes de la máquina, que únicamente puede eliminar calor a través del aceite. En general, se puede decir que el aceite elimina entre un 10% y un 25% del calor total generado en la máquina.

- **Eliminación de impurezas:**

En los motores y equipos lubricados se producen impurezas de todo tipo; algunas por el propio proceso de funcionamiento (como la combustión en los motores), partículas procedentes de desgaste o corrosión y contaminaciones exteriores (polvo, agua, etc.). El lubricante debe eliminar por circulación estas impurezas, siendo capaz de mantenerlas en suspensión y

llevarlas hasta los filtros. Esta acción es fundamental para conseguir que las partículas existentes no se depositen en los componentes del equipo y no aceleren un desgaste en cadena, puedan atascar conductos de lubricación o producir consecuencias graves en las partes mecánicas lubricadas.

- **Anticorrosivo y antidesgaste:**

Los aceites lubricantes tienen propiedades anticorrosivas, reductoras de la fricción y el antidesgaste, que pueden incrementarse con aditivos específicos para prevenir la corrosión de diversos tipos de metales y aleaciones que conforman las piezas y estructuras de equipos o elementos mecánicos.

- **Sellante:**

El lubricante tiene la misión de sellar en aquellas zonas en donde puedan existir fugas de otros líquidos o gases que contaminan el aceite y reducen el rendimiento del motor. La cámara de combustión en los motores de combustión interna y los émbolos en los amortiguadores hidráulicos son dos ejemplos donde un lubricante debe cumplir esta función.

- **Transmisor de energía:**

Es una función típica de los fluidos hidráulicos en los que el lubricante además de las funciones anteriores, transmite energía de un punto a otro del sistema.

2.4.- TIPOS DE ACEITES LUBRICANTES SEGÚN SU BASE LUBRICANTE

Es el componente más importante del aceite, que define su viscosidad y le da las propiedades fisicoquímicas importantes al aceite, como las de: demulsibilidad, antidesgaste, antiespumante, antioxidante, índice de viscosidad, biodegradabilidad y toxicidad entre otras. Mientras los aditivos realicen su

función, la base lubricante no se deteriora si no se contamina, pero cuando estos se agotan, la base lubricante se empieza a degradar, iniciándose el proceso que se conoce como oxidación del aceite en el cual se forman lacas, barnices y gomas ácidas, que conducen a que finalmente el aceite se torne ácido y es necesario cambiarlo.

La base lubricante puede ser derivada del petróleo, vegetal o sintética. La utilización de uno u otro tipo de base lubricante depende de las condiciones de operación del equipo o maquina.

Aunque las bases lubricantes vegetales y animales se usan en algunos productos, son las bases lubricantes minerales y sintéticos las que más se encuentran en el mercado por su mayor disponibilidad y propiedades inherentes. Dentro de las bases lubricantes minerales se encuentra gran cantidad de diferencias y tipos. Estas se agrupan en tres tipos que son:

2.4.1.- PARAFÍNICOS:

Contienen porcentajes de hidrocarburos parafínicos del 75% o mayores. Se caracterizan por la cadena C_nH_{2n+2} . Son relativamente estables a altas temperaturas, pero por el alto contenido de parafina que poseen, es inestable a bajas temperaturas. Cuando la disposición es lineal, es equivalente a las parafinas de cadena recta, que poseen excelentes propiedades de combustión y un elevado índice de cetano, por lo que se les prefiere en la elaboración de gas oil, kerosene. Cuando existen ramificaciones, es equivalente a las isoparafinas, las cuales presentan índices elevados de octano y son preferidas en las gasolinas, particularmente en las de aviación.

Este tipo de bases son las más empleadas en la fabricación de aceites lubricantes, tanto de tipo industrial como automotor, por las excelentes propiedades que poseen.

Algunas de sus características son:

- Resistencia a la oxidación
- Alto punto de inflamación
- Baja densidad
- Alto punto de fluidez
- Bajo poder disolvente

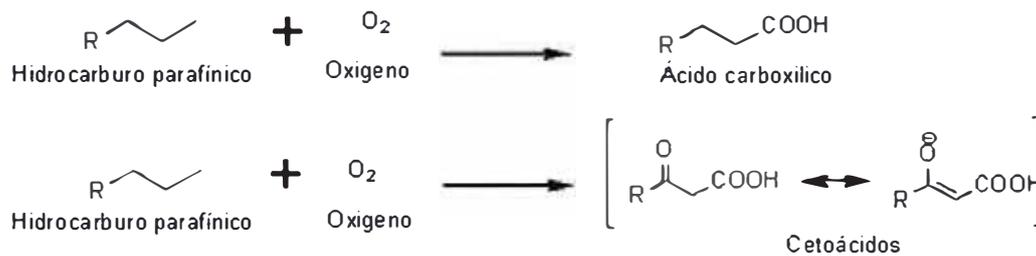


Figura N°23: Reacción de un Hidrocarburo Parafínico

2.4.2.- NAFTÉNICAS:

Contienen porcentajes de hidrocarburos nafténicos del 70% o mayores. Se caracterizan por la fórmula C_nH_{2n} y frecuentemente poseen una elevada proporción de asfalto. A altas temperaturas son menos estables que las parafinas, contienen una mínima cantidad de parafina; por lo tanto no forman ceras a bajas temperaturas y permanecen en estado líquido. Las moléculas forman ciclos de cinco y de seis átomos.

Cuadro N° 5: Propiedades Físicoquímicas de un Aceite Base Parafínica

PRODUCTO:	BASE PARAFINICA LIVIANA (BP - 22)
GRADO:	Base Lubricante Parafínica
REFERENCIA:	NTC 1840 (Norma Técnica Colombiana)

CARACTERISTICAS	UNIDADES	METODOS	MINIMO	MAXIMO
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	ASTM D 130		1
Índice de viscosidad		ASTM D 2270	95	
Viscosidad cinemática a 100°C	mm ² /s	ASTM D 445	4.3	5
Color ASTM	Clasificación	ASTM D 1500		1.5
Punto de fluidez	°C	ASTM D 97		0
Punto de inflamación	°C	ASTM D 92	200	
Contenido de agua y sedimento	mL/100mL	ASTM D 1796		5
Tiempo de separación de la emulsión	min	ASTM D 1401		15
Volatilidad a 371 °C	g/100g	ASTM D 2887		15

Las bases naftenicas con un índice de viscosidad (40-75) se emplean en la fabricación de aceites minerales blancos y de transformadores. Estos son mas compatibles con ciertos aditivos, como los emulsificantes, lo cual las hace ideales en la formulación de los aceites para maquinado de metales.

Algunas de sus características son:

- Bajo punto de fluidez.
- Inestabilidad química.
- Bajo índice de viscosidad.
- Tendencia a la oxidación.

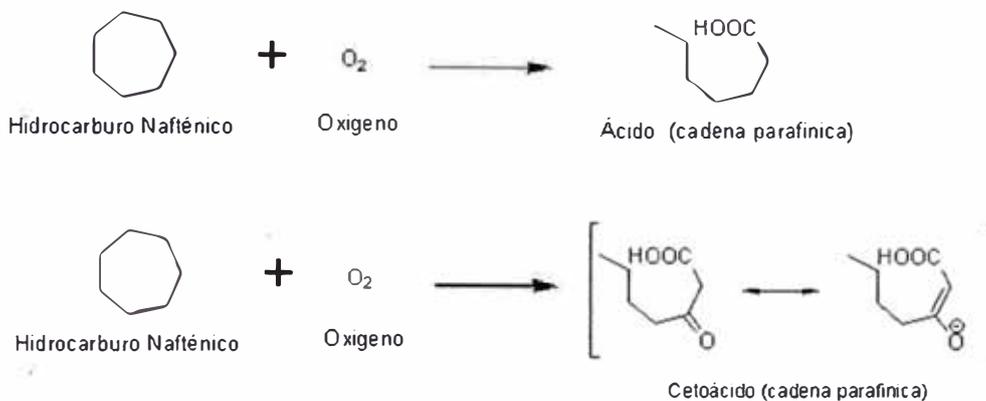


Figura N°24.- Reacción de un Hidrocarburo Nafténico

Cuadro N° 6: Propiedades Físicoquímicas de un Aceite Base Nafténica

PRODUCTO:	L 750
GRADO:	Base Lubricante Nafténica

CARACTERISTICAS	UNIDADES	METODOS	RESULTADO
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	ASTM D 445	145.3
Viscosidad cinemática a 100°C	mm ² /s	ASTM D 445	11.21
API Gravedad Especifica 60°F	g/cm ³	ASTM D 4052	22.4
Color ASTM	Clasificación	ASTM D 1500	2
Punto de fluidez	°C	ASTM D 97	-27
Punto de inflamación	°C	ASTM D 92	214
Punto de Anilina	mL/100mL	ASTM D 611	90.4
Azufre total	wt%	ASTM D 4294	0.0608

2.4.3.- AROMÁTICAS:

Las bases aromáticas son cadenas no saturadas y está constituida por ciclos de doble ligadura, parecidas a las del benceno. Estas bases no se utilizan en la fabricación de aceites lubricantes, debido a que no presentan prácticamente ninguna característica que cumpla para su implementación. Su viscosidad disminuye rápidamente con la temperatura y presentan tendencia a la formación de gomas a altas temperaturas. Algunas de sus características son:

- Elevada densidad
- Inestabilidad química
- Tendencia a la oxidación
- Bajo punto de infamación

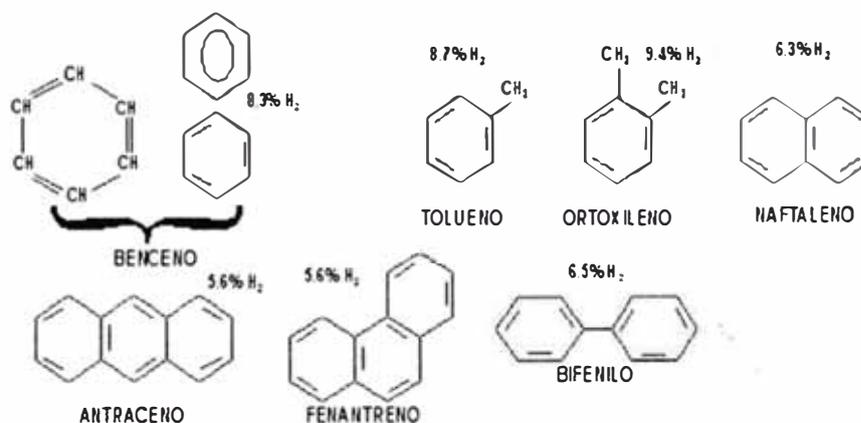


Figura N°25.- Compuestos Aromáticos

2.4.4.- LUBRICANTES SINTÉTICOS:

Un lubricante sintético se puede definir como un producto elaborado a partir de una reacción química entre varios materiales de bajo peso molecular para obtener otro de alto peso molecular con ciertas propiedades específicas superiores a los lubricantes derivados directamente del petróleo.

Cuadro N° 7: Propiedades de Aceites Bases para Lubricantes

Propiedad	Método ASTM	Aceite Parafínico	Aceite Nafténico	Aceite Aromatico
Viscosidad(cst) @ 40°C	D 445	40	40	35
Viscosidad(cst) @ 100°C	D 445	6.2	5	4
Índice de Viscosidad	D 2270	101	2	-184
Densidad Relativa	D 287	0.8628	0.9194	0.9826
Punto de Inflamación °C	D 92	229	174	160
Punto de Goteo °C	D 97	-15	-30	-24
% Parafínicos	D 3238	66 %	45 %	23 %
% Nafténicos	D 3238	32 %	41 %	36 %
% Aromáticos	D 3238	2 %	14 %	41 %

Los lubricantes sintéticos ameritan su utilización cuando se quieren ampliar las frecuencias entre cambios de aceite, reducir el consumo de potencia, disminuir la reposición de partes (repuestos) y alcanzar la máxima capacidad productiva de la maquinaria. Antes de utilizar estos lubricantes, es necesario analizar minuciosamente la conveniencia de su empleo porque son más costosos que los derivados del petróleo. El mayor costo se debe a la serie de procesos químicos adicionales a los cuales es necesario someter la base primaria para obtener el lubricante sintético deseado.

Las principales clases de material sintético usado para mezclar en el lubricante son:

- Oligómeros de olefina: Automotriz e Industrial
- Esterol dibásico: Aviación y Automotriz
- Polioles de esterol Aviación y Automotriz
- Alquiltos: Automotriz e Industrial
- Polialquilenos: Industrial
- Fosfato-Esterol: Industrial

- Polialfoleinas: Son las bases sintéticas más usadas, tienen buena estabilidad térmica, pero requieren antioxidantes, y tienen capacidad limitada para disolver algunos aditivos.
- Esterol dibásico: Tienen buena estabilidad térmica y excelente solvencia. Fluyen limpiamente y tienden a disolver barniz y sedimentos, no dejan depósitos. Deben proveerse de aditivos selectos para evitar la hidrólisis y proveer una estabilidad de oxidación.
- Polioles de esterol: Tienen estabilidad térmica excelente y resisten la hidrólisis.
- Alquilatados: Tienen buenas propiedades a baja temperaturas y son muy solubles con los aditivos.
- Glicoles polialquilenos: Tienen buena estabilidad a altas temperaturas y altos índices de viscosidad, pueden usarse en rangos amplios de temperaturas.
- Fosfato-esterol: Tienen estabilidad térmica, con índice de viscosidad bajas que limita sus capacidades a altas temperaturas.

2.5.- ADITIVOS LUBRICANTES

Los aditivos son sustancias químicas que se añaden en pequeñas cantidades a los aceites lubricantes para proporcionar o incrementar las propiedades fisicoquímicas, o para suprimir o reducir otras que le son perjudiciales al aceite lubricante para su efectiva aplicación, disminuyendo la velocidad a la cual ocurren ciertas reacciones, como por ejemplo la oxidación y protegiendo la superficie lubricada de la agresión de ciertos contaminantes.

La cantidad de aditivos utilizada en un aceite varía desde el 0.01% hasta 30% o más. Adicionalmente a los efectos beneficiosos que producen.

Cuadro N° 8: Propiedades físico-químicas de los lubricantes sintéticos vs los minerales

Nº	Propiedad	TIPOS DE ACEITE										
		Mineral	PAO	PAG	ARAL	FLUC	SILIC	ESTERES				
								ADI	AFO	POL	SIL	POLE
1	Propiedades Lubricantes	B	B	B	B	E	M	MB	E	E	M	MB
2	Viscosidad Temperatura	M	B	B	M	M	E	E	P	P	E	MB
3	Estabilidad Térmica	M	M	B	M	MB	MB	B	M	E	B	B
4	Resistencia al Fuego	P	P	M	P	E	M	M	E	M	M	M
5	Estabilidad a la Oxidación (con inhibidor)	M	MB	P	M	E	MB	MB	B	MB	MB	M
6	Fluidez a bajas temperaturas	P	B	B	B	B	B	B	M	P	B	B
7	Propiedad Antiherrumbre (con inhibidor)	E	E	B	E	-	B	M	M	-	-	M
8	Estabilidad a la hidrólisis	E	E	B	E	MB	B	M	M	E	P	M
9	Volatilidad	M	B	B	B	M	B	E	B	B	B	E
10	Solubilidad con Aditivos	E	B	M	E	-	P	MB	B	-		MB
11	Compatibilidad con pinturas y barnices	E	E	M	E	B	B	B	P	M	M	M
12	Compatibilidad con aceites minerales	-	E	P	E	P	P	B	M	B	M	M
13	Costo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Muy alto	Alto	Medio	Medio	Muy alto	Alto	Medio

(1) PAO: Polialfaolefina (2) PAG: Polialkilenglicol (3) ARAL: Aromáticos Alquilatados (4) FLUC:

Fluorocarbonos (5) SILIC: Siliconas (6) ADI: Esteres de ácidos dibásicos (7) AFO: Esteres de ácido fosfórico (8) POL: Esteres de polifenil (9) SIL: Esteres de silicato (10) POLE: Poliésteres.

Nomenclatura: F:Fuerte; Excelente; MB:Muy Buena; B: Buena; M: Moderada; L: Ligera; P: Pobre; N: Ninguna

Los aditivos pueden tener efectos laterales perjudiciales, especialmente si la dosis es excesiva o si ocurren reacciones entre ellos.

La calidad de un lubricante depende no solo del tipo de base lubricante y de los procesos de refinación, sino también de la calidad y tipo de aditivos utilizados.

Los aditivos pueden cambiar las propiedades físicas o químicas de las bases lubricantes:

Propiedades Físicas: son las características propias de una sustancia que se observan en ausencia de cualquier cambio de composición. El color, olor, sabor, estado físico (sólido, líquido o gaseoso), densidad, punto de ebullición, punto de fusión, la conductividad térmica o eléctrica, son propiedades físicas. Estas propiedades también pueden ser **extensivas** las cuales dependen de la cantidad de sustancia presente: masa, volumen, etc; y las **intensivas** que no dependen de la cantidad de sustancia presente: temperatura, densidad, color, etc.

Propiedades Químicas: son las que exhibe la materia cuando experimenta cambios en su composición, ya sea transformándose en una sustancia nueva por descomposición o por reacción con otras especies. Por ejemplo: descomposición por efecto del calor, reacción con un ácido, combustión, etc.

2.5.1.- ADITIVOS MODIFICADORES DE PROPIEDADES FÍSICAS:

a) Aditivos Mejoradores del Índice de Viscosidad.

La finalidad de los mejoradores de índice de viscosidad (IV) es la de obtener un producto que lubrique con una viscosidad que permanezca inalterable con los cambios de temperatura.

Se utilizan polímeros de alto peso molecular de cadena larga, los cuales, cuando el aceite está frío se enrollan y su efecto sobre la viscosidad es mínimo. Pero cuando el aceite está caliente, tiende a desenrollarse y la relación entre estas largas moléculas y el aceite producen un efecto de espesamiento proporcional al incremento de la temperatura.

Los más utilizados son los polisobutilenos, los copolímeros de alquil metacrilato, los copolímeros de olefinas, los polimetacrilatos y los copolímeros de isopreno y estireno.

b) Mejoradores del Punto de Fluidéz y congelación.

Los mismos aditivos mejoradores o elevadores del índice de viscosidad se emplean para favorecer el punto de congelación y en consecuencia, el de fluidéz. Se aplican principalmente a los aceites parafínicos, ya que la parafina por su elevado punto de congelación es la principal productora de la falta de fluidéz de los aceites, formando aglomeraciones y solidificaciones al descender la temperatura.

Los tipos de depresores más utilizados son los polímeros y los copolímeros de alquil metacrilato y alfaolefinas, poliacrilamidas, copolímeros de vinil carboxilato-dialquil fumaratos y los poliestirenos alquilados. Estos compuestos no reducen la cantidad de material parafínico que cristaliza, sino que modifica la estructura cristalina por absorción y co-cristalización, reduciendo así la oclusión del aceite por el cristal.

2.5.2.- ADITIVOS MODIFICADORES DE PROPIEDADES QUÍMICAS

a) Inhibidores de la oxidación.

La oxidación es una reacción química que ocurre en el aceite y que puede ser más o menos severa, dependiendo de factores tales como el oxígeno del aire, temperatura de operación, humedad y catalizadores como el cobre.

La oxidación se debe controlar porque da lugar a que el aceite se enturbie, aumente viscosidad y forme gomas, lodos, barnices que pueden obstruir los conductos de lubricación, dando lugar a fallas y como consecuencia hacer reparaciones costosas. A altas temperaturas es necesario que el aceite posea aditivos o inhibidores que retarden su oxidación. Las sustancias que se emplean tienen más afinidad por el oxígeno que por las parafinas y por tanto, lo retienen, prolongando así la oxidación.

Las sustancias más utilizadas como inhibidores de corrosión de la oxidación son el ditiófosfato y el dialquilditiófosfato de zinc, compuestos orgánicos de azufre, fósforo y nitrógeno, como las aminas, los sulfitos, los hidroxisulfitos y los fenoles. Para altas temperaturas, los inhibidores más utilizados son los ditiófosfatos de zinc y para temperaturas normales los fenoles.

b) Inhibidores de la Corrosión

El término inhibidores de corrosión se aplica a los productos que protegen los metales no ferrosos, susceptibles a la corrosión, causada por los contaminantes ácidos presentes en el lubricante.

Los 2 tipos de corrosión más importantes son:

- Por ácidos orgánicos generados por el mismo aceite.
- Por contaminantes presentes en el aceite.

Como inhibidores de corrosión se utilizan los ditiolfosfatos de zinc, los ditiocarbonatos metálicos, los terpenos sulfurados, los terpenos fosfosulfurizados, los sulfonatos básicos de metales y el ester del ácido estilfosforico. Estos materiales reaccionan químicamente con la superficie metálica, formando una película protectora.

c) Inhibidores de la herrumbre

Se emplean para proteger las superficies ferrosas (hierro y acero) contra la formación de óxidos, cuando están expuestas al aire húmedo o al contacto con el agua. Prácticamente todos los mecanismos que trabajen recubiertos, como es el caso de los engranajes de un reductor de velocidad, están expuestos a este contaminante, ya sea que provenga de una fuente exterior o de la condensación del agua presente en el aire atmosférico, principalmente cuando el equipo trabaja sometido a ciclos de arranque y parada con mucha frecuencia.

Los aditivos contra la herrumbre o aditivos antiherrumbre son compuestos polares que desplaza que desplaza la humedad que puede estar presentes sobre las superficies metálicas causadas por fenómenos de absorción que hacen que sus moléculas queden fuertemente adheridas al metal, separadoras del aceite. Estos inhibidores están compuestos de sulfonatos, aminas, ácidos grasos, fosfatos y ésteres.

d) Antiemulsionantes

Se utiliza para separar el agua del aceite cuando este contaminante esta presente. Normalmente la presencia de agua puede ser consecuencia de la condensación de la humedad en el sistema, debido a los cambios de temperatura (entre el día y la noche) o como resultado de arranque y paradas frecuentes del equipo. En otros equipos, como en las turbinas de vapor, el agua puede tener su origen en el vapor condensado que pasa a través de los sellos hasta las chumaceras en donde contamina al aceite.

El agua mezclada con el aceite, forma emulsiones indeseables porque ambos retienen suciedades, dando lugar a la corrosión, disminuyendo la capacidad lubricante del aceite y producen sedimentos altamente peligrosos, que pueden ser solubles o insolubles en el aceite. Los solubles permanecen disueltos en el aceite, en donde se precipitan en forma de lodos, formando películas aislantes que impiden que el aceite se enfríe adecuadamente, dando lugar a la oxidación prematura del mismo. Los insolubles se depositan en todo el sistema, llegando en casos extremos a obstruir parcial o totalmente la tubería de circulación de aceite. Para evitar esta serie de problemas, se requiere que el aceite tenga una buena demulsibilidad para que se separe rápidamente del agua.

2.5.3.-ADITIVOS MODIFICADORES DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**a) Aditivos Detergentes-Dispersantes.**

La formación de depósitos (barnices y lodos) en un motor puede reducirse mediante el uso de inhibidores de oxidación y aditivos detergentes. En aquellos casos en que la oxidación del aceite es la

principal fuente de depósitos en motores Diesel y servicio severo en motores a gasolina, el uso de antioxidantes reduce eficazmente la deposición.

Los mayores causantes de formación de depósitos son hidrocarburos altamente reactivos, como las diolefinas. Las gasolinas de craqueo catalítico contienen cantidades relativamente grandes de estos materiales reactivos. Compuestos de oxígeno, nitrógeno y azufre, que se concentran en las fracciones más pesadas de estas gasolinas, también contribuyen a la formación de lacas y barnices.

b) Aditivos Antiespumantes.

La presencia de partículas extrañas en el aceite tales como gases, con temperaturas inferiores de los 100°C, producen lo que los aceites minerales puros de por sí no pueden cortar la formación de espumas debido al gran espesor que les da la película lubricante. Estas burbujas o espumas permanentes, producen el paso del aceite por los conductos, tal como ocurre en los mecanismos con mandos hidráulicos. Los aditivos antiespumantes tienen la misión de evitar estas burbujas y en la mayor parte de los casos actúan adelgazando la envoltura de la burbuja del aire, hasta su rotura modificando tensiones superficiales e interfaciales de la masa de aceite.

c) Antidesgaste

Se utilizan para reducir la fricción, el desgaste adhesivo y la picadura en condiciones de lubricación de película delgada, las cuales ocurren cuando las películas lubricantes no pueden ser formadas o mantenidas. Debido a que la película lubricante de aceite se vuelve cada vez más delgadas por el incremento de la carga y la temperatura. Los contactos metálicos ocurren a través de la película de aceite entre las

irregularidades de las superficies del circuito de lubricación, a medida que estos contactos se incrementan, aparecen los desprendimientos de metal, las picaduras y por ultimo pueden ocurrir el soldamiento o unión de las partes.

Los aditivos antidesgaste son sustancias polares tales como los ácidos grasos y los esteres. Tienen largas cadenas, las cuales forman una película sobre las superficies metálicas con los extremos polares de las moléculas adheridas al metal y a las moléculas próximas a las superficies. El contacto sucede entonces entre las capas que se han formado adheridas a las superficies. De esta manera, la fricción se reduce y las superficies se mueven independientemente la una de la otra.

d) Aditivos de Extrema presión.

Para los aceites de equipos mecánicos sometidos a muy altas presiones, se emplean los aditivos EP: (Extrema presión), que disminuyen el desgaste de las superficies metálicas de deslizamiento, favoreciendo la adherencia del lubricante. Estos aditivos, reaccionan químicamente y forman capas que se reconstruyen constantemente en los sitios de altas presiones por efectos de la fricción. De esta manera impiden el contacto metal-metal, evitando los rompimientos o soldaduras de los mismos. Estos aditivos no siempre están exentos de producir ligeras corrosiones, debido a la acción química que ejercen. Se consiguen muy buenas propiedades por la combinación de compuestos orgánicos y antimonio, molibdeno, azufre, fósforo y arsénico o bien por combinaciones de los primeros entre sí.

2.6.-IMPORTANCIA DE LA VISCOSIDAD EN LOS ACEITES LUBRICANTES

2.6.1.- VISCOSIDAD

La viscosidad es la característica más importante de la lubricación de cualquier maquina.

- Si la viscosidad del aceite es muy baja para la aplicación, el desgaste es mayor por falta de espesor de película lubricante hidrodinámica.
- Si la viscosidad del aceite es muy alta para la aplicación, el consumo de energía es mayor y el desgaste puede ser mayor por falta de circulación.

Solamente la viscosidad correcta maximizará la vida útil y la eficiencia del motor, transmisión, sistema hidráulico o lo que sea la aplicación.

Un aceite delgado es menos resistente a fluir, por eso su viscosidad es baja. Un aceite grueso es más resistente a fluir y por eso tiene una viscosidad más alta. Las viscosidades de los aceites normalmente se expresan en centistoke (cSt) a 40°C o 100°C. Frecuentemente se habla de 2 tipos de viscosidad como: viscosidad dinámica o viscosidad cinemática.

TIPOS DE VISCOSIDAD

a) Viscosidad cinemática

Es su viscosidad dinámica dividida por su densidad, ambos medidos a la misma temperatura, y expresada en unidades consistentes. Las unidades más comunes que se utilizan para expresar la viscosidad cinemática son:

Stokes (St) o centistokes (cSt, donde 1 cSt = 0,01 St), o en unidades del SI como milímetros cuadrados por segundo (mm^2/s , donde 1 mm^2/s = 1 cSt).

b) Viscosidad dinámica

Normalmente se expresa en poise (P) o centipoise (cP, donde 1 cP = 0,01 P), o en unidades del Sistema Internacional como pascuales-segundo (Pa-s, donde 1 Pa-s = 10 P). La viscosidad dinámica, la cual es función sólo de la fricción interna del fluido, es la cantidad usada más frecuentemente en el diseño de cojinetes y el cálculo de flujo de aceites.

Debido a que es más conveniente medir la viscosidad de manera tal que tenga en cuenta la densidad del aceite, para caracterizar a los lubricantes normalmente se utiliza la viscosidad cinemática.

$$SUS = 1.0066 \left[4.6324cSt + \frac{1+0.03264cSt}{(3930.2+262.7cSt+23.97cSt^2+1.646cSt^3) \times 10^{-5}} \right]$$

Normalmente se habla de viscosidad ISO para aceites industriales y viscosidad SAE para aceites automotriz. Los términos de viscosidad ISO y SAE no implican ninguna combinación de aditivos ni propósito específico. Solamente refieren a la viscosidad. A veces se utiliza las medidas de viscosidad en unidades de SUS, Redwood, Engler, u otros. Estos sistemas de medición de viscosidad pueden ser convertidos al cSt por tablas de conversión o por formulas matemáticas como:

Cuando se usa el término “Viscosidad ISO”, se refiere a la viscosidad del aceite en cSt a 40°C (ISO 46 = 46 cSt a 40°C, ISO 150 = 150 cSt a 40°C, etc.). El término “VG” simplemente refiere al Viscosity Grade (Grado de Viscosidad) (VG 46, VG 68, etc.) bajo la norma ASTM D-445.

Este término no tiene que ver con la calidad o su propósito y en general es redundante porque un aceite ISO VG 46 es igual que ISO 46. El término viene de la época antes de la estandarización por la ISO, cuando se fabricaba VG 29, VG 32, VG 37, etc.

La ISO permita una variación de 10% encima y debajo de ese número para clasificarse así. Por ende, un ISO 32 puede ser entre 28.8 cSt y 35.2 cSt a 40°C. Lo importante es controlar la temperatura operacional y calcular la viscosidad a esa temperatura.

Cada aceite tiene un índice de viscosidad, lo cual determina su curva de viscosidad, o lo que se pierde de viscosidad con la temperatura. Este índice de viscosidad frecuentemente varía entre 50 y 250. El índice de viscosidad combinado con la viscosidad ISO determina la viscosidad que tendremos en el equipo cuando esté funcionando. El índice de viscosidad es tan importante en aceites industriales que en los autos, solo que en lugar de llamarse multigrados, se habla de dos características: la viscosidad a 40°C y el índice de viscosidad.



Figura N°26.- Equipo de Análisis de Viscosidad a 40°C y 100°C

Una forma de calcular matemáticamente, conociendo las viscosidades a 40°C y 100°C en unidades de cSt. Que cumple con la Norma ASTM D2270-04 Standard Practice for Calculating Viscosity Index From Kinematic Viscosity.

Clasificación según las viscosidades de los Aceites Lubricantes

Para el uso automotriz se utiliza una tabla de viscosidades creada por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) basada en la viscosidad cinemática (cSt) a 100°C para la temperatura de operación y una tabla especial de viscosidad en bajas temperaturas para cuidar el motor en el momento de arranque en frío (se define "frío" como temperaturas debajo de 20°C). De acuerdo a esta tabla, los siguientes aceites tienen una viscosidad SAE 40 a 100°C. El comportamiento en calor y frío depende de su índice de viscosidad y aditivos que mejoran su punto de fluidez.

Cuadro N° 9: La viscosidad a 100°C para una SAE 40.

Viscosidad SAE	Viscosidad Mínima cSt a 100°C	Viscosidad Máxima cSt a 100°C
0W-40	12.5	16.29
5W-40	12.5	16.29
10W-40	12.5	16.29
15W-40	12.5	16.29
20W-40	12.5	16.29
25W-40	12.5	16.29
40	12.5	16.29

Todos estos aceites tienen la misma viscosidad a 100°C. Esta es la temperatura normal del aceite dentro del motor en funcionamiento

(promedio - en realidad se encuentra temperaturas cerca de 150°C en los anillos y puntos presión en el árbol de levas, y más de 280°C en el turbo). Un motor que opera debajo de 90°C no está funcionando bien, tendrá altos depósitos y lodos, y consumirá mayor combustible.

Cuando la temperatura ambiental es menor a 20°C, un aceite monogrado como un SAE 40 no circula ni protege el motor en el momento del encendido. Además, este aceite es demasiado viscoso para pasar por el filtro de aceite. Esto causa la apertura de la válvula de alivio de presión en el filtro de aceite (o la base del filtro) y aceite sucio circula por el motor sin filtrarse.

Por eso se desarrollaron los aceites multigrados. Un aceite multigrado es un aceite menos viscoso, con aditivos (polímeros) que expanden en el calor para actuar como un aceite más viscoso. Los aceites baratos utilicen un aceite básico de poca calidad o poca resistencia, corregido por muchos polímeros. Estos aceites pierden su viscosidad con el uso y terminan aumentando el desgaste del motor. Los aceites sintéticos típicamente no contienen polímeros para mejorar su viscosidad. Simplemente son de alta viscosidad con un índice natural de viscosidad que cubren todas las temperaturas. Aceites API grupo II y sintetizados típicamente son de alto índice de viscosidad que usan pocos polímeros para lograr su viscosidad en el calor.

Por las variaciones de temperaturas ambientales en Bolivia, verá que un aceite SAE 40 no es el adecuado para los vehículos del país.

En la actualidad la mayoría de los motores a gasolina están diseñados para un aceite más delgado (menos viscoso). Muchos inclusive requieren una viscosidad SAE 20 o SAE 30 en funcionamiento.

Se define la viscosidad en frío con la tabla siguiente:

Cuadro N° 10: Viscosidad vs Temperatura de Operación

Viscosidad SAE	Viscosidad para el Arranque (cP)	Viscosidad Max. en Frío (cP) para la Bomba	Viscosidad SAE a 100°C
0W-40	6200 a -35°C	6000 a -40°C	40
5W-40	6600 a -30°C	6000 a -35°C	40
10W-40	7000 a -25°C	6000 a -30°C	40
15W-40	7000 a -20°C	6000 a -25°C	40
20W-40	9500 a -15°C	6000 a -20°C	40
25W-40	13000 a -10°C	6000 a -15°C	40
40	Demasiado Viscoso	Demasiado Viscoso	40

Cuadro N° 11: Viscosidad vs Multigrados de baja viscosidad

Viscosidad SAE	Viscosidad Mínima cSt a 100°C	Viscosidad Máxima cSt a 100°C
0W-30	9.3	12.49
5W-30	9.3	12.49
10W-30	9.3	12.49
30	9.3	12.49

Todos estos aceites tienen la misma viscosidad a 100°C. Esta es la temperatura normal del aceite dentro del motor en funcionamiento (promedio - en realidad se encuentra temperaturas cerca de 150°C en los anillos y puntos presión en el árbol de levas, y más de 280°C en el turbo).

La viscosidad requerida para el motor no es la misma para todos. En general, los motores a diesel para camiones, equipo pesado y tractores agrícolas trabajan con un SAE 10W-30 o SAE 15W-40 pero también hay aceites para motor diesel SAE 5W-40, 0W-40, etc., que son usados en zonas frías y vehículos livianos.

Cuadro N° 12: Viscosidad vs Aceites de bajo SAE

En el Frío medimos de la misma manera que el SAE 40			
Viscosidad SAE	Viscosidad para el Arranque (cP)	Viscosidad Max. en Frío (cP) para la Bomba	Viscosidad SAE a 100°C
0W-30	6200 a -35°C	6000 a -40°C	30
5W-30	6600 a -30°C	6000 a -35°C	30
10W-30	7000 a -25°C	6000 a -30°C	30
30	Demasiado Viscoso	Demasiado Viscoso	30

2.7.- TIPOS DE PELICULA LUBRICANTE EN EL EQUIPO O MOTOR

El tipo de lubricación que cada sistema necesita se basa en la relación de los componentes en movimiento. Hay tres tipos básicos de lubricación: límite, hidrodinámica, y mezclada. Para saber qué tipo de lubricación ocurre en cada caso, necesitamos saber la presión entre los componentes a ser lubricados, la velocidad relativa entre los componentes, la viscosidad del lubricante y otros factores. Desde hace relativamente poco tiempo se ha empezado a hablar de un cuarto tipo de lubricación: Elasto-hidrodinámica.

2.7.1.- LA LUBRICACIÓN LÍMITE

Ocurre a baja velocidad relativa entre los componentes y cuando no hay una capa completa de lubricante cubriendo las piezas. Durante la lubricación límite, hay contacto físico entre las superficies y hay desgaste. La cantidad de desgaste y fricción entre las superficies depende de un número de variables: la calidad de las superficies en contacto, la distancia entre las superficies, la viscosidad del lubricante, la cantidad de lubricante presente, la presión, el esfuerzo impartido a las superficies, y la velocidad de movimiento.

La mayor cantidad del desgaste ocurre al encender el motor. Esto sucede por la baja lubricación límite, ya que el aceite se ha "caído" de las piezas al fondo del cárter, produciendo contacto de metal-metal. Una vez encendido el motor, una nueva capa de lubricante es establecida con la ayuda de la bomba de aceite a medida que los componentes adquieren velocidad de operación.



Figura N°27.- Lubricación Limite por fuerza de Carga

2.7.2.- LUBRICACIÓN HIDRODINÁMICA.

La Lubricación Hidrodinámica sucede cuando las superficies están completamente cubiertas con una película de lubricante. Esta condición existe cuando la película de lubricante se mantiene entre los componentes y la presión del lubricante produce una "ola" de lubricante delante de la película que impide el contacto entre superficies. Bajo condiciones hidrodinámicas, no hay contacto físico entre los componentes y no hay desgaste. Si los motores pudieran funcionar bajo condiciones hidrodinámicas todo el tiempo, no habría necesidad de utilizar ingredientes anti-desgaste y de alta presión en las fórmulas de lubricantes y el desgaste sería mínimo.

La propiedad que más afecta a la lubricación hidrodinámica es la viscosidad, la cual debe ser lo suficientemente alta para brindar lubricación

(límite) durante el encendido del motor con el mínimo de desgaste, pero la viscosidad también debe ser lo suficientemente baja para reducir al mínimo la "fricción viscosa" del aceite a medida que es bombeada entre los metales (cojinetes) y las bancadas, una vez que llega a convertirse en lubricación hidrodinámica. Una de las reglas básicas de lubricación es que la menor cantidad de fricción innecesaria va a ocurrir con el lubricante de menor viscosidad posible para cada función específica. Esto es que cuanto más baja la viscosidad, menos energía se desperdicia bombeando el lubricante.

2.7.3.- LA LUBRICACIÓN MEZCLADA

Es una mezcla inestable de lubricación límite e hidrodinámica. Por ejemplo, cuando se enciende el motor (o cuando arranca un componente, si es otro equipo), la velocidad de los componentes aumenta velozmente y por una pequeña fracción de segundo se produce lubricación mezclada. En otras situaciones, cuando el esfuerzo y la velocidad de los componentes varía ampliamente durante el uso (durante manejo en montaña o en tráfico, por ejemplo) la temperatura puede hacer que el lubricante se "queme" más rápido y que así la lubricación hidrodinámica sea difícil de adquirir (ya que el lubricante ha perdido el beneficio de ciertos aditivos que se "quemaron"), dejando así el motor trabajando en una condición de lubricación mezclada, que producirá más desgaste.

2.7.4.- LUBRICACION ELASTOHIDRODINAMICA (EHL)

La lubricación EHL se presenta en mecanismos en los cuales las rugosidades de las superficies en movimiento relativo trabajan siempre entrelazadas y las crestas permanentemente se están deformando elásticamente. Bajo estas condiciones de operación, el control del desgaste adhesivo y el consumo de energía por fricción dependen de la película límite adherida a las rugosidades y de las capas de aceite de la película

hidrodinámica que se forma cuando el lubricante es sometido a elevadas presiones, en el momento de la deformación elástica de las crestas.

2.8.- DESGASTE Y LOS MECANISMOS DE LUBRICACION

El desgaste se define como la pérdida de material entre dos superficies que se encuentran en movimiento relativo y que se manifiesta por su funcionamiento errático el cual a la larga traería inconvenientes como cambiar las piezas defectuosas por un mal control y supervisión. Las causas del desgaste no siempre se pueden determinar, siendo en muchos casos sea imposible determinarlas aún cuando el mecanismo se haya lubricado correctamente. El desgaste, cualquiera que sea su origen, conduce al contacto metal-metal entre las superficies del mecanismo que se encuentran en movimiento relativo y se define como el deterioro sufrido por ellas a causa de la intensidad de la interacción de sus rugosidades superficiales. En cualquier caso el desgaste de un mecanismo es indeseable pero es imposible evitarlo ya que aun cuando se controlen las causas que lo originan, no será factible evitar el desgaste del material ya que ésta es una propiedad propia de dicho material y conducirá a que finalmente el mecanismo se tenga que reemplazar. Si se quiere que las máquinas alcancen sus mayores índices de productividad es necesario lograr que los componentes que las constituyen se cambien por desgaste propio del trabajo de las piezas y no por alguno de los muchos tipos de desgaste que se pueden presentar.

2.8.1.- TIPOS DE DESGASTE

Las superficies de los mecanismos lubricados de una máquina se pueden desgastar por causas que pueden ser intrínsecas al tipo de lubricante utilizado, a su tiempo de servicio, a contaminantes presentes en el aceite cuyo origen puede ser de ellos mismos ó de fuentes externas y en algunos casos como resultado de una selección incorrecta del equipo. Las superficies correctamente lubricadas también se desgastan cuando se

consume ó se rompe la película límite en el caso de la lubricación límite y EHL y se conoce como desgaste adhesivo ó del desprendimiento de dicha película de las rugosidades de las superficies metálicas cuando se tienen condiciones de lubricación fluida; en este último caso el desgaste es leve y genera partículas metálicas del orden de 1 a 2 μm y se denomina desgaste erosivo.

Los tipos de desgaste más comunes en orden de importancia son: adhesivo, erosivo, corrosivo, cavitación, fatiga superficial.

.a) ADHESIVO

Es el más crítico ya que en la mayoría de los casos da lugar a una falla catastrófica del mecanismo lubricado quedando inservible y causando altas pérdidas en el proceso productivo. Se presenta como resultado del contacto metal-metal entre las superficies del mecanismo lubricado debido al adelgazamiento de la película lubricante en el caso de lubricación fluida ya sea por la presencia de contaminantes en el aceite (agua, gases, combustibles, etc) ó a un bajo nivel de aceite, baja viscosidad ó baja presión en el sistema de lubricación; un alto nivel de aceite, una alta viscosidad y una alta presión en el sistema de lubricación también pueden dar lugar al desgaste adhesivo debido a que el exceso de fricción fluida en el aceite incrementa la temperatura de operación, haciendo que las superficies metálicas sometidas a fricción se dilaten y rocen, rompiendo en un momento dado la película límite.

En el desgaste adhesivo las superficies metálicas de las rugosidades se sueldan al no estar interpuesto de aceite o grasa que las separe, en la lubricación fluida ó la película límite formada por los aditivos de Extrema Presión (EP) en la lubricación EHL; las crestas de las rugosidades aunque

tengan la capacidad de deformarse elásticamente no lo pueden hacer debido a que están soldadas.

Cuando una máquina arranca ó para el desgaste adhesivo, en los mecanismos lubricados es mínimo siempre y cuando la película limite se encuentre en óptimas condiciones, de lo contrario será crítico y como resultado de la falta ó del agotamiento de los aditivos antidesgaste en el lubricante, en el caso de la lubricación fluida ó de los aditivos Extrema Presión, en la lubricación EHL, ó ya sea porque se está utilizando un lubricante inadecuado ó porque su vida de servicio ha sobrepasado el tiempo máximo permisible. Cuando la lubricación es fluida el lubricante debe contar con aditivos antidesgaste que trabajen en el proceso de encendido y apagado de la máquina y en lubricación EHL con aditivos de EP que pueden ser ácidos grasos, fósforo, azufre, cloro, bisulfuro de molibdeno, grafito, etc.

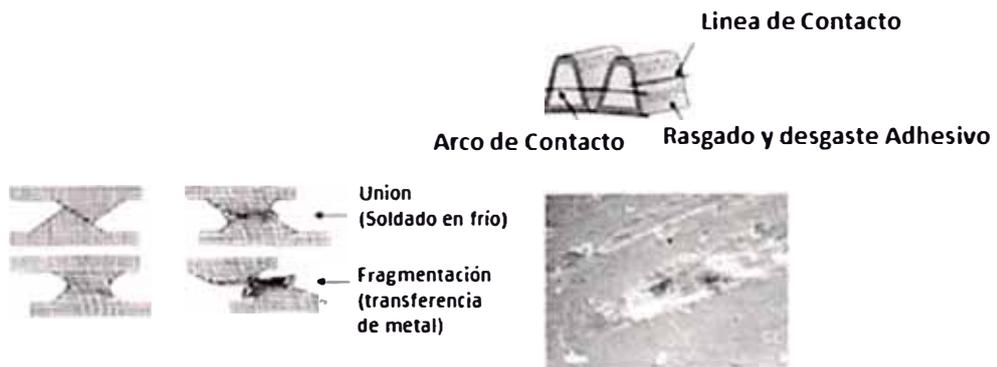


Figura N°28.- Desgaste Adhesivo

b) EROSIVO

Es la pérdida lenta de material en las rugosidades de las dos superficies que se encuentran en movimiento relativo como resultado del impacto de partículas sólidas ó metálicas en suspensión en un aceite que fluye a alta presión de un tamaño mucho menor que el mínimo espesor de la película lubricante. Las partículas aunque sean de menor tamaño al entrar en la zona de alta presión no siguen un movimiento lineal sino que se desordenan chocando con las rugosidades, es posible que cuando empiezan a chocar no causen desgaste, pero si van fatigando las superficies hasta que finalmente dan lugar al desprendimiento de material; un desgaste erosivo lento siempre estará presente. Se puede presentar también, ya sea en lubricación fluida ó EHL, como resultado del empleo de un aceite de una viscosidad mayor que la requerida debido a que el exceso de capas en la película lubricante desplace la capa límite que se encuentra adherida a las superficies metálicas haciendo que dichas capas las desgasten por erosión. Cuando se tienen condiciones de flujo turbulento en la película lubricante se presenta el desgaste erosivo porque la película lubricante se mueve con respecto a las rugosidades, esto se puede presentar como resultado de la utilización de aceites con bajos Índices de Viscosidad el cual a temperaturas altas disminuye su viscosidad fuera de sus límites.



Figura N°29.- Desgaste Erosivo

c) CORROSIVO

Puede ser consecuencia del ataque químico de los ácidos débiles que se forman en el proceso de degradación normal del aceite, de la contaminación de éste con agua ó con ácidos del medio ambiente ó de los ácidos fuertes debidos a la descomposición del aceite cuando está sometido a altas temperaturas; en el primer caso el desgaste corrosivo es lento mientras que en el segundo es crítico siendo por lo tanto la situación que más se debe controlar; tanto los ácidos débiles como los fuertes dan lugar a la formación de ácido sulfúrico. El desgaste corrosivo se puede evitar si el aceite se cambia dentro de los intervalos recomendados, para lo cual si no se conoce, se le analiza al aceite la acidez mediante la prueba del Número Ácido Total (TAN) ó Número de Neutralización (NN) según el método ASTM D664; este parámetro bajo ninguna circunstancia puede ser mayor que el máximo permisible de acuerdo con el tipo de mecanismo que esté lubricando el aceite. El desgaste corrosivo se manifiesta inicialmente por un color amarillento y luego rojizo de las superficies metálicas, seguido del desprendimiento de pequeñas partículas que cada vez aumentan su concentración hasta que finalmente causan el desgaste por erosión y por abrasión de las superficies sometidas a fricción, por otro lado los pequeños cráteres que dejan las partículas que se desprenden al unirse forman grietas que pueden producir finalmente la rotura de la pieza.

La tasa de corrosión (herrumbre) se duplica por cada 10°C de incremento de temperatura.

El desgaste corrosivo es un daño a la superficie, como resultado de su exposición a ambientes reactivos como por ejemplo: atmósfera, acumulación de humedad, bacterias, ácidos, electrolitos, químicos del proceso o sub-productos de la lubricación.



Figura N°30.- Desgaste Corrosivo

La herrumbre se produce en materiales ferrosos, este tipo desgaste se analiza con la prueba de laboratorio ASTM D665 y en los materiales blancos como el Babbitt con la prueba de corrosión en lámina de cobre, y se evalúa con la prueba ASTM D130.

El desgaste corrosivo es muy frecuente en las coronas de bronce del reductor sinfin-corona cuando se utilizan en su lubricación aceites con aditivos de Extrema Presión del tipo fósforo, cloro ó azufre y hay presencia de agua en el aceite. Es muy importante tener en cuenta que aunque el aceite se oxide, los inhibidores de la corrosión presentes en el aceite reducen la concentración de los ácidos disminuyendo la probabilidad de que se presente el desgaste corrosivo en las superficies metálicas.

La probabilidad de que se presente el desgaste corrosivo en los motores de combustión interna es bastante alta debido a que durante el proceso de combustión se genera un buen número de productos gaseosos como el CO, CO₂, H₂O, óxidos de nitrógeno y de azufre, halógenos, etc., los cuales tienen un carácter muy ácido y en presencia de agua se pueden volver bastante corrosivos hacia los metales. Los motores diesel son particularmente muy sensibles al desgaste corrosivo debido a la presencia

de azufre en el combustible el cual durante el proceso de combustión reacciona con el agua que se forma produciendo ácido sulfúrico que ataca los anillos, pistones, paredes del cilindro y cojinetes de apoyo del cigüeñal; de manera similar en los componentes ferrosos de los motores a gasolina se puede presentar el desgaste corrosivo por herrumbre debido a los ácidos orgánicos y a los ácidos clorhídrico y bromhídrico procedentes de los haluros orgánicos (bicloruro y dibromuro de etileno) que se usan junto con el compuesto antidetonante para eliminar los residuos de plomo que quedan cuando se quema gasolina con plomo. Se ha podido comprobar que mientras las paredes del cilindro del motor a gasolina se mantengan por encima de los 180°F el desgaste corrosivo es despreciable, pero es significativo a medida que la temperatura va disminuyendo debido a la condensación de pequeñas gotitas de agua ácida.

En los mecanismos que trabajan bajo cargas vibratorias continuas presentan un tipo de desgaste que se conoce como desgaste corrosivo por vibración que causa el desprendimiento de pequeñas partículas como resultado de la rotura de la película lubricante y de la presencia de humedad en el ambiente.

El desgaste corrosivo en los motores de combustión interna se controla con los aditivos detergentes-dispersantes del aceite, tales como los fenatos y sulfónatos básicos. Si se considera el pH del aceite para controlar el desgaste corrosivo, éste no debe ser menor de 4,5 en los aceites para motores Diesel y de 6 en los de gasolina; sin embargo en la práctica de la lubricación automotriz no se utiliza la prueba del pH sino la prueba del Número Básico Total (TBN), según ASTM D664. Esta característica de los aceites automotores no debe ser inferior a los valores mínimos permisibles de acuerdo con el tipo de motor lubricado. Los aceites actuales para

motores de combustión interna controlan muy bien los ácidos corrosivos que pueden afectar los componentes internos del motor debido a los altos niveles de calidad API que para los motores a gasolina es el SM y en los Diesel el CI.

d) ABRASIVO

Es consecuencia de la presencia de partículas sólidas ó metálicas de un tamaño igual ó mayor que el espesor mínimo de la película lubricante y de la misma dureza ó superior a la de las superficies metálicas del mecanismo lubricado; el desgaste es mayor en la superficie más blanda. Las partículas sólidas como el silicio dan lugar a un considerable desgaste abrasivo debido a la elevada dureza de este material. Cuando las partículas del mismo tamaño que el mínimo espesor de la película lubricante se encuentra entre las dos superficies interactúan removiendo la película límite y desprendiendo material de ambas superficies. Cuando son de mayor tamaño se fracturan dando lugar a partículas del mismo tamaño que el mínimo espesor de la película lubricante y de un tamaño menor que propician el desgaste erosivo de dichas superficies metálicas ó el abrasivo si la carga que actúa sobre el mecanismo se incrementa ó la viscosidad del aceite se reduce ya sea por contaminación con agua ó con aceites de menor viscosidad. También es factible que se incrusten partículas en una de las superficies y actúen como una herramienta de corte, removiendo material de la otra.

El desgaste abrasivo en un mecanismo se puede controlar filtrando el aceite de tal manera que se mantenga dentro del código de limpieza recomendado por la norma ISO 4406 de acuerdo con el tipo de mecanismo lubricado; esto quiere decir que el número de partículas cuyo tamaño es mayor que el espesor mínimo de la película lubricante es menor ó igual que

el especificado; no significando esto, ausencia de desgaste abrasivo en el mecanismo, sino que éste estará dentro de los valores máximos permisibles para alcanzar la vida proyectada por el fabricante.

En la actualidad no es factible eliminar totalmente el desgaste abrasivo debido a la imposibilidad de contar con aceites completamente limpios, pero si se puede controlar con un procedimiento adecuado, tomando como puntos el filtro y un análisis de conteo de partículas.

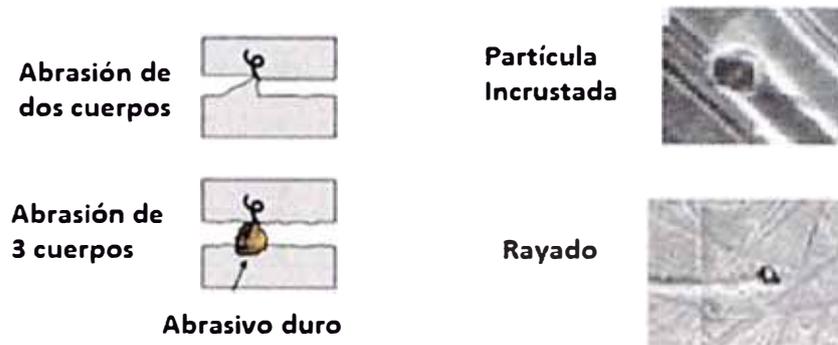


Figura N°31.- Desgaste Abrasivo

e) CAVITACIÓN

Es el fenómeno que se presenta cuando las burbujas de vapor de agua que se forman en el aceite, al circular éste a través de una región donde la presión es menor que su presión de vapor, “explotan” al llegar nuevamente a una región de mayor presión como resultado del cambio de estado de vapor a líquido. Si las burbujas “explotan” cerca de las superficies metálicas darán lugar a presiones localizadas muy altas que ocasionarán picaduras en dichas superficies. La Cavitación generalmente presenta ruido y vibraciones. El desgaste se puede evitar incrementando la presión en el sistema ó utilizando aceites con presiones de vapor bajas a altas temperaturas.

Cuadro N° 13: TABLA DE ESPECIFICACION API PARA MOTORES A GASOLINA

API	ESTADO	SERVICIO
SM	Actual	Para todos los motores de automóvil en uso en la actualidad. Los aceites SM, introducidos en el año 2004, están diseñados para brindar mayor resistencia contra la oxidación, mejor protección contra la formación de depósitos, mejor protección contra el desgaste, y mejor desempeño a baja temperatura.
SL	Actual	Para motores de automóvil del año 2004 y anteriores.
SJ	Actual	Para motores de automóvil del año 2001 y anteriores.
SH	<i>Fuera de circulación</i>	Para motores del año 1996 y anteriores.
SG	<i>Fuera de circulación</i>	Para motores del año 1993 y anteriores.
SF	<i>Fuera de circulación</i>	Para motores del año 1988 y anteriores.
SE	<i>Fuera de circulación</i>	ADVERTENCIA: No adecuados para uso en motores de automóvil de gasolina fabricados después del año 1979.
SD	<i>Fuera de circulación</i>	ADVERTENCIA: No adecuados para uso en motores de automóvil de gasolina fabricados después del año 1971. Su uso en motores modernos puede causar un desempeño no satisfactorio o dañar el equipo.
SC	<i>Fuera de circulación</i>	ADVERTENCIA: No adecuados para uso en motores de automóvil de gasolina fabricados después del año 1967. Su uso en motores modernos puede causar un desempeño no satisfactorio o dañar el equipo.
SB	<i>Fuera de circulación</i>	ADVERTENCIA: No adecuados para uso en motores de automóvil de gasolina fabricados después del año 1951. Su uso en motores modernos puede causar un desempeño no satisfactorio o dañar el equipo.
SA	<i>Fuera de circulación</i>	ADVERTENCIA: No contiene aditivos. No adecuados para uso en motores de automóvil de gasolina fabricados después del año 1930. Su uso en motores modernos puede causar un desempeño no satisfactorio o dañar el equipo.

Cuadro N° 14: TABLA DE ESPECIFICACION API PARA MOTORES DIESEL

MOTORES DIESEL		
API	ESTADO	SERVICIO
CJ-4	Actual	<p>Se introdujeron en el año 2006 y están destinados al motor de 4 tiempos. Los aceites CJ-4 tienen las siguiente características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pueden ser usados con combustibles con contenido de azufre hasta 500ppm (0.05% en peso), sin embargo mayor a 15ppm de azufre puede repercutir en la durabilidad del sistema post-tratamiento de los gases de escape o en el intervalo de drenaje de aceite. - Buena protección en el sistema de control de emisiones por el uso de filtros. - Mejor control del hollín, espesamiento oxidativo, formación de espuma y pérdida de viscosidad. <p>Los aceites API CJ-4 superan los criterios de desempeño de API CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4.</p>
CI-4	Actual	<p>Se introdujeron en el año 2002 y están destinados al motor de 4 tiempos. Los aceites CI-4 tienen las siguiente características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pueden ser usados con combustibles con contenido de azufre hasta 0.5% en peso. - Cumplen con las normas de emisión de gases de escape del año 2004 puestas en práctica en el 2002. - Proteger la durabilidad del motor cuando se utiliza la recirculación de gases de escape. <p>Pueden usarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4, CG-4, y CH-4.</p>
CH-4	Actual	<p>Se introdujeron en el año 1998 y están destinados al motor de 4 tiempos. Los aceites CH-4 tienen las siguiente características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pueden ser usados con combustibles con contenido de azufre hasta 0.5% en peso. - Cumplen con las normas de emisión de gases de escape del año 1998. - Proteger la durabilidad del motor cuando se utiliza la recirculación de gases de escape. <p>Pueden usarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4, CG-4, y CH-4.</p>

CG-4	<i>Fuera de circulación</i>	Se introdujeron en el año 1995. Están destinados a motores de trabajo intenso, de alta velocidad, de cuatro tiempos que utilizan combustible con contenido de azufre menor de 0.5% en peso. Los aceites CG-4 se utilizan en motores que cumplen con las normas de emisión del año 1994. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD, CE, y CF-4.
CF-4	<i>Fuera de circulación</i>	Se introdujeron en el año 1990. Están destinados a motores de alta velocidad, de cuatro tiempos, de aspiración natural y turbocargados. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD y CE.
CF-2	<i>Fuera de circulación</i>	Se introdujeron en el año 1994. Están destinados a motores de trabajo intenso, de dos tiempos. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD-II.
CF	<i>Fuera de circulación</i>	Se introdujeron en el año 1994. Están destinados a motores todo terreno, de inyección indirecta y otros motores diesel incluyendo aquéllos que utilizan combustible con contenido de azufre superior a 0.5% en peso. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CD.
CE	<i>Fuera de circulación</i>	Se introdujeron en el año 1985. Están destinados a motores de alta velocidad, de cuatro tiempos, de aspiración natural y turbocargados. Pueden utilizarse en lugar de los aceites CC y CD.
CD-II	<i>Fuera de circulación</i>	Se introdujeron en el año 1985. Están destinados a motores de dos tiempos.
CD	<i>Fuera de circulación</i>	Se introdujeron en el año 1955. Están destinados a determinados motores de aspiración natural y turbocargados.
CC	<i>Fuera de circulación</i>	ADVERTENCIA: No adecuados para uso en motores diesel fabricados después del año 1990.
CB	<i>Fuera de circulación</i>	ADVERTENCIA: No adecuados para uso en motores diesel fabricados después del año 1961.
CA	<i>Fuera de circulación</i>	ADVERTENCIA: No adecuados para uso en motores diesel fabricados después del año 1959.



Figura N°32.- Desgaste por Cavitación

f) FATIGA SUPERFICIAL

Es un desgaste que no se puede evitar y el cual finalmente hace que el componente lubricado se tenga que cambiar. Se presenta como resultado de los esfuerzos cíclicos que genera la carga al actuar en el punto donde se forma la película lubricante que en el caso de la lubricación fluida hace que las crestas de las rugosidades traten de aplastarse sin tocarse dando lugar a un ciclo de compresión y de tensión que termina deformando plásticamente las rugosidades causando su rotura, iniciándose de esta manera la fatiga ó grieta incipiente que da lugar a un incremento localizado del esfuerzo, que cada vez se hace más crítico por la falta de área hasta que finalmente la velocidad de propagación es tan alta que ocasiona la fractura del componente. En el caso de la lubricación EHL, la fatiga de las rugosidades es más crítica, debido a que la deformación de las rugosidades que inicialmente es del tipo elástica termina por ser plástica causando la rotura de dichas rugosidades y por lo tanto el descascarillado de la superficie metálica y la propagación de grietas internas que finalmente ocasionan la falla del componente por rotura. Entre mayor sea la temperatura de operación del elemento lubricado, el desgaste por fatiga superficial es más acelerado debido a la modificación que sufre la curva esfuerzo-deformación del material que hace que el punto de fluencia se corra hacia

la izquierda y que por lo tanto para la misma condición de carga, el mecanismo quede trabajando en la zona plástica y no en la elástica.

La falla por fatiga superficial se presenta de manera típica después de millones de ciclos de deformación elástica y se acelera cuando se tienen temperaturas por encima de los 50°C, por la aplicación de esfuerzos de tensión y compresión, que superan los del material del mecanismo, ó por la presencia de partículas sólidas ó metálicas de un tamaño igual al espesor de la película lubricante y que no se adhieren a ninguna de las superficies en movimiento; en este caso la partícula es atrapada instantáneamente entre las superficies y origina hendiduras en ella debido a que las superficies interactúan a lado y lado de la partícula como consecuencia de la carga que soportan, iniciándose las grietas, las cuales se esparcen después de un número de ciclos de esfuerzos. El desgaste por fatiga superficial aparece más rápidamente en los elementos que están sometidos a movimiento de rodadura que por deslizamiento debido a los mayores esfuerzos que soportan, este es el caso de los rodamientos, los dientes de los engranajes y las superficies de las levas, entre otros.

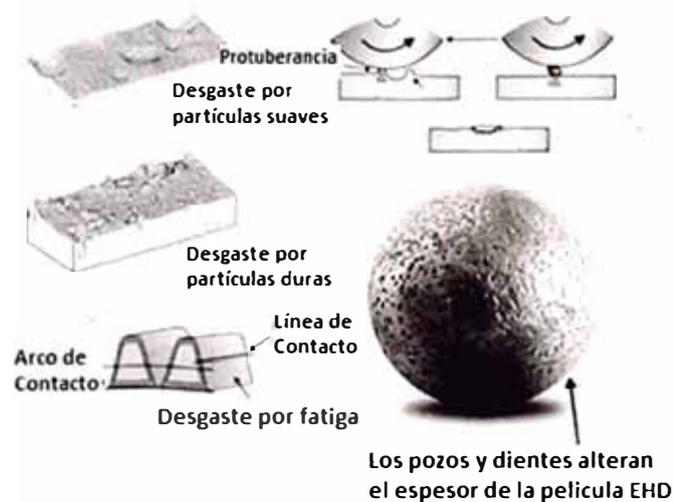


Figura N° 33.- Desgaste por Fatiga Superficial

2.8.2.- CONSECUENCIAS DEL DESGASTE

Los más importantes son:

- Movimiento errático de los mecanismos lubricados.
- Altos valores de vibración e incremento en los niveles de ruido.
- Elevadas temperaturas de operación.
- Mayor consumo de repuestos por incremento del mantenimiento
- Reducción significativa de la producción por paros de maquinaria.
- Mayor consumo de energía para realizar la misma cantidad de trabajo útil.
- Posibilidades de accidentes ante el peligro de roturas de componentes de máquinas.

2.9.- PROPIEDADES DE LOS LUBRICANTES

Las propiedades de los lubricantes ayudan a controlar la calidad de los lubricantes y determinar su comportamiento para una aplicación específica. De acuerdo con estas propiedades, se selecciona adecuadamente el lubricante para que este cumpla eficientemente con sus funciones de proteger y lubricar los diferentes elementos de un equipo.

2.9.1.-PROPIEDADES FISICAS

a. Gravedad Específica Método ASTM -287

Se define como la relación entre el peso de un volumen dado de un aceite y el peso de un volumen idéntico de agua, a una temperatura específica. Por regla general es a 15.6°C (60°F).

La gravedad específica de los aceites derivados del petróleo a 15,6°C (60°C) se considera entre 0,89 y 0,93. Este es un valor adimensional, sin embargo, cuando se efectúa los cálculos matemáticos, la gravedad específica se relaciona con la densidad del aceite y se le asigna las unidades gr/cm^3 .

La gravedad específica se relaciona con la gravedad en °API, mediante la ecuación:

$$API\ gravity = \frac{141.5}{SG} - 131.5$$

Donde:

SG: Gravedad Específica

b.- Color o Fluorescencia Método ASTM D-1500

Es un indicativo del aceite nuevo, pero no tiene nada que ver con su calidad. Es característico de cada fabricante, por lo que éste solo sirve para comparar el aceite en servicio con respecto al aceite nuevo.

c.- Viscosidad Método ASTM D-445

Se define como la resistencia a fluir que presentan las moléculas de un líquido cuando pasan una al lado de la otra, en su movimiento, a una temperatura determinada. Se manifiesta por un aumento en la fricción interna, que trae como consecuencia la elevación de la temperatura.

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

d.- Rigidez Dieléctrica Método ASTM D-877 y ASTM D-1816

Es la capacidad de aislamiento eléctrico de los aceites y se determina por la tensión en que se produce un arco eléctrico permanente entre dos electrodos sumergidos en el aceite.

2.8.2.-PROPIEDADES TÉRMICAS**a. Punto de Inflamación Método ASTM D-92 y ASTM D-93**

Es la temperatura mínima a la cual los gases conformados se inflaman por un instante al contacto con una llama.

Los aceites con puntos de inflamación por debajo de 150°C no se deben emplear en lubricación. El punto de inflamación de los aceites nuevos es mayor en los de alta viscosidad y de los de base nafténica se caracterizan por tener puntos de inflamación más bajos que los de base parafínica de viscosidad similar.

b.- Punto de Fluidez Método ASTM D-97

El punto de fluidez de un aceite lubricante es la mínima temperatura a la cual este fluye sin ser perturbado bajo la condición específica de la prueba. Los aceites contienen ceras disueltas que cuando son enfriados se separan y forman cristales que se encadenan formando una estructura rígida atrapando al aceite entre la red. Cuando la estructura de la cera está lo suficientemente completa el aceite no fluye bajo las condiciones de la prueba. La agitación mecánica puede romper la estructura cerosa, y de este modo tener un aceite que fluye a temperaturas menores a su punto de fluidez. Existe otra característica importante en el aceite que es llamado punto de enturbiamiento (cloud point), definido como la temperatura a la cual las parafinas y otras sustancias en solución comienzan a separarse

formando cristales bajo condiciones de ensayo normalizadas. El aceite a esta temperatura adquiere una turbidez que da nombre al ensayo.

2.8.3.- PROPIEDADES QUIMICAS

a.- Residuos de Carbón Método ASTM D-189 y ASTM D-524

Es la cantidad de carbón en porcentaje por peso, que queda después de que una muestra de aceite es sometida a un proceso de evaporación y pirolisis. Esta característica determina la tendencia que tienen los aceites lubricantes de formar partículas de carbón cuando están sometidos a elevadas temperaturas de funcionamiento.

Este porcentaje de carbón se puede disminuir si la base se somete a un tratamiento severo de refinación, ya sea con solventes, hidrotratamiento, filtración o tratamientos con ácidos.

b.- Contenido de Cenizas Sulfatadas Método ASTM D-482 y ASTM D-874

Esta relacionado con la cantidad de materiales no combustibles que pueden estar presentes en el aceite, como polvo, algunos como aditivo y partículas metálicas provenientes del desgaste de las superficies lubricadas.

En los aceites nuevos indica el contenido de aditivos órgano-metálicos y en los usados el nivel de deterioro de los aditivos o la contaminación del aceite con partículas no combustibles. Los aceites minerales puros no contienen materiales que forman cenizas.

El contenido de cenizas sulfatadas de un aceite es la relación entre el peso de los residuos que quedan de una muestra del aceite cuando se quema, y se trata con ácido sulfúrico y el peso inicial de la muestra.

c.- Numero de Neutralización o TAN Método ASTM D-664 y ASTM D-974

El número de neutralización TAN (numero de ácido total) de un aceite nuevo o usado es la cantidad en miligramos de una base estándar (KOH), que es necesario añadirle a un gramo del aceite para neutralizarle los ácidos que contiene. En los procesos de tratamiento con ácido de la base lubricante es esencial que todo el ácido sulfúrico se neutralice y se lave para que el aceite nuevo presente un bajo TAN.

d.- Numero Básico Total (TBN) Método ASTM D-664 y ASTM D-2896

Es la alcalinidad del aceite nuevo y especifica la cantidad en miligramos de un ácido (HCL) que es necesario añadirle a cada gramo de aceite nuevo para que neutralice las sustancias básicas que posee. Esta característica se refiere a la detergencia de los aceites automotores que los de tipo industrial, debido a que los aditivos detergentes, dispersantes aumentan la reserva alcalina del aceite.

e.- Punto de Anilina Método ASTM D-611

Indica el contenido de hidrocarburos saturados (no reactivos en el aceite lubricante) y permite determinar la composición de la base (parafínica, nafténica o aromática) y su tendencia a deformar los sellos de caucho de las maquinas que lubrica el aceite.

f.- Corrosión al Cobre Método ASTM D-130

La mayor parte de los aceites nuevos son absolutamente inofensivos frente a los metales, que constituyen los mecanismos a lubricar. No obstante, es de interés determinar la tendencia que presenta un lubricante para provocar corrosión en los metales blandos, tales como el babbitt, cobre, bronce, etc. La corrosividad del aceite aumenta si hay presencia de agua porque ésta puede llevar parte de los aditivos anticorrosivos del aceite.

III.-ANALISIS DE ACEITES USADOS

3.1.-CARACTERISTICAS DE UN PROGRAMA DE ANALISIS DE ACEITES USADOS

Es un conjunto de procedimientos y mediciones aplicadas al aceite usado en las máquinas y equipos, que facilitan el control del estado del lubricante en el sentido como se encuentra trabajando si cumple o no cumple su función, otro punto que además podemos aprovechar la calidad de sus aditivos según las horas trabajo o kilometraje entre cambios de aceite. Así obtener un mejor control por cada equipo un historial de data para implementar un periodo de mantenimiento sostenido.

El objetivo primordial y final es suministrar información para tomar acciones significativas con tiempo y acertadas para evitar hacer paradas de planta por mantenimiento, sin atacar la raíz de los problemas que pueden ser consecuentes. Esto ayudaría a conservar el estado de las maquinas en el uso industrial cumpliendo su tiempo de vida.

Los análisis de aceite, dan como valor agregado de saber la calidad de un lubricante y obtener el mayor valor de los lubricantes.

La aplicación de los análisis se puede realizar:

- En un laboratorio especializado se podría definir en algo pequeño que estos análisis son más confiables ya que utilizan equipos más robustos y precisos de forma cuantitativa y cualitativa.
- En el campo lo análisis pueden dar una solución fácil, de manera cualitativa y cuantitativa como para tomar decisiones rápidas presentada por un evento de algún contaminante o algún problema con una maquina en casos que ha pasado los límites permisibles de algún contaminante pero con un error mayor

que si es analizado por el laboratorio y que mediante indicadores, kits, o equipos pequeños que se pueden desplazar ayudan al operador de la maquina.

3.2.- OBJETIVOS DE HACER ANÁLISIS A LOS ACEITES USADOS

1. Reducir costos de Mantenimiento, esto implica que haciendo uso de los reportes e interpretándolo, ayudara a mejorar a realizar correctamente los mantenimientos, sabiendo los puntos críticos, evitando así los cambios de piezas por diferentes factores.
2. Incrementar la disponibilidad de los equipos trabajando esto dará mayor Producción, ya que se extiende los periodos de mantenimientos, con un estudio dado por los reportes ampliara la vida útil de cada equipo.
3. Proporcionar seguridad a los operadores de los equipos y a la vez mayor producción por equipo, en caso contrario si hay inconvenientes, serán por casos de otros factores que no será de valor crítico y fácil solución.
4. Optimizar los periodos de drenaje del aceite, extrayendo su mayor valor. Lo ideal de los aceites lubricantes es que cumpla lo que realmente establece el fabricante de aceite sin afectar al equipo, con km o horas trabajadas constantes, analizadas por el laboratorio de análisis mediante un muestreo constante y llegar a realizar una estadística del historial obtenido para poder garantizar la calidad del aceite por km o horas trabajadas.
5. Asegurar una larga vida y rentabilidad de trabajo de los equipos.

3.3.- IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE ANALISIS DE ACEITE USADO

Para la implementación de un programa se necesita de un plan de acción, estructurado con equipos y personal capacitado en el tema, con experiencia en análisis de aceites nuevos y usados. Este contraste de análisis ayuda a ver de cómo los aceites se van degradando con el tiempo, cada análisis tiene un

procedimiento para un tipo de aceite lubricante. Estos análisis se pueden hacer en el laboratorio o en campo.

Todo implementación de análisis de aceite comienza con un muestreo adecuado representativo del problema que pasa la maquina o motor. Cumpliendo todos estos puntos importantes se realizara un reporte dando una confiabilidad de los resultados.

3.4.- HERRAMIENTAS PARA APLICAR EL PROGRAMA

Para la realizar del programa, el personal encargado debe conocer los .procedimientos adecuados de los instrumentos e interpretar los reportes del control de cada motor, asi como el almacenamiento de los mismos entre ellos tenemos:

- Instalación de puertos y válvulas para muestreo.
- Instalación de filtros, respiraderos, etc.
- Establecer límites de advertencia y metas por equipo.
- Cálculo de la frecuencia de muestreo.
- Instalar instrumentos para pruebas en sitio. - Viscosidad. - Agua. - TBN

3.5.-PROBLEMAS RELACIONADOS DEL PROGRAMA DE ANALISIS DE ACEITE CON LA LUBRICACIÓN

Un mal control o flujo de datos, puede conllevar a problemas directos al motor, por una mala interpretación de resultados de una mala muestra. Así que toda acción que se realice debe seguir el mismo proceso para cada análisis, de los casos los más comunes son:

- Pérdida repentina de Volumen de lubricante.
- Bajos / altos niveles de lubricante.

- Lubricante incorrecto / Mal seleccionado.
- Lubricante mal almacenado.
- Problemas en el trasvase para llenado.
- Degradación / Oxidación.
- Contaminación con partículas (Sílice, Calcio, etc).
- Contaminación con agua.
- Contaminación con Combustible (Dilución).
- Contaminación con refrigerantes.
- Agotamiento de los aditivos/Oxidación.
- Formación de espuma.
- Largos periodos de chequeo, cambio o muestreo, etc.

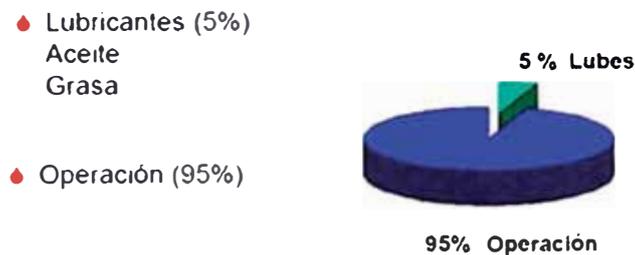


Figura N° 34.- Costos de Mantenimiento Asociados

3.6.- POSIBLES CONTAMINANTES

- **Tierra:**

La tierra entra generalmente al motor por un filtro de aire que ha sido “soplado” con aire comprimido, por empaquetadoras que no sellan la entrada de aire al sistema, por un filtro de aire golpeado que no sella contra su cámara o porta filtros, por el sello del tapón donde se llena o mide el aceite o por alguna grieta en los ductos, sellos y abrazaderas del sistema de admisión de

aire. También muchas veces la tierra ingresa por un medidor, embudo o bomba sucios al hacer el cambio o aumentar aceite. Nunca se debería cambiar aceite a la intemperie, en un lugar con piso de tierra o con medidores expuestos al ambiente. La tierra que ingresa actúa como abrasivo. Un buen filtro de aceite elimina una parte de la tierra que entró, pero nunca toda.

- **Agua:**

El agua entra al motor por grietas en la empaquetadura de culata, perforaciones de camisa o bloque del motor, combustión, sellos de camisas, charcos en las calles o ríos (por el medidor de aceite sumergido), lavado del motor a presión, etc. El agua causa herrumbre y al emulsificar con el aceite aumenta su viscosidad reduciendo la lubricación.

- **Lodo:**

El lodo se forma en el motor por falta de aditivos, la humedad de la combustión y motor funcionando frío. El motor está diseñado para operar entre 80°C a 100°C. Si se opera sin termostato nunca llegará a su temperatura ideal, consumirá más combustible y causará la formación de lodos. También si solo opera el auto 3 ó 4 kilómetros y nunca más lejos, el motor no llega a calentar lo bastante para secar la humedad del aceite. El lodo restringe el flujo de aceite, evita la transferencia de calor del motor al aceite, evita una lubricación completa, compite con los aditivos por las superficies y evita la llegada del aceite a los retenes para mantenerlos flexibles.

- **Residuos del ambiente:**

El motor ingesta aire para mezclar con el combustible y quemar. El aire contiene diferentes componentes de acuerdo al área de trabajo. Si funciona en una mina se puede esperar que el aceite se contamine con el material de la

mina. Si trabaja en la playa o en un área donde se echa sal a los caminos para derretir la nieve, se puede esperar una acumulación de sodio en el aceite.

3.7.- PÉRDIDA DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ACEITE EN EL MOTOR

El desgaste de un motor, en si no se puede eliminar pero si disminuir con una buena elección de aceite lubricante, esto es controlada en el laboratorio de análisis, para cada tipo de sus propiedades fisicoquímicas como:

3.7.1.- VISCOSIDAD

La viscosidad es un factor imprescindible que afecta la operación del equipo, como pérdidas de fricción y el espesor de la película de aceite en el sistema de lubricación. Su medición y tendencia son, por lo tanto críticos para usarse en el análisis de aceite. Los cambios en la viscosidad pueden afectar adversamente el desempeño y estabilidad del lubricante como el contacto metal-metal y desgaste. El Cambio en la viscosidad del lubricante es un síntoma común de la presencia de otros problemas.

La tasa de cambio de viscosidad por la degradación del aceite depende de la presencia de agentes contaminantes o por el consumo de los aditivos el cual ya no aseguran la vida del equipo operativo.

Algunas de estas causas son:

- Cantidades excesivas de contaminación como agua, glicol, combustible, solventes y/o partículas muy pequeñas.
- Degradación química severa, comúnmente debida a la oxidación.
- Relleno con aceite de grado de viscosidad incorrecto.

- Corte mecánico severo en el aceite.

Algunos de los análisis que se ha de realizar para determinar la variación de la viscosidad son:

- Punto de flama
- Contenido de agua
- Espectroscopia de elementos
- Estabilidad de Oxidación
- Numero de Neutralización debido a la degradación química.

En el análisis según los valores del fabricante en la elección del lubricante, estas tienen un rango de límites superior e inferior, el cual:

El valor de la viscosidad no debe ser $> 10\%$ de la viscosidad promedio ISO o SAE

El valor de la viscosidad no deber ser $< 5\%$.de la viscosidad promedio ISO o SAE

3.7.2.- PUNTO DE INFLAMACIÓN

Es una propiedad del aceite base del lubricante que esta relacionado con la viscosidad del aceite a temperaturas de trabajo 40° o 100°C . Uno de los casos de variación es el descenso del punto de inflamación para el aceite en servicio indica presencia de combustible en el mismo, contaminación por otro aceite, o una mala elección de aceite.

El valor del punto de inflamación del aceite nuevo para motores diesel esta situado alrededor de los 230°C . La restricción que se podrian, con respecto a la disminución del punto inflamación son:

Cuadro N° 15.- Límites de Temperatura de Inflamación

Temperatura de Inflamación	Observación	Posible Causa
Si la $T_i \geq 200^\circ\text{C}$	Es aceptable	Vida del aceite en uso.
Si la T esta en $180^\circ\text{C} < T_i \leq 200^\circ\text{C}$	Monitoreo de la viscosidad y Punto de Inflamación.	Presencia significativa de combustible o aceite mezclado
Si la T esta en $150^\circ\text{C} < T_i < 180^\circ\text{C}$	Cambio de Aceite	Se denota la presencia notable de combustible.
Si la $T < 150^\circ\text{C}$	Cambio Urgente	Se considera alarmante hasta puede ocasionar explosionar el Carter.

Diluciones superiores a un nivel determinado pueden causar una marcada disminución de la viscosidad del aceite que puede producir un excesivo desgaste de los cojinetes y una rápida avería en el motor. Las posibles causas son mayormente por el sistema de combustible del motor (Inyectores, Bombas, Juntas, retenes , etc.).

El punto de inflamación se puede establecer límites críticos, ya que un incremento pequeño podría causar daños costosos.

Diluciones hasta un 1,5 % en peso, pueden considerarse aceptables. Diluciones hasta un 2% en peso, indican notable presencia de combustible y debe optarse por un cambio inmediato del aceite.

Diluciones superiores al 5 % deben considerarse como alarmantes y se aconseja realizar una inspección detallada del sistema de combustible del motor B.N. (numero de base).

3.7.3.- NUMERO BASE O TBN (Numero Básico Total)

Indica la alcalinidad que posee un aceite de motor para neutralizar los productos ácidos procedentes de la combustión y oxidación del aceite.

Se expresa en miligramos de KOH necesarios para neutralizar todos los componentes ácidos que se encuentran en un gramo de aceite y pueden variar de la siguiente forma en su aplicación.

- Contenido en Azufre del combustible.
- Oxidación del aceite.
- Temperatura del motor y tipo de operación.
- Presencia de compuestos derivados de la combustión.
- Degradación aditivos detergentes por contaminación con agua.

El número de base de un aceite de motor va disminuyendo, con respecto a su valor original, a medida que va prolongando su tiempo en servicio. Nunca se debe dejar agotar el Numero Base en un aceite ya que originaria la aparición de productos fuertemente corrosivos y depósitos perjudiciales para el motor. Como norma se puede establecer el cambio del aceite cuando el valor del Numero Base desciende el 50 % del Numero Base original del aceite.

3.7.4.- INSOLUBLES TOTALES

La formación de depósitos en el motor es el resultado natural de someter a un aceite lubricante a las condiciones de operación del motor. Los depósitos del motor son material insoluble en el aceite que puede aumentar hasta tal punto que no pueda mantenerse en suspensión en el aceite.

La mayor parte de los depósitos son el resultado de la polimerización del combustible no quemado y la oxidación del aceite por temperaturas elevadas. Los depósitos también pueden contener el producto de combustiones incompletas (hollín, carbonilla, etc.), el polvo que lleva el aire, agua, óxido y metales de desgaste del motor.

Es esencial eliminar la formación de depósitos en el motor a través de elementos fundamentales (Filtros, depuradoras, etc.) y procurar mantener dichos depósitos en un tamaño lo más pequeño posible que les permita estar suspendidos en el aceite sin producir daños.

Una forma de controlar y evitar acumulación es controlando sus límites como lo indica: contenidos de Insolubles totales en valores del 1-1,5 % son considerados significativos y valores comprendidos entre 1,5-2,5 % son elevados y debería cambiarse el aceite.

Valores superiores al 3 % son excesivos y sería necesaria una inspección del estado del motor (Puesta a punto, Revisión Inyectores, Aire, etc.)

3.8.- DESGASTE DE LOS METALES DEL MOTOR EN EL LUBRICANTE

En todo motor, aunque este bien lubricado y con un buen mantenimiento se produce desgaste. Sin embargo las concentraciones en partículas metálicas varían de un motor a otro, e incluso entre motores idénticos de la misma marca.

El análisis espectrográfico del aceite del motor usado es una herramienta muy útil para medir la cantidad de los contaminantes de metales de desgaste en el aceite. Este método comenzó a utilizarse hace muchos años (1950/55) en los motores diesel para ferrocarriles para determinar la condición de desgaste.

Los metales se encuentran en el aceite debido al desgaste de algunas piezas del motor (Aluminio, Plomo, Cromo, Níquel, Cobre, Estaño, Hierro).

El Silicio:

Puede ingresar en el aceite debido a la entrada de suciedad al motor (Polvo, arena). Si se producen fugas del líquido refrigerante del motor en el aceite puede encontrarse Boro, Sodio y tal vez Potasio.

También pueden encontrarse en el aceite usado un grupo de metales provenientes de los aditivos, del aceite nuevo. Estos metales suelen ser Calcio, Magnesia, Zinc y Fósforo.

Hierro:

Usualmente un aumento brusco del contenido en Fe en un aceite usado es causado por el excesivo desgaste de las Camisas (Cilindros).

También puede estar relacionado con la corrosión (Oxidación de piezas del Motor) debido a periodos prolongados de parada del motor y no poseer un aceite protector.

Cromo:

El Cromo puede provenir de los Aros del Pistón (Aros cromados), Levas y empujadores de válvulas y algunas camisas que lleven aleaciones con este metal.

Cobre:

La presencia de niveles altos de cobre puede estar indicando el desgaste de los Cojinetes de aleación Cobre-Plomo. También puede proceder de diferentes piezas del motor que incorporan este metal en sus aleaciones (Casquillos de Biela, Cojinetes de empuje del Cigüeñal, etc.).

Plomo:

La presencia de Plomo puede indicar desgastes en los Cojinetes del motor. Con frecuencia el plomo se utiliza en las aleaciones de los Cojinetes principales y de Biela del Motor. Podría proceder, en los motores a Gasolina, del propio combustible que incorpora aditivos con plomo.

Aluminio:

La presencia de Aluminio procede del desgaste de los propios pistones del Motor.

También puede proceder de los Cojinetes de empuje del Cigüeñal y Cojinetes intermedios de Levas.

Estaño:

La presencia elevada de estaño puede proceder de los Cojinetes de biela y Cojinetes principales del Cigüeñal.

Silicio:

La presencia de Silicio indica la entrada de suciedad. Esta puede ser debida a que el sistema de toma de aire es defectuosos (Filtros de aire). También la suciedad puede entrar al motor a través de la tapa de llenado y las cubiertas de respiradero del motor. También puede provenir del desgaste de los pistones de aleación de aluminio que tienen un alto contenido de silicio.

Determinados aceites de motor llevan incorporado cierta cantidad de Silicio en el aceite nuevo como aditivo antiespumante. Debe tenerse esto en cuenta para poder evaluar en la mejor forma posible el resultado en estos aceites. El Silicio también está presente en los combustibles de los motores, sobre todo en los residuales.

La combinación de lecturas de metales de desgaste elementales indica el punto de entrada de suciedad, señalando cual es el componente del motor que evidencia un desgaste anormal. Por ejemplo, una combinación de contenidos elevados de Silicio, Hierro y Cromo indica la entrada de suciedad a través del sistema de aire, lo que puede causar el desgaste de las camisas y los aros del pistón.

Un contenido en Silicio de 100 ppm. O superior puede indicar un desgaste abrasivo severo de piezas móviles del motor. Si esta condición se produce debe cambiarse inmediatamente la carga de aceite y el filtro de aire.

Sodio:

Los niveles elevados de Sodio obedecen a fugas del líquido refrigerante de los Motores. Existe Sodio presente en los inhibidores de corrosión de los refrigerantes. El metaborato de sodio es un inhibidor de corrosión común.

También el Sodio está presente en los combustibles residuales utilizados en los grandes motores diesel marinos y estacionarios.

Metales de aditivación:

Debe tenerse en cuenta en la interpretación de resultados de análisis de aceites usados en Motores Diesel los metales presentes en el aceite como aditivos mejoradores de las características de los aceites. Estos metales corresponden a: Calcio, Magnesio, Fosforo y Zinc.

Las cantidades existentes en los aceites varían de acuerdo a su composición y aplicaciones. Debe tenerse en cuenta su valor original para compararlo con los resultados obtenidos en el aceite usado.

3.9.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

- No es fácil tener una completa interpretación de las condiciones de operación de un aceite con un solo análisis, a partir de tres resultados se obtiene información más certera.
- Para una mejor interpretación de los resultados de laboratorio se recomienda interrelacionar las pruebas entre si y así corroborar el efecto.
- Los análisis previos o iniciales a los aceites nuevos (cambio de referencia), son importantes para poder determinar si hay cambios reales en los resultados (línea base).
- Es definitivo analizar los cambios mediante tendencias y la variación de sus pendientes.
- Diseñar el manual de interpretación para la operación.

Cuadro N° 16.- Contenido de Metales y Posibles Originadores de Desgaste en Motores Diesel

Hierro	Cobre	Plomo	Aluminio	Cromo	Sílice
Guías de Válvulas	Bujes de los pasadores	Cojinetes de Biela	Cojinetes de Biela	Asientos de Válvulas	Suciedad
Camisas de Cilindro	Enfriador de Aceite	Cojinetes de Bancada	Cojinetes de Bancada	Anillos Superiores	Empaques
Engranajes	Cojinetes de Empuje	Cojinetes del Árbol de Levas	Pasadores de Pistón	Anillos Aceiteros	
Cuerpo de Válvulas			Cojinetes del eje de Levas		
Anillos de Pistón			Bujes del Eje de Balancines		
Cigüeñal			Engranajes		
Eje de Levas			Pistones		
Levas					
Bomba de Aceite					

Cuadro N° 17.- Posibles Causas de Desgaste

Metal de Desgaste	Posible Causa
Hierro	Trabajo de la maquina en frio. Mal ajuste de partes
Cobre	Desprendimientos del sistema de enfriamiento de aceite
Plomo	Desgaste de cojinetes de babbit. Material de soldadura.
Aluminio	Desgaste de cojinetes del turbo. Sobrecalentamiento de pistones.
Cobre Agua ó Glicol	Fugas del sistema de enfriamiento de aceite. Desgaste de cojinetes de empuje. Desgaste de cojinetes y/o bujes
Aluminio y Oxidación	Oclusión de la lubricación del Turbo. Problemas con el turbo por arranque o parada impropia.
Silicio+Cromo+Hierro	Entrada de polvo en el sistema de inducción y posible desgaste de anillos y camisas de cilindro.
Silicio+Hierro+Plomo+Aluminio	Presencia de polvo en la parte inferior del motor. Riesgo de avería del cigüeñal y los cojinetes.

IV.- METODO PARA HALLAR EL % DE GASOLINA EN UN ACEITE LUBRICANTE.

4.1.- COMBUSTIBLE GASOLINA

La gasolina es una mezcla de muchos hidrocarburos que están en el rango aproximado de C5 (hidrocarburos con cinco átomos de carbono) a C11 (hidrocarburos con once átomos de carbono).

Actualmente la gasolina es de principal importancia para los vehículos automotor de ignición por chispa y de combustión interna. Se obtienen por separación de fracciones relativamente volátiles durante el proceso de destilación primaria de petróleo crudo y de procesos complejos de refinación, como el craqueo catalítico.

Las gasolinas en su composición están los hidrocarburos parafínicos que tiene pobre octanaje y poco o nada de sensibilidad, los aromáticos posee un alto octanaje y buena sensibilidad, los olefínicos tiene buena sensibilidad pero no tiene alto octanaje como los aromáticos.

Muchas refinerías están concentrando su atención en el mejoramiento de las concentraciones de estos hidrocarburos para poder cubrir los requerimientos de la calidad de producto. La cantidad de combustibles dentro de sus especificaciones esta el olor indeseable causado por los compuestos de azufre, tanto la gasolina virgen liviana como la gasolina virgen pesada se someten a tratamiento, si el contenido de azufre es demasiado, el destilado puede ser enviado a la unidad catalítica de desulfuración.



Figura N°35.- Planta de Petroperú

La estabilidad de los hidrocarburos es medida por su habilidad para resistir la formación de depósitos de resinas o gomas bajo las condiciones adversas del tiempo de almacenamiento, esta tendencia a formar depósitos se controla añadiendo aditivos en la gasolina terminada.

Gasolina Petroperú Super Plus 97 (sin plomo)

Las gasolinas Petroperú tiene un aspecto transparente, de gran potencia por el excelente poder calorífico, y una volatilidad cuidadosamente balanceada, que permite un mejor encendido del motor.

Los octanajes son usados según el requerimiento de cada vehículo, para evitar el molesto pistoneo del motor.

Posee un mínimo contenido de azufre y gomas, para evitar problemas de corrosión y depósitos en el sistema de combustible y partes del motor, prolongando la vida útil de éste.

Los aditivos de última generación proporcionan cualidades de detergentes, anticorrosivos y dispersantes, manteniendo limpio todo el sistema de combustible del motor. Esto supone un ahorro económico por mantenimiento. Estos aditivos de elevada eficiencia contribuyen a proteger el medio ambiente al reducir la emisión de gases contaminantes e hidrocarburos no quemados.

4.2.- EQUIPO INFRAROJO

Este instrumento está basado en el principio del interferómetro de Michelson, que funciona del siguiente modo: la radiación primero golpea a un divisor que separa el haz de la luz en dos partes iguales (espejo semi-reflejante). Estos dos haces de luz interfieren en el divisor después en su viaje de vuelta cuando son reflejados sobre otros dos espejos. Uno dispuesto frente a la trayectoria del haz original (espejo móvil) y el otro perpendicular (espejo fijo). En esta trayectoria se dispone la muestra en una celda y a continuación el detector del Infrarrojo.

La intensidad resultante de la superposición de los dos haces es medida como función del desfase (s) del espejo móvil en su desplazamiento respecto a la posición intermedia. El gráfico resultante (Intensidad vs. Desfase) se denomina interferograma.

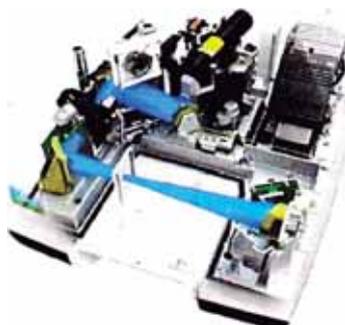


Figura N°36.- Equipo Infrarrojo

Cuadro N° 18.- Especificaciones técnicas

ENSAYOS	ESPECIFICACIONES		MÉTODO
	MIN.	MAX.	ASTM
APARIENCIA	Transparente		Visual
VOLATILIDAD			
Destilación, °C (a 760 mm Hg)			D-86
10 %V recuperado		70	
50 %V recuperado		140	
90 %V recuperado		200	
Punto final de ebullición		221	
Recuperado, %V	96		
Residuo, %V		2	
Pérdida, %V	Reportar		
Relación vapor/líquido = 20, °C	56		D-2533, D-4814
Presión de vapor Reid, psi		11	D-323
CORROSIVIDAD			
Corrosión lámina de cobre, 3h, 50°C, N°		1,0	D-130
Azufre total, % masa		0,1	D-1266, D-4294
ANTIDETONANCIA			
Número de octano Research	97		D-2699
ESTABILIDAD EN LA OXIDACION			
Periodo de inducción, minutos	240		D-525
CONTAMINANTES			
Plomo, g/L		0,013	D-3237
Goma existente, mg100mL		5,0	D-381
(a) Sin colorante, corresponde al color natural de la gasolina			

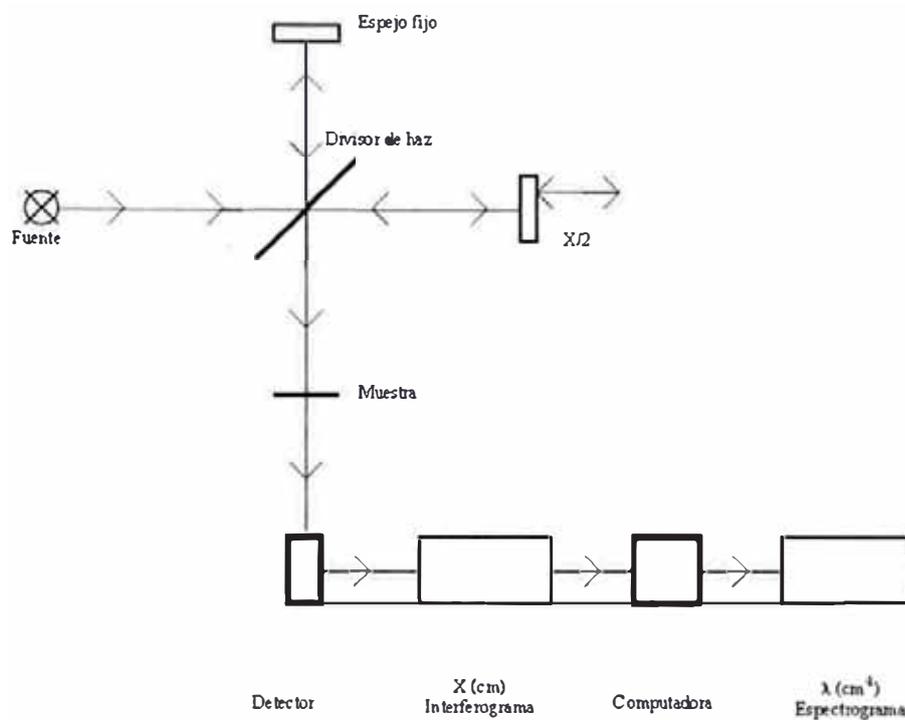


Figura N°37.- Diagrama del Recorrido del Infrarojo

La transformación de Fourier se usa como método matemático para el desarrollo en serie la curva obtenida (interferograma). La transformada está constituida por el sumatorio de senos y cosenos de las distintas frecuencias ópticas que componen la radiación. Mediante un programa de ordenador el tedioso cálculo matemático se simplifica y se obtienen resultados exactos y rápidos de la frecuencias elementales contenidas en el interferograma. La transformada de Fourier (o desarrollo de la serie de Fourier) del interferograma es el espectro ordinario obtenido por aparatos convencionales del Infrarojo.

En efecto, el interferograma contiene la absorción completa de la muestra descrita para cada longitud de onda por la correspondiente disminución de intensidad luminosa. El interferograma más sencillo corresponde a una radiación monocromática (una sola frecuencia), obteniendo una curva función coseno de la

frecuencia correspondiente. En cualquier interferograma cada punto contiene datos de todas las frecuencias que contiene el espectro completo.

La información de una señal con forma de coseno en el detector (interferograma más simple) sería mostrada después de la transformada como una sola línea de un número de onda particular (luz monocromática de una sola frecuencia). Pero cualquier interferograma común es el resultado de la combinación de múltiples frecuencias que con las Transformadas de Fourier es posible realizar.

Su alta sensibilidad es consecuencia de una mayor energía de flujo del haz de luz hasta llegar al detector y de la mejora de la relación señal/ruido por medio de interferogramas. Es tan notable el avance de sensibilidad que en el momento en que tecnológicamente se pudo hacer interferómetros de Michelson mejores y precisos prácticamente todos los espectrofotómetros comerciales Infrarrojos en la actualidad son por Transformadas de Fourier.

Procedimiento de Análisis por Espectroscopia.

El equipo a desarrollar utiliza 3 tipos de software:

a) Spectrum 65:

Este programa viene desarrollando por todas las herramientas posibles para ver el espectro y realizar cambios por el mismo programa como: visualizar regiones específicas, comparar espectros, realización de muestreos, número de lecturas o barridos, correcciones de espectros, ver por transmitancia o por absorbancia. Por este software se instala el equipo y realiza todas las verificaciones para la detección entre el software y el equipo.

b) Used Oil:

Este programa desarrolla mas el análisis de espectros incluyendo valores específicos de las propiedades con el cual se ha diseñado detectar en las regiones programadas y dar un resultado optimo gráficamente y numéricamente en un reporte por el mismo programa generado.

Algunos de los parámetros que incluyen este programa son: hollín, oxidación, nitración, agua, hidróxidos, glicoles, sulfatos.

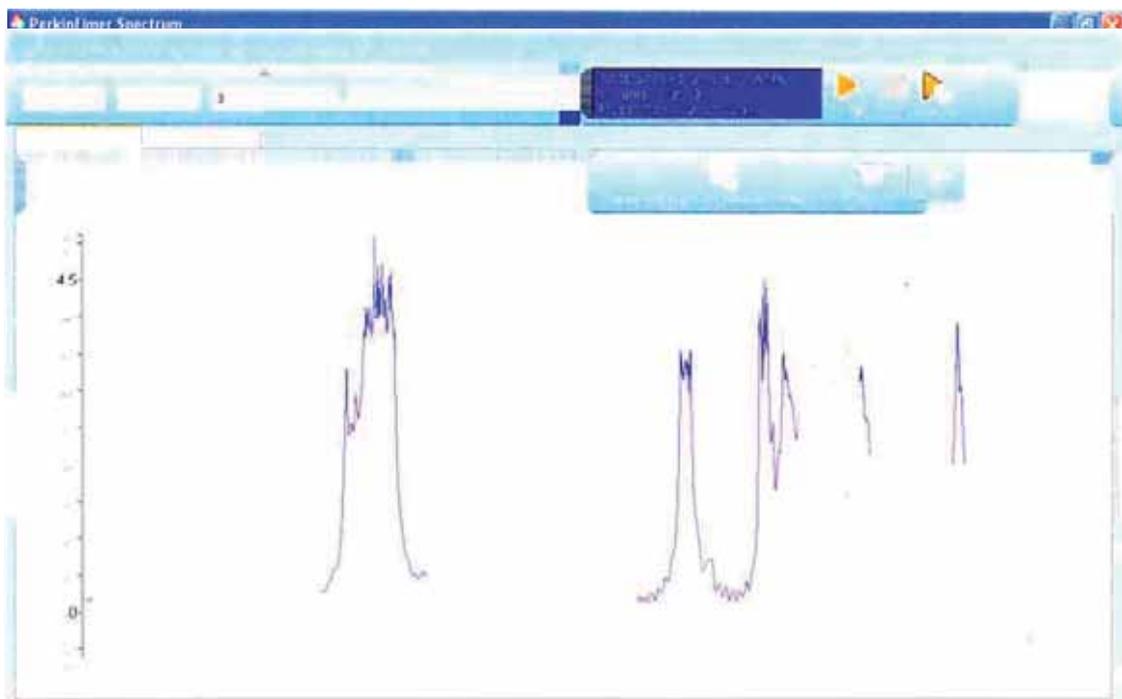


Figura N° 38.- Espectro de un Aceite Lubricante

Según en la región que se encuentre, las intensidades de señal por Absorbancia o Transmancia, se definirán contaminantes externos y degradación del aceite usado definidos por su rango de longitud de onda característica de cada caso de comparación de un espectro aceite base lubricante nuevo y el usado.

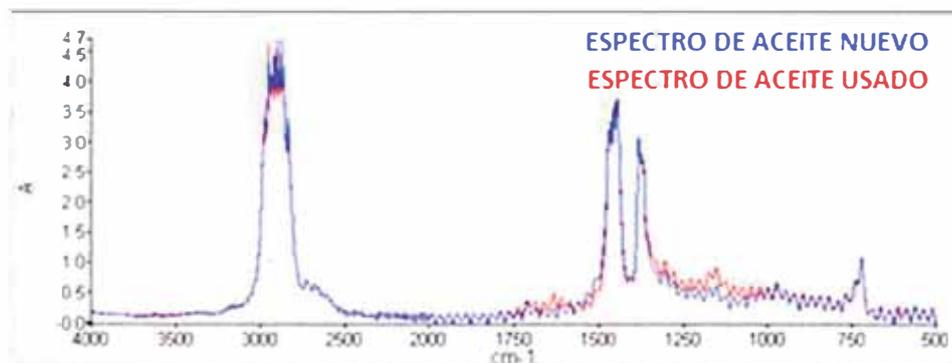


Figura N°39.- Comparación de Espectro de un Aceite Nuevo y Usado

Cuadro N° 19.- Resultados de un Análisis por Espectroscopia de un Aceite Usado

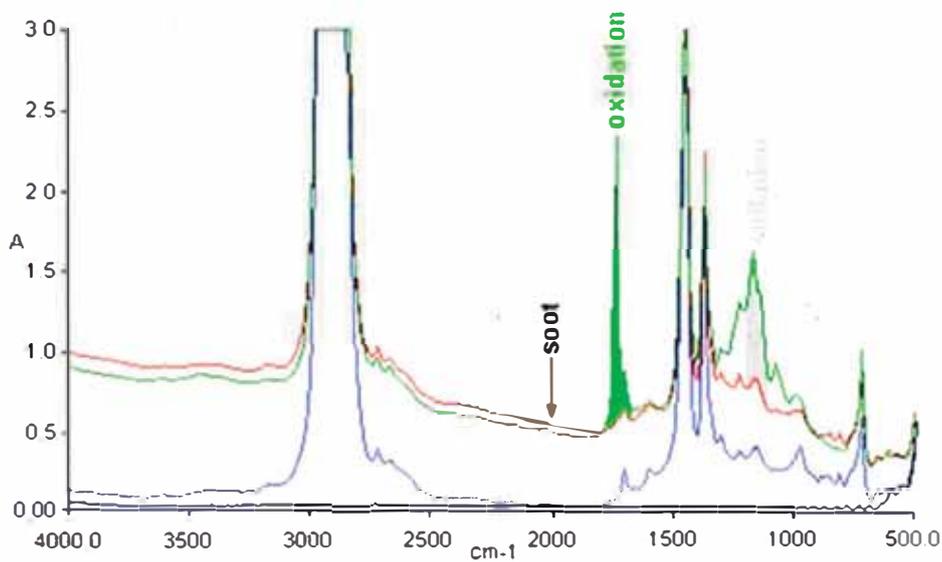
Parámetro	Resultado	Unidad
Agua	0.11	%
Glicol	0	%
Sulfatos	3.95	Abs/cm
Hollín	0.01	%
Nitración	15	Abs/cm
Oxidación	3	Abs/cm

c) Software Quant

Este programa ayuda a hallar nuevos parámetros según la necesidad del analista por investigar y crear nuevos métodos para el control de los aditivos, contaminantes, elementos metálicos, etc. Por este software se tiene que haber antes desarrollado un historial de espectros conocidos en la cual el valor a control sea conocido y a partir de allí generar una curva de estimaciones donde una variable son los espectros y la otra es el valor de interés. Para esto se creara un nuevo método para cada variable de interés y mediante las herramientas del programa nos ayuda a predecir el valor del parámetro a controlar para una muestra conocido su espectro el cual se puede realizar con el software Spectrum o Used Oil.

Cuadro N° 20.- Frecuencias de Parámetros de Control de un Aceite por FTIR

Parámetro	Longitud de onda (cm^{-1})
Oxidación	Aceite mineral – 1750
Oxidación	Éster Orgánico – 3450
Oxidación	Éster Fosfatado – 815
Sulfatación	1150
Nitración	1630
Hollín	2000
Agua	Aceite mineral – 3400
Agua	Éster Orgánico – 3625
Glicol	880, 3400, 1040 y 1080
Glicol	Diesel – 800
Glicol	Gasolina – 750
Antioxidantes (Fenol inhibido)	3650
Antidesgaste (ZDDP)	980

**Figura N°40.- Intervalos de Espectros conocidos en Aceites Usados**

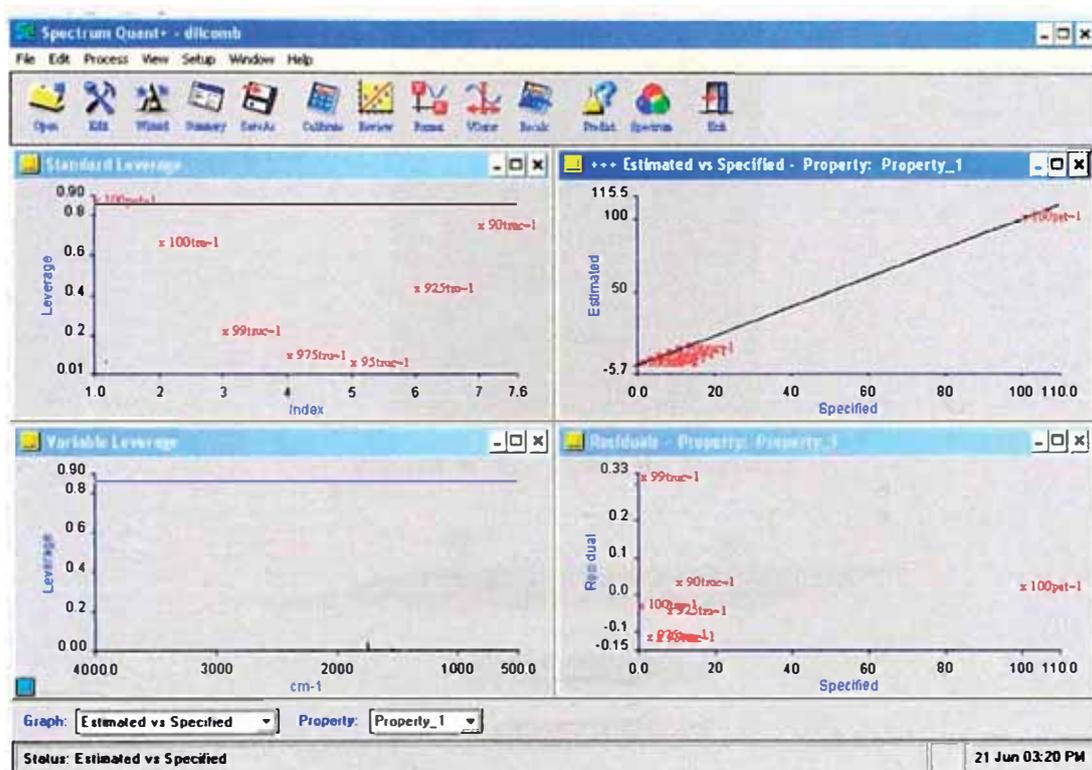


Figura N°41.- Manejo de la Base Datos con respecto al Porcentaje de Gasolina en el Aceite Usado

4.3.- CALIBRACIÓN DEL EQUIPO INFRAROJO

Ya definidos los 3 software que se utiliza se procederá a calibrar el instrumento colocando una muestra en blanco y una muestra conocida, para este caso se utilizara el Software Used Oil.

Pasos para la Calibración:

1.- Armar la celda utilizando las placas y las demás accesorios con sumo cuidado, verificando la limpieza de cada uno de ellos utilizando el solvente N-heptano de alta pureza.

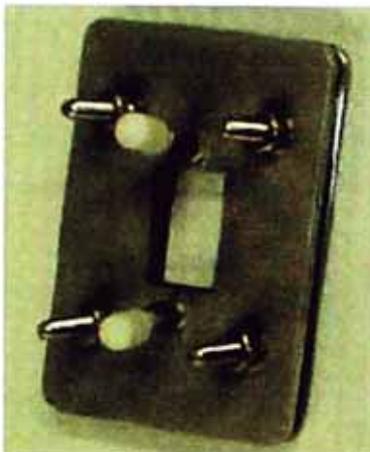


Figura N°42.- Celda de Muestra

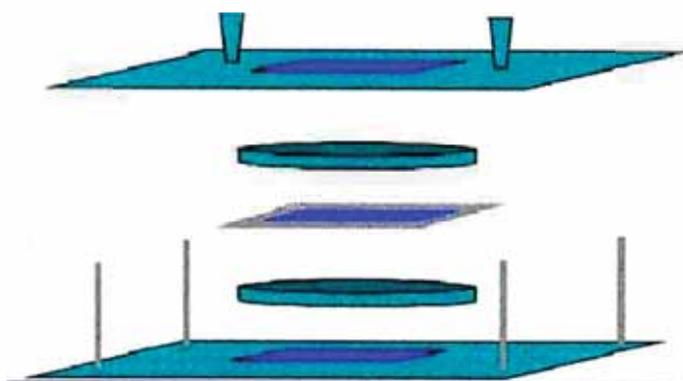


Figura N°43.- Partes de la Celda

- 2.- Abrir el programa USED OIL, luego elegir en el tipo de muestra PATHLENGHT.
- 3.- _Hacer click en Background, este espectro es comparado con un espectro patrón para confirmar si el interior de la celda se encuentra limpio.
- 4.- Sacar e introducir el solvente N-heptano de alta pureza.
- 5.- Hacer pasar por el Infrarrojo lleno con heptano, y click en SAMPLE SCAN.
- 6.- Elegir los 5 picos y verificar que el pathlength < 0.136 valor predeterminado por la calibración.

7.- Después de verificar este resultado. Procedemos a utilizar cualquier programa del Equipo Spectrum, Used Oil, Quant. Pero para el método solo se utilizara el Spectrum y el Quant el cual se mostrara con sus respectivos procedimientos.

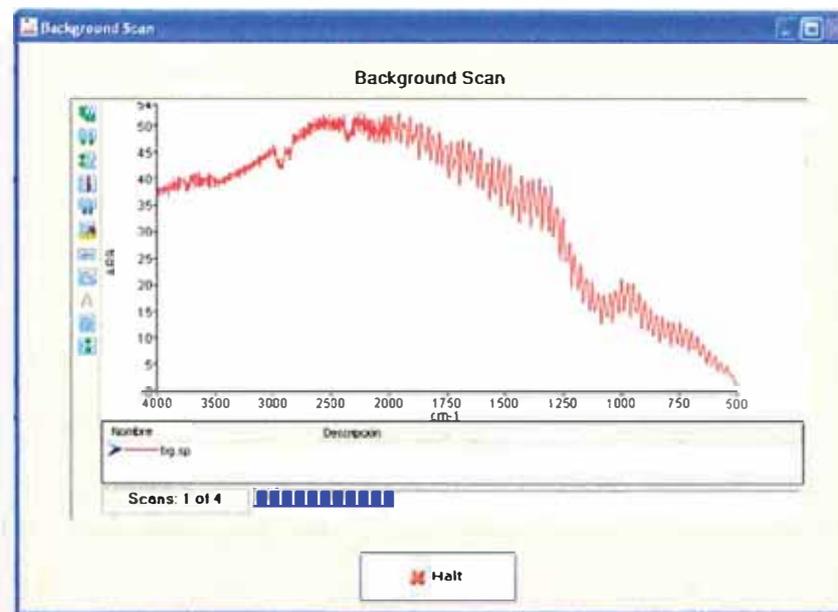


Figura N°44.- Patrón de Limpieza interna de la Celda

4.4.-PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE UNA MUESTRA DE ACEITE USADO POR LOS SOFTWARE UTILIZADOS EN EL METODO

4.4.1.-Alcances:

El análisis del lubricante es una herramienta de monitoreo de condición, que tiene vigencia hace 65 años, que permite conocer la salud del lubricante, la contaminación del mismo e identificar procesos de desgaste en la maquinaria por corrosión, acides, dilución, oxidación, etc.

El primer nivel por el cual se comenzara a explorar este método, es la de agrupar todos los aceites lubricantes usados para motor, conociendo las propiedades fisicoquímicas que la da mayor resistencia a su aplicación mediante los aditivos que contiene (P, Zn, Mg y Ca) y la misma base que es el aceite conformada por los aceites parafinicos resistentes a la alta temperatura.

Nuestro estudio englobara a estos aceites, cuya composición fisicoquímica, esta relacionada con la viscosidad propiedad importante y el % de azufre contenido en la muestra. El % de azufre esta relacionado directamente con el contenido de combustible contaminado con el aceite, por la combustión interna mediante esto se dice que hay una contaminación del azufre en el aceite.

Para medir cualitativamente valores que son interesantes para nuestro conocimiento y la confiabilidad de usar un aceite que aun se encuentra en buenas condiciones, se tiene una línea base de un aceite nuevo, el cual se hace la comparación mediante la espectroscopia y valores cualitativos según la intensidad de la región, en absorbancia o transmitancia.

Estas hipótesis de modo de falla, por contaminación con llevara a un monitoreo y mejor control del aceite por lo tanto el mantenimiento será adecuado y a tiempo.

Una vez conocido los niveles básicos del método, e procederá a conocer las variables de nuestro análisis, cuyo son:

La viscosidad, el % de S, condiciones de operación del motor una de ellas es la temperatura de operación del lubricante que a la vez actúa como

catalizador activo de la degradación por oxidación de la base lubricante y el agotamiento de los aditivos. Datos de la muestra inicial del aceite nuevo y datos finales del aceite usado.

4.4.2.- Materiales:

Reactivos:

- Solvente de limpieza N-Heptano grado industrial y grado químicamente puro.

Equipos:

- Equipos Spectrum 65 Infrarojo por Transformadas de Fourier.
- Envases especiales de muestreo, ultra limpio.

4.4.3.- Procedimiento

Tratamiento de la muestra.-

Para realizar los análisis fisicoquímicos, se necesita que las muestras sean representativas, sin contaminación por factores de manejo incorrecto, el desgaste por los metales y los contaminantes como el agua, hollín, azufre, sulfatos, etc., estará presente en el espectro al momento de analizar y comparar con el espectro del aceite nuevo.



Figura N° 45.- Instrumento de Extracción de Muestra (Mariposa)

- La etiqueta para identificar el envase y colocar la información necesaria.
- La cantidad mínima requerida en el laboratorio para un análisis normal debe ser de 100mL, si se requieren pruebas adicionales como de espuma por ejemplo, el envase debe ser de 500 mL.



Figura N° 46.- Capacitación en la correcta Extracción de Muestra

- El envase debe ser preferiblemente transparente, para que en el laboratorio se pueda hacer una inspección visual a la muestra.
- Para la extracción del aceite de motor se realiza después de haber arrancado el motor por 5 min. Prendido. Luego purgar cualquier excedente o residuo de contaminación de la manguera 3 veces, después extraer la muestra con la mariposa sin tocar la base del Carter (Se realiza la extracción del centro del depósito).
- Una frecuencia de muestreo bien seleccionada, de acuerdo con los requerimientos y necesidades de cada equipo.

Después de conseguir la muestra llenar algunos datos importantes que se necesita, para la toma de decisión final, al momento de realizar el reporte y las recomendaciones finales.

- Nombre del Aceite Lubricante (Grado, marca, fecha de cambio de aceite, kilometraje, horas de trabajo, existencia de relleno, periodo frecuente de cambio, fecha de muestreo).
- Motor (Modelo, reparación, año, combustible).
- Muestra Base de Aceite nuevo para el análisis por Espectroscopia.

El siguiente paso será de hallar los espectros de cada muestra tomada, por el equipo Spectrum 65, en este caso el objetivo primario del análisis lubricante es establecer el modo de falla presente, que en este caso es la contaminación de la gasolina al aceite, esto se deriva de un conjunto de datos del análisis de lubricante se combina de cierta manera específica.

Por lo tanto el siguiente paso es la lectura de los Estándares, el cual mediante el Software Quant+, estimara los resultados finales, determinando el % de contaminación de la gasolina como combustible del motor.

Introducción y Lectura de Estándares:

1. Para desarrollar el método se crea lo estándares de los aceites lubricantes sin el contaminante y con el con el contaminante a diferentes proporciones en peso de la gasolina 90, en este caso realizaremos diluciones a 0%, 1%, 2.5%, 5%, 7.5% y 10% con respecto al aceite lubricante.

2.- El siguiente paso es conocer el espectro de cada una de las diluciones, esto se realizara por el software SPECTRUM, que mediante el procedimiento explicado se tendrá cada una de ellas, gráficamente que puede ser por Absorvancia o Tramitancia.

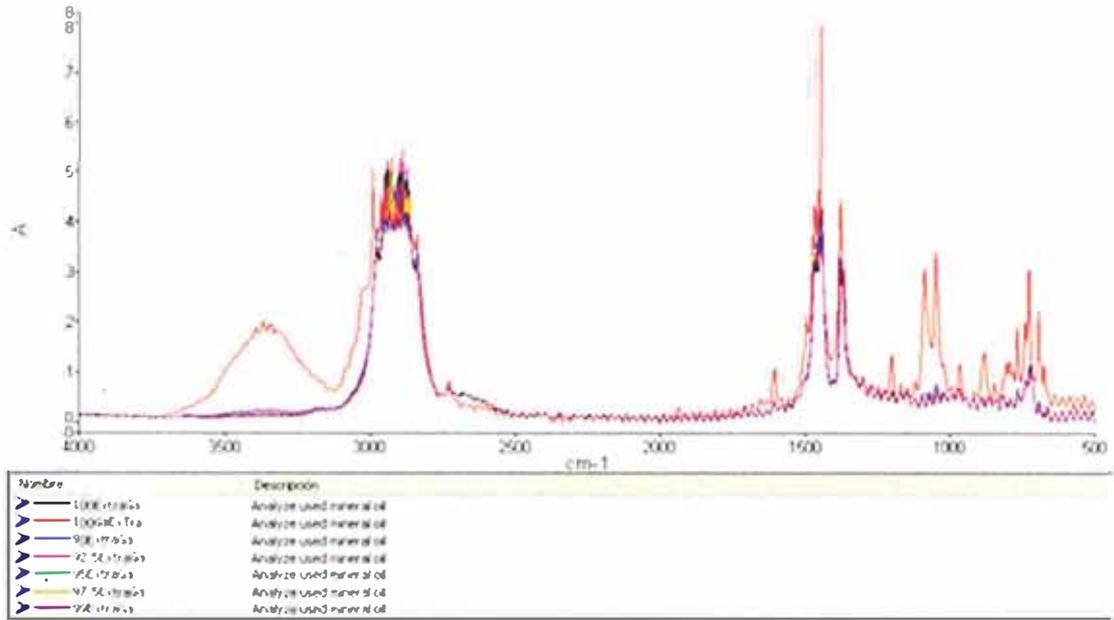


Figura N°47.- Espectros de absorción vs longitud de onda

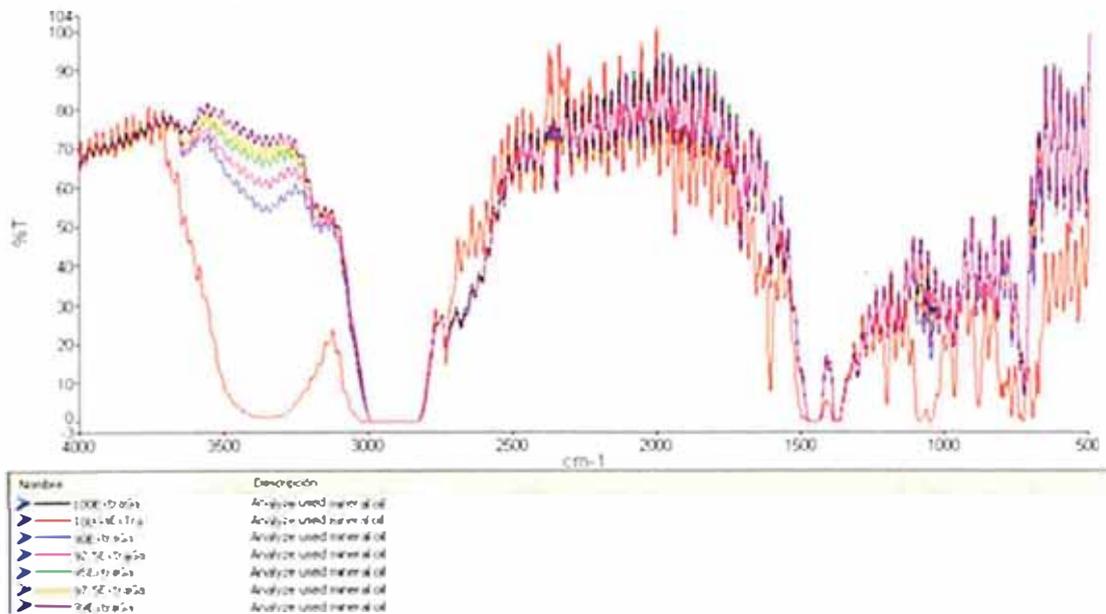


Figura N°48.- Espectro de transmitancia vs longitud de onda

3.- El siguiente paso es ir al Software Quant y se procede a crear el método, optar por la opción crear método y coloca el nombre del método solo con 4 dígitos, luego se rellena lo siguiente.

4.- La pestaña STANDARS se introduce los espectros con las diluciones correspondientes del Aceite Lubricante Grado 20w50 con gasolina 90.



Figura N°49.- Descripción del Método

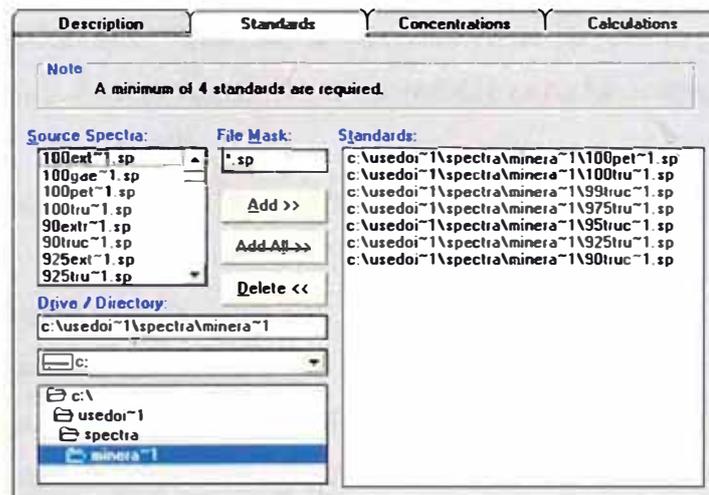


Figura N°50.- Datos para Estimar el %de Gasolina

5.- La pestaña de concentraciones se colocara la correspondiente al espectro según la dilución, en este caso sería:

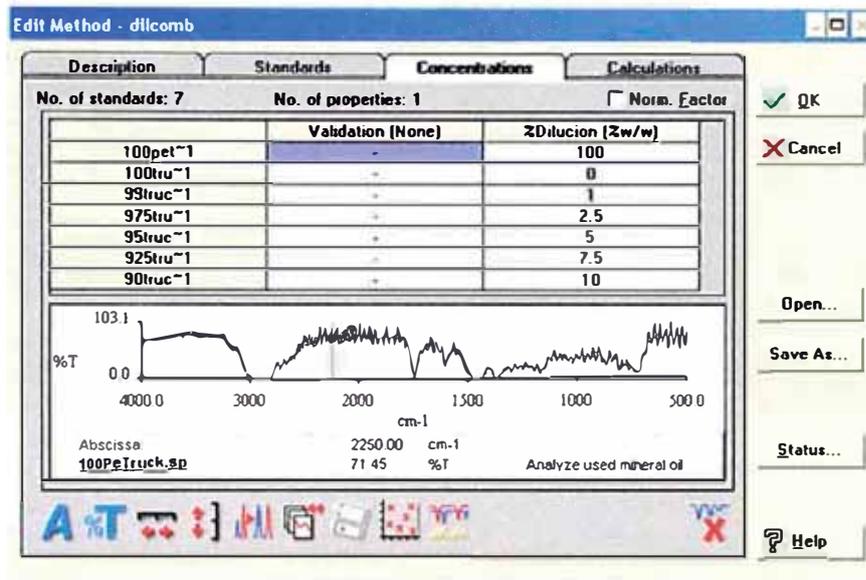


Figura N°51.- Introducción de los valores Estándar

6.- La siguiente pestaña muestra opciones del cálculo, donde se indica configuraciones antes de la realización de la estimación de valor a controlar. En esta ventana lo recomendable es no hacer ninguna corrección.

7.- Con dar click en OK, el método estará listo para usarse.

4.4.4.- Cálculos:

El siguiente paso es pasar las muestras de aceite usado (color rojo) por el Equipo Espectroscópico, dando resultados de espectros finales, así mismo comparados con la línea base del mismo aceite nuevo (color azul).

Los siguientes cálculos se van a hallar el %de combustible que existe en la muestra con la ayuda del Software Quant+.

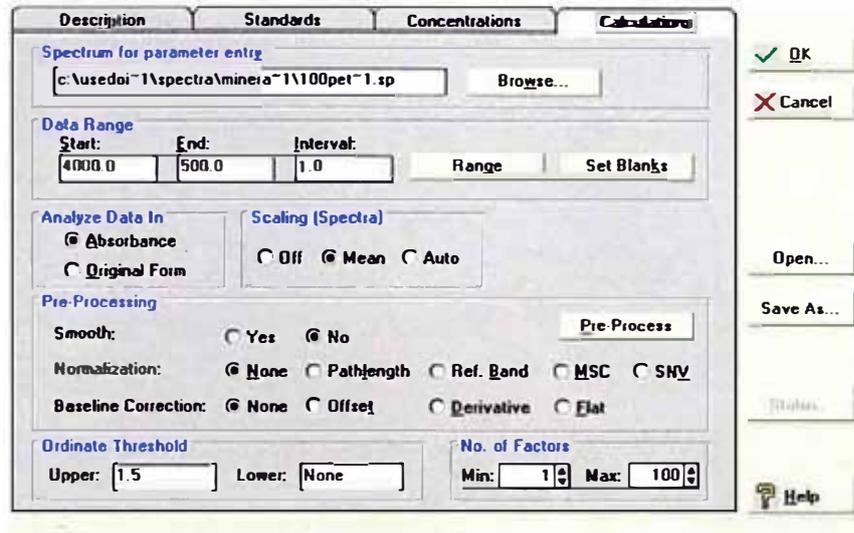


Figura N°52.- Ajustes del Calculo final

Después de realizar todos los pasos anteriores, y tener la muestra preparada X, que en este caso es una muestra preparada con 3% en peso de gasolina diluido en el Aceite Lubricante de grado 20W50.

Se va a la opción PREDICT, esta herramienta hace la estimación del valor del porcentaje en peso de la muestra X. En la siguiente ventana, se busca el espectro de la muestra X.

11.- Una vez encontrado el espectro correspondiente, al dar Ok, este software se encarga de estimar, el valor más aproximado, según la curva Estándar que tenga incluido en el método, por consiguiente a mas data experimental, la predicción con respecto al valor real, será más confiable.

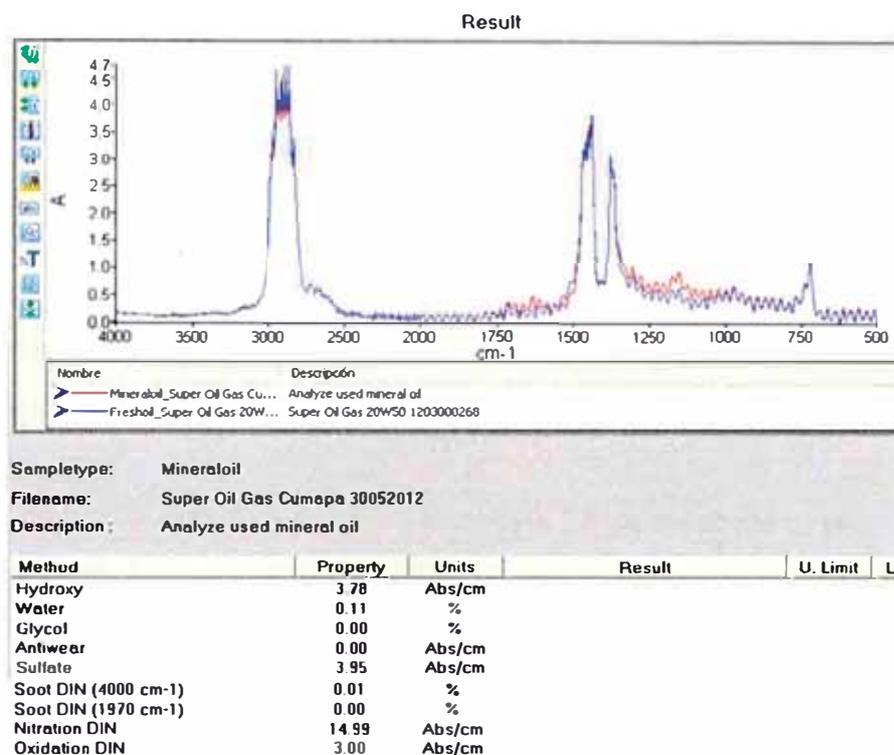


Figura N°53.- Descripción del método Creado

4.4.5.- Discusión de Resultados:

La precisión de las pruebas de FTIR es baja comparada con otras pruebas del análisis del lubricante y esta es una de las razones por las que la prueba no está considerada como un método estándar ASTM, sino como una práctica estándar de monitorización de condición. La falta de precisión proviene de la coincidencia de los grupos funcionales de las diferentes moléculas que ocasionan interferencia en la identificación del componente molecular y su concentración.

Sin embargo La ASTM E-2412-10, cubre el uso del FTIR para monitoreo del agotamiento de aditivos, contaminantes y degradación de la base lubricante en aceites para motores de combustión interna, turbinas, sistemas hidráulicos y otros. Como se menciono anteriormente los

contaminantes que se puede observar incluyen agua, hollín, etilenglicol (refrigerante), combustible y aceite incorrecto. También se monitorea indicadores de degradación como son la oxidación, nitración, sulfatación, así como la base lubricante.

Uno de los casos resaltantes en el monitoreo del aceite lubricante, es cuando la contaminación por combustible pasa de los valores permisibles, donde los demás análisis como viscosidad y punto inflamación se denote el principal cambio en estos valores iniciales.

Si la $T_i \geq 200^\circ\text{C}$	Aceptable	Vida del aceite en uso.
Si la T esta en $180^\circ\text{C} < T_i \leq 200^\circ\text{C}$	Alerta	Presencia significativa de combustible o aceite mezclado

La causa principal de la contaminación por combustible:

- Mezcla incorrecta de aire y combustible.
- Inyectores defectuosos
- Combustión incompleta (en este caso habría también un incremento del hollín).

El efecto en el lubricante en el estado crítico será:

- Contacto entre metales por rozamiento excesivo.
- Pobre Lubricación
- Desgaste de anillos.
- Mayor consumo de aditivos y combustible.

Por los tanto, la degradación del aceite lubricante será de acuerdo al grado de contaminación por combustible, el sistema de lubricación habrá un desgaste que dependerá del %porcentaje y el tiempo de operación con el aceite usado.

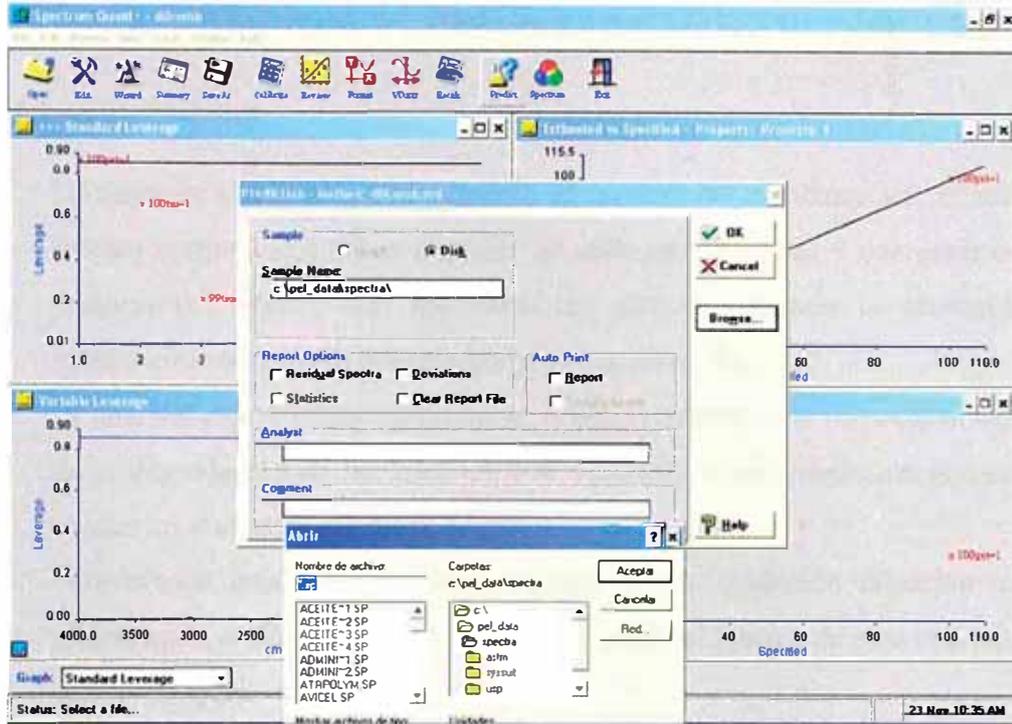


Figura N°54.- Ventana Predict de valores a partir de una base de Datos

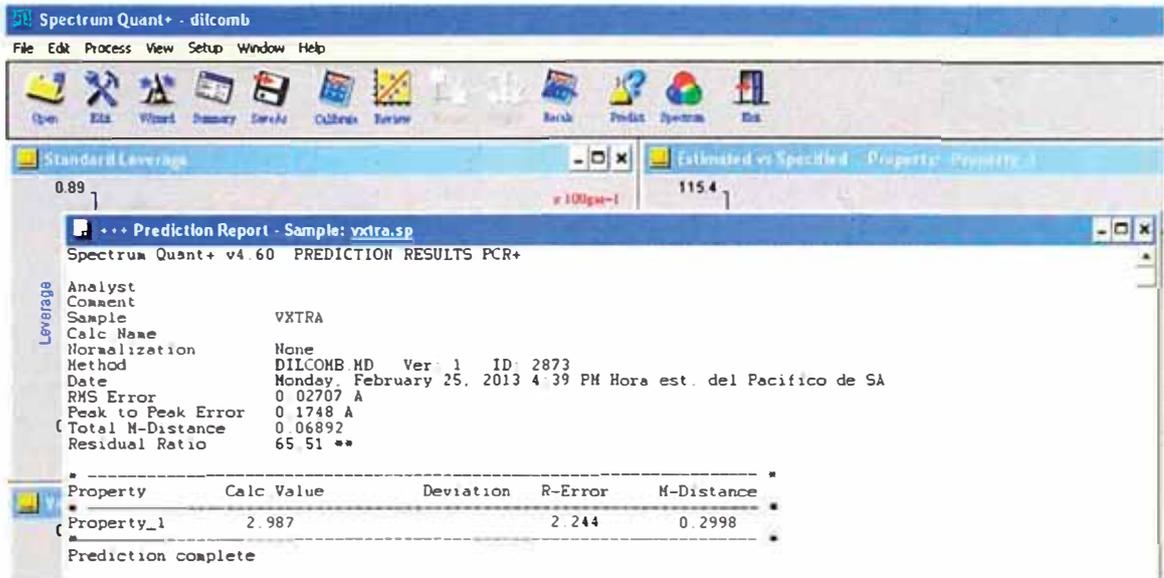


Figura N°55.- Resultado del % de Gasolina en una muestra

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL MÉTODO.

4.1.- Conclusiones

1. La toma de decisiones con respecto al cambio de lubricante por el método teórico normal, será hallar el punto de inflamación inicial y comparar con la muestra del aceite, esta diferencia de valores indicaría la presencia de combustible pero no la concentración del combustible.
2. El análisis espectroscópico indica el comportamiento con respecto al tiempo, de la degradación de los aditivos y la vida misma del lubricante dañando el equipo en muy poco tiempo.
3. Este método desarrollado muestra más resultados (oxidación, nitración, hollín, glicol, agua, sulfatos), y da una idea de la vida del lubricante para una toma de decisión rápida.
4. El método espectroscópico para uso de análisis del % de combustible en el aceite usado, es menos toxico debido a que no emite vapores o gases por calentamiento como en las pruebas analíticas ASTM de Flash Point de copa cerrada o copa abierta.

4.2.- Recomendaciones

1. El principio teórico, de usar la espectroscopia como análisis en la tecnología se extiende para controlar otros parámetros de importancia del proveedor como análisis de control como prevención del mantenimiento de los equipos a partir de los datos, manejando un historial de muestreo.
2. Recoger datos estadísticos de cada parámetro es muy importante para realizar las investigaciones que analicen las causas y consecuencias de la contaminación, y permitan medir sus distintas causas para un mejor control.

3. Visto de la manera como es el procedimiento de análisis, el método puede ser usado de manera rápida ya que muestra gráficamente el comportamiento de los parámetros medidos con un tiempo mínimo empleado totalmente reducido.
4. Con respecto a la Seguridad Personal por el método de Flash Point en los 2 casos de copa cerrada o abierta, los gases emitidos tendrán que ser controlados ya que son tóxicos, por lo tanto esto se realiza en una campana extractora usando una máscara con filtros.
5. El método utilizado en el presente trabajo es recomendado para todos aquellos trabajos, investigación e innovación en ampliar sus conocimientos, con análisis y procedimientos estructurados relacionados con la espectroscopia, mediante el estudio de la vibración entre las moléculas sea naturalmente o causada por un factor externo.
6. Sea el caso en el estado el cual sería el cambio de aceite contaminado con combustible, la recomendación sería revisar el sistema de alimentación, anillos, inyectores, sellos, bomba, filtros y cambiar las piezas desgastadas.

VI.- ANEXO

PROCEDIMIENTO DEL SOFTWARE SPECTRUM Y QUANT+

Software: SPECTRUM

- a) Antes de observar un espectro de cualquier muestra se necesita hacer un fondo o background para poder verificar la limpieza de la celda antes de ser calibrado.
- b) Colocar la muestra de acuerdo a la figura anterior, evitar la formación de las burbujas de aire.
- c) Poner nombre e introducir el número de lecturas de la muestra analizar y hacer click en BARRIDO.
- d) Observar el espectro del análisis de la muestra formado completamente en todo el rango.
- e) Los espectros obtenidos se puede dar formato para una mejor visibilidad.

Software: QUANT

- a) El procedimiento a seguir es analizar primero los valores de x, y siendo "X" es el valor numérico de una propiedad característica de la muestra. "Y" será ser el espectro de un banco de muestras.
- b) El valor de "X" puede ser: TBN, TAN, % de Gasolina, etc.
- c) Al iniciar el programa aparece un menú de 3 opciones:
 - Nuevo método.
 - Método existente.
 - Ultimo método trabajado.
- d) Colocar el nombre del método: solo 5 caracteres.
- e) Luego insertar los 4 espectros como mínimo para hacer un ajuste para la creación del método. (De preferencia antes de empezar a hacer los ajustes, se debe

cambiar los nombres a los espectros de tal manera que tenga menos caracteres ya que trabaja en modo D.O.S. que es un sistema operativo antes del windows).

- f) Tener en cuenta que los espectros insertados no deben tener: 3 picos mayores a 1,5 según la regla del programa no se les considerara en el software.
- g) En esta nueva ventana aparecerá una tabla para insertar los datos numéricos de la incógnita “X” y el valor de “Y” que serán los espectros.
- h) No tocar los demás valores por completar como (Normalizar: No se aplica; Corrección: None).
- i) Recordar que existen 3 tipos de ajustes:
 - PCR (Método Matricial)
 - PLC1 (Método de los Mínimos Cuadrados)
 - PLC2 (Combinación de los 2 métodos anteriores).
- j) Guardar el método y luego darle click en ajuste.
- k) Aparecerán 4 graficas en la pantalla en la cual una de ellas es la que nos registra el ajuste en un modo parecido al Excel el cual se toma como referencia para verificar si los valores inicialmente insertados son adecuados para un ajuste debido a la dispersión de datos.
- l) Todos estos datos y valores del “R²” están en Summary (Resumen), el cual muestra un resumen de todo con todos los parámetros estadísticos tanto valores específicos y gráficos.

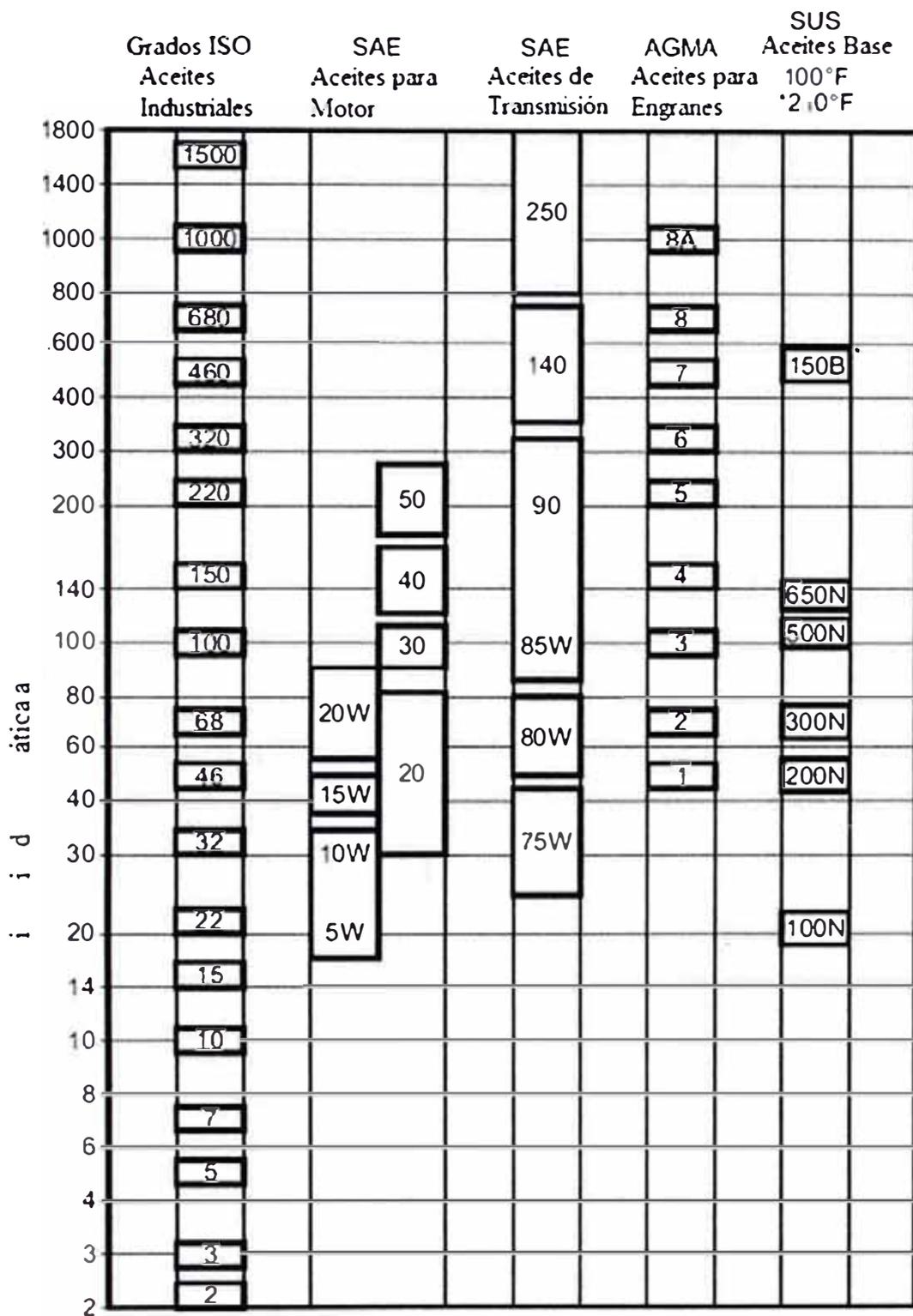


Figura N°56.- Viscosidad Cinemática cSt y SUS según norma ISO y SAE

VII.- BIBLIOGRAFÍA

1. L.G. Wade, Química Orgánica. Capítulo 12.
2. Ing. Pedro Albarracin, Lubricación Industrial y Automotriz. Capítulo 3-8.
3. Ing. Drew Troyer y Jim Fitch, Oil Analysis Basics Spanish. Págs. 4-60.
4. J.L. Mareven Filial, Manual de Lubricación Industrial, Petróleos de Venezuela. Págs. 1-30.
5. Ing. G. Manrique, Modernos Procesos de Refinación del Petróleo 1985. Capítulo 1-2.
6. Fitch E., Proactive Maintenance for Mechanical Systems 1992. Págs. 14-35.
7. Ing. Aniceto Valverde Martínez, Fundamentos y Técnicas de Lubricación. Capítulo 1-3.
8. Carlos Andres Otalvaro, Tutor de Lubricación de Shell. Capítulo 1
9. Ing. Gerardo Trujillo, Análisis de Aceites Usados I y II- Noria México. Págs. 80-150.
10. Ing. Gerardo Trujillo, Interpretación de Análisis de Lubricantes para la toma de Decisiones Sustentadas - Noria México. Capítulo 2-3.
11. Widman, Análisis de Aceites e Interpretación de Reportes de Laboratorio. Bolivia. Págs. 50-100 .