



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología.

Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz

***ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE
MOBIL 15W40 UTILIZADO EN UN MOTOR ISUZU 2500 TURBO
DIESEL.***

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Ingeniero en Mecánica Automotriz**

Autores:

**Pesantez Ochoa Jorge Gonzalo.
Veintimilla Ramos Daniel Aníbal**

Director:

Dr. Piercósimo Tripaldi.

**Cuenca, Ecuador
2010**

DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada primero a Dios, que nos dio fuerzas para sobrellevar todos los obstáculos que se han cruzado en nuestro camino, y luego a nuestros padres los cuales nos apoyaron en todo momento y sin reclamos de ningún tipo, colaborándonos tanto económica como moralmente, y dándonos todo su cariño y preocupación por nuestro bienestar. También yo Jorge Pesantez dedico este trabajo a mi esposa Lisseth y mi hija Amelia que, aunque estuve mucho tiempo alejado de ellas, supieron entender el propósito de mi ausencia y fueron las que me motivaban para que haga las cosas de la mejor manera y no tener que perder tiempo con el propósito de poder regresar a estar con ellas.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a todas aquellas personas que nos abrieron las puertas desde el inicio para que este trabajo se realice, los cuales fueron, Ing. Ángel Jácome, Dr. Piercósimo Tripaldi, Sr. Francisco Crespo Gerente de Importadora Cepsa, Importadora Terreros, Ing. Hernán Baculima y Metrocar.

RESUMEN

En la presente trabajo de graduación se elabora tres técnicas para el desarrollo del mantenimiento predictivo del motor. Estos métodos permitieron la identificación y cuantificación de las partículas de desgaste, determinando la degradación y la contaminación del aceite. Se analizó a un vehículo de prueba en dos condiciones (con y sin carga). Para esto se colectaron muestras de aceite extrayendo 10 ml cada 500 Km hasta los 3000 Km dando como resultado un aceite dentro de las especificaciones de un 15W-40, esto produjo la prolongación en el muestreo hasta los 7500 Km siendo este sus límites definitivos. Finalmente, el análisis de los datos de las muestras sin carga sufren mayor deterioro por factores como altas revoluciones y la forma de conducción del vehículo.

ABSTRACT

In the present work, three techniques for the predictive maintaining process for a motor functioning were developed. These methods identified and quantified corrosion particles, related to the oil contamination level. The vehicle used for experimentation was assayed at two conditions (with and without burden). The oil sampling was performed collecting 100 ml every 500 kilometers, to a limit of 7500 Km. The comparison of the two experiments showed that the oil used in the degradation process of the two vehicle without burden was higher, due to factors such as high engine speed and the way of driving.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice de contenidos.....	vi
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I: GENERALIDADES DEL ACEITE.....	4
1.1. Función.....	4
1.2. Obtención de los aceites.....	5
1.2.1. Aceite base obtenido del refino del petróleo.....	5
1.2.2. Aceites sintéticos.....	6
1.2.3. Aceites base reciclados.....	7
1.3. Aditivos.....	7
1.3.1. Detergentes.....	8
1.3.2. Agentes alcalinos.....	9
1.3.3. Anti-oxidantes.....	9
1.3.4. Mejoradores de viscosidad.....	9

1.3.5.	Aditivos mejoradores del punto de congelación.....	11
1.3.6.	Anti-espumantes.....	11
1.3.7.	Dispersantes.....	12
1.3.8.	Aditivos anti-desgaste.....	13
1.3.9.	Modificadores de fricción.....	13
1.3.10.	Bactericidas.....	13
1.4.	Características de los aceites de engrase.....	14
1.4.1.	Acides-basicidad del aceite.....	14
1.4.2.	Punto de inflamación.....	15
1.4.3.	Ceniza sulfatada.....	15
1.4.4.	Adherencia.....	16
1.4.5.	Punto de congelación.....	16
1.4.6.	Viscosidad.....	16
1.4.6.1.	Índice de viscosidad.....	18
1.5.	Clasificación, especificaciones y normativas de los aceites de motor.....	19
a)	Clasificación:.....	19
b)	Especificación:.....	19
1.5.1.	Clasificación SAE.....	19
1.5.2.	Clasificación API.....	20
1.5.2.1.	Circulo (dona).....	23
1.5.3.	Normas y pruebas de ensayo INEN en Aceites lubricantes para motores de combustión interna de ciclo Diesel.....	24

1.5.3.1.	Descripción y Clasificación de las normas.....	24
1.5.3.2.	Condiciones Generales del aceite lubricante para motores de combustión interna de ciclo diesel.....	24
1.5.3.3.	Requisitos.....	25
1.5.3.4.	Rotulado.....	25
1.6.	Conclusiones.....	26
CAPITULO II: MUESTREO DEL ACEITE DEL MOTOR.....		28
2.1.	Preparativos para la toma de muestras.....	28
2.2.	Extracción del aceite mediante el método de la bomba de vacío.....	38
2.3.	Importancia de la toma de la muestra.....	41
2.4.	Parámetros a seguir durante la extracción de las muestras....	44
2.5.	Conclusiones.....	46
CAPITULO III: TECNICAS APLICABLES AL ANÁLISIS DE ACEITES LUBRICANTES PARA MOTOR.....		48
3.1	Pruebas de diagnostico.....	48
3.1.1	Técnicas para la identificación y cuantificación de las partículas de desgaste en el aceite usado.....	49
3.1.1.1	Espectroscopia.....	49
	a) Preparación de las muestras para el análisis de espectroscopia (AA), (EA).....	50
	b) Preparación de las muestras patrón para la curva de	

calibración.....	57
c) Espectroscopia de absorción atómica (AA).....	57
d) Preparación del equipo (AA).....	57
e) Espectroscopia de emisión atómica (EA).....	64
f) Preparación del equipo (EA).....	65
3.1.1.2 Espectrofotometría ultravioleta visible.....	66
a) Preparación de las muestras patrón para la curva de calibración.....	67
b) Preparación de las muestras de medición mediante los reactivos.....	70
c) Preparación del equipo.....	73
3.1.2 Técnicas analíticas para la determinación de la degradación del aceite.....	75
3.1.2.1 Medición de la viscosidad.....	76
3.1.3 Técnicas de análisis de la contaminación del aceite.....	81
3.1.3.1 Espectroscopia infrarroja.....	82
3.1.3.2 Termobalanza (TG+DTA).....	94
3.2 Análisis en Laboratorio Independiente.....	110
3.3 Conclusiones.....	112

CAPITULO IV: PROCEDIMIENTO Y TABULACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	113
4.1. Preparación y suavización de datos.....	113

a)	Datos de espectroscopia y espectrofotometría.....	113
b)	Datos de la viscosidad.....	118
c)	Datos del infrarrojo.....	124
d)	Datos de la termobalanza.....	129
4.2.	Procesamiento de datos mediante la utilización del programa SCAN.....	147
4.3.	Análisis de resultados.....	152
4.3.1.	Análisis del desgaste.....	152
4.3.1.1.	Espectroscopia y Espectrofotometría.....	152
4.3.2.	Análisis de la degradación.....	157
4.3.2.1.	Infrarrojo.....	157
a)	Nitración.....	157
b)	Oxidación.....	161
4.3.2.2.	Viscosidad.....	164
4.3.3.	Análisis de la contaminación.....	166
4.3.3.1.	Infrarrojo.....	166
a)	Combustible.....	166
b)	Etilenglicol.....	170
c)	Agua.....	174
4.3.3.2.	Termobalanza.....	176
4.4.	Conclusiones.....	180

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	183
BIBLIOGRAFIA.....	185
GLOSARIO.....	187

Pesantez Ochoa Jorge Gonzalo

Veintimilla Ramos Daniel Aníbal

Dr. Piercósimo Tripaldi

Mayo del 2010

***Análisis y diagnóstico de la degradación del aceite Mobil 15w40
utilizado en un motor Isuzu 2500 turbo diesel***

INTRODUCCION

El aceite es un elemento muy importante en el funcionamiento de todo tipo de motor, puesto que cumple con diversas funciones las cuales son: proporcionar una adecuada lubricación, mantener el motor limpio, libre de corrosión, proporciona una película que reduce el contacto entre las piezas móviles y por lo tanto el desgaste por la fricción, actúa como refrigerante y sellante.

Por tales razones, es muy importante seleccionar un correcto tipo de aceite acorde a los requerimientos del fabricante del motor, así como la aplicación en la que se va a utilizar y la calidad del combustible disponible. También hay que considerar los aditivos en el aceite pues las características de rendimiento del motor dependen de la materia prima y de los aditivos que se utilizan.

En el caso del aceite para motores gasoil hay que considerar que si bien dichos motores funcionan a velocidades más bajas, son altas las temperaturas que tiene que soportar, lo que fomenta la degradación del aceite, perdiendo este sus cualidades básicas con la consecuente necesidad de cambio del mismo. Además, el aceite tiende a degradarse con mayor rapidez de acuerdo a las exigencias de trabajo a las que es sometido el motor.

Debido a la falta de un tipo de mantenimiento para prevenir futuras fallas en un automotor utilizando como herramienta de diagnóstico el estudio de los aceites usados en los mismos, nos hemos propuesto elaborar una tesina que demuestre que se puede analizar dichos aceites en el laboratorio como un tipo de mantenimiento predictivo del motor.

Por tal motivo, unos de los objetivos propuestos será realizar el análisis y diagnóstico de la degradación del aceite Mobil 15w40 utilizado en un motor Isuzu 2500 turbo diesel, para determinar si este cumple con las especificaciones dadas por el fabricante del motor, mediante pruebas físicas y químicas de laboratorio.

Para ello se aplicará técnicas para la identificación y cuantificación de las partículas de desgaste en el aceite usado, mediante la espectroscopia de absorción atómica y espectrofotometría ultravioleta visible, para determinar la presencia de metales de desgaste y de aditivación como hierro, cobre, litio, zinc, potasio, calcio, plomo, sodio, magnesio y aluminio. Segundo, se aplicara la técnica de análisis para determinar la degradación del aceite ocasionado por la nitración y oxidación, mediante la medición de la viscosidad y la Espectroscopia infrarroja. Tercero, se realizará la técnica de análisis de la contaminación del aceite para determinar las concentraciones de combustible, agua, e insolubles mediante la Espectroscopia infrarroja y análisis termo gravimétricos.

Para efectuar la presente tesina el motor será sometido a dos tipos de trabajo mecánico, el primero sin carga adicional en el cajón del vehículo durante 7500 km de recorrido, luego del cual se cambiará nuevamente el aceite según el procedimiento mencionado anteriormente; el segundo con el cajón del vehículo lleno hasta su capacidad media, 500 Kg aproximadamente, durante 7500 km de recorrido. El motor será limpiado internamente para eliminar rastros de carbonilla e impurezas de cambios de aceite anteriores.

Finalmente realizaremos la toma de las muestras de aceite (100 ml), mediante la utilización de un kit de implementos y siguiendo el procedimiento realizado por Caterpillar en los exámenes S.O.S de fluidos para evitar la contaminación de las

muestras por agentes externos. Dichas muestras serán analizadas en el laboratorio de alimentos de la Universidad.

En el estudio aplicaremos en esencia dos métodos: primero nos valdremos del método comparativo, este implica el proceso a seguir para la toma de muestras de aceite en las dos condiciones diferentes de trabajo del motor planteadas, y el segundo método a utilizar es el Inductivo-deductivo puesto que en el laboratorio analizaremos las muestras de aceite tomadas a intervalos de 500 km, hasta los 3000 km más dos muestras adicionales a los 6000 y 7500 km.

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL ACEITE

1.1. Función

Uno de los propósitos fundamentales de un lubricante es proteger los componentes metálicos frente a la fricción. Especialmente en la etapa de encendido, ya que después de estar apagado el motor, casi todo el aceite se deposita en el cárter. Al encender el vehículo, existe un cierto retardo antes de que el aceite impulsado por la bomba se ponga en circulación.

El desgaste es enorme en esta etapa, a menos que el aceite haya logrado formar una película entre el pistón y el cilindro. Esta capacidad del aceite para dejar una película adherida depende de una propiedad denominada lubricidad; otra de las funciones del aceite es proteger el motor frente a la corrosión interna. El óxido tiende a formarse cuando el motor está funcionando a bajas temperaturas (por ejemplo, en el arranque, en trayectos cortos en ciudad) porque, en estos casos, el vapor de agua se condensa en las superficies metálicas, que están frías; también el aceite debe proteger frente a la sedimentación de residuos.

El agua ácida puede mezclarse con el aceite y formar una emulsión; esto, en combinación con el exceso de combustible, proveniente del proceso de combustión, puede generar la formación de residuos, compuestos altamente dañinos que pueden bloquear los conductos del aceite y causar problemas muy graves en el motor. El aceite lubricante, por tanto, debe mantener en suspensión los componentes principales de los residuos generados en frío, previniendo su aglomeración y eliminándolos cuando se realice un cambio de aceite. Otra de las funciones del lubricante es proporcionar el sellado entre el pistón y el cilindro, ayudando a mantener la máxima estanqueidad posible entre ellos, el lubricante

minimiza el escape de los gases de la combustión y mejora la compresión. Este efecto depende del grado SAE del aceite, que debe adecuarse según el tipo de motor, su estado de uso y la temperatura ambiente. El consumo de aceite es, sin embargo, el mejor indicador del estado de desgaste del motor y, a menudo, se usa un aceite de mayor viscosidad en motores muy viejos.

1.2. Obtención de los aceites

Todo aceite lubricante ya sea desde el más barato hasta el más caro inicia como una mezcla de dos o más componentes normalmente denominados aceites base.

Estos pueden ser obtenidos de origen mineral – derivados del petróleo- o bien de otros productos químicos de obtención sintética, aunque estos aceites base garantizan buenas cualidades lubricantes en el motor, tienden a deteriorarse o degradarse con rapidez en algunas condiciones de trabajo, dicho problema es remediado con los aditivos que alargan la vida del aceite, y finalmente son estos los que determinan el costo del mismo¹.

1.2.1. Aceite base obtenido de la refinación del petróleo

Son productos refinados del aceite crudo de petróleo, formados por hidrocarburos, compuestos de hidrógeno-carbono, más oxígeno, nitrógeno y azufre en menor cantidad. De todas formas, su composición química no es siempre igual y puede hablarse de tantas clases como campos petrolíferos, en función de las sustancias encontradas en los mismos se los ha dividido en tres grandes grupos normalmente aceptados: crudos de base parafínicos (hidrocarburo de cadena lineal o ramificada), tienen excelentes cualidades como lubricantes, siendo su principal cualidad la viscosidad estable, que varía relativamente poco con el aumento de temperatura; crudos de base nafténicos (cicloparafinas) de malas cualidades de engrase, se utilizan también para obtener los aceites comerciales los cuales con aditivos apropiados se mejorara sus cualidades lubricantes, finalmente tenemos los crudos

¹ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, pp. 48.

de base mixta o intermedia. En todos los casos nos podemos encontrar también con la presencia de compuestos aromáticos. Las principales características y diferencias las podemos encontrar en la *tabla 1.1.* como se puede observar en la siguiente referencia²

	Parafínicos	Nafténicos	Aromáticos
Densidad	Baja	Elevada	Muy alta
Punto de congelación	Alto (necesidad de desparafinar o aditivar con depresores del punto de congelación)	Bajo (ausencia del punto de niebla)	Muy bajo
Índice de viscosidad	Alto	Bajo	Muy bajo
Volatilidad	Baja (bajo punto de inflamación)	Alta (punto de inflamación)	Muy alta
Carbono conradson	Medio, adherencia y de aspecto granuloso	Bajo, poco adherente, aspecto pulverulento	Elevado
Oxidación	Retardada conformación de ácidos más o menos corrosivos	Sin periodo de inducción, menor acción corrosiva pero da formación de precipitado	Gran oxidabilidad y precipitación de productos insolubles
Poder disolvente frente a sustancias de degradación del aceite	No presenta	Presenta	Alto
Punto de anilina	Alto	bajo	Muy bajo

Tabla 1.1: Propiedades características de los distintos tipos de hidrocarburos.

Fuente: TORMOS, B. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, pp. 49-50.

1.2.2. Aceites sintéticos

Dichos aceites se forman por un proceso de reacción química de aquellos materiales con una composición química específica para producir un compuesto con cualidades planificadas y predecibles. Estos lubricantes tienen índices de viscosidad mucho más altos que los lubricantes a base de materia prima mineral y

² TORMOS, B. Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, pp. 49-50.

cuentan con puntos de fluidez considerablemente más bajos. Estas características los convierten en componentes sumamente valiosos para mezclas utilizados en la fabricación de aceites de servicio extremo para usar a temperaturas altas y bajas. La principal desventaja de estos lubricantes sintéticos es su precio demasiado alto y sus limitadas exigencias. El grupo de aceites sintéticos conocidos con el nombre de "Eters" lubrican mejor que los aceites minerales. Para poder usar estos aceites sintéticos "Eters" es necesario tomar muy en cuenta el diseño de los componentes en cuanto a las características de sellado y compatibilidad del aceite. Por su estructura y desempeño en climas sumamente fríos es necesario usar aceites sintéticos³.

1.2.3. Aceites base reciclados

Durante la crisis del petróleo en la década de los 70, varios procesos fueron desarrollados para obtener aceite base a partir del reciclado del aceite usado, algunas plantas fueron puestas en marcha con muy malos resultados siendo los principales los altos costes de recolección y los sofisticados procesos de refinado.

Los aceites reciclados pueden sustituir satisfactoriamente los aceites base directamente derivados del petróleo con el correcto proceso de tratamiento que elimina todos sus contaminantes. De hecho, los aceites reciclados poseen características superiores frente a la oxidación que los aceites vírgenes ya que los compuestos más fácilmente oxidables ya han reaccionado durante su uso primario y son eliminados en el proceso de reciclado⁴.

1.3. Aditivos

Se consideran aditivos aquellas sustancias que añadidas al lubricante en pequeñas proporciones contribuyen a mejorar sus propiedades o características básicas más allá de sus límites normales. Los modernos lubricantes, y en particular, los aceites

³ **Caterpillar**, Folleto de El aceite lubricante y su motor, p. 4.

⁴ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, pp. 55.

de motor, contienen cantidades muy importantes de aditivos. Un aceite actual de alta calidad puede tener hasta un 20% de contenido de aditivos⁵.

Debido a que en la actualidad producto de las altas exigencias en los motores de combustión interna, la calidad de los aceites debe ser tal que no se quemen ni se deterioren; es por ello que se emplean los aceites minerales base, obtenidos del petróleo, mezclados con aditivos que mejoren sus cualidades.

Entre los principales aditivos tenemos:

1.3.1. Detergentes

Los aditivos detergentes ayudan a mantener limpio el motor evitando la formación de depósitos en los componentes, aunque el aditivo no destruye los depósitos, crea una barrera protectora sobre la superficie del metal, su papel químico es el (neutralizante) y el físico-Químico (dispersante). Los detergentes que se usan hoy en día son sales metálicas llamadas: sulfonatos, fenatos, fosfenato o salicilatos⁶.

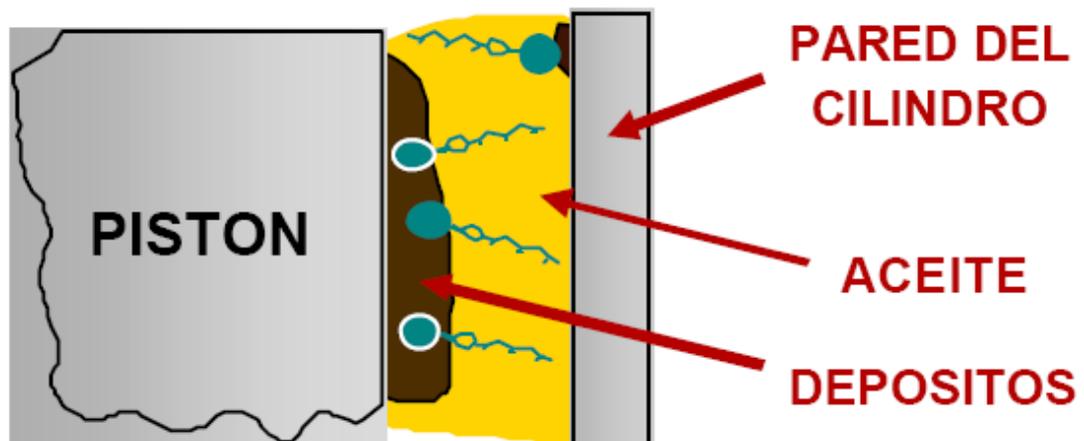


Figura 1.1: Aditivos detergentes en el motor. Fuente: Ing. Esteban Echeverría, EXXON Mobil lubricants & specialties, Aditivos detergentes y dispersantes, http://taho.servidoraweb.net/~exfakoc/consejos_tecnicos/Consejo-034-Aditivos-detergentes-y-dispersantes.pdf, Argentina, 2009.

⁵ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, pp. 55 - 57.

⁶ **Caterpillar,** Folleto de El aceite lubricante y su motor, p. 5.

1.3.2. Agentes alcalinos

Neutralizan los ácidos presentes en el aceite producto de la combustión y oxidación formando sales inertes que previenen la oxidación del propio aceite. Los aditivos detergentes son también fuentes neutralizantes de ácidos⁷.

1.3.3. Anti-oxidantes

Ayudan a impedir el aumento de la viscosidad, el desarrollo de ácidos orgánicos y la formación de materia carbonosa. Estos anti-oxidantes son las siguientes sustancias químicas: Los ditiafosfatos utilizados como sustancias anti- desgaste son también excelentes antioxidantes. Otras familias químicas igualmente utilizadas como complemento son: fenoles remplazados por aminas aromáticas⁸.

En presencia del aire y altas temperaturas el aceite se oxida oscureciendo de color y tornándose más ácido, con la posibilidad de producir barro. Los aceites bases poco refinados contienen ciertos inhibidores naturales y anti-oxidantes que son eliminados a medida que la severidad de refinado aumenta. Actualmente los aceites de base son altamente refinados para obtener aceites de alta calidad, lo que conlleva a que sean fácilmente oxidables⁹.

1.3.4. Mejoradores de viscosidad.

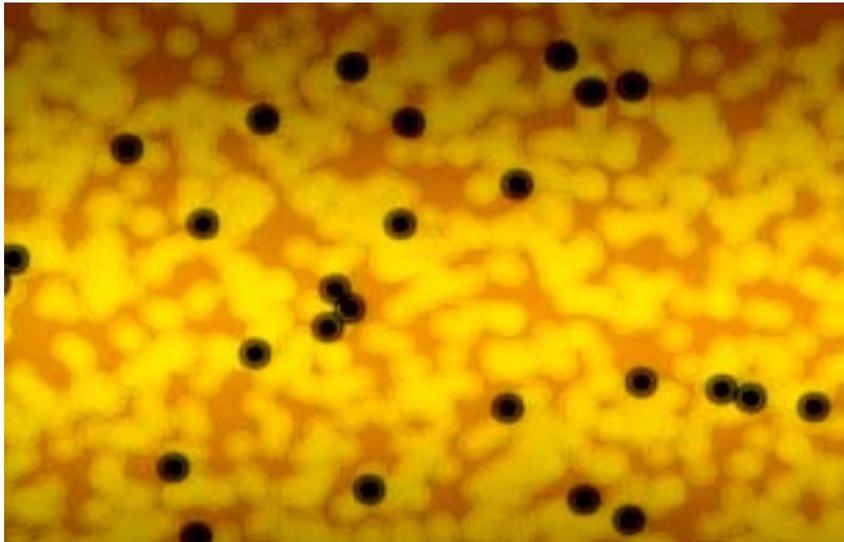
Supongamos que al aumentar varias veces su tamaño real el aceite puede representarse como incontables moléculas agrupadas en constante movimiento; al calentarse el aceite las moléculas se agitan más y se esparcen haciendo que el aceite pierda viscosidad, al introducir un aditivo químico llamado mejorador del índice de viscosidad, el movimiento de las moléculas más pequeñas se restringe, debido a que el aditivo contiene a su vez moléculas que se expanden con el calor

⁷ **Caterpillar**, Folleto de El aceite lubricante y su motor, p. 5.

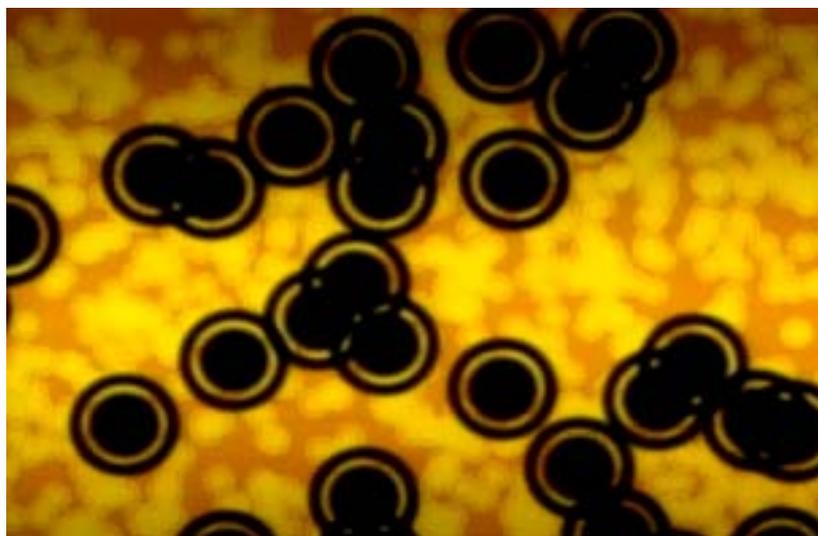
⁸ **Por Raúl Felipe**, Función de los aditivos aceites lubricantes, <<http://lubricaciondemaquinaria.over-blog.es/article-36396895.html>>, España, martes 22 de septiembre del 2009.

⁹ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, p. 59.

haciendo que el aceite se comporte como si fuera más viscoso. Cuando el aceite se enfría otra vez las moléculas que componen el aditivo químico regresan a su tamaño original; un aceite como este que tiene buen rendimiento en una gama alta de temperatura se conoce como multigrado. Las sustancias que se usan como mejoradores del índice de viscosidad son los polisobutilénicos, polimetacrilatos, poliésteres a base de estirenos, copolímeros a base de estirenos y copolímeros etilénicos propilénicos¹⁰.



Bajas Temperaturas



Altas temperaturas

Figura 1.2: Vista representativa de moléculas mejoradoras del índice de viscosidad.

Fuente: Caterpillar, El aceite lubricante y su motor.

¹⁰ **Caterpillar**, Folleto de El aceite lubricante y su motor, p. 5.

1.3.5. Aditivos mejoradores del punto de congelación

Mantiene el aceite fluido a bajas temperaturas impidiendo la acumulación y aglomeración de cristales de cera o parafinas. Estos no consiguen ningún efecto sobre el punto de enturbiamiento ni evidentemente sobre el punto de congelación en las bases nafténicas o sintéticas que no contengan parafinas. Productos del tipo metacrilato, de los copolímeros maleatoestireno, de las parafinas naftalenas, de los poliésteres de tipo acetato de vinilo-fumarato¹¹.



Figura 1.3: Pruebas del aceite a bajas temperaturas Fuente: Caterpillar, El aceite lubricante y su motor.

1.3.6. Anti-espumantes

Estos productos tienen la propiedad de impedir la formación de una espuma estable cuando el aceite es agitado en contacto con el aire. El mecanismo de acción de los productos antiespumantes es favorecer la unión de las burbujas de gas y la ruptura de las películas de aceite que las rodean. Pueden ser aceites de silicona, o acrilatos de alquilo presentes en los aceites en muy baja cantidad¹².

¹¹ Por Raúl Felipe, Función de los aditivos aceites lubricantes, < <http://lubricaciondemaquinaria.overblog.es/article-36396895.html> >, España, martes 22 de septiembre del 2009.

¹² Por Raúl Felipe, Función de los aditivos aceites lubricantes, < <http://lubricaciondemaquinaria.overblog.es/article-36396895.html> >, España, martes 22 de septiembre del 2009.



Figura 1.4: Anti-espumante. Fuente: Caterpillar, El aceite lubricante y su motor.

1.3.7. Dispersantes

Mantiene en suspensión la materia carbonosa en el aceite y previene su aglomeración y deposición en las partes calientes del motor, también permite suspender y solubilizar el agua proveniente de la combustión con la consecuente reducción de la formación de barros¹³. Generalmente están formados por compuestos polares de la familia de los alquenilsuccinioamidas, de los ésteres succínicos o de sus derivados, de las bases Mannich¹⁴.

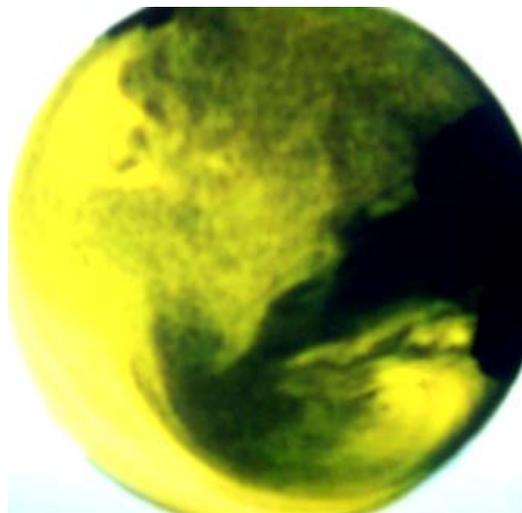


Figura 1.5: Prueba del aditivo dispersante en el aceite. Fuente: Caterpillar, El aceite lubricante y su motor.

¹³ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Editorial Reverté, 1998, pp. 57- 64.

¹⁴ **Por Raúl Felipe,** Función de los aditivos aceites lubricantes, < <http://lubricaciondemaquinaria.over-blog.es/article-36396895.html> >, España, martes 22 de septiembre del 2009.

1.3.8. Aditivos anti-desgaste

Reducen la fricción formando una película sobre la superficie del metal protegiéndolas contra la acción corrosiva. Los tipos principales de agentes son: detergentes alcalinos, ditiafosfatos de Zinc, ditiocarbamatos¹⁵.

1.3.9. Modificadores de fricción

Originalmente considerados como una clase menor de aditivos, recientemente han saltado a primera línea como consecuencia de los requerimientos de ahorro de combustible en los vehículos y el descubrimiento de la importante contribución que pueden aportar.

Los mejores resultados se obtienen como consecuencia de una menor generación de calor y por tanto menor pérdida de energía, de aquí su aplicación como aditivos para el ahorro de combustible¹⁶.

1.3.10. Bactericidas

Actualmente se está dando un nuevo fenómeno en la contaminación de los aceites lubricantes del motor, la denominada contaminación bacteriológica o microbiológica que consiste en el desarrollo de organismos vivos en el seno del lubricante que producen su infección favorecidos por el carácter parafínico de los aceites. La adición de aditivos bactericidas previene y controlan el crecimiento microbiano atacando a la membrana celular y causándole la muerte, ya que la presencia de estos contaminantes bacteriológicos tiene influencia sobre las características físico - químicas del aceite, haciéndolas variar de forma notable¹⁷.

¹⁵ **Caterpillar**, Folleto de El aceite lubricante y su motor, p. 5.

¹⁶ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, p. 64.

¹⁷ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, p. 47.

APLICACIONES DE LOS ADITIVOS.

Tipo de Aditivo	Tipo de Lubricante						
	Aceite de motor	Aceite de transmisión	Aceite de ejes	Aceite hidráulico	Aceite de engranajes	Aceite de turbinas	Otros lubricantes
Detergente	X						
Dispersante	X	X					
Antioxidante	X	X	X	X	X	X	X
Antidesgaste	X	X	X	X	X		
Inhibidor de corrosión	X	X	X				X
Antiespumante	X	X	X	X	X	X	X
Mejorador de Viscosidad	X	X					

© *Tabla 1.2. Tipos de aditivos y los distintos aceites que los utilizan, 2002-2007.*

Fuente: Siero's Valley, Aceites lubricantes tipos de aditivos utilizados, <<http://members.fortunecity.es/100pies/Lubricantes/lubricantes4.htm>>, España, 2007.

1.4. Características de los aceites de engrase

Para obtener aceites que cumplan con las exigentes normativas internacionales, estos deben reunir las siguientes características:

1.4.1. Acides-basicidad del aceite

En un aceite, el grado de acides o alcalinidad puede expresarse por el número de neutralización respectivo, el cual se define como la cantidad de álcali o ácido expresado en miligramos de *hidróxido de potasio (KOH)* que se requiere para neutralizar el contenido de ácido o base de un gramo de muestra en condiciones normalizadas. La acides o alcalinidad de un aceite nuevo da información sobre el grado de refinado o aditivación, mientras que en uno usado da información sobre los contaminantes y fundamentalmente sobre la degradación del mismo. El monitorizado de la acidez permite evaluar los cambios químicos experimentados por el aceite como consecuencia de su oxidación y en el caso de los motores de combustión interna, la contaminación por los ácidos procedentes de la combustión. El parámetro utilizado para la medida de la acidez es el índice de acidez total, comúnmente expresado como *TAN (total acid number)*, siendo la cantidad de base

expresada en miligramos de *KOH* necesaria para neutralizar todos los constituyentes presentes en un gramo de aceite, incluyendo débiles y fuertes. En los motores de combustión interna, se monitoriza la reserva alcalina de los aceites, la cual se utiliza para neutralizar los ácidos procedentes de la combustión y de la oxidación del aceite a temperaturas elevadas. El parámetro utilizado es el *TBN* (*Total Base Number*) o índice de basicidad total¹⁸.

1.4.2. Punto de inflamación

El punto de inflamación, en terminología inglesa *flash point*, es la temperatura mínima a la cual el aceite desprende la cantidad suficiente de vapores como para inflamarse momentáneamente al aplicarle una llama; se expresa en grados centígrados (°C). El punto de inflamación de un aceite usado sube con el tiempo de utilización debido a la evaporación de las partes volátiles del mismo. La reducción del punto de inflamación se puede producir en los aceites de motores por la presencia de combustibles, siendo más acusada esta disminución en aceites con poco contenido de compuestos volátiles.

El punto de inflamación puede proporcionar una indicación sobre la amplitud del corte de dilatación empleado en el aceite base y revelar contaminaciones por productos más volátiles tal como hemos comentado. El punto de inflamación en aceites de motor se encuentra en niveles que no debe ofrecer potenciales riesgos de inflamación¹⁹.

1.4.3. Ceniza sulfatada

El contenido de ceniza de un aceites es el residuo no combustible de un aceite lubricante. Los aditivos detergentes en un aceite lubricante contiene derivados de metal, como el bario, el calcio y el magnesio, los cuales son fuentes comunes de ceniza. Estos compuestos metal orgánicos en los aceites proporcionan el *TBN* para

¹⁸ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. Editorial Reverté, 1998, pp. 81 - 88.

¹⁹ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998 , pp. 87.

la alcalinidad del aceite. Un exceso de ceniza dejará depósitos de ceniza que pueden reducir la eficiencia y potencia del motor²⁰.

1.4.4. Adherencia

La adherencia del aceite mide la mayor o menor capacidad de los aceites lubricantes a adherirse a las superficies que impregnan, manteniendo entre las superficies en movimiento una lubricación constante. Se manifiesta cuando el espesor de la película de aceite se reduce al mínimo, sin llegar a la lubricación límite²¹.

1.4.5. Punto de congelación

Es la temperatura más baja a partir de la cual el aceite pierde sus características de fluido, para comportarse como una sustancia sólida. Este punto debe ser lo más bajo posible para que el aceite mantenga la fluidez suficiente a bajas temperaturas²².

1.4.6. Viscosidad

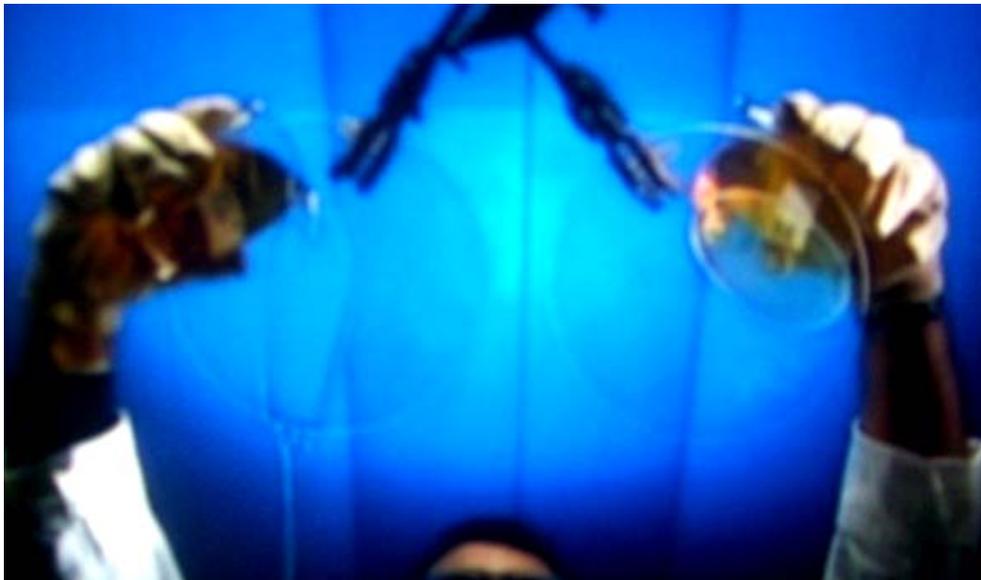
La viscosidad es la característica más importante de un fluido desde el punto de vista de la lubricación y para casi todas las aplicaciones prácticas, ya que va a determinar su capacidad física para mantener la lubricación, esto es, va a fijar sus pérdidas por fricción, el rendimiento mecánico, la capacidad de carga y el gasto de

²⁰ **Caterpillar**, Folleto de El aceite lubricante y su motor, p. 5.

²¹ **PEREZ, J.** Los aceites lubricantes, <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:j8jKW_yzbr4J:www.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/21/aceites_lubricantes.doc+www.educarm.es/templates/portal/ficheros/.../21/aceites_lubricantes.doc&cd=1&hl=es&ct=clnk>, España, 2009.

²² **PEREZ, J.** Los aceites lubricantes, <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:j8jKW_yzbr4J:www.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/21/aceites_lubricantes.doc+www.educarm.es/templates/portal/ficheros/.../21/aceites_lubricantes.doc&cd=1&hl=es&ct=clnk>, España, 2009.

fluido para unas condiciones determinadas de velocidad, temperatura, carga y dimensiones del elemento que se calcula²³.



Fotografía 1.1: Pruebas de viscosidad en el aceite Fuente: Caterpillar, El aceite lubricante y su motor.

- Si la viscosidad es demasiado baja, el lubricante no soporta las cargas entre las piezas y desaparece del medio sin cumplir su objetivo de evitar el contacto metal-metal.
- Si la viscosidad es demasiado alta el lubricante no es capaz de llegar a todos los intersticios en donde es requerido.

²³ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, pp. 81- 92.

- Al ser alta la viscosidad es necesaria mayor fuerza para mover el lubricante originando de esta manera mayor desgaste en la bomba de aceite, además de no llegar a lubricar rápidamente en el arranque en frío.
- Como medida de la fricción interna actúa como resistencia contra la modificación de la posición de las moléculas al actuar sobre ellas una tensión de cizallamiento.
- Afecta la generación de calor entre superficies giratorias (cojinetes, cilindros, engranajes).
- Tiene que ver con el efecto sellante del aceite. Determina la facilidad con que la maquinaria arranca bajo condiciones de baja temperatura ambiente.

La viscosidad no es una constante del fluido y depende de varios parámetros siendo los más importantes la temperatura y la presión.

1.4.6.1. Índice de viscosidad

Este valor mide la variación de la viscosidad según la temperatura. La norma que lo describe es la ASTM-D-2270. Los valores típicos de índice de viscosidad son 95 (para los aceites "normales" o "monogrado") y de 125 a 150 (para los "multigrado"). Cuanto más alto es este índice, menos varía la viscosidad con la temperatura²⁴. Para cuantificar esa característica se ideó un sistema arbitrario denominado índice de viscosidad que fue ideado en 1929 por Dean y Deavis. El método consiste en comparar el aceite problema con dos aceites, uno de índice de viscosidad 0 y otro con un índice de viscosidad de 100. (El primero era un aceite nafténico y el segundo un aceite parafínico de esa época). Lo que se hace actualmente en el laboratorio es tomar las viscosidad del aceite a 40 °C y a 100° C y luego se ingresan a un manual de ASTM los datos obtenidos, y en primer término se busca la viscosidad determinada de 100 °C y luego se busca la de 40 °C y la relación entre ellas es el famoso Índice de Viscosidad²⁵.

²⁴ **Cepsa (Compañía Española de Petróleo SA.)**, <[http:// www.cepsa.com/cepsa/ Que_ofrecemos /Lubricantes/ Glosario_de_lubricacion />](http://www.cepsa.com/cepsa/Que_ofrecemos/Lubricantes/Glosario_de_lubricacion/), España,2010.

²⁵ **Por Esteban Echeverría**, Índice de Viscosidad - Importancia en el funcionamiento de los equipos, <[http:// taho.servidoraweb.net/ ~exfakoc/ consejos_tecnicos/Consejo-093-Indice-de-Viscosidad.pdf](http://taho.servidoraweb.net/~exfakoc/consejos_tecnicos/Consejo-093-Indice-de-Viscosidad.pdf)>, Argentina, 2009.

1.5. Clasificación, especificaciones y normativas de los aceites de motor

- a) **Clasificación:** Es la división de calidades de lubricantes en amplios rangos. En una clasificación normalmente se incluye una descripción del tipo de motor para el cual ha sido diseñado el aceite, a veces el tipo de vehículo e incluso en ciertos casos una referencia a los años de garantía a los cuales la clasificación es de aplicación. Determinadas características de los aceites serán resaltadas en este tipo de clasificación, tales como características de ahorro de combustible, reducción de depósitos, etc. Es normal que este tipo de clasificación sea definido por sociedades técnicas.
- b) **Especificación:** Esta es una definición más precisa del aceite que su clasificación. Normalmente se aplica para un aceite a usar en un determinado campo o tipo de uso. Los métodos de prueba serán definidos en detalle, incluyendo propiedades físicas, químicas y pruebas de comportamiento o en campo.

1.5.1. Clasificación SAE

La primera propiedad de los lubricantes de motor en ser clasificada fue la viscosidad y la clasificación de viscosidad SAE (Society of Automotive Engineers) ha sido la base de la misma desde su admisión a principios de los 1900. Ello no quiere decir que haya cambiado desde entonces y es ahora mundialmente adoptada habiendo alcanzado la designación de un estándar ISO. La esencia de la clasificación es la indicación de la viscosidad tanto a bajas temperaturas (arranque de motor en invierno) como a altas temperaturas (condiciones de operación), 0°F y 210°F, equivalente -18°C y a 99°C.

El rango de viscosidad es indicado por dos números con valores más altos señalando mayores valores de viscosidad. La viscosidad para bajas temperaturas es indicada con "W" (winter) y es dada en primer orden. La forma correcta de indicar una viscosidad SAE es: SAE xxW-yy. Se define como aceite monogrado aquel que cumple únicamente con el grado SAE de su designación, mientras que los aceites multigrados cumplen con las especificaciones de dos grados diferentes,

a bajas y altas temperaturas. La clasificación mundialmente adoptada de SAE divide en doce grados de viscosidad los aceites apropiados para la lubricación en motores²⁶.

Grado SAE	Viscosidades a baja temperaturas		Viscosidades a altas temperaturas		
	a) Cranking (cP) máx./temp°C	b) Bombeabilidad (cP) máx./temp°C	c) Visc. cinemática (cSt) a 100°C		d) Visc. Alta Ciz. (cP) a 150°C min
			min	max	
0W	6200 / -35	60000 / -40	3.8	-	-
5W	6600 / -30	60000 / -35	3.8	-	-
10W	7000 / -25	60000 / -30	4.1	-	-
15W	7000 / -20	60000 / -25	5.6	-	-
20W	9500 / -15	60000 / -20	5.6	-	-
25W	13000 / -10	60000 / -15	9.3	-	-
20	-	-	5.6	<9.3	2.6
30	-	-	9.3	<12.5	2.9
40	-	-	12.5	<16.3	2.9*
40	-	-	12.5	<16.3	3.7**
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

a) ASTM D-5293 b) ASTM D-4684 c) ASTM D-445 d) ASTM D-4683, ASTM D-4741, CEC-L-36-A-90
*) Grados 0W-40, 5W-40 y 10W-40- **) Grados 15W40, 20W40, 25W40 y 40

Tabla 1.3: Clasificación de aceites lubricantes para motor SAE J300. Fuente: *TORMOS, B. Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté 1998, pp. 66.*

1.5.2. Clasificación API

Para establecer un sistema de clasificación según la calidad, la API (American Petroleum Institute) ha diseñado una nomenclatura según el tipo de motor al que se le va a aplicar el lubricante.

En cuanto a los aceites para motores diesel, la nomenclatura utiliza la letra "C" de la palabra inglesa Compression por tratarse de aceites para motores cuyo principio de ignición es por compresión y una letra en serie alfabética que representa la evolución del nivel de calidad. Para entender la necesidad de esta clasificación,

²⁶ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, pp. 64 – 66.

veremos una tabla del desarrollo hasta la fecha de las clasificaciones *API* para mejorar el nivel de protección del aceite para diesel²⁷.

Clasificación API para motores Diesel		
Categoría API motores Diesel	Categoría API antigua	Pruebas en banco requeridas
CA (obsoleta)	DG (good condition)	CRC L-389; Caterpillar L-1(0.4%AZUFRE)
CB (obsoleta)	DM (moderate severity)	CRC L-38; Carterpillar L-1 (0.4% azufre)
CC (obsoleta)	DM (moderate severity)	CRC L-38; Sequence IID; Caterpillar 1H2
CD (obsoleta)	DS (severe servise)	CRC L-38; Caterpillar 1G2
CD-II (obsoleta)	Ninguno	CRC L-38; Caterpillar 1g2; Detroit Diesel 6V53T
CE (obsoleta)	Ninguno	CRC L-38; Caterpillar 1G2; Cummins NTC-400; Mack T-6; Mack T-7
CF-4 (1990)	Ninguno	CRC L-38; Cummins NTC-400; Mack T-6; Mack T-7; Caterpillar 1K
CF-2	Ninguno	CRC L-38; Caterpillar 1M-PC; Detroit Diesel 6V92TA
CF	Ninguno	CRC L-38; Caterpillar 1M-PC
CG-4	Ninguno	CRC L-38; Sequence IIIE; Roller Follower Wear; Mack T-8; Caterpillar 1N
CH-4	Ninguno	Sequence IIIE; Roller Follower Wear; Mack T-8E; Mack T-9; Cummins M11; Caterpillar 1P; Caterpillar 1K
CI-4	Ninguno	Caterpillar 1R; Cummins M11; Mack T-8E; Mack T-10; Roller Follower Wear; Caterpillar 1K or 1N; HEUI; Sequence IIIF

Tabla 1.4: Clasificación API para motores Diesel. Fuente: *TORMOS, B. Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté 1998, pp. 73-74.*

API CI-4 (2004): Esta categoría describe aceites para uso en motores diesel de 4 tiempos y alto régimen diseñados para cumplir los niveles de emisiones del 2004. Son especialmente efectivos de cara a mantener la durabilidad del motor en

²⁷ **CONAE** (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía), Lubricación de los motores de combustión interna, <<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4084/1/lubricacion.pdf>>, México Df, 29/09/2009.

aplicaciones donde se emplee el EGR u otros tipos de sistemas de reducción de emisiones. Se obtiene una óptima protección contra el desgaste corrosivo, estabilidad a altas y bajas temperaturas, buenas propiedades para controlar la materia carbonosa, los depósitos en pistón, el desgaste del tren de válvulas, la oxidación y la pérdida de viscosidad por cizallamiento²⁸.



Figura 1.6: Comparación de calidad de la norma CI-4 con sus predecesores. Fuente: Widman international SRL, *El desarrollo de los aceites para motores a diesel*, <mht!http://www.widman.biz/Seleccion/Motores/Desarrollo/desarrollo.html>, Bolivia, 2009

En Octubre del 2007 se lanzó una nueva categoría *CJ-4* para los nuevos motores norteamericanos que llevan catalizadores del escape que reducen la contaminación al medio ambiente. Este aceite fue desarrollado especialmente para estos camiones de carretera y la nueva especificación de diesel norteamericano donde se limita el contenido de azufre en el diesel al 15 ppm²⁹. La calidad del diesel que produce petroindustrial en sus tres refinerías se ajusta a los estándares (normas INEN), es decir, no superan los 500 ppm en Quito Metropolitano y 7 000 ppm en el resto del país³⁰.

²⁸ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, Pág. 76.

²⁹ **Widman international SRL**, *El desarrollo de los aceites para motores a diesel*, <mht!http://www.widman.biz/Seleccion/Motores/Desarrollo/desarrollo.html>, Bolivia. Acceso: 9 Marzo 2009.

³⁰ **Diario HOY Ciudad Quito**, Ecuador tiene el peor diesel en América latina, <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/ecuador-tiene-el-peor-diesel-en-america-latina-273543-273543.html>, Ecuador, 30/julio/2007.

1.5.2.1. Circulo (dona)

Para facilitar a los clientes la selección adecuada de aceites, *API* desarrolló el símbolo del “círculo” (*dona*). En la mitad superior este círculo indica las categorías de servicio *API*, en el centro del mismo indica los grados de viscosidad *SAE* y, si es pertinente, en la mitad inferior del círculo la característica de ahorro de energía de un aceite. Aunque cualquier proveedor de aceite puede utilizar las categorías de servicio *API* para indicar el nivel de rendimiento de cualquiera de sus aceites comerciales, solo las compañías certificadas con licencia pueden imprimir el círculo *API* (*la dona*) en sus etiquetas. Los que usen este símbolo garantizan que sus aceites satisfacen todas las normas técnicas de rendimiento indicadas³¹.

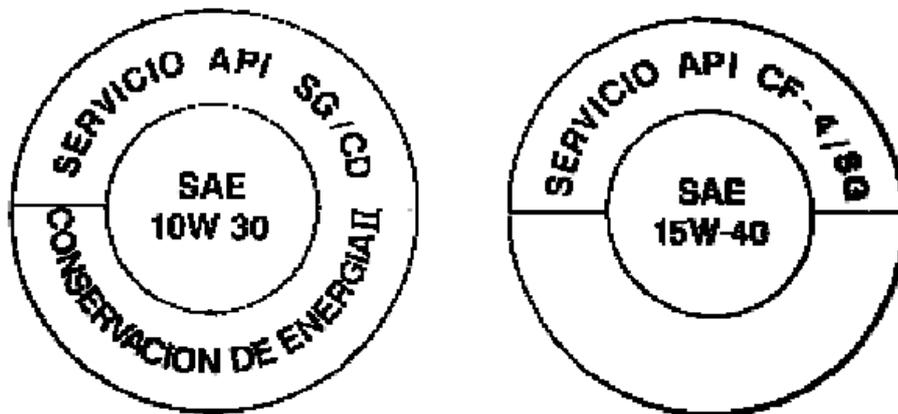


Figura 1.7: Circulo dona. Fuente: Caterpillar, El aceite lubricante y su motor.



Fotografía 1.2: Circulo dona del aceite utilizado (Foto Autor).

³¹ Caterpillar, Folleto de El aceite lubricante y su motor, p. 8.

1.5.3. Normas y pruebas de ensayo INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) en Aceites lubricantes para motores de combustión interna de ciclo Diesel

Estas normas y pruebas de ensayo buscan establecer los requisitos técnicos, que deben cumplir los aceites lubricantes, para garantizar los niveles de calidad al consumidor, aplicándose también a las bases y aceites lubricantes derivados del petróleo que se fabriquen y/o elaboren, importen o se comercialicen en el Ecuador; todo lo que se verá a continuación fue obtenido de internet de la página del Instituto Ecuatoriano de Normalización visto en la siguiente referencia³².

1.5.3.1. Descripción y clasificación de las normas

DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
Aceites lubricantes para motores de combustión interna de ciclo Otto.	2710.19.38
<i>Aceites lubricantes para motores de combustión interna de ciclo Diesel.</i>	2710.19.38
Aceites lubricantes para transmisiones manuales y diferenciales de equipo automotor.	2710.19.38
Bases para la fabricación y elaboración de aceites lubricantes.	2710.19.35.90

Tabla 1.5: Ensayos para evaluar la conformidad aceites lubricantes, para motores de combustión interna ciclo Diesel Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Reglamento técnico Ecuatoriano RTE INEN 014:2006 para Aceites Lubricantes. <URL: www.inen.gov.ec>, Ecuador, Acceso: 24 Abril 2009.

1.5.3.2. Condiciones Generales del aceite lubricante para motores de combustión interna de ciclo Diesel

Los productos, cuando sean observados a simple vista, deben ser de aspecto límpido, y estar exentos de agua, sedimentos y de materiales en suspensión. El

³² **Instituto Ecuatoriano de Normalización.** Reglamento técnico Ecuatoriano RTE INEN 014:2006 para Aceites Lubricantes. <URL: www.inen.gov.ec>, Ecuador, Acceso: 24 Abril 2009.

envasado debe realizarse en recipientes fabricados de materiales que no alteren la calidad del producto.

1.5.3.3. Requisitos

Los aceites lubricantes para motores de combustión interna de ciclo Diesel, deben cumplir con los requisitos establecidos en el numeral 6 de la NTE INEN 2 030 vigente.

1.5.3.4. Rotulado

El rotulado debe contener la siguiente información:

- Nombre o denominación del producto.
- Marca comercial.
- Identificación del lote.
- Contenido neto en unidades del *SI*.
- Razón social de la empresa productora.
- País de fabricación del producto.
- Grado de viscosidad *SAE*.
- Clasificación *API*.
- Aceite reciclado.
- Advertencia del riesgo por el contacto prolongado del aceite con la piel.
- Advertencia del riesgo para el medio ambiente por la inadecuada disposición del aceite usado.
- La información debe estar en español, sin perjuicio a que se pueda presentar en otros idiomas adicionales, de preferencia en inglés.

Ensayos Para Evaluar La Conformidad Aceites Lubricantes para motores de combustión interna ciclo Diesel. Con el fin de verificar el cumplimiento de los

requisitos establecidos en la Norma INEN 2 030, se deben efectuar los siguientes ensayos:

REQUISITOS	MÉTODOS DE ENSAYO
Índice de Viscosidad	ASTM D 2 270: Test Method for Calculating Viscosity index from Kinematic Viscosity at 40 y 100° C.
Punto de Ecurrimiento	NTE INEN 1 982: Productos derivados del petróleo. Determinación del punto de escurrimiento.
Viscosidad a 100 ° C.	NTE INEN 810: Productos derivados del petróleo. Determinación de la viscosidad Cinemática y Dinámica en líquidos transparentes y opacos.
Contenido de agua	ASTM D 95: Test method for water in Petroleum Products and Bituminous materials by distillation
Tendencia de la espuma después de 5 min. del período de soplado: (Secuencia I, II, III)	ASTM D 892: Test Method for Forming Characteristics of Lubricating oils and additives. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992. Materials. Philadelphia, 1992
Estabilidad de la espuma después de 10 min. del período de reposo: (Secuencia I, II, III)	ASTM D 892: Test Method for Forming Characteristics of Lubricating oils and additives. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992. Materials. Philadelphia, 1992.
Número básico total (TBN).	ASTM D 2 896: Test Method for Total Base Number of Petroleum Product by Potentiometer Acid Titration. American Society of Testing and Materials. Philadelphia, 1991.
Cenizas sulfatadas.	ASTM D 874: Standard test Method for Sulfated Ash from Lubricating oil and additives. American Society for Testing

Tabla 1.6: Ensayos para evaluar la conformidad aceites lubricantes, para motores de combustión interna ciclo Diesel Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Reglamento técnico Ecuatoriano RTE INEN 014:2006 para Aceites Lubricantes.

<URL: www.inen.gov.ec>, Ecuador, Acceso: 24 Abril 2009.

NOTA 1. Si el aceite es obtenido de un proceso de reciclado, esto debe constar en la información del rotulado.

1.6. Conclusiones

En el presente capítulo se pudo investigar acerca de las generalidades del aceite y su importancia en el motor: la lubricación al minimizar la fricción de las piezas móviles; la limpieza para evitar la acumulación de residuos; la refrigeración al

equilibrar la temperatura del motor y el sellado manteniendo la estanqueidad entre pistón y cilindro. Además la selección del aceite está basada en el tipo de motor, el uso que se le dar, y lugar donde va a trabajar.

Se observó la clasificación de los distintos tipos de crudos, estableciéndose que los de base parafínicos son los más óptimos para la producción de aceite lubricante ya que varían poco su viscosidad con el aumento de temperatura.

Se revisó la importancia de los aditivos y el papel que desempeñan en el mejoramiento de las cualidades del aceite. Basados en las cantidades de aditivos que contienen los aceites de alta calidad se podría decir que en un galón U.S. (3.785 lt), comúnmente comercializado en Ecuador, llevaría aproximadamente 0.75 lt de aditivos.

Se estableció que el obscurecimiento del aceite usado se da en mayor medida por la oxidación del mismo, en presencia del aire y altas temperaturas, que por agentes externos producto de la combustión. Además se observó algunas de las características propias de los lubricantes utilizadas como técnicas para la determinación de la degradación del mismo tales como: la medición de la acidez y alcalinidad, que nos dan información sobre los contaminantes en un aceite usado y la rapidez con la que este se degrada en el motor.

Por otra parte conocimos la importancia de la clasificación SAE y API como normativas internacionales; en el caso de la clasificación API está regida por la reunión de constructores de motores, fabricantes de aceites y aditivos, los cuales han realizado varias evaluaciones en vehículos y en bancos de pruebas, para satisfacer las constantes exigencias ya sea medioambientales como de rendimiento de los motores.

Finalmente se observó las leyes que rigen en nuestro país mediante las pruebas de ensayo INEN en aceites lubricantes, en donde se establecen un sinnúmero de parámetros, los cuales deben cumplir los fabricantes de aceites para poder comercializar sus productos en nuestro país.

CAPITULO II

MUESTREO DEL ACEITE DEL MOTOR

2.1. Preparativos para la toma de muestras

Para la realización de las dos experiencias (recorrido del vehículo sin carga y vehículo cargado), se efectuó un similar procedimiento de limpieza y extracción de las muestras, con la finalidad de que las variables sean el mayor esfuerzo de carga y la forma de conducir del piloto, en cuanto a mayores exigencias, máxima potencia en cambio bajo, arranques bruscos, tratando de simular las diferentes condiciones de manejo de los usuarios del vehículo.



Fotografía 2.1: Vehículo con carga y sin carga (Foto Autor).

Se inició los preparativos del motor vertiendo un fluido limpia inyectores en el tanque de combustible, el cual contiene aditivos detergentes y dispersantes que ayudan a limpiar los conductos del sistema de alimentación; todo esto con el fin de tener una buena dosificación en el cilindro y tratar de iniciar las prácticas con el motor lo más limpio posible, eliminando agentes extraños que afecten el rendimiento del mismo. Luego se hizo recorrer el vehículo hasta que el combustible llegue a su nivel más bajo, para asegurar que todo el fluido colocado se haya consumido, procediendo después a llenar el tanque con combustible nuevo.



Fotografía 2.2: Aditivo para combustible (Foto Autor).

Después se colocó un nuevo filtro de combustible y de aire.



Fotografía 2.3: Instalación del nuevo filtro de Combustible (Foto Autor).



Fotografía 2.4. Colocación del nuevo filtro de Aire (Foto Autor).

Acabada la limpieza del sistema de alimentación, se procedió a limpiar el sistema de lubricación.

En primer lugar se realizó un cambio de aceite para retirar el lubricante y filtro utilizados antes de iniciar las prácticas en el vehículo.



Fotografía 2.5: Realización del primer cambio de aceite (Foto Autor).

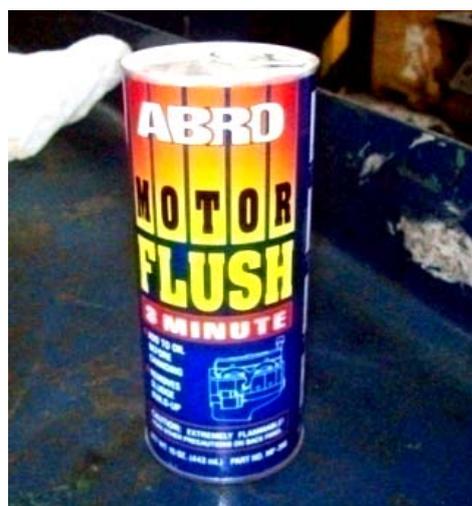
Una vez drenado todo el aceite usado se colocó un filtro y lubricante nuevos, seguidamente con la varilla de medición se controló el nivel de aceite vertido teniendo cuidado que no sobrepase el límite máximo recomendado por el fabricante; para esta práctica se utilizó un filtro *CHAMP PH2862B* y un lubricante *MOBIL Delvac 15W-40* debido a que estos productos son normalmente comercializados en cualquier lubricadora convencionales del país, esto para

asemejar las condiciones que comúnmente son utilizados en los automotores al realizar los cambios de aceite debido a los costos más accesibles.



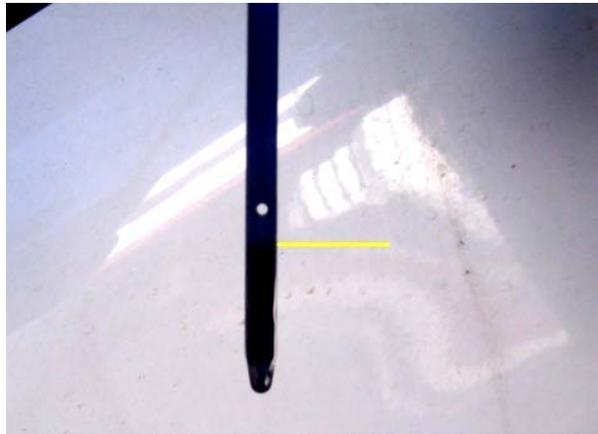
Fotografía 2.6: Implementos para la preparación del motor (Foto Autor).

Luego de esto se colocó un líquido, detergente-dispersante, llamado *FLUSH*; este líquido tiene como finalidad mezclarse con el aceite contenido en el motor para despegar posibles residuos de carbonilla, emulsiones, barros y barnices alojados en el cárter del motor, la tapa de balancines, los conductos de lubricación, la falda y rines del pistón. Para la utilización de este fluido limpiador se realizó el siguiente procedimiento:



Fotografía 2.7: Motor Flush para la limpieza del sistema de lubricación motor (Foto Autor).

En primer lugar se inspeccionó el nivel de aceite.



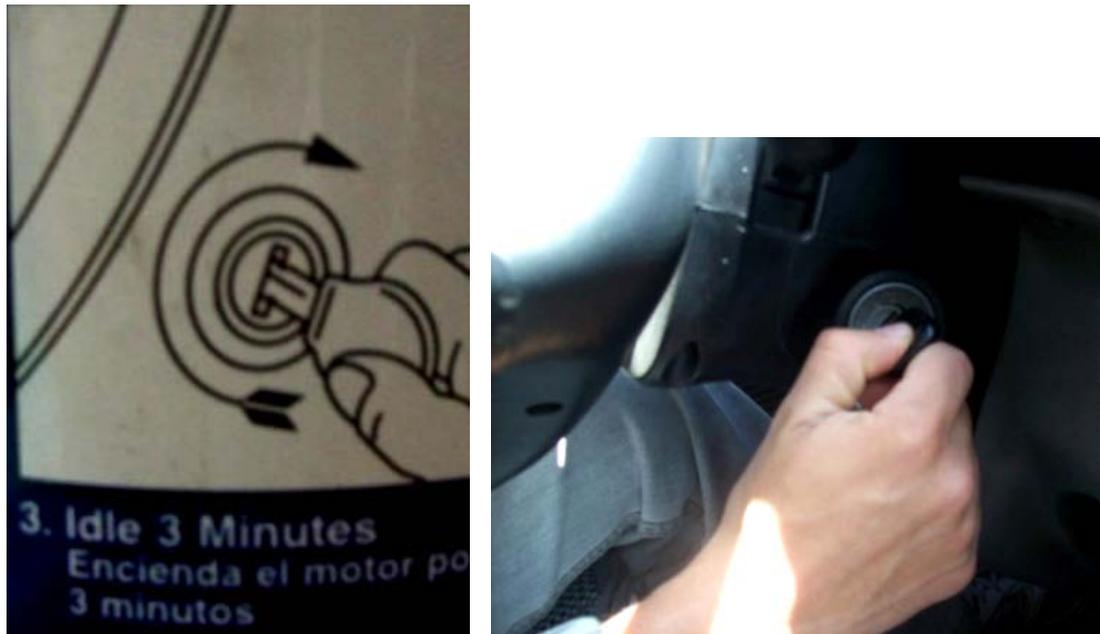
Fotografía 2.8: Verificación del nivel de aceite en el motor (Foto Autor).

Con el Motor frio se vertió todo el flush en el orificio del tapón de aceite.



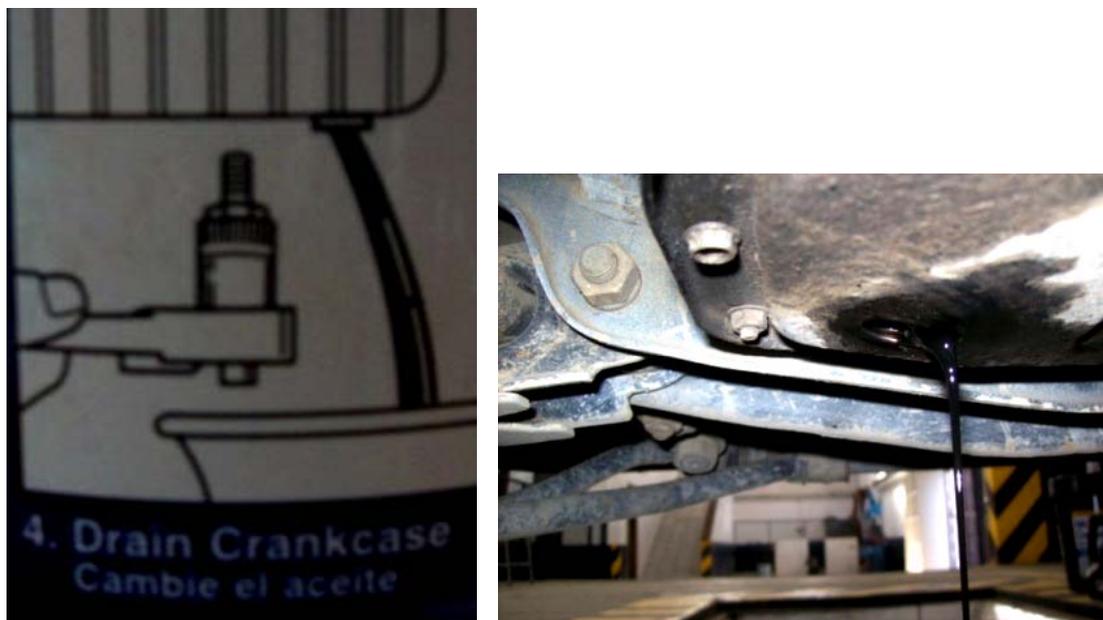
Fotografía 2.9: Colocación del motor flush (Foto Autor).

Luego se encendió el motor durante 3 minutos, para que el líquido limpiador haga su trabajo removiendo impurezas.



Fotografía 2.10: Encendido del vehículo (Foto Autor).

Después se retiró el tapón del cárter, para extraer la mezcla de flush y lubricante contenida en la máquina.



Fotografía 2.11: Realización del segundo cambio de aceite, extracción del flush (Foto Autor).

También se retiró el filtro de aceite, dejando que drene por completo el lubricante.



Fotografía 2.12: Realización del segundo cambio de aceite (Foto Autor).

Se colocó el tapón del cárter y un nuevo filtro de aceite.



Fotografía 2.13: Realización del segundo cambio de aceite (Foto Autor).

Se vertió el aceite lubricante nuevo hasta el nivel máximo recomendado por el fabricante.



Fotografía 2.14: Realización del segundo cambio de aceite (Foto Autor).

Con la finalidad de iniciar el recorrido del vehículo con el motor en condiciones iniciales y para limpiar rezagos de aceite que pudiesen estar mezclados con flush u otras impurezas, se hizo un cambio de aceite adicional. Después de haber llenado el motor a su nivel máximo con el lubricante se recorrió el vehículo durante 45 minutos, para posteriormente llevarlo de vuelta al taller y evacuar el aceite cambiando también el filtro de aceite; luego se colocó medio litro de aceite nuevo, embancando el vehículo y dejándolo así una noche para facilitar el drenaje y asegurar la limpieza del motor.



Fotografía 2.15: Realización del tercer cambio de aceite (Foto Autor).



Fotografía 2.16: Embancado del vehículo (Foto Autor).

Finalmente se colocó el tapón del cárter cubriendo su rosca con teflón -aunque es anti técnico, esto se lo practica en un gran número de lubricadoras convencionales- luego se instaló un nuevo filtro de aceite y se llenó con lubricante virgen hasta el nivel máximo mostrado por la varilla de medición, llenándose con la cantidad de 6 litros para este motor; terminando así la limpieza.



Fotografía 2.17: Realización del tercer cambio de aceite (Foto Autor).

Para la realización de la segunda práctica al vehículo se lo cargó a la mitad de su capacidad, con 500 kg en sacos de arena seca aproximadamente, los cuales fueron pesados con una balanza para tener una mayor precisión.

PESOS Y CAPACIDADES 4x2	
MOTOR	2.5L CS
Peso Bruto Vehicular	2650
Peso Vacío Total	1550
Capacidad de Carga	1095

Fotografía 2.18: Capacidades del vehículo fuente: hoja de características del vehículo, Chevrolet. (Foto Autor)



Fotografía 2.19: Pesado y colocación de la arena en el vehículo (Foto Autor).

2.2. Extracción del aceite mediante el método de la bomba de vacío

Este método es utilizado en sistemas que no están equipados con válvulas de muestreo de aceite, por lo que se requiere una bomba de vacío manual.



Fotografía 2.20: Bomba de vacío.

Siempre se usó una sección nueva de tubo para cada muestra, ya que los aditivos de aceite o los contaminantes pueden permanecer en el tubo, hay cinco pasos básicos en el procedimiento del método de muestreo usando la bomba de vacío manual.



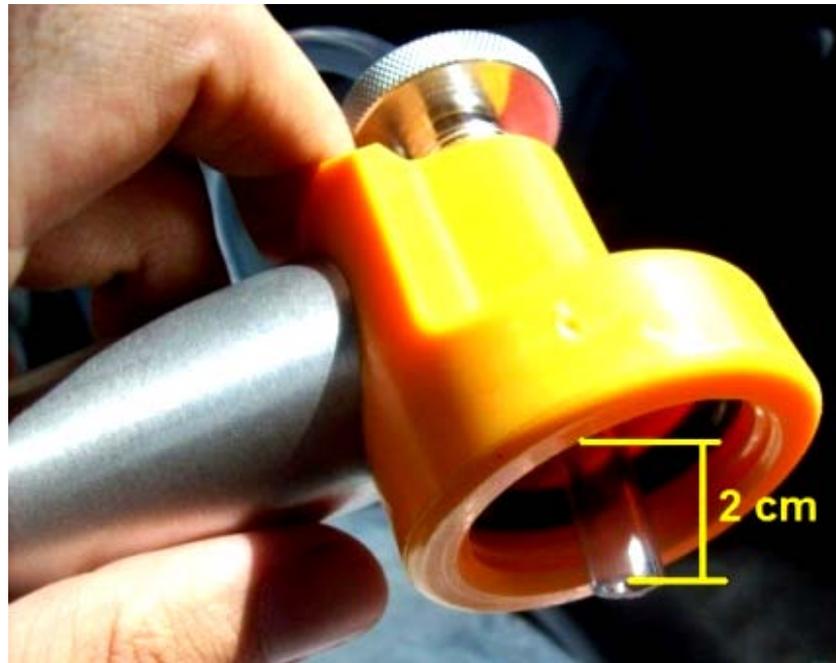
Fotografía 2.21: Implementos para la extracción de la muestra (Foto Autor).

Paso uno: Apague el motor y espere aproximadamente cinco minutos para que el aceite baje al cárter, luego mida el tubo nuevo a la longitud de la varilla de medición, si el compartimiento al que está tomando la muestra no tiene varilla de medición de aceite corte el tubo de manera que llegue a cerca de la mitad de la profundidad del depósito de donde se tomará la muestra.



Fotografía 2.22: Medición de la manguera de extracción de la muestra (Foto Autor).

Paso dos: Inserte el tubo a través de la cabeza de la bomba de vacío y apriete el tornillo retenedor, el tubo debe extenderse cerca de 2 cm de la base de la cabeza de la bomba de vacío.



Fotografía 2.23: Extensión máxima de manguera medida de la cabeza de la bomba (Foto Autor).

Paso tres: Enrosque un frasco de muestra nuevo y limpio en la bomba de vacío, e inserte el extremo del tubo en el depósito de aceite, el tubo no debe tocar el fondo del compartimiento.



Fotografía 2.24: Armado de la bomba de vacío (Foto Autor).

Paso cuatro: bombee la manija de la bomba para crear vacío y sosténgala de forma horizontal; pues si la voltea el aceite puede derramarse, contaminando la bomba, para corregir esto desármela y límpiela.



Fotografía 2.25: Extracción de la muestra (Foto Autor).

Paso cinco: Saque el tubo del compartimiento, quite el frasco de la bomba de vacío, asegure la tapa en el frasco y ponga en el frasco la etiqueta llenada correctamente.



Muestra Nro.: _____	XXX carga
Lubricante MOBIL 15W40	
Kilometraje: _____.	
Horas de Uso: ____ H, ____ min, ____ sg.	
Ingeniería Mecánica Automotriz.	
Daniel Veintimilla.	
Jorge Pesantez.	

Fotografía 2.26: Rotulado del frasco de muestra (Foto Autor).

2.3. Importancia de la toma de la muestra

Lo primero que se debe tener en cuenta, es que la muestra debe tomarse de modo que no sufra modificaciones posibles por parte de agentes externos que puedan llevar a resultados erróneos. Otro factor muy importante a tener en cuenta es la limpieza del recipiente de toma de muestra, ya que un grado de limpieza incorrecto del mismo puede dar lugar a conclusiones erróneas en los resultados obtenidos.



Fotografía 2.27: Cuidado a tener, con la limpieza de los implementos para la toma de muestras (Foto autor).

Por último nos ocuparemos de la importancia de la agitación de la muestra, previamente a la realización de los ensayos o medidas. La agitación correcta de la muestra permite obtener una dispersión uniforme de los componentes de la misma, siendo así representativa del estado original cuando se tomó. Esto es debido a que las partículas y la materia insoluble contenida en la muestra pueden precipitar en forma rápida y quedar adheridas en la superficie del recipiente (*tablas 2.1 y 2.2*).

Ejemplo: Los autores de la *tabla 2.1* para demostrar la importancia de la agitación de los frascos, previamente a la realización de los ensayos o medidas, realizaron el siguiente experimento: en donde a varias muestras de una mezcla homogénea de aceite hidráulico extraídas de un tanque que se las dejó en reposo durante una semana y analizadas posteriormente con las siguientes acciones, sobre la muestra 1 se analizó sin agitación, la muestra 2 se agito manualmente de forma violenta, la muestra 3 se agitó con un agitador de pintura durante cinco minutos. Los resultados obtenidos se muestran en la *tabla 2.1*.

Método de agitación	Partículas > 10 µm/ml
Control	1658
Sin agitación	29
Agitación manual (5 min)	1287
Agitación mecánica (5 min)	1630

Tabla 2.1. Comparativos de los resultados del conteo de partículas en función del grado de agitación de la muestra. Fuente: *TORMOS, B. Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, pp.131.*

Los autores del ejemplo anterior dan una recomendación sobre la importancia de la agitación de la muestra antes de hacer los ensayos o medidas correspondientes en base a la viscosidad del fluido y llenado del recipiente³³.

Viscosidad del fluido a 40°C	Llenado del recipiente de toma de muestra	Tiempo de agitación mecánica
≤32 cSt	3/4	2 min
32 – 100 cSt	2/3	3 - 4 min
>100 cSt	1/2	5 - 10 min

Tabla 2.2. Valores recomendados para el llenado y tiempo de agitación en función de la viscosidad. Fuente: *TORMOS, B. Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, pp. 131.*

Para nuestras pruebas, y conociendo la viscosidad del aceite a 40°C, las muestras de aceite recolectadas fueron agitadas con un agitador eléctrico durante 5 minutos para evitar problemas de sedimentación.

Mobil Delvac MX 15w-40		
Viscosidad del fluido	Llenado del recipiente de toma de muestra	Tiempo de agitación
105 cSt a 40°C	1/2	5 min

Tabla 2.3. Valores de llenado y tiempo de agitación en función de la viscosidad *TORMOS, B. Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, pp. 131.*

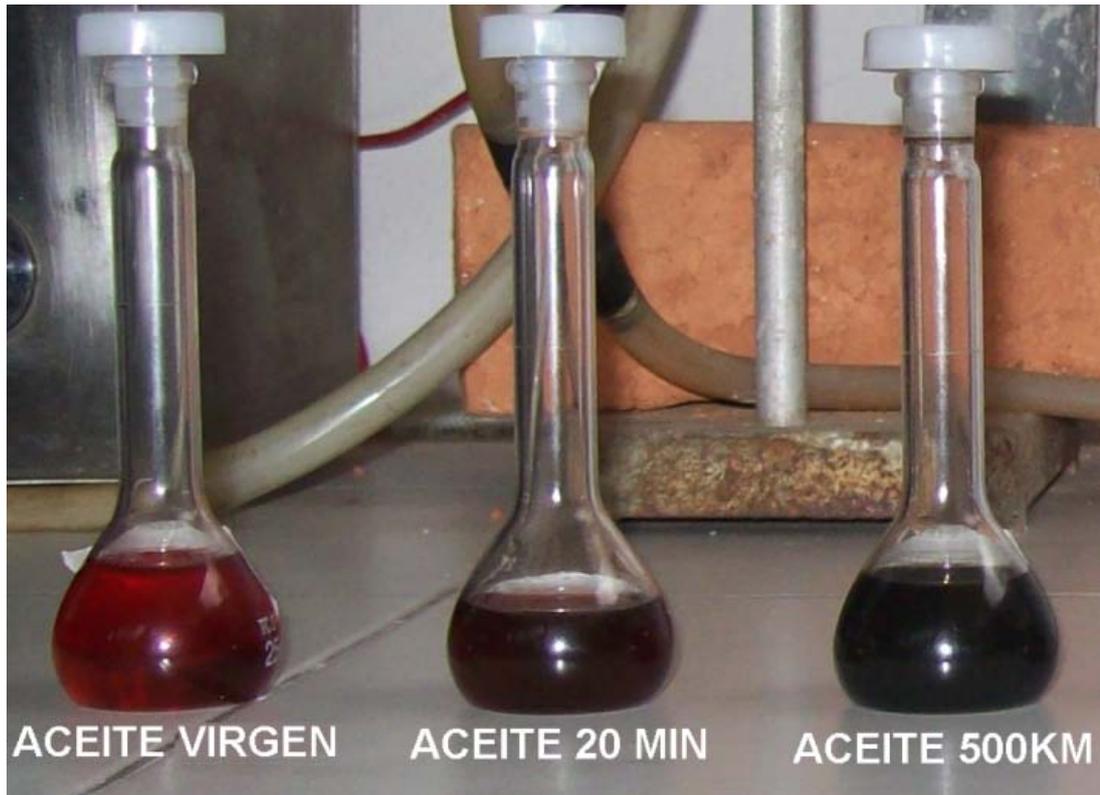
³³ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, pp. 129 – 131.



Fotografía 2.28: Agitado mecánico de nuestras muestras (Foto Autor).

2.4. Parámetros a seguir durante la extracción de las muestras

Una vez realizado el cambio de aceite definitivo dejamos el vehículo en ralentí durante *20 minutos* para extraerle una cantidad aproximada de *100 ml* de aceite, dicha cantidad de lubricante extraído será la misma para las subsiguientes extracciones; la muestra de aceite a *20 minutos* será tomada para nuestro análisis como el inicio del aceite a *0 km* después del aceite virgen.



Fotografía 2.29: Diferenciación del color entre el aceite virgen y el aceite 20 min ambos 0 Km (Foto Autor).

La extracción de la muestra de aceite se propuso inicialmente en intervalos de 500 Km, hasta los 3000 Km de recorrido, ya que este es el kilometraje recomendado por las lubricadoras para hacer el cambio de aceite; la última muestra recolectada a los 3000 km vehículo sin carga fue llevada a analizar, paralelamente en los laboratorios de Cepsa, dándonos como resultado que el aceite no presentaba una degradación significativa de este modo se optó por extender el recorrido del vehículo hasta los 6000 km doblando así el rendimiento del aceite inicialmente propuesto en nuestra tesina; cabe recalcar que los siguientes 3000 km se los realizó dentro y fuera de la ciudad, recorriendo el vehículo por carreteras de costa y sierra, variando así presión atmosférica, humedad y temperatura ambiente.

A la hora de extraer el lubricante se guardó mucha precaución al evitar que el polvo y la lluvia de la atmósfera pudiesen contaminar la muestra de aceite; Además como precaución, para contar con la mayor cantidad de información adicional, se tomó en cuenta la fecha, el nivel del aceite medido por la varilla, el kilometraje real del vehículo y el tiempo cronometrado en el que permaneció encendido el motor.



Fotografía 2.30: Cronometro utilizado para medir el tiempo del motor (Foto Autor).

2.5. Conclusiones

Pensando en la importancia de contar con una muestra lo menos contaminada, debido al uso común del vehículo, antes de iniciar con el recorrido se puso mayor énfasis en la limpieza del sistema de lubricación, para lo cual se realizó tres cambios de aceite y además se dejó drenar una noche, una vez terminado esto se procedió a llenar de aceite con 5.5 litros siguiendo el procedimiento normal de las lubricadoras, luego se encendió el vehículo para que el aceite circule por todos los conductos de lubricación. Al revisar la varilla de medición el nivel no llegó al límite máximo recomendado por el fabricante, por lo que se vertió medio litro más.

Con esta experiencia de llenado de aceite se comprueba que en las lubricadoras, para hacer su trabajo en el menor tiempo posible, dejan dentro del motor medio litro de aceite sucio, ya que cada vez que se llevó el vehículo a cualquier lubricadora solo colocaron 5.5 litros de aceite nuevo perjudicando así la vida útil del motor.

Además se pudo comprender la importancia y facilidad que presta el método de la bomba manual de vacío para extraer una muestra representativa del aceite que circula a través de los conductos de lubricación del motor, ya que si se tomara desde el tapón del cárter, resultaría dificultoso e incomodo pudiendo también derramarse y llenarse con impurezas del exterior (polvo, lodo o pelusas), además

de que no siempre se llegaría al taller con el kilometraje adecuado para la extracción.

Uno de los principales problemas que se pudo constatar fue que en algunas pruebas las muestras no pudieron ser analizadas de una en una, principalmente en el caso de los análisis del conteo de partículas, porque resultaba en una pérdida de tiempo y energía. Al ser necesario almacenar las muestras por mucho tiempo y basados en el ejemplo de la importancia en la agitación, se decidió realizar este procedimiento con la finalidad de que las partículas sedimentadas o adheridas a las paredes del frasco se dispersen y la muestra se homogenice, tratando de replicar así las condiciones en las que se extrajo la muestra del motor.

Aunque se midió el tiempo de funcionamiento del motor con un cronometro, se pudo llegar a la conclusión de que no representa de gran ayuda para los análisis, porque al mantener el carro en ralentí o en movimiento, los resultados serían muy erráticos debido al número de variables a considerar tales como: imprevistos en la vía, trafico, conducción, además de que en el mantenimiento del vehículo, los cambios de aceite no dependen del tiempo de uso sino del kilometraje, por lo que resultó mejor utilizar este ultimo.

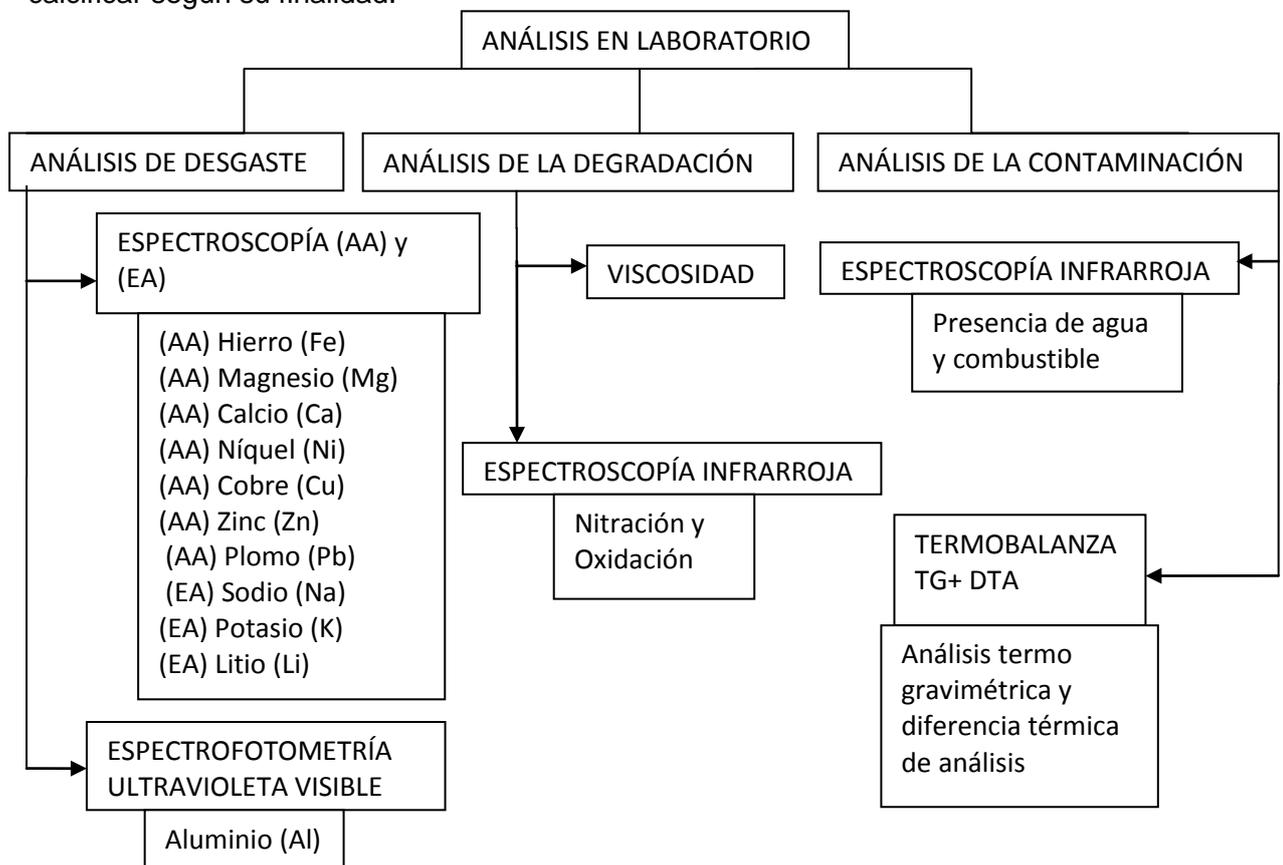
Debido a los análisis y bajo recomendaciones realizadas por Cepsa, se determinó que el recorrido inicialmente propuesto (3000 Km) no dio un resultado de degradación elevado; es por esto que se optó por recorrer el vehículo 4500 Km más. Esto nos dio a entender lo conveniente que es tener un laboratorio como respaldo en el cual se puedan hacer análisis paralelos a los hechos por nosotros en la universidad; de esta manera se pudo obtener resultados más profundos y aproximarnos al límite máximo que el aceite puede ser utilizado, además de contar con análisis que no se pudieron hacer en la universidad por falta de equipo como el TBN.

CAPITULO III

TÉCNICAS APLICABLES AL ANÁLISIS DE ACEITES LUBRICANTES PARA MOTOR

3.1 Pruebas de diagnóstico

En el presente capítulo se mostrará las diferentes técnicas y métodos utilizados para el análisis del aceite usado. Además se realizará técnicas aplicadas exclusivamente en laboratorios especializados debido a su complejidad y costo de operación, así como métodos que permiten de forma rápida y sencilla una apreciación aproximada del estado del aceite. Las técnicas analíticas de aceite aplicadas al mantenimiento que se realizaran en la presente tesina, se pueden calificar según su finalidad.



Con la aplicación de estas técnicas se obtendrá un diagnóstico del estado del aceite y del motor, utilizando los resultados como síntomas en el diagnóstico de la degradación, desgaste y contaminación de los diferentes sistemas que componen el motor.

3.1.1 Técnicas para la identificación y cuantificación de las partículas de desgaste en el aceite usado

El aceite lubricante como elemento destinado a proteger las superficies rozantes del mecanismo que protege, se encuentra en forma de una película protectora en contacto directo con dichas superficies, pero por más que exista una buena lubricación siempre existirá el desgaste, es por ello que el aceite debe tener como misión acarrear con todas las partículas de fricción y llevarlas a los elementos empleados para su retención como lo son los filtros.

Con el conteo de partículas en ppm (partes por millón) podremos decir que, si los niveles medidos exceden los valores normales, estos nos dan una alerta de desgaste en las piezas móviles del motor.

Existen varios métodos para conocer el estado de desgaste de un motor diesel a partir del estudio de las partículas que se encuentran en el mismo; entre los más ampliamente utilizados tenemos los siguientes:

4.1.1.1. Espectroscopía

La Espectroscopía es un método muy utilizado en el análisis del aceite usado, esta técnica está basada en la interacción que existe entre la radiación electromagnética y la materia cuando se produce un intercambio de energía; conociendo que los átomos de cualquier elemento producen espectros electromagnéticos característicos al ser excitados, esto ayuda a la identificación y cuantificación de los mismos³⁴.

³⁴ **TORMOS, B.** Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998, Pág. 110



Fotografía 3.1: Espectrómetro (Foto Autor).

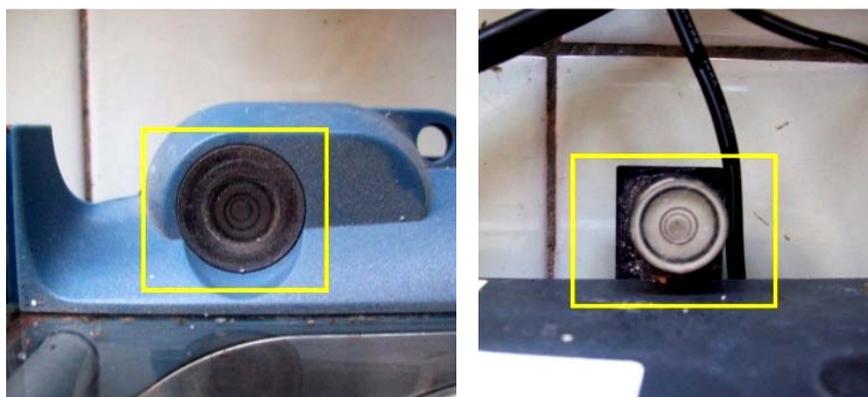
a) Preparación de las muestras para el análisis de espectroscopía (AA), (EA)

Primero se pesa los crisoles vacíos anotando su resultado.



Fotografía 3.2: Crisoles para Quema de muestra y pesado en vacío (Foto Autor).

Nota: En la parte posterior de las balanzas verificar y de ser necesario calibrar la horizontalidad.



Fotografía 3.3: Nivel de Balanza (Foto Autor).

Luego de uno en uno llevar los crisoles a la balanza, pulsar “tare”, para después colocar 20gr de muestra.



Fotografía 3.4: Pesado de 20gr de la muestra de aceite (Foto Autor).

Pesar en la balanza de mayor precisión y anotar los valores.



Fotografía 3.5: Pesado del crisol con la muestra (Foto Autor).

Nota: Guardar cuidado con el orden los crisoles para evitar confusiones.



Fotografía 3.6: Crisoles con 20gr de aceite de cada muestra (Foto Autor).

Se lleva con cuidado los crisoles con las muestras al horno para luego quemar la materia orgánica, quedando como residuo los metales para el posterior análisis.



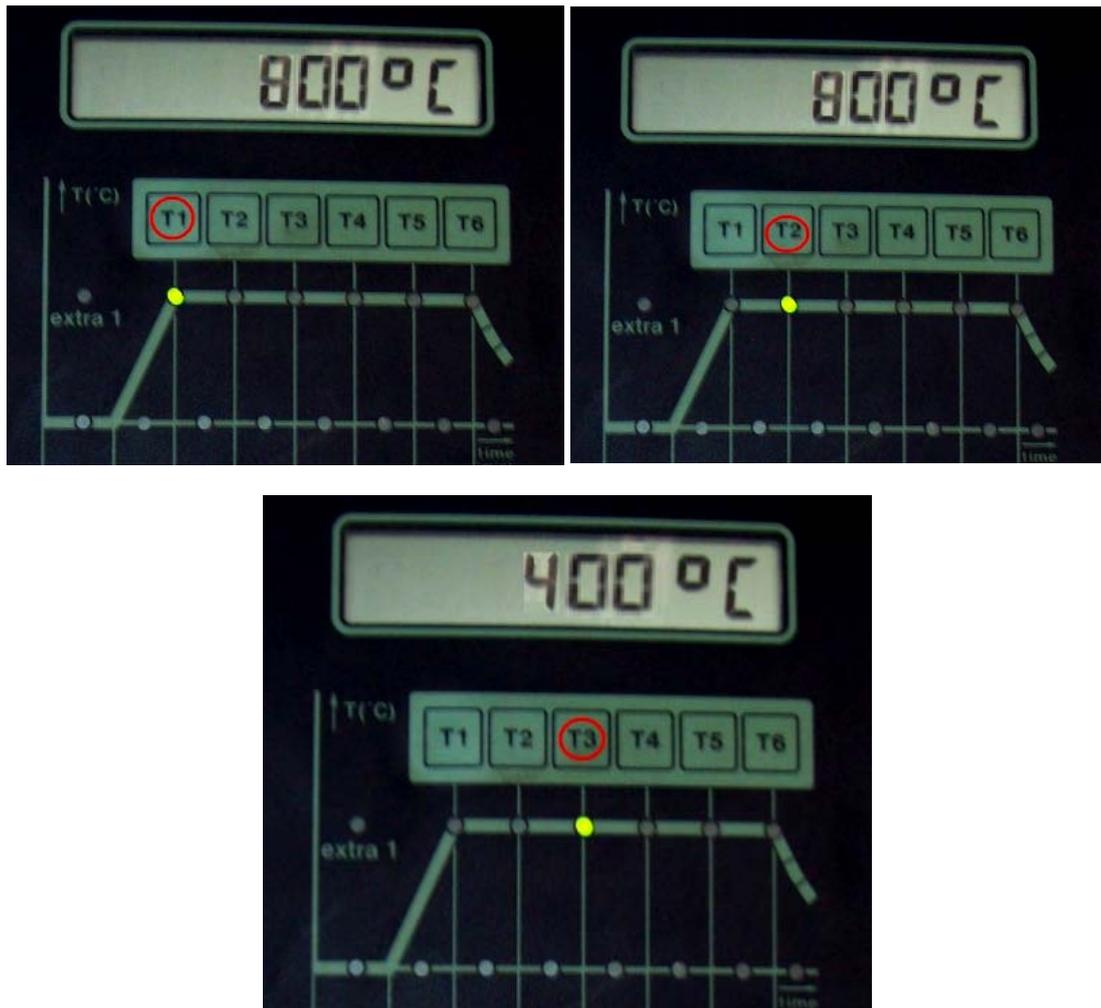
Fotografía 3.7: Horno Eléctrico utilizado para quema de muestra (Foto Autor).

Accionar los switches del horno.



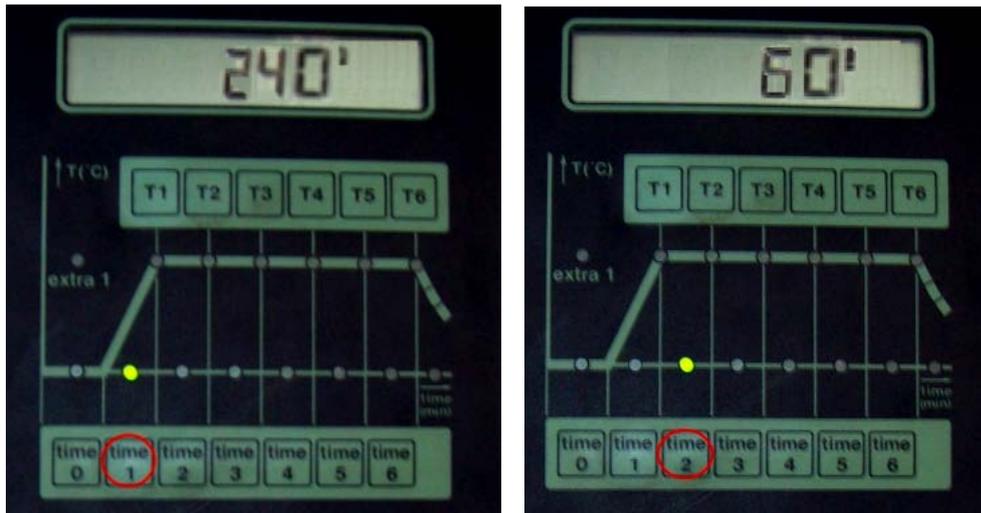
Fotografía 3.8: Encendido del horno electrónico (Foto Autor).

Calibrar la temperatura de la mufla a lo largo de un tiempo determinado, para lo cual primero se pulsa “T1”, seguidamente ingresar la temperatura 800°C y terminar presionando “T1” dos veces; para el punto dos pulsar “T2”, mantener la temperatura ingresando 800°C y terminar pulsando “T2” dos veces; en el tercer punto presionar “T3”, se baja un poco la temperatura a 400°C y de igual manera terminar presionando “T3” dos veces.



Fotografía 3.9: Calibración del horno electrónico (Foto Autor).

Se ajusta el tiempo de incremento de la temperatura presionando “time 1”, luego se ingresa el tiempo 240 min (4 horas) para que la temperatura suba progresivamente evitando el riesgo de que las muestras estallen de golpe y se termina presionando “time 1”; luego se pulsa “time 2” para ingresar el segundo tiempo de 60 min , lapso en el que permanecerán las temperaturas ya establecidas y de igual manera se termina pulsando “time 2”.



Fotografía 3.10: Calibración del horno electrónico (Foto Autor).

Cerrar la puerta del horno y finalmente presionar “start/enter”.



Fotografía 3.11: Calibración del horno electrónico (Foto Autor).

Al día siguiente, luego de que los crisoles se hayan enfriado los retiramos del horno para pesarlos con las cenizas, se anota dichos resultados y se rotula.



Fotografía 3.12: Pesado de los crisoles con ceniza (Foto Autor).

Se diluye las cenizas colocando aproximadamente 10 ml de ácido nítrico dejando reposar por un día.



Fotografía 3.13: Dilución de la muestra quemada con ácido nítrico (Foto Autor).

Una vez evaporados los ácidos, disolver y raspar estos residuos con agua destilada.



Fotografía 3.14: Disolución de la muestra quemada con agua destilada (Foto Autor).

Luego aforar en embases erlenmeyer de 100 ml, rotulados con su respectivo kilometraje.



Fotografía 3.15: Rotulación de las muestras disueltas (Foto Autor).

Finalmente almacenar para su posterior análisis.



Fotografía 3.16: Almacenamiento de las muestras disueltas (Foto Autor).

b) Preparación de las muestras patrón para la curva de calibración

Dichas muestras patrón sirven para la realización de las curvas de calibración y fueron proporcionadas por el laboratorio de la universidad.

c) Espectroscopia de absorción atómica (AA)

En esta opción la fase gaseosa se ilumina con luz de determinada longitud de onda según el elemento que se desee medir. Mediante esto los átomos en estado fundamental, cuyos niveles se corresponden con los de la longitud de onda incidente, absorben energía para promover electrones a niveles de energía superiores. Cada elemento es sensible a una sola longitud de onda y la cantidad de energía adsorbida es proporcional a su concentración en la mezcla, por esta razón el espectro de absorción del elemento presentará picos o líneas de absorción atómica característicos³⁵.

d) Preparación del equipo (AA)

Encender el espectrómetro.



Fotografía 3.17: Encendido del equipo de análisis de por medio de absorción atómica (Foto Autor).

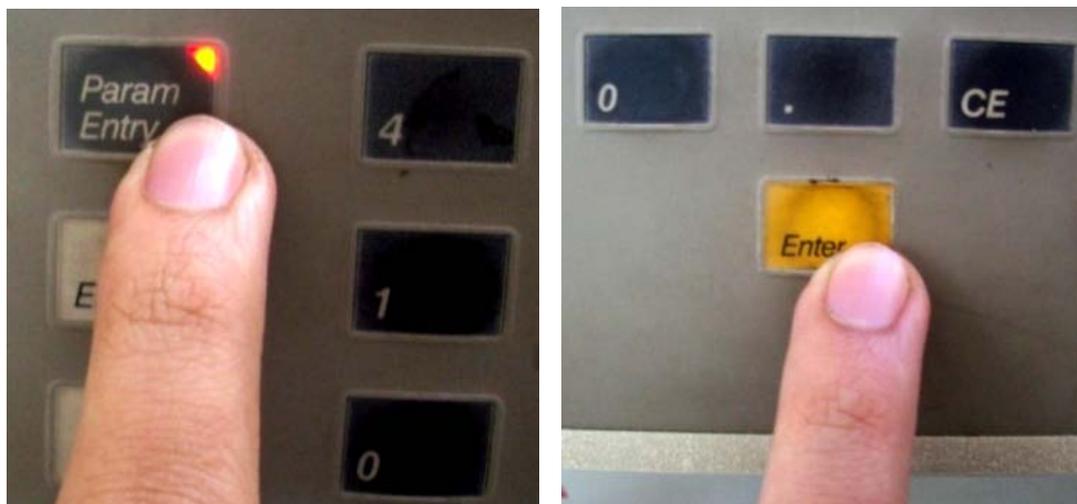
³⁵ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado, España, Editorial Reverté, 1998. Pág. 114.

Colocar la lámpara acorde al elemento para analizar, pudiendo ser esta mono o multielemento.



Fotografía 3.18: Instalación de la lámpara (Foto Autor).

Pulsar “Param Entry” e introducir el código de la lámpara, para después presionar “Enter”.



Fotografía 3.19: Ingreso del código de la lámpara (Foto Autor).

Se pulsa el tiempo de integración (5 segundos), para luego presionar “Enter”.



Fotografía 3.20: Ingreso del tiempo de integración (Foto Autor).

Se digita el número de réplicas (3 muestreos), sólo para el análisis de *Pb* (5 muestreos), luego presionar “Enter”.



Fotografía 3.21: Ingreso del número de réplicas (Foto Autor).

Calibrar el espectrómetro ingresando la longitud de onda específica para cada elemento a analizar.



Fotografía 3.22: Calibración del equipo de absorción atómica (Foto Autor).

Elemento	WL(nm)	Flame Gases
Fe	248.3	Air-Acetylene
Mg	285.2	Air-Acetylene
Zn	213.9	Air-Acetylene
Pb	283.3	Air-Acetylene
Ca	422.7	Air-Acetylene
Cu	324.8	Air-Acetylene

Tabla 3.1. Longitudes de onda para nuestros elementos a analizar por (AA).

Digitar “Energy”, volver a girar el calibrador de longitud de onda hasta establecer el máximo de energía.



Fotografía 3.23: Energizado da la lámpara (Foto Autor).

Luego digitar “Gain/Data”. Esperar 15 minutos para que se caliente la lámpara.



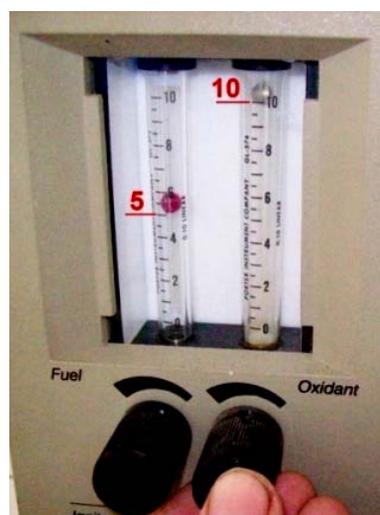
Fotografía 3.24: Energizado da la lámpara (Foto Autor).

Accionar los interruptores del aire y acetileno, luego encender el quemador del espectrómetro, la temperatura del plasma llega a 2300°C aproximadamente.



Fotografía 3.25: Encendido del quemador del espectrómetro (Foto Autor).

Una vez encendido el quemador ajustar la mezcla de combustión mediante las perillas, hasta los niveles (10 de Oxidant y 5 de Fuel).



Fotografía 3.26: Regulación del los niveles Air-Acetylene (Foto Autor).

Colocar agua destilada en un frasco cerca del capilar de succión, para encerrar el equipo y eliminar los residuos que puedan quedar dentro, finalmente pulsar “A/Z” (auto zero) para poner en cero (encerar) el sistema.



Fotografía 3.27: Encerado del equipo de absorción atómica (Foto Autor).

Una vez encerado hacer la curva de calibración, para lo cual se coloca el capilar de succión en la muestra patrón, replica uno (*R1 0.5 ppm*); esperar 10 segundos, esto para que succione completamente la muestra y luego se digita “READ”, esperar a que el equipo de la lectura y se anota el resultado.



Fotografía 3.28: Análisis de patrones para la preparación de la curva de calibración (Foto Autor).

Nota: La curva de calibración se debe realizar siempre antes de trabajar ya que no es posible mantenerla, aun cuando se trabaje con las mismas muestras patrón; debido a que no siempre se tiene iguales condiciones de presión de gases, ni de flujo en el capilar.

Luego de esto se vuelve a colocar el capilar de succión en el agua destilada, presionar “Auto Zero” (A/Z), y proceder a la siguiente lectura.



Elemento	R1	R2
0.5 ppm	X,XXX	X,XXX
1 ppm	X,XXX	X,XXX
2.5 ppm	X,XXX	X,XXX

Fotografía 3.29: Patrones utilizados para la calibración (Foto Autor).

Nota: Entre cada lectura se deberá presionar “Auto Zero”. Las lecturas que indiquen cero (0) deberán realizarse con Agua Destilada. Controlar constantemente que las relaciones de Oxígeno y de Acetileno sean siempre de 10 a 5 respectivamente.

Una vez realizadas todas las lecturas de las diluciones se procederá a leer las muestras del vehículo cargado y sin carga, además de tres lecturas de agua destilada anotando sus valores.



Fotografía 3.30: Análisis de la muestra disuelta (Foto Autor).

Nota: En caso de que la lectura de la muestra no corresponda al intervalo máximo de la curva de calibración, se procederá a diluir la muestra las veces que sean necesario siempre anotando cuantas veces se diluyó. Cada 10 lecturas se debe realizar un control con el Patrón Externo; en caso de que la lectura de la absorbancia difiera en +5% de la absorbancia del Patrón Nominal se deberá controlar los patrones utilizados para la curva y eventualmente el patrón original. Una vez terminado el análisis apagar la mezcla de combustión. En caso de que se necesite cambiar de lámpara: se apaga el equipo, luego poner en cero la intensidad de corriente, retirar la lámpara y colocar la otra deseada, finalmente se transfieren los datos al programa *Cal Tode* para su posterior análisis.



Fotografía 3.31: Apagado del equipo de absorción atómica (Foto Autor).

e) Espectroscopia de emisión atómica (EA)

En esta opción el equipo utiliza la propiedad de los átomos que al ser excitados absorben energía que es utilizada para hacer que uno de sus electrones pasen a niveles de energía superiores, y emitiendo energía cuando regresan a sus niveles originales, cuando cesa la excitación. Los átomos al emitir energía producen espectros únicos, formados por longitudes de onda características; los átomos e iones excitados emiten su radiación característica, la cual es recogida por un instrumento que clasifica la radiación en longitudes de onda. La radiación detectada es transformada en señales electrónicas las cuales son traducidas en valores³⁶.

³⁶ **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España, Editorial Reverté, 1998. Pág. 111.

f) Preparación del equipo (EA)

Encender el equipo para después presionar “Em” (análisis de emisión atómica).



Fotografía 3.32: Preparación del equipo en emisión atómica.

Se pulsa “Param Entry” en la emisión atómica, no se utiliza lámpara, para lo cual ingresar como código el número 0 / *Enter*.

Luego se digita el tiempo de integración (5 segundos) / *Enter*.

Digitar el número de réplicas (3 réplicas) / *Enter*.

Colocar mediante la perilla la longitud de onda.

Elemento	WL (nm)	Flame Gases
K	766.5	Air-Acetylene
Na	589.0	Air-Acetylene
Li	670.8	Air-Acetylene

Tabla 3.2. Longitudes de onda para nuestros elementos a analizar por (EA).

Colocar en el capilar de succión el patrón más alto, luego digitar “Energy”, mover la perilla de longitud de onda hasta establecer la máxima energía.

Digitar “Gain/Data/Auto Zero” (AZ).

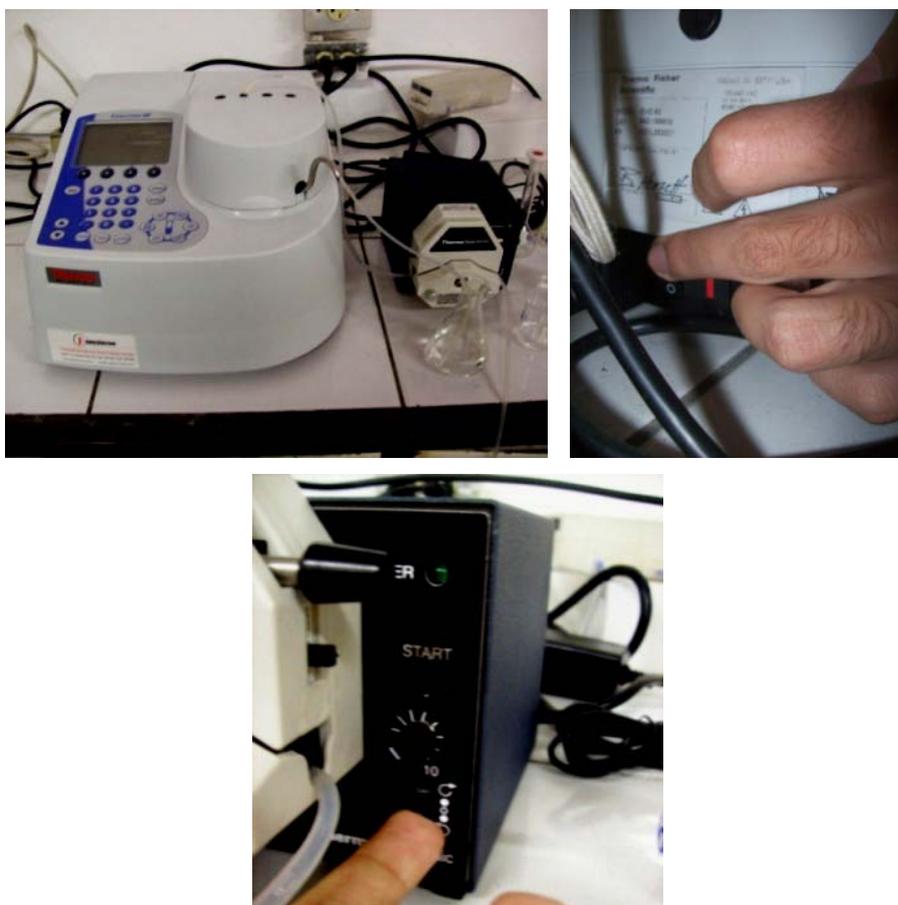
Luego se procede al análisis de la curva de calibración y de las muestras, de la misma forma que con la absorción atómica.

Una vez terminado el análisis apagar la mezcla de combustión, finalmente se transfieren los datos al programa *Cal Tode* para su posterior análisis.

3.1.1.2 Espectrofotetría ultravioleta visible

Con la misma preparación de las muestras utilizadas en los análisis anteriores se realiza la Espectrofotetría ultravioleta Visible, para el análisis del Al.

Primero, en caso de encontrarse apagado, encender el equipo.



Fotografía 3.33: Encendido del espectrómetro (Foto Autor).

a) Preparación de las muestras patrón para la curva de calibración

De una muestra patrón de 1000 ppm de (Al) aforar 1 , 0.5 y 0.1 , lo cual nos servirá para posteriormente hacer las curvas de calibración. Aparte de las muestras patrón ciertos fotómetros exigen una muestra en blanco (utilizar agua destilada).

$$1000 \text{ ppm} \frac{10 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = 100 \text{ ppm}$$

$$100 \text{ ppm} \frac{10 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = 10 \text{ ppm}$$

$$10 \text{ ppm} \frac{10 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = 1 \text{ ppm}$$

$$10 \text{ ppm} \frac{5 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = 0.5 \text{ ppm}$$

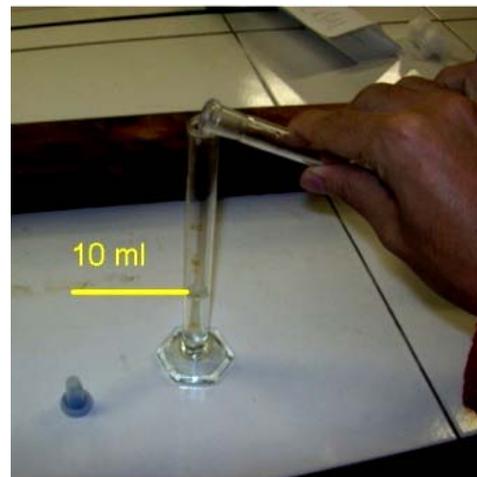
$$1 \text{ ppm} \frac{10 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = 0.1 \text{ ppm}$$





Fotografía 3.34: Aforado de las muestras patrón (Foto Autor).

Luego con la ayuda de una probeta se extrae 10 ml de: Blanco (agua destilada), los patrones, y las muestras de los distintos kilometrajes, depositándolas en respectivos vasos debidamente rotulados.



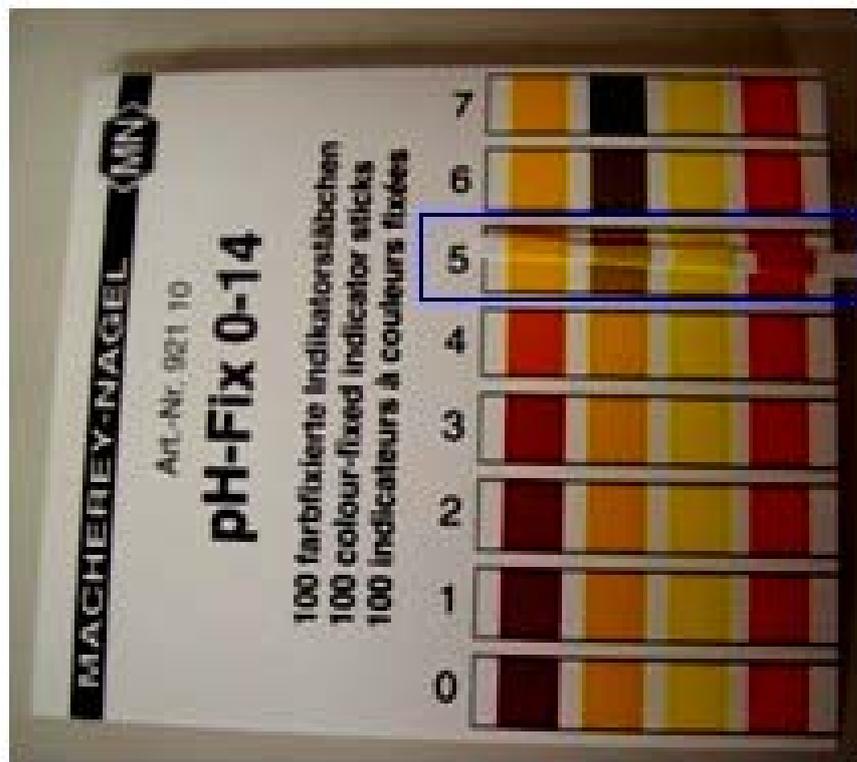
Fotografía 3.35: Extracción de los 10 ml de las muestras (Foto Autor).

Mediante la utilización de papel indicador medir el nivel de acidez de las muestras de los distintos kilometrajes.



Fotografía 3.36: Medición del PH de las muestras (Foto Autor).

Nota: El valor del pH debe encontrarse en el intervalo de 4 -7, para evitar daños en la maquina.



Fotografía 3.37: Escala de comparación para medir el PH (Foto Autor).

Si las muestras se encontrasen muy turbias se las debe pasar por la centrifugadora durante 10 min aproximadamente, ya que de no ser así esto afectaría la lectura de la máquina.



Fotografía 3.38: Centrifugación de las muestras turbias (Foto Autor).

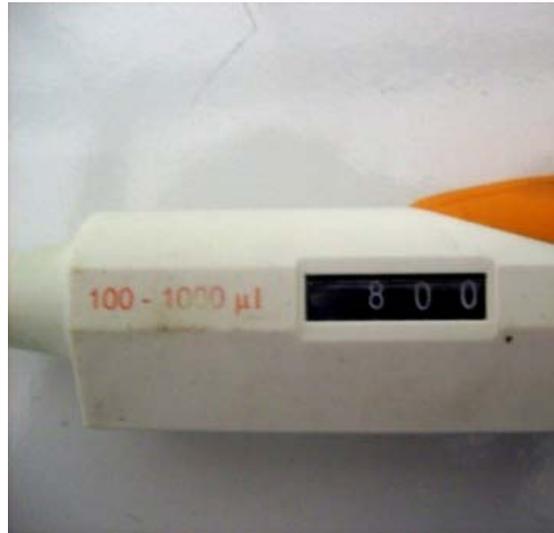
b) Preparación de las muestras de medición mediante los reactivos

Primero colocar, al ras, una *microcuchara* del reactivo *Al-1* y agitar vigorosamente hasta que dicho reactivo se haya disuelto completamente.



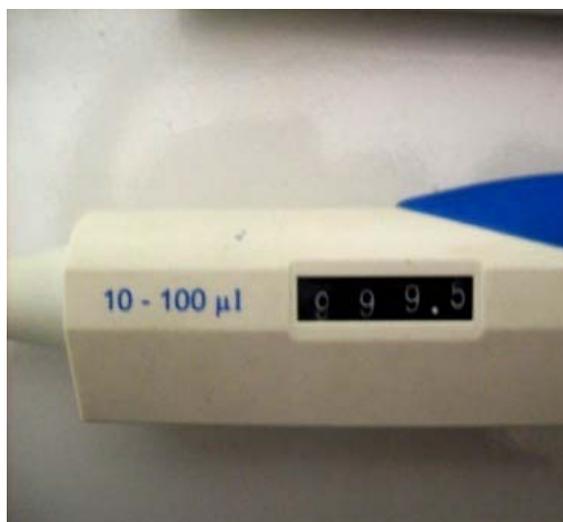
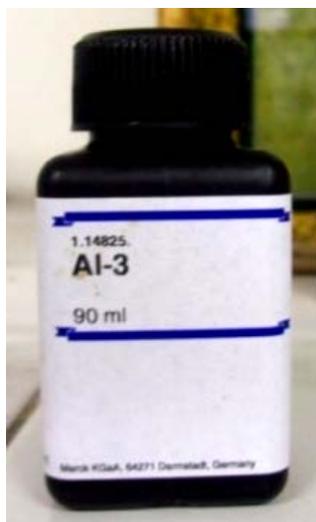
Fotografía 3.39: Colocación del primer reactivo (Foto Autor).

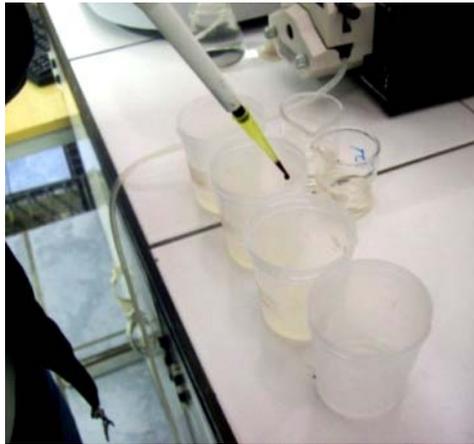
Seguidamente agregar *0.8 ml* del segundo reactivo *Al-2*.



Fotografía 3.40: Colocación del segundo reactivo (Foto Autor).

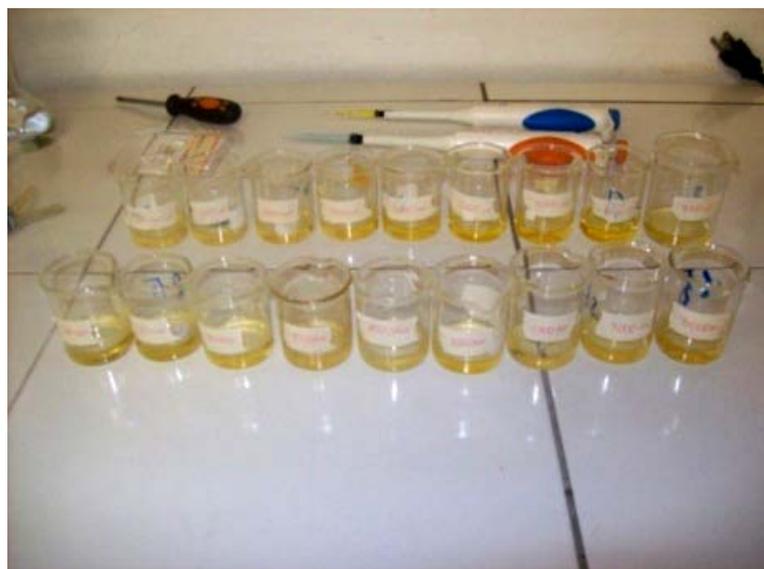
Finalmente agregar 0.6 ml del tercer reactivo AI-3.





Fotografía 3.41: Colocación del tercer reactivo (Foto Autor).

Una vez terminado la preparación de las muestras dejar en reposo durante cinco minutos como tiempo de reacción.



Fotografía 3.42: Muestras listas para en análisis (Foto Autor).

c) Preparación del equipo

Ingresar en el programa *VISION Lite*, seguidamente seleccionar *Fixed* y dar clic en Aceptar.



Figura 3.1: Programa que utiliza el espectrofotómetro.

Una vez dentro del programa configurar el espectrofotómetro (*UV*) ultravioleta visible, tal y como se muestra en la siguiente figura, además colocar la longitud de onda de *545nm* para el análisis de aluminio.

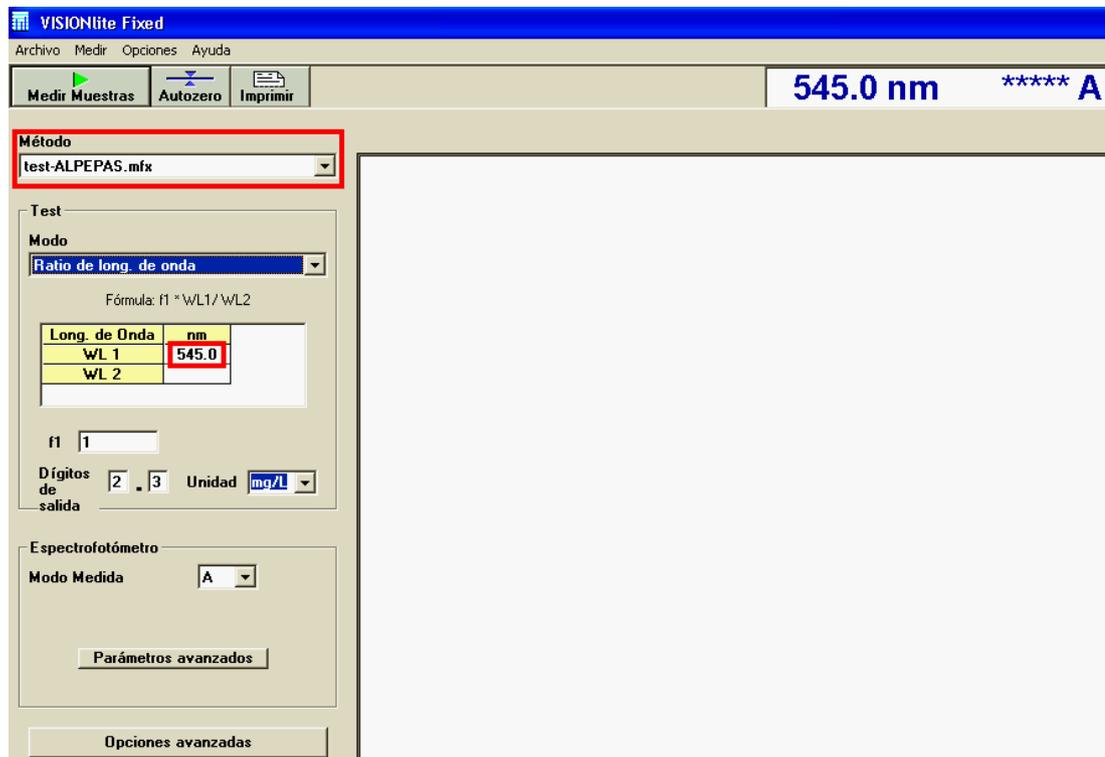


Figura 3.2: Pantalla principal del programa.

Antes de iniciar insertar el capilar de succión en el agua destilada y presionar tres veces “Start”, para encerrar el sistema.



Fotografía 3.43: Encerado del sistema (Foto Autor).

Se coloca el capilar de succión en los 10 ml de la primera muestra, pulsar tres veces “Start”, después dar clic en Medir Muestra, lo cual abrirá una ventana en la que se ingresará un nombre y para luego pulsar Medir. Una vez finalizado el análisis del blanco colocar el capilar en el agua destilada, para hacer nuevamente el proceso de limpieza, e iniciar con la siguiente (este procedimiento se repite para cada una de las muestras).

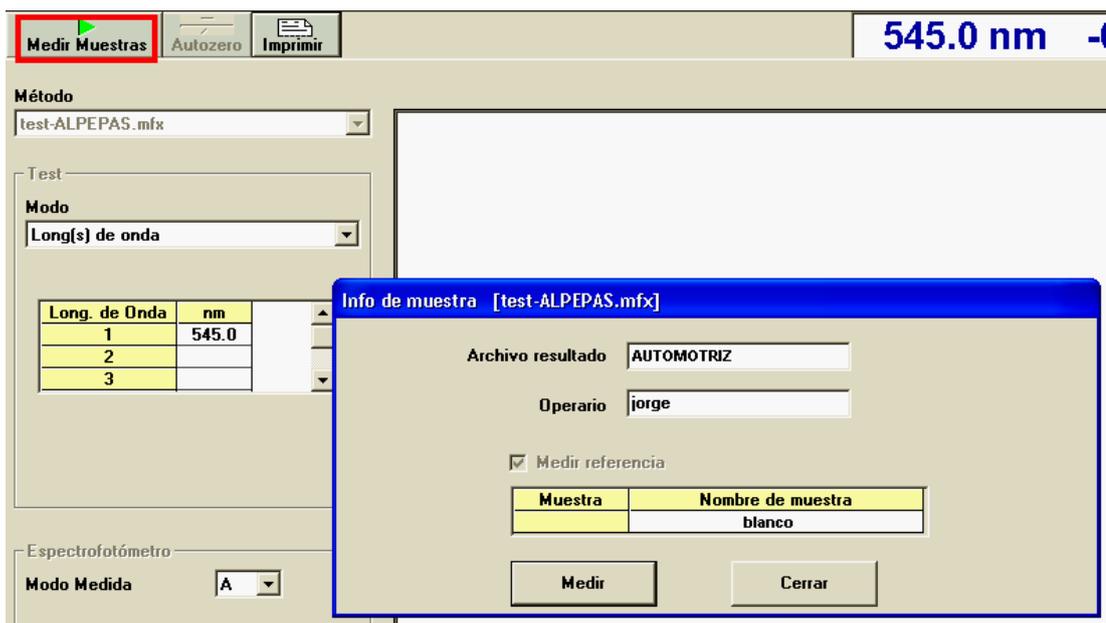


Figura 3.3: Ventana de ingreso de información de la muestra.

El análisis se lo realizará en el siguiente orden: blanco, los tres patrones de *Al* (0.1, 0.5 y 1 ppm) y las muestras de los aceites sin y con carga.



Fotografía 3.44: Análisis de las muestras (Foto Autor).

Finalmente se transfieren los datos anotados al programa *Cal Tode* para su posterior análisis.

3.1.2 Técnicas analíticas para la determinación de la degradación del aceite

A continuación veremos las técnicas para el análisis de la degradación del aceite, siendo este el proceso por el cual el lubricante va perdiendo la capacidad de cumplir con las funciones para las que fue diseñado, llegando a variar debido a las

elevadas temperaturas de funcionamiento, paso de los gases de combustión al cárter, el estado del motor, mantenimiento, calidad de aceite, severidad del servicio y el tiempo o kilómetros de recorrido.

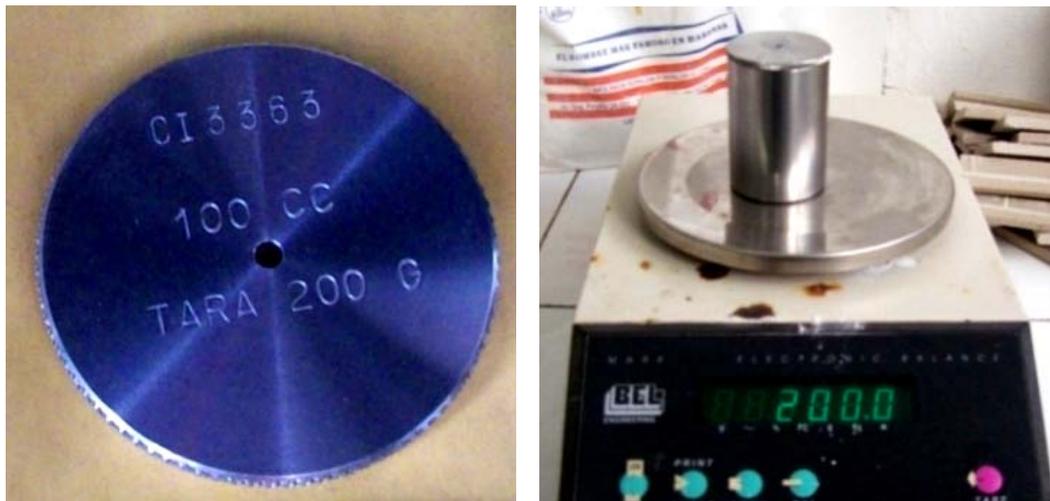
3.1.2.1 Medición de la viscosidad

Para realizar el cálculo de la viscosidad del aceite, es necesario determinar primero la densidad, para lo cual se utilizó un vaso calibrado con volumen de 100 ml.



Fotografía 3.45: Vaso de medición calibrado (Foto Autor).

Pesar el vaso calibrado y anotar su medida.



Fotografía 3.46: Pesado de vaso calibrado vacío (Foto Autor).

Verter la muestra sobre el vaso hasta casi llenarlo por completo.



Fotografía 3.47: Llenado del vaso de medición (Foto Autor).

Cubrir con la tapa el vaso, de manera que salga un poco de excedente del aceite por el orificio de la tapa ubicado en el centro de la misma, luego limpiar dicho excedente.



Fotografía 3.48: Limpieza del exceso en el vaso (Foto Autor).

Una vez limpia la superficie de la tapa, pesar el vaso con el aceite y anotar su medida.



Fotografía 3.49: Peso del vaso lleno con la muestra (Foto Autor).

Para determinar la densidad realizar el siguiente cálculo.

(1)

$$\frac{\text{peso vaso lleno (gr)} - \text{peso vaso vacío (gr)}}{\text{peso del aceite (gr)}}$$

(2)

$$\delta = \frac{\text{Peso del aceite (gr)}}{\text{Volumen del aceite (ml)}}$$

Volumen del aceite = 100 ml

Se realiza dicha medición utilizando el método denominado copa Fort, este método es sencillo de realizar en cuanto a la obtención de los materiales, para lo cual se necesita: una jeringuilla de 10 ml, guaipe para aislarla, una base con su respectivo aditamento para sujetar, un termómetro, una hornilla eléctrica, varios vasos de vidrio, cronometro, éter y papel.



Fotografía 3.50: Implementos para la medición de tiempos de la viscosidad (Foto Autor).

El armado se realiza tal y como se muestra en la siguiente foto, únicamente se debe tener cuidado al hermetizar la jeringuilla, para que irradie lo menos posible el calor, además de ubicarla perpendicularmente a la mesa o base.



Fotografía 3.51: Instalación de los implementos para la medición de tiempos de viscosidad (Foto Autor).

Algo que retrasa la realización de este método es la preparación de las muestras a las temperaturas determinadas (40-50-60-70-80-90-100°C) y las distintas repeticiones en la toma de los tiempos, seis por cada temperatura para eliminar el error.

El desarrollo de la práctica se realizó de la siguiente manera: primero con ayuda de una hornilla eléctrica calentar el lubricante contenido en el vaso de vidrio controlando la temperatura con un termómetro; una vez alcanzada la temperatura deseada dejar que suba un grado más de la medida establecida, todo esto por la pérdida de la misma mediante la radiación.



Fotografía 3.52: Medición de la temperatura de la muestra (Foto Autor).

Luego obturar el orificio de la jeringuilla y verter el lubricante en la misma hasta un poco más arriba de la señal de 10ml, siendo esta ultima la señal de partida para el cronómetro.



Fotografía 3.53: Llenado de la jeringa para la medición del tiempo (Foto Autor).

El tiempo se contabiliza hasta observar en qué momento se corta el hilo del flujo de la caída de lubricante y se anota el tiempo en tablas.



Fotografía 3.54: Medición del tiempo para el respectivo análisis de la viscosidad (Foto Autor).

En los cálculos de la viscosidad de líquidos, como unidad patrón se debe calibrar el dispositivo utilizando agua destilada; esto se hace igual que con las muestras de lubricante, calentado el agua destilada desde los 40°C hasta 80°C debido a nuestra presión atmosférica.



Fotografía 3.55: Medición del tiempo para la calibración (Foto Autor).

Tanto los datos de las muestras de aceite como datos del agua destilada fueron ingresados en tablas de Excel, donde se realizará los respectivos cálculos para determinar la viscosidad y su índice.

3.1.3 Técnicas de análisis de la contaminación del aceite

Se entiende por contaminación del aceite la presencia de materias extrañas a él sin importar su origen; entre las más importantes tenemos:

- Partículas metálicas provenientes de las partes del motor sometidas a fricción; aparte de que pueden producir desgaste abrasivo, estas partículas pueden catalizar los procesos de degradación del propio aceite.
- Polvo atmosférico, que puede generar un desgaste abrasivo muy importante, normalmente se introduce al motor desde el ambiente a través de la admisión, (producto de filtros en mal estado o ineficientes) o conductos con fugas, respiraderos, orificios del control de aceite.
- Productos carbonosos como resultado del paso de los gases de la combustión al cárter.

- Agua proveniente de la condensación del vapor obtenido como producto de la combustión o bien debido a fugas del sistema de refrigeración.
- Combustible que hace que disminuya la viscosidad del aceite, puede ingresar al mismo por fallas en los inyectores, en la combustión o motor frío.
- Productos varios que quedan después de una acción de mantenimiento.
- Contaminación bacteriológica o microbiana.

A continuación se mostrará los métodos para la medición de los elementos contaminantes del aceite no provenientes del desgaste ni del polvo atmosférico.

3.1.3.1 Espectroscopia infrarroja

Espectroscopia infrarroja (*Espectroscopia IR*), es un método de análisis que permite la determinación cualitativa y cuantitativa de los compuestos presentes en una muestra a partir del estudio de las longitudes de onda a las cuales absorben radiación infrarroja, proporcionando una importante información sobre la presencia de elementos contaminantes en base a la evolución en la estructura del aceite.

Puede también determinar la presencia de combustible, agua y anticongelante en el aceite, pero para poder hacer un diagnóstico preciso el análisis infrarrojo debe ir siempre acompañado por el análisis de desgaste y de degradación del aceite. El análisis infrarrojo sirve también para reducir, mantener o extender los intervalos de cambio de aceite de acuerdo a las condiciones de operación y aplicaciones determinadas³⁷.

Esta prueba es realizada mediante el Espectrómetro Infrarrojo por Transformada de *Fourier (EIR-FT)*, cuyo sistema óptico está constituido por interferómetro que analiza el contenido frecuencia-intensidad de una señal policromática global sin dispersarla³⁸.

³⁷ **Caterpillar**, Folleto de El aceite lubricante y su motor, p. 11.

³⁸ **TORMOS, B.** Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España, Editorial Reverté, 1998. pp. 100.



Fotografía 3.56: Espectrómetro infrarrojo (Foto Autor).

Para iniciar el análisis, primero accionar el interruptor de encendido del espectrómetro infrarrojo, ubicado en la parte posterior de la máquina.



Fotografía 3.57.: Encendido del Espectrómetro Infrarrojo (Foto Autor).

Sacar la placa con la ventana de refracción múltiple hecha de *seleniuro de zinc*; con mucho cuidado colocarla en el espectrómetro infrarrojo y cerrar.



Fotografía 3.58: Colocación de la ventana de refracción múltiple (Foto Autor).

Luego en la pantalla del espectrómetro infrarrojo, a través del programa de la máquina, ingresar en *Parámetros*, subir en el submenú y hacer clic en *Opciones de Toma de Datos...*

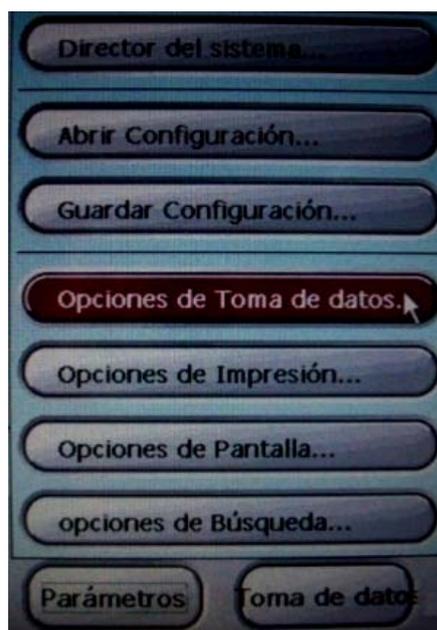


Figura 3.4: Ingreso a opciones de toma de datos.

Se abrirá la ventana: *Opciones de Toma de Datos*, ingresar por teclado la frecuencia final 700 cm^{-1} como se muestra a continuación y dar *click* en *OK*.

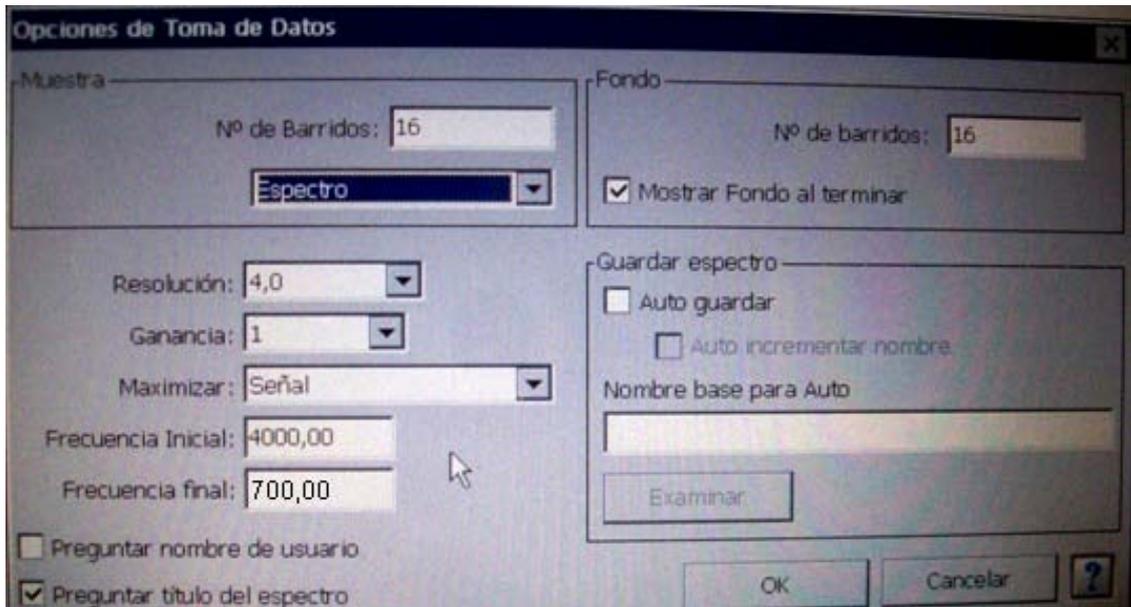


Figura 3.5: Ingreso de la frecuencia final.

Luego volver a ingresar en el *Parámetros*, subir en el submenú y hacer *click* en *Opciones de Pantalla...*

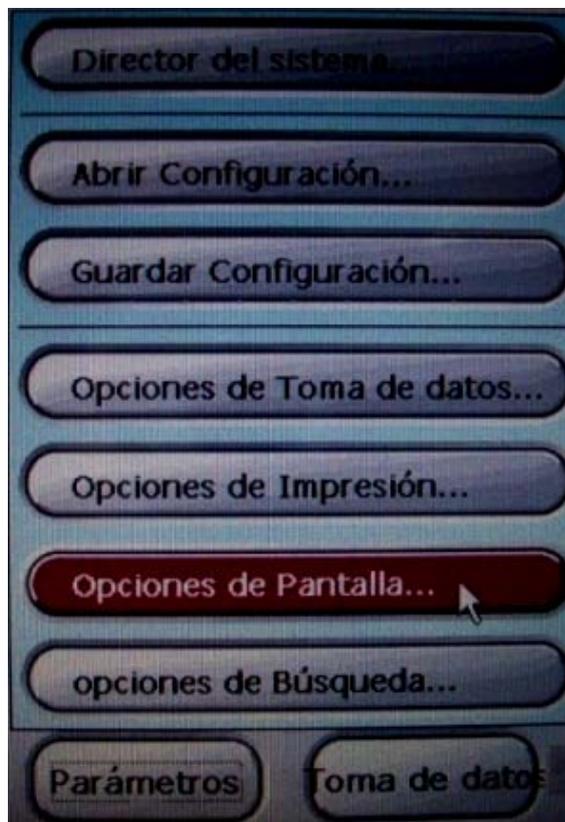


Figura 3.6: Ingreso a opciones de pantalla.

Al hacer esto se abrirá la ventana: Opciones de pantalla; colocar el formato de eje Y en *Absorbancia* (es mucho más sensible) e ingresar por teclado Frecuencia final: 700 cm^{-1} y finalmente hacer *click* en *OK*.

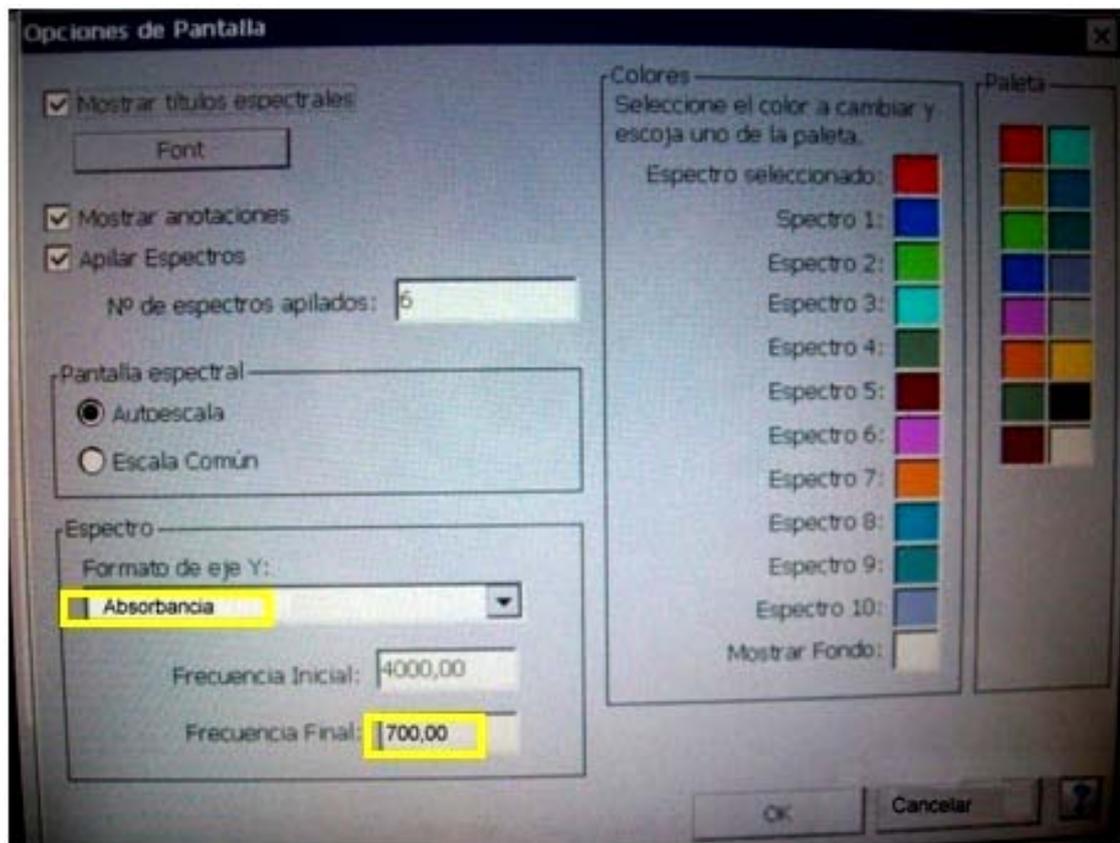


Figura 3.7: Ingreso del formato del eje Y, con la frecuencia final.

Seguidamente ingresar en *Toma de datos*, subir en el submenú y hacer *click* en *Fondo*.



Figura 3.8: Ingreso a fondo.

Se abrirá la ventana: *Toma de datos* para ingresar el nombre del análisis, se deja en blanco ya que posteriormente será borrado el espectro que solo sirve como comparación para el infrarrojo, dar *click* en *OK* empezando el análisis.

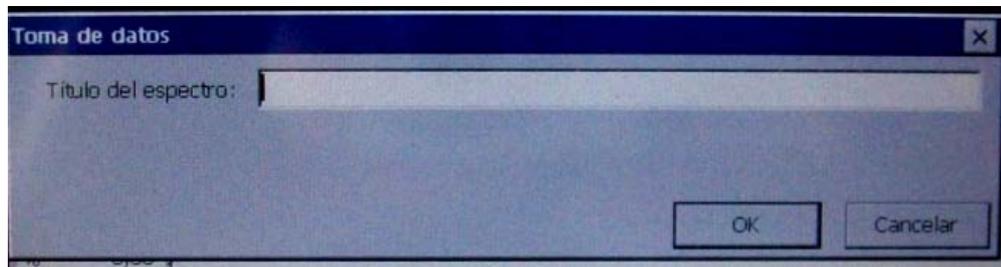


Figura 3.9: Ingreso del nombre de la muestra.

De aquí se procesará el fondo (Analizando como referencia el aire del ambiente).



Figura 3.10: Progreso del análisis del fondo.

Posteriormente la máquina dibuja la curva del fondo

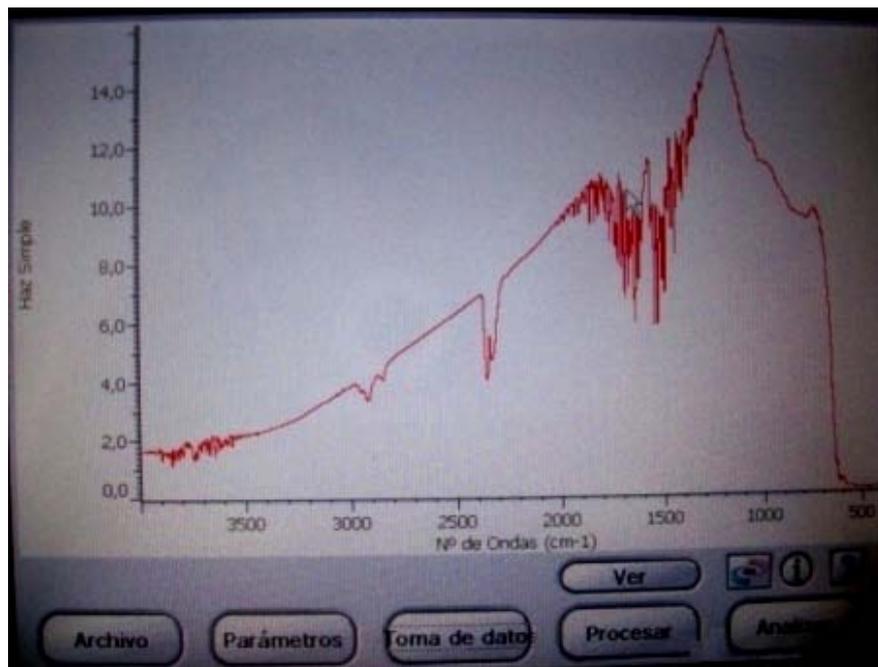


Figura 3.11: Espectro del fondo.

Luego se procede a colocar la muestra de lubricante en la ventana de refracción múltiple, teniendo cuidado en verter lo suficiente para que el aceite solo cubra la parte de cristal, finalmente cerrar.



Fotografía 3.59: Colocación de la placa con la ventana múltiple recubierta de la muestra de aceite.

Después en la pantalla del espectrómetro infrarrojo a través del programa de la máquina ingresar en *Toma de Datos*, subir en el submenú y hacer clic en *Muestra*.



Figura 3.12: Ingreso a Muestra.

Al hacer esto se abrirá una ventana en la cual se ingresará el nombre de la muestra de aceite que se va a analizar, en este caso se utilizó el nombre *LUBRICANTE MOBIL 15w40-XXXX KM* para las muestras sin carga y *LUBRICANTE CMOBIL 15w40-XXXX KM* para las muestras con carga, luego dar clic en *OK*.

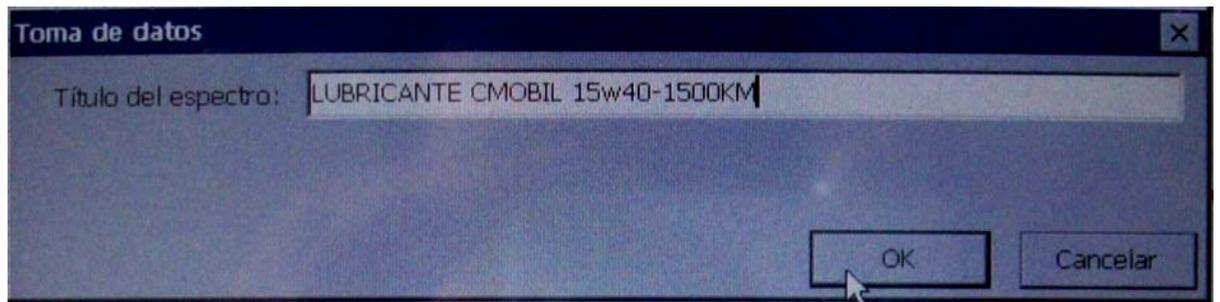


Figura 3.13: Ingreso del nombre de la muestra.

Después de esto la máquina procesará la muestra.



Figura 3.14: Progreso del análisis de la muestra.

El infrarrojo dibuja la curva del análisis del aceite; mostrada en la pantalla como el espectro de color rojo, siendo la curva de abajo el fondo.

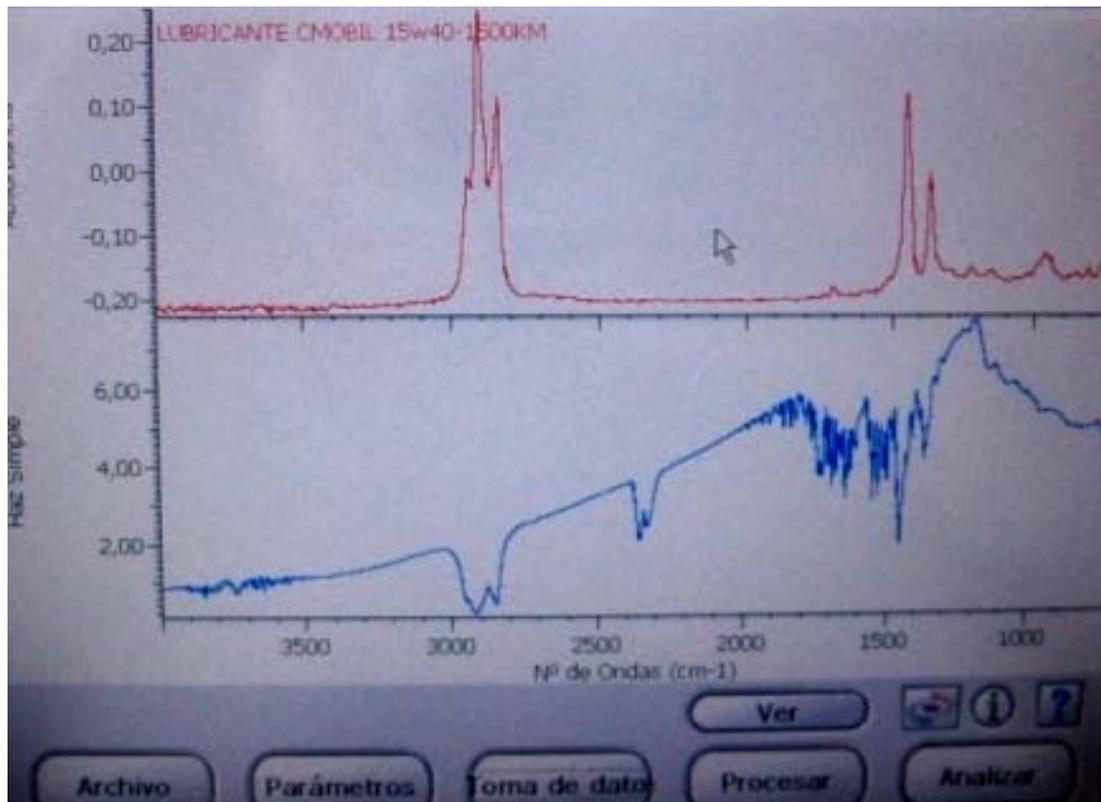


Figura 3.15: Espectro de la muestra de aceite.

Luego borrar la curva del fondo, para lo cual hacer clic en dicha curvar, ingresar en Ver, hacer clic en *Borrar Espectro* – *Aceptar* y listo.



Figura 3.16: Ingreso a Borrar espectro.

Después para guardar el espectro analizado, ingresar en Archivo y hacer *clíc* en *Guardar...*



Figura 3.17: Ingreso a Guardar.

Se abrirá una ventana llamada guardar como, en la cual se ingresará el nombre correspondiente a la muestra analizada *MOBIL 15w40-XXXXKm.spa*, una vez hecho esto dar *clíc* en *Sí*.

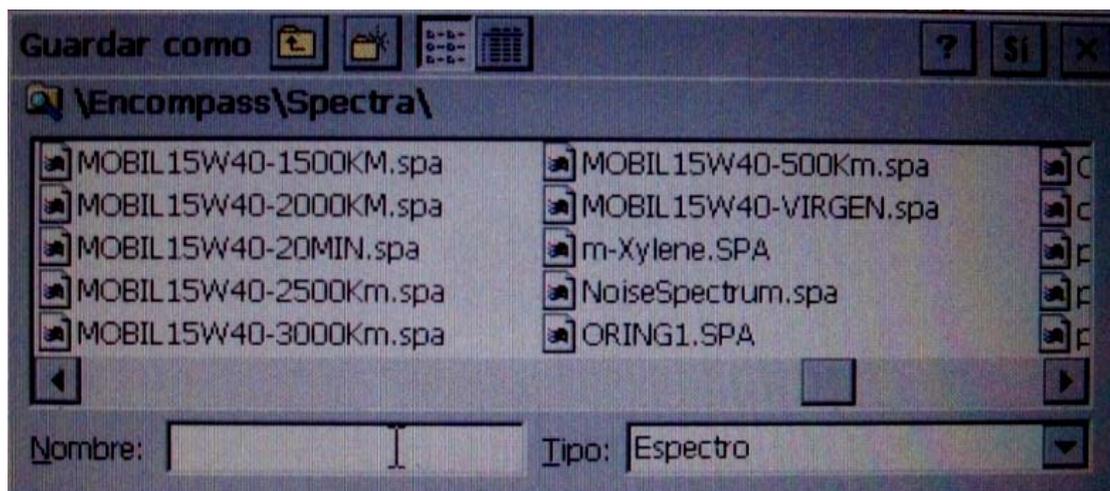


Figura 3.18: Ingreso del nombre del espectro.

Retirar la ventana de refracción múltiple, limpiar con éter y proseguir con las siguientes muestras.



Fotografía 3.60: Limpieza de la placa de refracción múltiple (Foto Autor).

Las curvas guardadas a lo largo del recorrido, se grabarán y se analizarán con más detalle posteriormente en el programa *omnic32.exe*, para lo cual insertar la tarjeta de almacenamiento en el infrarrojo.



Fotografía 3.61: Colocación de la tarjeta de memoria para la extracción de los espectros del infrarrojo (Foto Autor).

Ingresar a Archivo, subir en el submenú y dar clic en *Abrir...*

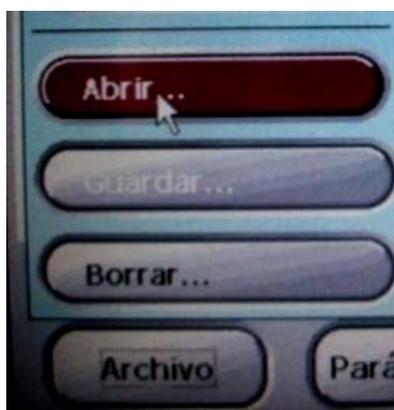


Figura 3.19: Ingreso a Abrir.

Seleccionar las curvas y dar *clik* en *Sí*.

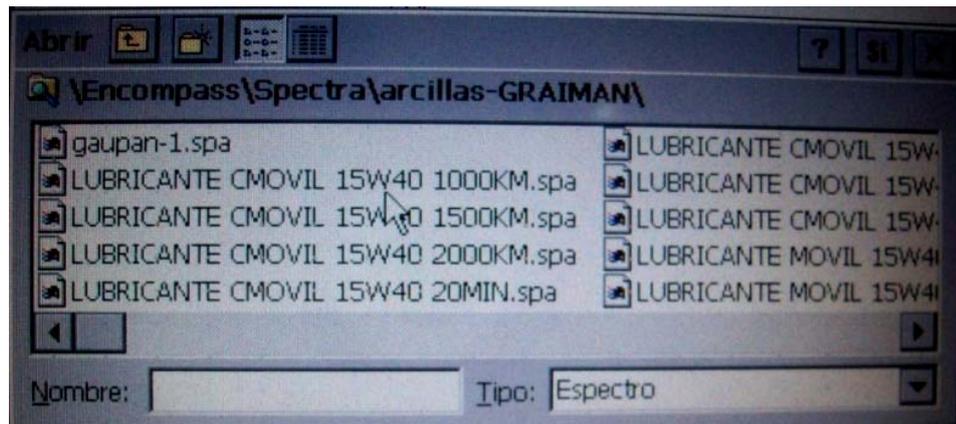


Figura 3.20: Ventana para abrir las curvas.

Una vez abierta la curva ingresar a Archivo y dar clic en Guardar.



Figura 3.21: Guardado de la curva.

Buscar la carpeta llamada tarjeta de almacenamiento y finalmente escribir el nombre de la curva.

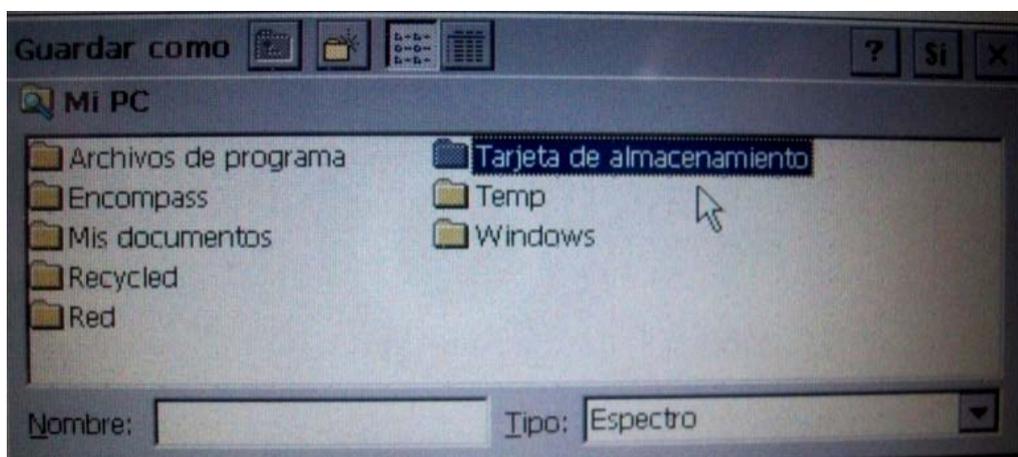


Figura 3.22: Ingreso del nombre de la curva a guardar.

Extraer la tarjeta de almacenamiento y descargar las curvas en el computador, almacenándolos para su posterior suavización (eliminar las pequeñas oscilaciones para que tenga una línea de tendencia más continua) y análisis.



Fotografía 3.62: Extracción de los datos desde la tarjeta de almacenamiento al computador (Foto Autor).

3.1.3.2. Termobalanza³⁹ (TG+DTA)

Termo-gravimetría es una técnica que permite hacer un seguimiento de la variación de una masa de muestra en función de la temperatura y/o tiempo. La muestra que se analizará ha de generar compuestos volátiles, originados por cambios físicos y químicos en el proceso, que implique una variación de masa.



Fotografía 3.63: Termobalanza (Foto Autor).

³⁹ WEST, D, Química analítica, España, Editorial Mc. Graw-Hill, 1988. Pág. 102 -105.

Para iniciar los análisis con la termobalanza, primero pesar un crisol vacío, compuesto de alúmina y anotar el valor.



Fotografía 3.64: Medición del crisol vacío (Foto Autor).

Luego de esto pulsar "TARE" para encerar la balanza.



Fotografía 3.65: Encerado de la balanza electrónica (Foto Autor).

Colocar una cantidad aproximada de 0.05 gr de lubricante en el crisol.



Fotografía 3.66: Colocación de la muestra de aceite en el crisol (Foto Autor).

Retirar el crisol y encender la balanza, colocar nuevamente el crisol con la muestra medir y anotar el valor del crisol con muestra.



Fotografía 3.67: Pesado del crisol de la termobalanza con la muestra de aceite (Foto Autor).

Sacar la diferencia entre el crisol vacío y el crisol con muestra, anotar la diferencia (peso muestra) que servirá para trabajar posteriormente en la termobalanza.

Lubricante Mobil 15w-40 XXXX	
Crisol vacío	0,XXXX g.
Crisol con muestra	0,XXXX g.
Peso muestra	0,XXXX g.

Tabla 3.3: Peso de la muestra.

Luego en la termobalanza, accionar los interruptores de encendido, vistos de color rojo en las fotografías.



Fotografía 3.68: Encendido de la termobalanza (Foto Autor).

Abrir la balanza accionando el interruptor hasta que se encienda el foco en A.



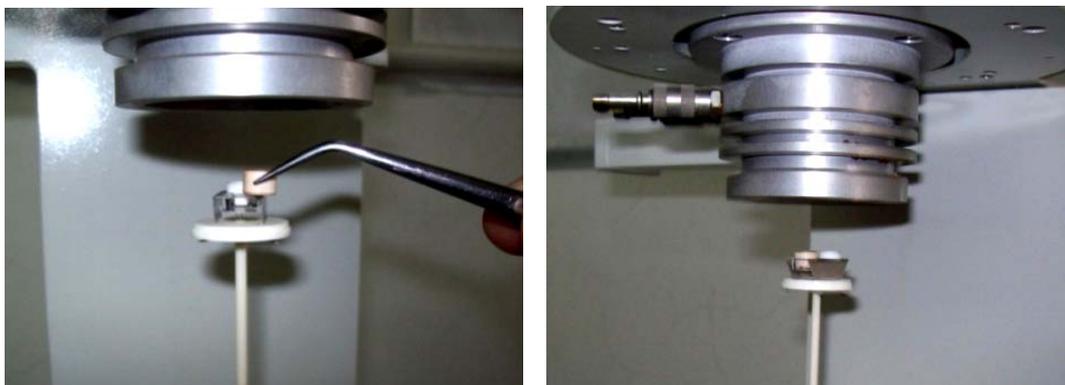
Fotografía 3.69: Apertura de la balanza (Foto Autor).

Accionar “lift ↑” lo cual hace que suba el horno y descubra el porta muestras, este elemento actúa como balanza.



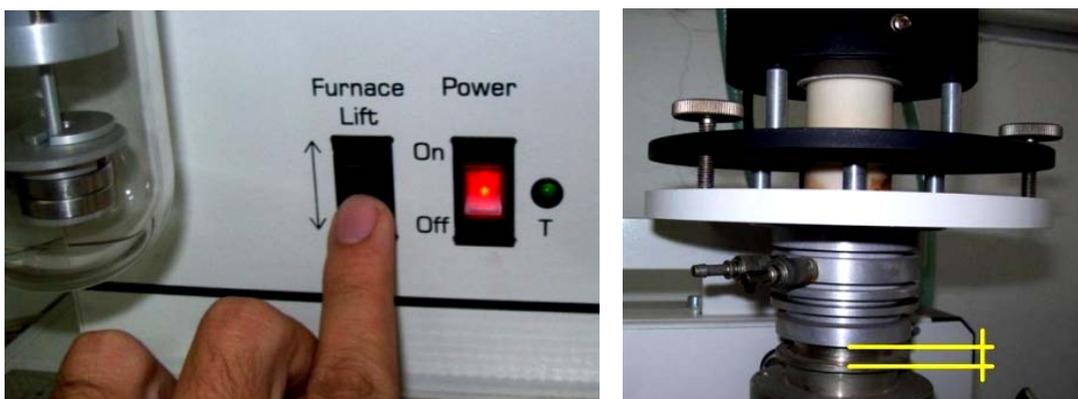
Fotografía 3.70: Accionamiento de lift para el ascenso del horno (Foto Autor).

El porta muestras tiene dos cavidades en donde se colocará un crisol con el lubricante y el otro vacío para que sirva de referencia.



Fotografía 3.71: Colocación del crisol en la termobalanza (Foto Autor).

Pulsar “lift ↓” para bajar el horno teniendo cuidado de no cerrarlo completamente.



Fotografía 3.72: Accionamiento de “lift” para el descenso del horno (Foto Autor).

Seguidamente conectar el aire, esto sirve para crear un flujo que evacue los humos producto de la combustión del lubricante, evitando que estos se asienten y puedan dañar la termobalanza.



Fotografía 3.73: Conexión de la bomba de aire (Foto Autor).

Cerrar la balanza accionando el interruptor mostrado en la fotografía, hasta que se encienda el bulbo en M.



Fotografía 3.74: Cerrado de la balanza (Foto Autor).

Una vez realizado todo esto proceder a configurar el programa de la computadora, para lo cual primero ingresar a: *MIPC\C:\tawin* (termo análisis *windows*).

Luego buscar y abrir *sta.exe* (este programa puede hacer el análisis termo-gravimétrico y diferencia-termo-análisis), siendo el primer análisis el que se utilizará para el estudio, después colocar en: *Data acquisition*, bajar a, *type*, marcar, *Sample TG+DTA*.

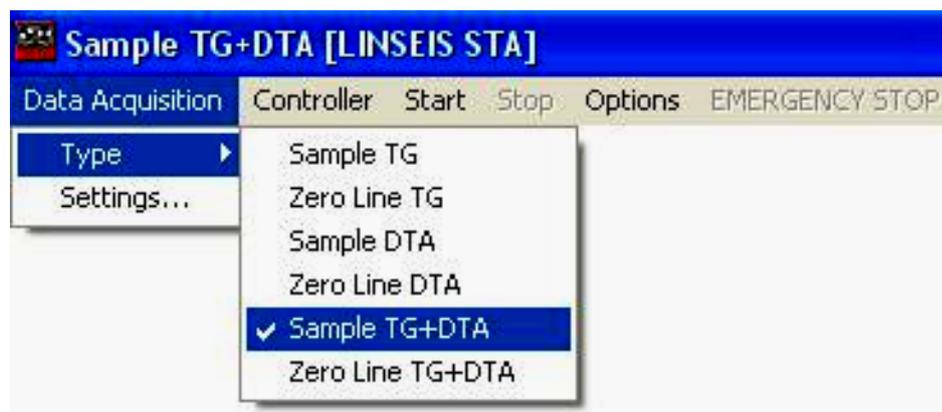


Figura 3.23: Ingreso a TG+DTA.

Luego colocar en: *Data acquisition*, bajar en el submenú y dar clic en, *Settings...*



Figura 3.24: Ingreso a Settings.

Nos abrirá una ventana: *Data Acquisition Setup –Sample TG-DTA*, llenar tal como se muestra a continuación.

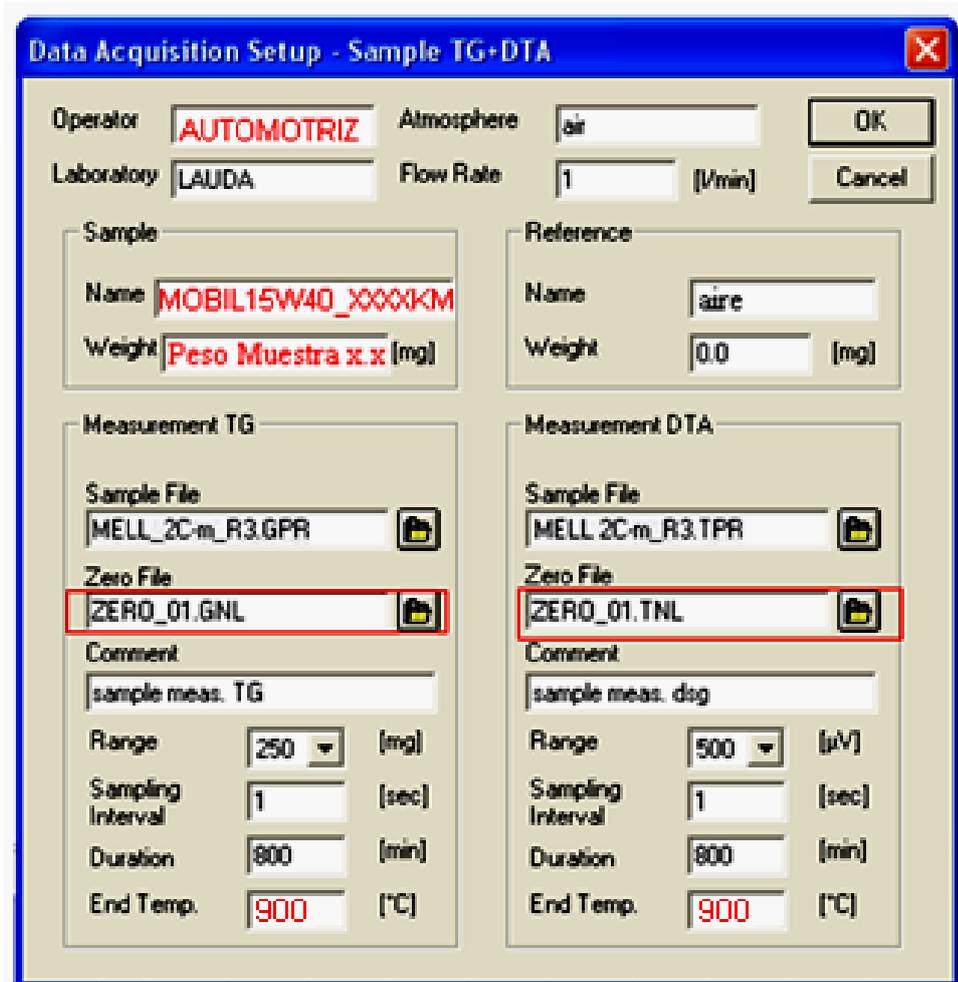


Figura 3.25: Ingreso de datos de calibración de la termobalanza.

Seguidamente en la misma ventana, dirigirse a *measurement TG*, hacer clic en: *Sample file*, la cual abrirá la ventana: *Define data file*.

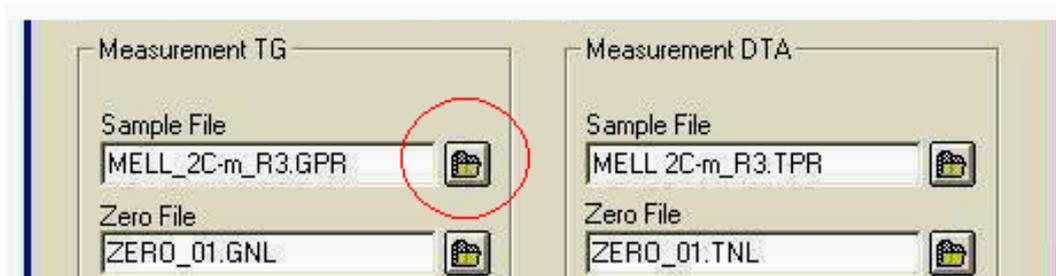


Figura 3.26: Ingreso de datos TG.

Para ir almacenando los datos en un solo lugar, crear una carpeta nueva con cualquier nombre (*AUTOMOTRIZ*), seguidamente escribir el nombre *MOBIL15w40_XXXX.GPR* y dar clic en *guardar*.



Figura 3.27: Ingreso del nombre de la muestra formato GPR.

Luego de igual manera en la ventana: *Data Acquisition Setup –Sample TG-DTA*, dirigirse a *measurement DTA*, hacer clic en: *Sample file*, lo cual abrirá la ventana: *Define data file*.



Figura 3.28: Ingreso de datos DTA.

Escribir el nombre *mobil15w40_XXXX.TPR* y dar clic en *guardar*.



Figura 3.29: Ingreso del nombre de la muestra formato TPR.

Después colocarse en: *Controller – temperature profile...*



Figura 3.30: Ingreso a Temperature Profile.

Se abrirá la ventana: *temperature Target Profile* (Marcar 5 grados por minuto hasta 900 grados con una potencia 50%).

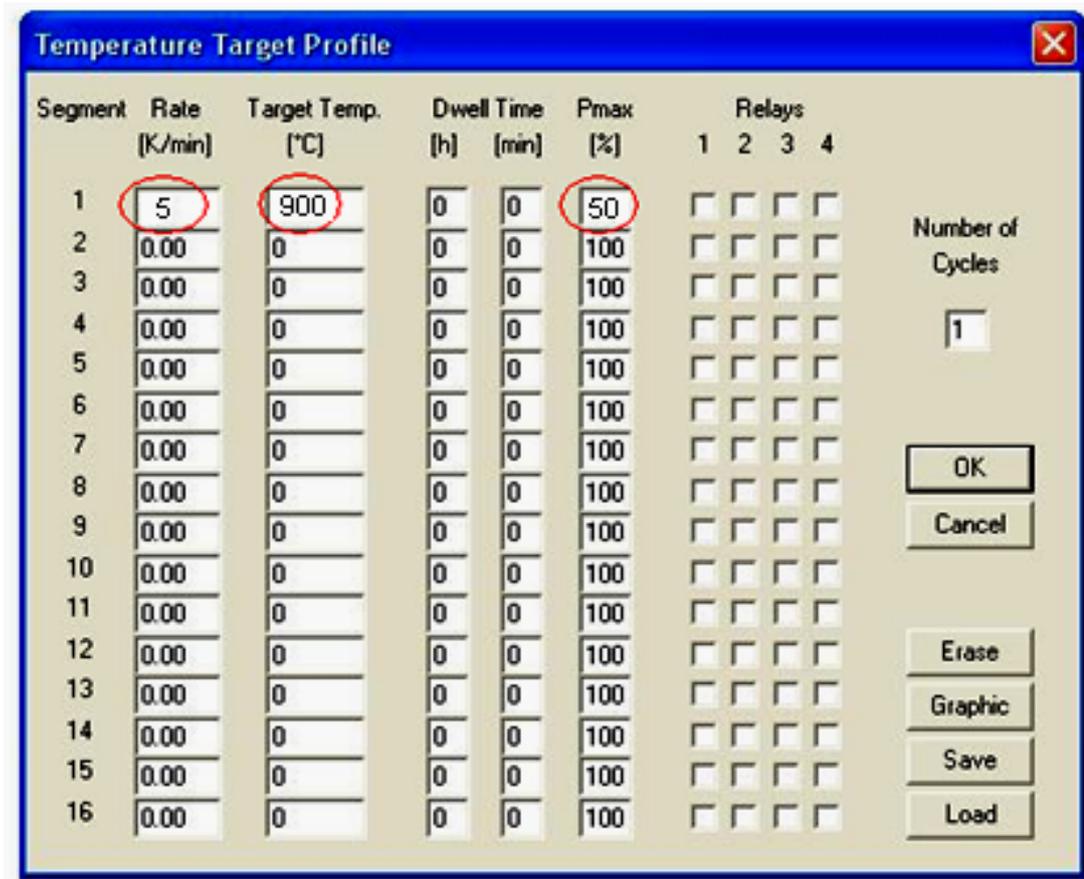


Figura 3.31: Ingreso del incremento, la temperatura final y la potencia máxima.

Para llegar a 900 grados conectar el tiristor de la parte posterior en 35V tal y como se muestra en la siguiente fotografía.



Fotografía 3.75: Conexión del tiristor.

Colocarse en: *Controller*, bajar en el submenú y hacer *clik* en, *current values...*

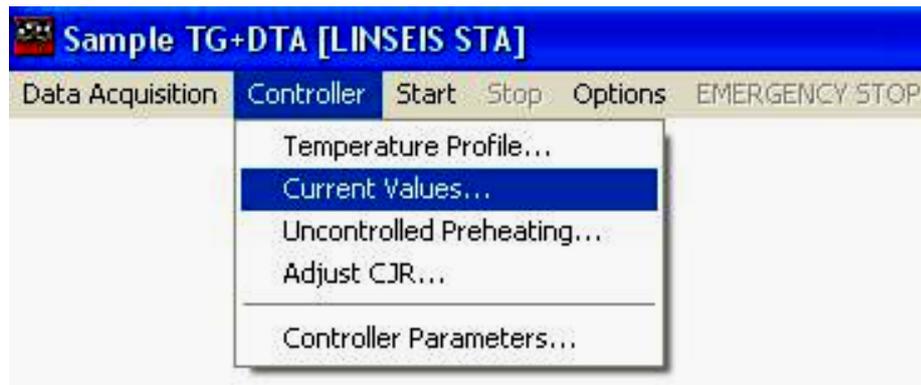


Figura 3.32: Ingreso a Current Values.

Se abrirá la ventana: *Controller Current Values*, aquí se debe controlar la temperatura de la muestra y del horno, los cuales son: *actual temp*, *reference temp* y *furnace actual temp*; estos deben tener temperaturas iguales, de encontrarse valores extraños hay que tener cuidado ya que puede haber algo desconectado, (importante no prender), una vez controlado esto dar *clik* en *close*.

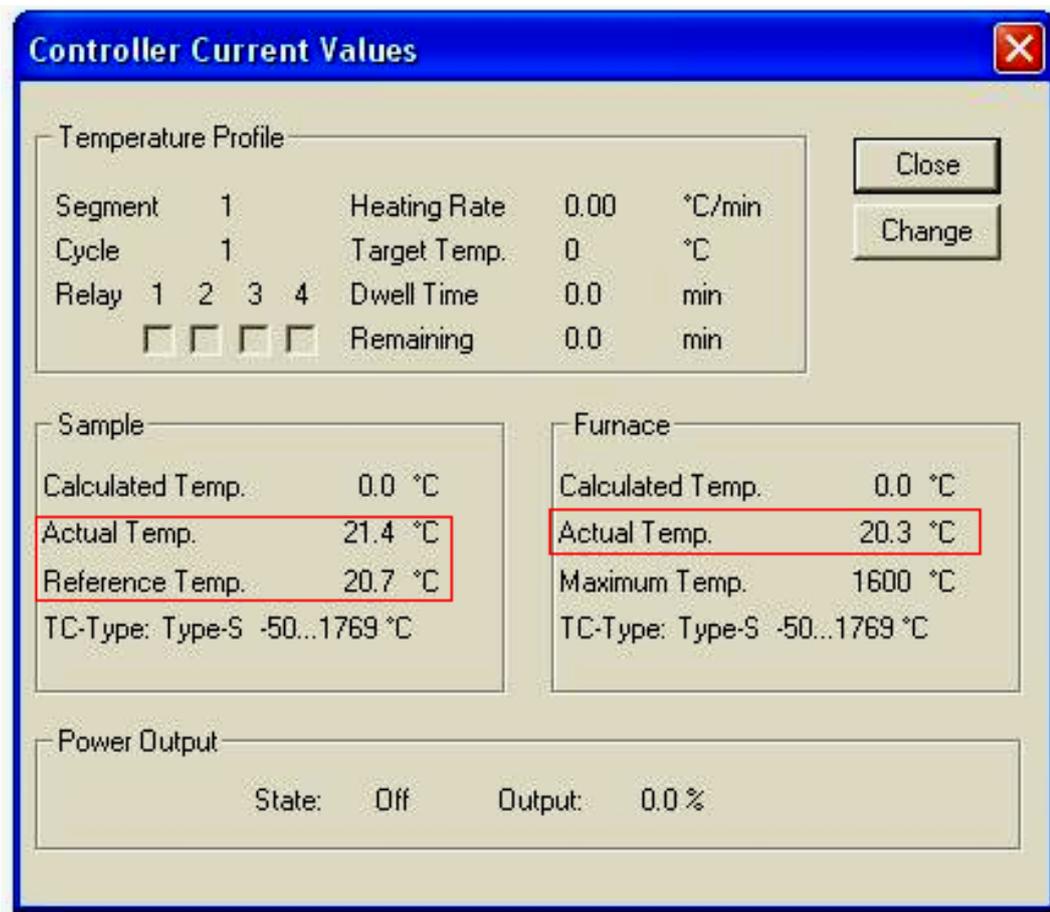


Figura 3.33: Revisión de la temperatura actual.

Luego se coloca en: *Controller*, bajar en el submenú y dar clic en, *Adjust CJR...*



Figura 3.34: Ingreso a *Adjust CJR*.

Se abrirá la ventana: *Adjust cold junction Reference* (ingresar por teclado el mismo valor de *Current Sample Temperature* hacer clic en *adjust* y luego en *close*).

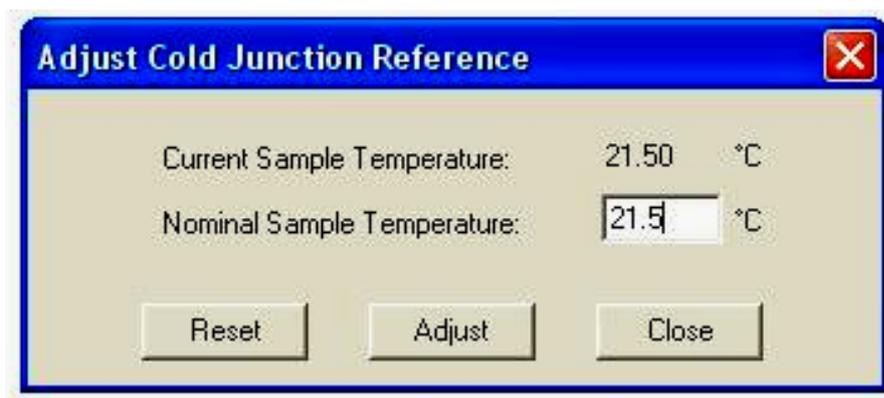


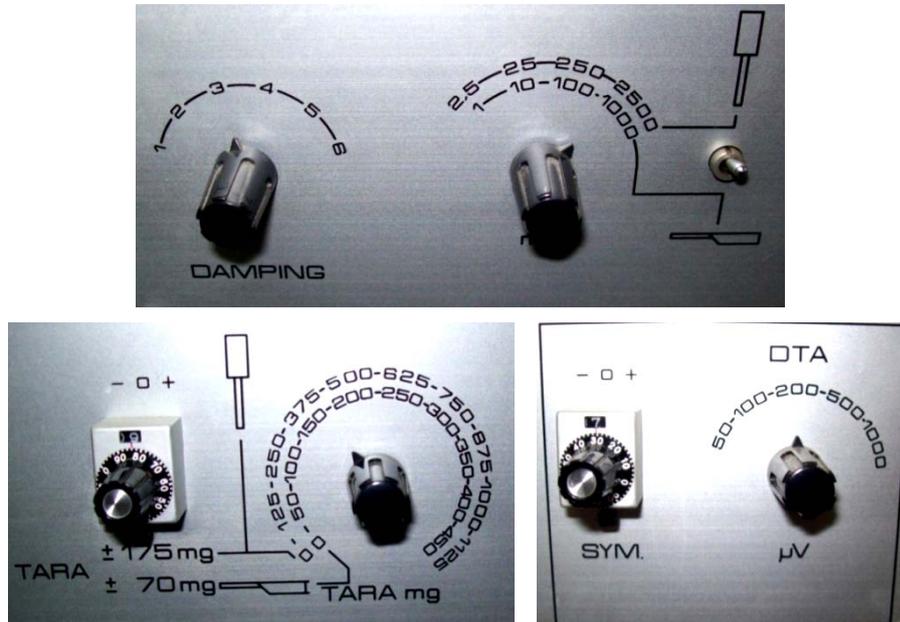
Figura 3.35: Ajuste de la temperatura actual.

Seguidamente ingresar en: *options – setup scales*.



Figura 3.36: Ingreso a *setup scales*.

Se abrirá la ventana: *Balancing scales* (calibrar manualmente hasta llegue a valores cercanos a cero, luego dejar que se estabilice)



Fotografía 3.76: Calibradores manuales de la termobalanza (Foto Autor).

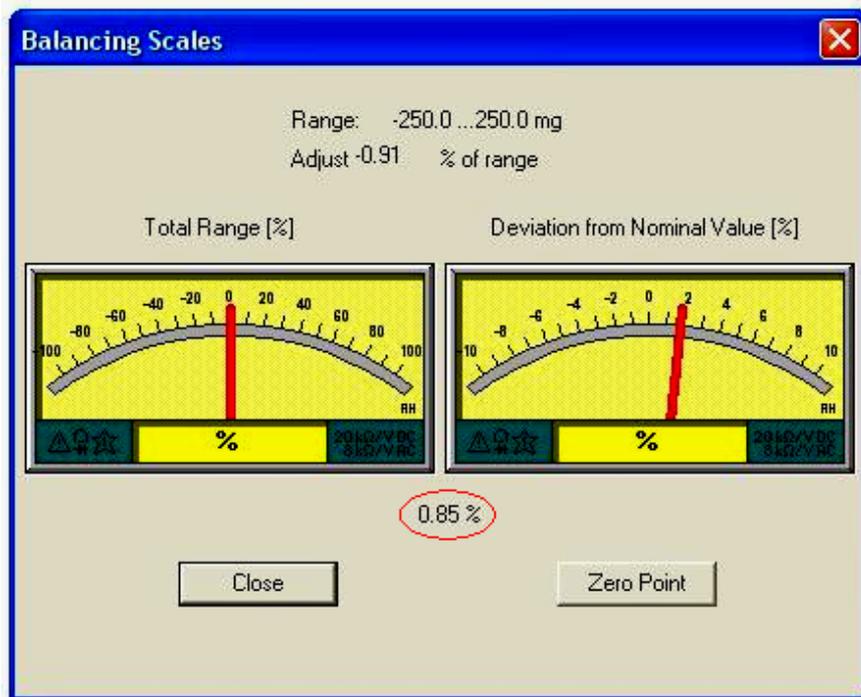


Figura 3.37: Pantalla Indicadora de la calibración de la termobalanza.

Una vez estabilizado el equipo, hacer *clic* en *zero point* en donde se abrirá la ventana: *Definition of zero point* (controlar que los valores se encuentren iguales y

calibrar por teclado), dar *clik* en *OK*, luego en la ventana *Balancing scales*, dar *clik* en *close*.

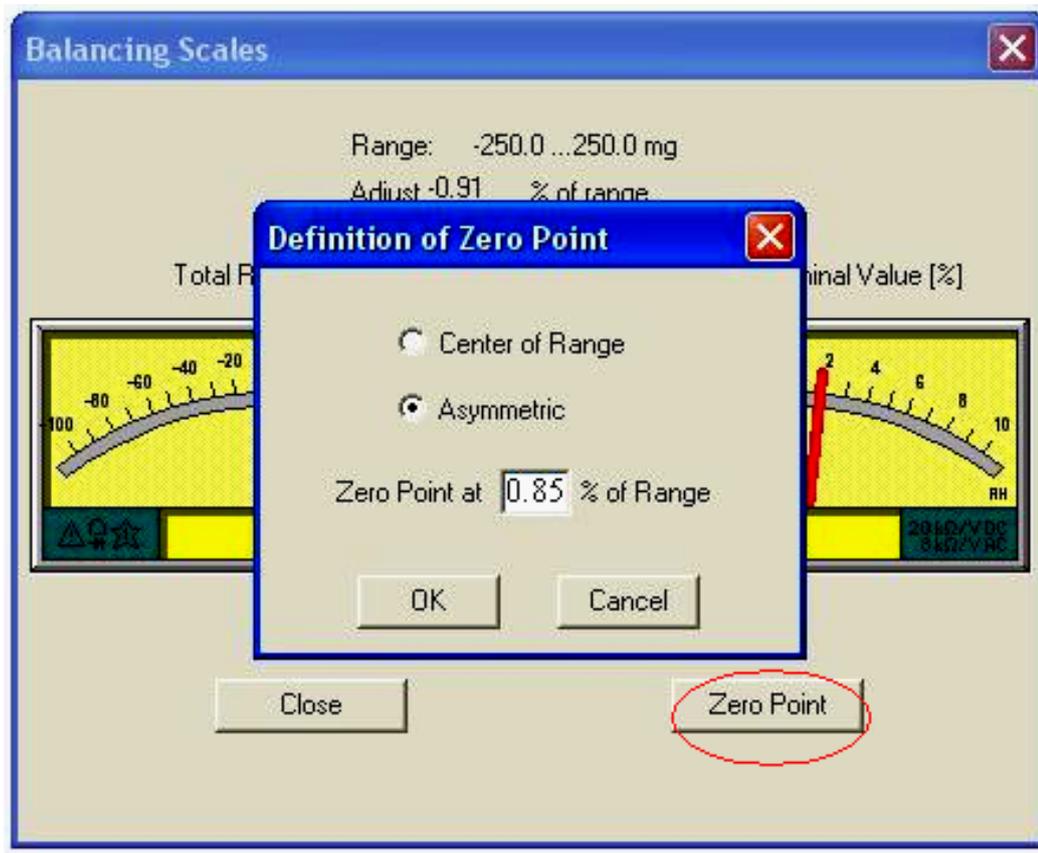


Figura 3.38: Calibración automática de la termobalanza.

Antes de dar inicio a la termobalanza, revisar que haya un flujo de agua que refrigere la maquina.



Fotografía 3.77: Revisión del flujo de agua de refrigeración (Foto Autor).

Finalmente colocarse en *start*, en donde se abrirá la ventana: *Start Measurement*, dar *clik* en *OK* y listo.

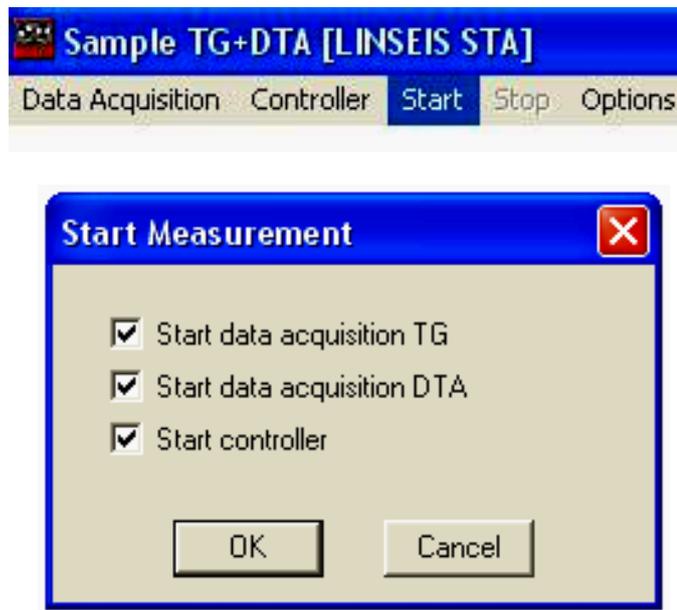


Figura 3.39: Inicio del análisis de la termobalanza.

El programa ira censando mediante la transcripción de tres curvas: (1) diferencia de flujo de calor ente el crisol de la muestra con la referencia de aire, (2) aumento de temperatura, y (3) diferencia de peso, una vez terminado el análisis dar *clik* en *stop*.

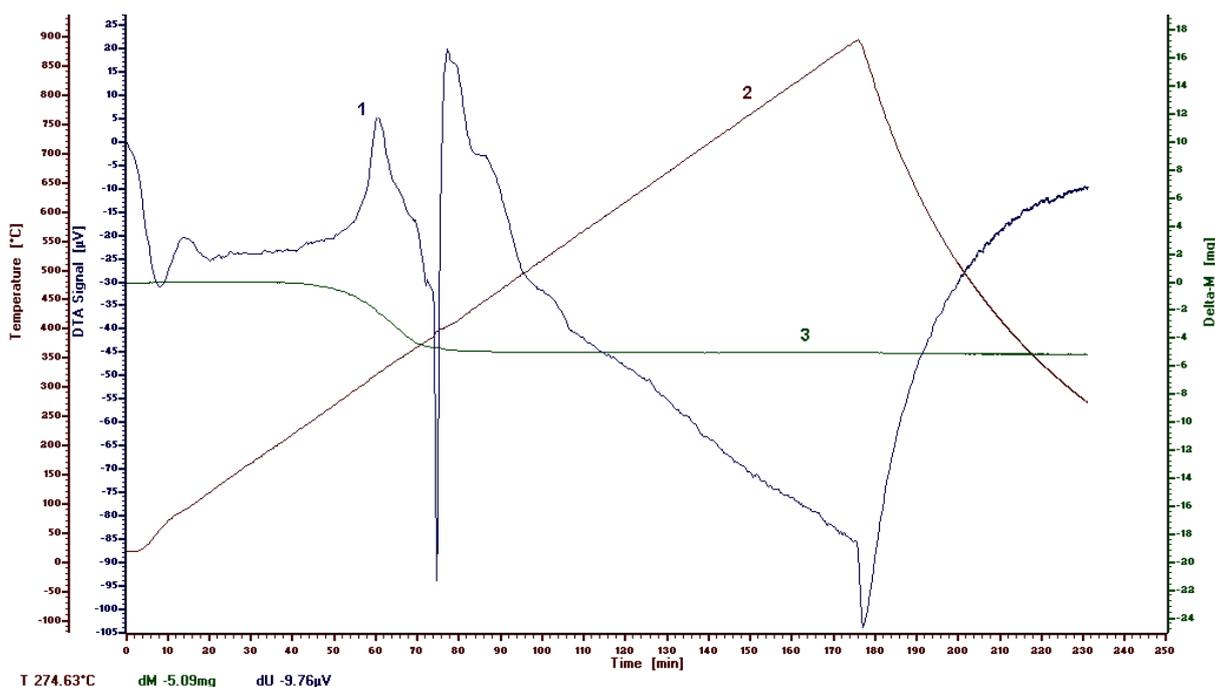


Figura 3.40: Curvas dibujadas por la termobalanza.

Luego de esperar a que se enfríe la maquina, retirar el crisol con la muestra y lo pesar llenando el siguiente cuadro.

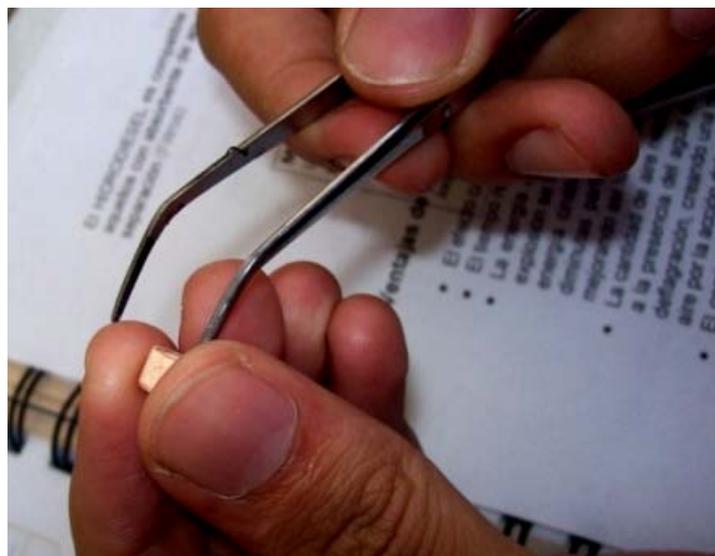


Lubricante Mobil 15w-40 XXX	
Crisol con Ceniza	0,XXXX g.
Crisol vacio	0,XXXX g.
Pero ceniza	0,XXXX g.

Fotografía 3.78: Peso del crisol con ceniza en la balanza electrónica (Foto Autor).

Nota: El valor del peso de las cenizas se anotó a manera de respaldo pese a que esta información no fue utilizada.

Finalmente limpiar el crisol con ceniza, para repetir desde el inicio todo este proceso con la próxima muestra.



Fotografía 3.79: Limpieza del crisol (Foto Autor).

Una vez terminado los análisis se puede realizar la Transformación a formato ANSI, para su posterior análisis.

3.2. Análisis en laboratorio independiente

Castrol Lab Check 	3000km sc 106h24min	6000km sc 190h25min	7500km sc 225h30min	VALORES TÍPICOS DE CASTROL TECTION 15W40
VISC 40 °C (cSt)	90.35	90.35	92.67	120 (±25%)
VISC 100 ° C (cSt)	13.21	13.36	13.06	15.5 (± 25%)
IV	146	149	139	135
TBN (mg KOH/g muestra)	11.89	10.75	9.21	10 (-50%)
CONTENIDO DE AGUA (%Vol)	NEG	NEG	NEG	MÁXIMO 0.2
Hierro (Fe)	X	X	X	-
Cobre (Cu)	X	X	X	-
Cromo (Cr)	X	X	X	-
Silicio (Si)	X	X	X	-
Plomo (Pb)	X	X	X	-
Aluminio (Al)	X	X	X	-

Tabla 3.4: Análisis para los aceites vehículo sin carga Fuente: Cepsa S.A división lubricantes, castrol lab check.

Castrol Lab Check 	3000km cc 88h30min	6000km cc 177h42min	7500km cc 210h40min	VALORES TÍPICOS DE CASTROL TECTION 15W40
VISC 40 °C (cSt)	94.84	94.06	94.06	120 (±25%) min 90 – máx. 150
VISC 100 ° C (cSt)	13.29	13.38	13.41	15.5 (± 25%) min11.63 – máx. 19.38
IV	140	142	143	135
TBN (mg KOH/g muestra)	10.70	10.66	8.90	10 (-50%) min 5
CONTENIDO DE AGUA (%Vol)	NEG	NEG	NEG	MÁXIMO 0.2
Hierro (Fe)	X	X	X	-
Cobre (Cu)	X	X	X	-
Cromo (Cr)	X	X	X	-
Silicio (Si)	X	X	X	-
Plomo (Pb)	X	X	X	-
Aluminio (Al)	X	X	X	-

Tabla 3.5: Análisis para los aceites vehículo con carga Fuente: Cepsa S.A división lubricantes, castrol lab check.

En base a los análisis de Cepsa con respecto a: viscosidad 40 y 100°C, índice de viscosidad (IV), TBN, contenido de agua y presencia de partículas, se puede interpretar como resultado que el aceite estaba dentro de las especificaciones de un 15W-40, ahora si bien el valor mínimo del TBN recomendado por CEPESA es 5 (mgKOH/g), el cual varía según los fabricantes de lubricantes, por recomendación del Ing. Daniel Zambrano para esta práctica se estableció un límite entre 7 y 8 (mgKOH/g) teniendo en cuenta la baja calidad del combustible de nuestro país. En la práctica no se pudo llegar al límite establecido (7 a 8 mgKOH/g)), debido a que el constante muestreo hizo que el nivel de aceite sea muy bajo, teniendo que finalizar a los 7500Km, con lo cual se obtuvo un valor de 8,9 mgKOH/g, aunque este se encuentra dentro del rango se prefirió dejar hasta este punto.

Características típicas del aceite Mobil Delvac MX 15W-40		
Viscosidad, ASTM D 445		
cSt @ 40°C	105	
cSt @ 100°C	14.2	15.4
TBN, mg KOH/g, ASTM D 874	10	
Índice de viscosidad, ASTM D 2270	138	
Punto de inflamación, °C, ASTM D 92	240	
Densidad @ 15°C kg/l, ASTM D 4052	0.88	

Tabla 3.6: Características típicas del aceite Mobil Delvac MX 15W-40 fuente: Esso mobil lubricantes, MobilMobil Delvac MX 15W-40 Aceite SHPD de muy alto rendimiento para motores diesel <http://www.trucksrys.com/Delvac_mx_15w-40.pdf> Argentina, 2007.

Análisis	Fabricantes de motores					Otros	
	MAN	CAT	Cummins	Detroit diesel	MTU	Macian	Thibault
Agua	0.3%	0.25%	0.2%	0.3%	0.2%	0.25%	0.25%
Dilución	5%	5%	5%	2.5%	--	4%	3%
Insolubles	2%	--	--	--	--	1.5%	--
Materia carbonosa	--	--	--	--	2.5%	1.2/3%	3%
Glicol	--	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	--	Positivo
silicio	--	10ppm	15ppm	--	15ppm	Evaluación por tendencias	20

Tabla 3.7: Valores límites máximos según diferentes fuentes en motores diésel. Fuente: TORMOS, B. *Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado*. España. Editorial Reverté. 1998.

3.3. Conclusiones

Este capítulo se realizó a manera de guía con el fin de mostrar todos los procesos a seguir para el uso de los equipos; debido a que la mayoría de las prácticas y la obtención de las muestras fueron largas, se pudo agilizar el proceso manteniendo todo el procedimiento y los valores por escrito, además de que sirva como línea base para posteriores investigaciones que se relacionen sobre el tema.

Se evidenció que fue innecesario realizar los muestreos cada 500Km ya que no hubo un cambio significativo en los resultados; por el contrario, esto presentó un inconveniente en la disminución del nivel de aceite del motor y debido a que no se podía cebar (recargar), a la larga esto significó trabajar con el vehículo como si tuviese una fuga de aceite. Por estas razones se debió aumentar los intervalos de muestreo.

En los análisis de laboratorio algo que se debe acotar es que no puede existir la precisión absoluta, ya que un factor que siempre existe es el grado de error. Hay que tener en cuenta que esto no solo ocurre por falla humana, sino también por la baja precisión de algunos elementos (vasos graduados, pipetas, matraz erlenmeyer, balones de aforación, etc.), en donde este error es despreciable.

Para comparar resultados cabe recalcar la importancia de realizar los análisis mediante la ayuda de otros laboratorios que hagan pruebas de la degradación del aceite (como en nuestro caso CEPSA S.A.), ya que en base a su experiencia y por recomendación se pudo extender el período de uso del lubricante. Un punto que se debe tomar en cuenta para llegar a un diagnóstico definitivo es la interpretación de los resultados en conjunto, como por Ejemplo: se puede tener la viscosidad en sus rangos permitidos, sin presencia elementos contaminantes y el TBN con valor bajo, esto quiere decir que el aceite se torna más ácido disminuyendo sus propiedades lubricantes. Comparando los análisis de Cepsa con la tabla de características del aceite lubricante Mobil Delvac MX 15W-40, se pudo observar que el TBN viene con una carga extra de reserva alcalina, pudiendo interpretarse como una medida tomada para reducir los riesgos producto de la mala calidad del combustible en el país.

CAPITULO IV

PROCEDIMIENTO Y TABULACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Preparación y suavización de datos

Con los resultados de las técnicas aplicables al análisis del aceite lubricante para el motor, se preparará los datos y suavizarán las curvas resultantes, con el fin de que estas tengan una mejor continuidad, facilitando su análisis, mediante la utilización de algunos programas que se verán a continuación: *caltod*, *omnic*, *exel*, *xlstat*, *matlab*, *taexe* y *scan*.

a) Datos de espectroscopia y espectrofotometría

Abrir el programa *CALTOD* para procesar los resultados de los análisis realizados en espectroscopia (AA), (EA) y espectrofotometría ultravioleta visible (UV). Seguidamente ingresar los valores de las referencias para la realización de la curva de calibración, en (X) anotar el número de ppm del patrón y en (Y) las lecturas hechas en el equipo, el Y calculado (Ycalc) lo realiza el propio programa, esto para el cálculo del conteo de partículas.

ID	Level	X	Y	Ycalc
1	1	0,5	0,111	1,491E-01
1	1	0,5	0,159	1,491E-01
1	2	1	0,278	2,547E-01
1	2	1	0,269	2,547E-01
1	3	2,5	0,568	5,712E-01
1	3	2,5	0,565	5,712E-01

Tabla 4.1: Ejemplo de ingreso a *CALTOD* de los patrones del Ca para la realización de las curva de calibración.

X	Y (Na)	Y (K)	Y (Mg)	Y (Li)	Y(Pb)	Y (Zn)	Y (Fe)	Y (Cu)	Y (Al)
0	0,001	-0,008	-0,01	0.000	-----	-----	0,013	0,001	0.003
0	0,003	-----	-0,007	-0,001	-----	-----	0,013	0,001	-----
0	0,003	-----	-0,006	-0,001	-----	-----	-----	0,001	-----
0.1	-----	0,091	0,039	-----	-----	-----	-----	0,008	0,018
0,5	0,685	0,388	0,138	0,255	0,008	0,111	0,014	0,095	0,035
0,5	0,702	0,418	0,144	0,218	0,008	0,159	0,013	0,101	-----
1	0,775	0,555	0,174	0,465	0,011	0,278	0,052	0,113	0,133
1	0,748	0,507	0,18	0,461	0,001	0,269	0,055	0,118	-----
2,5	1,101	1,125	-----	1,041	0,042	0,568	0,083	-----	-----
2,5	1,065	1,003	-----	1,015	0,035	0,565	0,088	-----	-----

Tabla 4.2: Patrones de los elementos restantes para las curvas de calibración.

A continuación en (Yobs) ingresar los valores observados de las lecturas del equipo, en (No) anotar su respectivo nombre, debido a que en la práctica se quemaron 20 gramos de lubricante, por cada muestra, este valor será ingresado en la columna (1^{ra} muestra _{peso aceite}), en (1^{ra} dil) anotar el volumen de la primera dilución de las cenizas del aceite 100 ml.

Para obtener los resultados en ppm se utilizarán los valores de las tablas utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{ppm} = X_{\text{cal}} * \left(\frac{1^{\text{ra}} \text{ dil}}{1^{\text{ra}} \text{ muestra}_{\text{peso aceite}}} \right) * \left(\frac{2^{\text{da}} \text{ dil}}{2^{\text{ra}} \text{ sub muestra}} \right) * \left(\frac{3^{\text{ra}} \text{ dil}}{3^{\text{da}} \text{ sub muestra}} \right) \\ * \dots \left(\frac{n \text{ dilución}}{n \text{ sub muestra}} \right)$$

Xcal= (Dato obtenido del cálculo del mismo programa).

En caso de que la lectura de la primera dilución de las cenizas del aceite no corresponda al intervalo máximo de la curva de calibración, se procederá a diluir las muestras las veces que sean necesario, siempre anotando cuantas veces se diluyó, en el caso de la 2^{da} sub muestra, 2^{da} dil, 3^{ra} sub muestra y 3^{ra} dil, son los valores de la segunda y tercera dilución hechas por este propósito.

ppm	3 ^{ra} dil (ml)	3 ^{ra} sub muestra (ml)	2 ^{da} dil (ml)	2 ^{da} sub muestra (ml)	1 ^{ra} dil (ml)	1 ^{ra} muestra peso aceite (gr)	No	Yobs	Xcalc
2,632184	1	1	1	1	100	20	virgen	0,004	0,526
0,241379	1	1	1	1	100	20	20 min sc	-0,004	0,048
-1,25287	1	1	1	1	100	20	500 km sc	-0,009	-0,251
0,54023	1	1	1	1	100	20	1000 km sc	-0,003	0,108
-1,85057	1	1	1	1	100	20	1500 km sc	-0,011	-0,370
-2,44828	1	1	1	1	100	20	2000 km sc	-0,013	-0,490
-0,65517	1	1	1	1	100	20	2500 km sc	-0,007	-0,131
-3,94253	1	1	1	1	100	20	3000 km sc	-0,018	-0,789
-3,64368	1	1	1	1	100	20	7500 km sc	-0,017	-0,729
0,54023	1	1	1	1	100	20	20 min cc	-0,003	0,108
-2,74713	1	1	1	1	100	20	500 km cc	-0,014	-0,549
-0,35632	1	1	1	1	100	20	1000 km cc	-0,006	-0,071
-1,25287	1	1	1	1	100	20	1500 km cc	-0,009	-0,251
-3,04598	1	1	1	1	100	20	2000 km cc	-0,015	-0,609
-1,25287	1	1	1	1	100	20	2500 km cc	-0,009	-0,251
-2,74713	1	1	1	1	100	20	3000 km cc	-0,014	-0,549
-3,04598	1	1	1	1	100	20	6000 km cc	-0,015	-0,609
-3,64368	1	1	1	1	100	20	75000 km cc	-0,017	-0,729

Tabla 4.3: Ingreso a CALTOD de los valores de las muestras del Pb (sin dilución) para el cálculo de la concentración (ppm).

ppm	3 ^{ra} dil (ml)	3 ^{ra} sub muestra (ml)	2 ^{da} dil (ml)	2 ^{da} sub muestra (ml)	1 ^{ra} dil (ml)	1 ^{ra} muestra peso aceite (gr)	No	Yobs	Xcalc
91,25410	1	1	50	1	100	20	virgen	0.052	0.365
76.94635	1	1	50	1	100	20	20 min sc	0,045	0,308
56,50672	1	1	50	1	100	20	500 km sc	0,035	0,226
31,97915	1	1	50	1	100	20	1000 km sc	0,023	0,128
85,12221	1	1	50	1	100	20	1500 km sc	0,049	0,340
46,28690	1	1	50	1	100	20	2000 km sc	0,030	0,185
31,97915	1	1	50	1	100	20	2500 km sc	0,023	0,128
38,11104	1	1	50	1	100	20	3000 km sc	0,026	0,152
38,11104	1	1	50	1	100	20	7500 km sc	0,026	0,152
38,11104	1	1	50	1	100	20	20 min cc	0,026	0,152
89,21014	1	1	50	1	100	20	500 km cc	0,051	0,357
85,12221	1	1	50	1	100	20	1000 km cc	0,049	0,340
74,90239	1	1	50	1	100	20	1500 km cc	0,044	0,300
78,99032	1	1	50	1	100	20	2000 km cc	0,046	0,316
76,94635	1	1	50	1	100	20	2500 km cc	0,045	0,308
46,28690	1	1	50	1	100	20	3000 km cc	0,030	0,185
48,33086	1	1	50	1	100	20	6000 km cc	0,031	0,193
40,15501	1	1	50	1	100	20	75000 km cc	0,027	0,161

Tabla 4.4: Ingreso a CALTOD de los valores de las muestras del Ca (dilución 1:50) para el cálculo de la concentración (ppm).

ppm	3 ^{ra} dil (ml)	3 ^{ra} sub muestra (ml)	2 ^{da} dil (ml)	2 ^{da} sub muestra (ml)	1 ^{ra} dil (ml)	1 ^{ra} muestra peso aceite (gr)	No	Yobs	Xcalc
1249,499	50	25	50	1	100	20	virgen	0,571	2,499
-20,4119	50	25	50	1	100	20	20 min sc	0,035	-0,041
474,7585	50	25	50	1	100	20	500 km sc	0,244	0,950
164,3886	50	25	50	1	100	20	1000 km sc	0,571	2,499
-72,5351	50	25	50	1	100	20	1500 km sc	0,013	-0,145
432,1123	50	25	50	1	100	20	2000 km sc	0,226	0,864
981,7751	50	25	50	1	100	20	2500 km sc	0,458	1,964
801,7131	50	25	50	1	100	20	3000 km sc	0,382	1,603
661,9282	50	25	50	1	100	20	7500 km sc	0,323	1,324
1038,637	50	25	50	1	100	20	20 min cc	0,571	2,499
-13,3042	50	25	50	1	100	20	500 km cc	0,038	-0,027
107,5269	50	25	50	1	100	20	1000 km cc	0,089	0,215
365,7736	50	25	50	1	100	20	1500 km cc	0,198	0,732
100,4192	50	25	50	1	100	20	2000 km cc	0,086	0,201
100,4192	50	25	50	1	100	20	2500 km cc	0,086	0,201
583,7434	50	25	50	1	100	20	3000 km cc	0,290	1,167
443,9584	50	25	50	1	100	20	6000 km cc	0,231	0,888
552,9433	50	25	50	1	100	20	75000 km cc	0,277	1,106

Tabla 4.5: Ingreso a CALTOD de los valores de las muestras del Zn (dilución 1:50 y 25:50) para el cálculo de la concentración (ppm).

ppm	3 ^{ra} dil (ml)	3 ^{ra} sub muestra (ml)	2 ^{da} dil (ml)	2 ^{da} sub muestra (ml)	1 ^{ra} dil (ml)	1 ^{ra} muestra peso aceite (gr)	No	Yobs	Xcalc
0,14795982	1	1	1	10	100	20	virgen	0,031	0,296
0,12881356	1	1	1	10	100	20	20 min sc	0,026	0,258
0,20156937	1	1	1	10	100	20	500 km sc	0,045	0,403
0,50408035	1	1	1	10	100	20	1000 km sc	0,124	1,008
0,08286252	1	1	1	10	100	20	1500 km sc	0,014	0,166
0,24369115	1	1	1	10	100	20	2000 km sc	0,056	0,487
0,30878845	1	1	1	10	100	20	2500 km sc	0,073	0,618
0,45812932	1	1	1	10	100	20	3000 km sc	0,112	0,916
0,27432517	1	1	1	10	100	20	7500 km sc	0,064	0,549
0,23220339	1	1	1	10	100	20	20 min cc	0,053	0,464
0,08286252	1	1	1	10	100	20	500 km cc	0,014	0,166
0,11349655	1	1	1	10	100	20	1000 km cc	0,022	0,227
0,14413057	1	1	1	10	100	20	1500 km cc	0,030	0,288
0,13647207	1	1	1	10	100	20	2000 km cc	0,028	0,273
0,14795982	1	1	1	10	100	20	2500 km cc	0,031	0,296
0,25134965	1	1	1	10	100	20	3000 km cc	0,058	0,503
0,19008161	1	1	1	10	100	20	6000 km cc	0,042	0,380
0,12498431	1	1	1	10	100	20	75000 km cc	0,025	0,250

Tabla 4.6: Ingreso a CALTOD de los valores de las muestras del Al (dilución 10:1) para el cálculo de la concentración (ppm).

A continuación se muestra una tabla de las lecturas anotadas de los elementos restantes del análisis por el equipo, para el cálculo de la concentración (ppm)

No	Yobs (Cu)	Yobs (Fe)	Yobs (K)	Yobs (Li)	Yobs (Mg) 1:50	Yobs (Na)
virgen	0,004	0	0,149	0,005	0.095	0.038
20 min sc	-0,006	-0,022	0,146	0,004	0,062	0,218
500 km sc	-0,013	-0,02	0,187	0,006	0,092	0,232
1000 km sc	-0,005	0,037	0,451	0,013	0,088	0,415
1500 km sc	-0,013	-0,007	0,234	0,004	0,067	0,078
2000 km sc	-0,013	-0,007	0,209	0,003	0,088	0,265
2500 km sc	-0,017	0,064	0,223	0,012	0,085	0,288
3000 km sc	-0,014	-0,019	0,259	0,007	0,089	0,251
7500 km sc	-0,004	-0,002	0,168	0,005	0,084	0,285
20 min cc	0,001	0,026	0,157	0,004	0,085	0,027
500 km cc	-0,003	0,005	0,079	0,003	0,071	-0,033
1000 km cc	0,003	0,000	0,085	0,004	0,068	-0,098
1500 km cc	0,004	-0,009	0,194	0,002	0,077	-0,102
2000 km cc	0,002	-0,002	0,133	0,004	0,081	0,032
2500 km cc	-0,002	-0,003	0,132	0,003	0,081	0,017
3000 km cc	0,000	-0,008	0,095	0,008	0,084	0,034
6000 km cc	0,002	0,006	0,161	0,003	0,090	0,048
7500 km cc	0,015	-0,008	0,062	0,002	0,084	0.137

Tabla 4.7: Lecturas de las muestras en los elementos restantes (ppm).

Cantidad medida en partes por millón (ppm) de los elementos restante, por el programa *Caltod*.

No	Ppm (Cu)	Ppm (Fe)	Ppm (K)	Ppm (Li)	Ppm (Mg) 1:50	Ppm (Na)
virgen	1,1960	-1,6733	0,451	-0,1752	114,8122	-2,369
20 min sc	0,8185	-5,2217	0,4126	-0,1874	70,9657	0,0508
500 km sc	0,5542	-4,8991	0,9365	-0,163	110,8261	0,2282
1000 km sc	0,8562	4,2943	4,3101	-0,0776	105,5114	2,5467
1500 km sc	0,5542	-2,8024	1,5371	-0,1874	77,6091	-1,7229
2000 km sc	0,5542	-2,8024	1,2177	-0,1996	105,5114	0,6463
2500 km sc	0,4031	8,6491	1,3966	-0,0898	101,5254	0,9377
3000 km sc	0,5164	-4,7379	1,8566	-0,1508	106,8401	0,4689
7500 km sc	0,8940	-1,9959	0,6938	-0,1752	100,1967	0,8997
20 min cc	1,0827	2,5201	0,5532	-0,1874	101,5254	-2,2297
500 km cc	0,9317	-0,8669	-0,4435	-0,1996	82,9238	-3,1292
1000 km cc	1,1583	-1,6733	-0,3668	-0,1874	78,9378	-3,9527
1500 km cc	1,1960	-3,125	1,026	-0,2118	90,8959	-4,0034
2000 km cc	1,1205	-1,9959	0,2465	-0,1874	96,2106	-2,3057
2500 km cc	0,9695	-2,1572	0,2337	-0,1996	96,2106	-2,4957
3000 km cc	1,0450	-2,9637	-0,239	-0,1386	100,1967	-2,2803
6000 km cc	1,1205	-0,7056	0,6043	-0,1996	108,1688	-2,103
7500 km cc	1,6113	-2,9637	-0,6607	-0,2118	100,1967	-0.9753

Tabla 4.8: Concentración (ppm) de los elementos restantes.

Finalmente los datos de las partes por millón de cada elemento son transportados al documento *Excel ELABORACIÓN DE TODO*, teniendo cuidado con los valores negativos que fueron remplazados por ceros, debido a que no existe la presencia de ese elemento en dicha muestra, o como en el caso del Litio (Li) que fue descartado por tener todos sus valores negativos.

b) Datos de la viscosidad

Los cálculos de la viscosidad se los realizará directamente en *Excel*, para lo cual primero buscar en internet los valores de la densidad del agua destilada.

Agua	
Temp °C	Densidad g/cm ³
4	0,999973
10	0,9997
20	0,9982
30	0,99564
40	0,99221

Tabla 4.9: Densidad del agua destilada a varias temperaturas fuente: Scuola Interuniversitaria, Campana di Specializzazione all'Insegnamento, <<http://www.unina2.it/>>, Italia, 2009.

Debido a que no hay valores de densidad para temperaturas mayores a 40°C, interpolar de la siguiente manera:

- primero con estos datos realizar un gráfico en *Excel* mediante *dispersión con líneas suavizadas*.
- segundo en la gráfica que se forma, dar *clic derecho* y sacar la línea de tendencia con los siguientes parámetros: *polinómica, ordenación 3, presentar ecuación en el gráfico, y presentar el valor R cuadrado en el gráfico*, para finalmente obtener la siguiente ecuación.

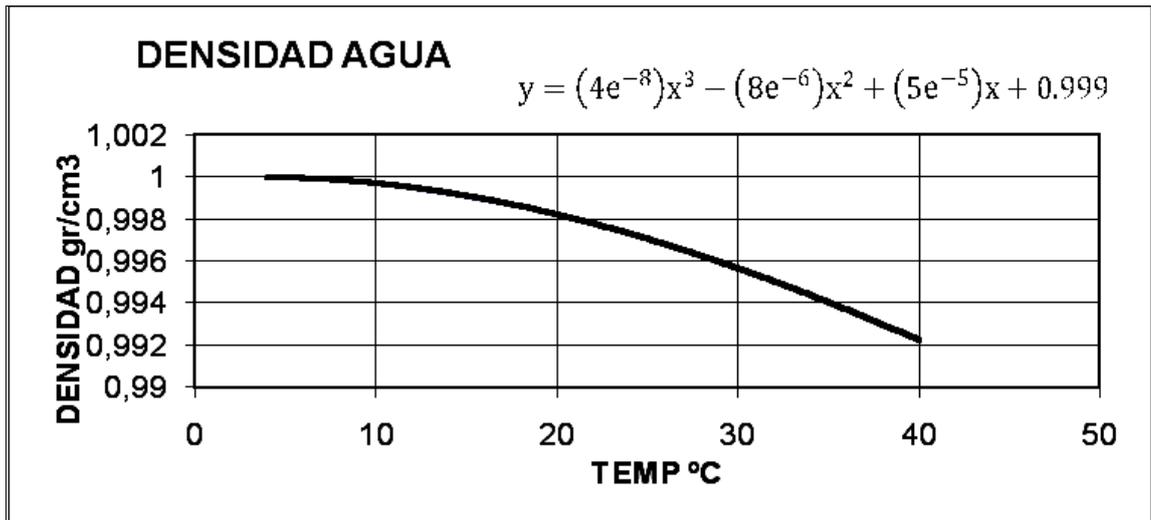


Figura 4.1: Curva de Densidad del agua destilada.

$$y = \underbrace{(4e^{-8})}_{b3}x^3 - \underbrace{(8e^{-6})}_{b2}x^2 + \underbrace{(5e^{-5})}_{b1}x + \underbrace{0,999}_{b0}$$

De esta curva sacar los valores de las constantes.

$$b0 = 0,9999$$

$$b1 = 5e^{-5}$$

$$b2 = -8e^{-6}$$

$$b3 = 4e^{-8}$$

Las constantes se reemplazarán en la siguiente formula.

$$\delta_{H_2O} = b0 + (temp_{H_2O} * b1) + (temp_{H_2O}^2 * b2) + (temp_{H_2O}^3 * b3)$$

δ_{H_2O} =Densidad Agua

$temp_{H_2O}$ =Temperatura Agua

$temp_{H_2O} \text{ } ^\circ\text{C}$	(δ_{H_2O})
40	$9,92e^{-01}$
50	$9,87e^{-01}$
60	$9,83e^{-01}$
70	$9,78e^{-01}$
80	$9,73e^{-01}$

Formula:

$$\ln \text{visc}_{\text{H}_2\text{O}} = \text{LN}(\text{visc}_{\text{H}_2\text{O a } 20^\circ\text{C}}) - a * (\text{temp}_{\text{H}_2\text{O}} - 20) * \left(1 + \frac{b * (\text{temp}_{\text{H}_2\text{O}} - 20)}{\text{temp}_{\text{H}_2\text{O}} + 98.5}\right)$$

temp _{H₂O} °C	In visc _{H₂O}
40	-0,42240074
50	-0,598921958
60	-0,756915348
70	-0,899679632
80	-1,029774324

Datos de formula:
 visc_{H₂O a 20°C} = 1,005 mPas
 a = 2,45e⁻⁰²
 b = -0,8787

$$\text{visc}_{\text{H}_2\text{O}} = \text{EXP}(\ln \text{visc}_{\text{H}_2\text{O}})$$

temp _{H₂O} °C	visc _{H₂O}
40	0,655471313
50	0,549403597
60	0,469111242
70	0,406699932
80	0,357087538

Cálculo de la constante de calibración.

$$K = \frac{\text{visc}_{\text{H}_2\text{O}}}{\delta_{\text{H}_2\text{O}} * \text{tiemp}_{\text{promedio H}_2\text{O}}} \quad k = \text{constante}$$

H ₂ O							
T °C	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	Tiempo promedio H ₂ O
40	5.67	5.72	5.66	5.63	5.71	5.62	5,66833333
50	5.56	5.66	5.59	5.59	5.61	5.59	5,6
60	5.46	5.54	5.54	5.63	5.56	5.47	5,53333333
70	5.43	5.45	5.48	5.38	5.48	5.49	5,45166667
80	5.30	5.45	5.45	5.38	5.31	5.41	4,56916667

Tabla 4.10: Tiempos medidos con el cronometro del agua destilada.

temp _{H₂O} °C	(δ _{H₂O})	In visc	visc _{H₂O}	tiempo promedio H ₂ O	k
40	9,92e ⁻⁰¹	-0,42240074	0,655471313	5,66833333	1,166e ⁻⁰¹
50	9,87e ⁻⁰¹	-0,598921958	0,549403597	5,6	9,936e ⁻⁰²
60	9,83e ⁻⁰¹	-0,756915348	0,469111242	5,53333333	8,627e ⁻⁰²
70	9,78e ⁻⁰¹	-0,899679632	0,406699932	5,45166667	7,629e ⁻⁰²
80	9,73e ⁻⁰¹	-1,029774324	0,357087538	4,56916667	8,031e ⁻⁰²

Tabla 4.11: Cálculo de la constante "k" del agua destilada.

$$visc_{aceite} = K_{promedio} * tiempo_{promd\ aceite} * \delta_{aceite}$$

$$k_{promedio} = 9,177e^{-02}$$

Virgen ($\delta_{aceite}=0.879$)								
T °C	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	tiemp _{promd aceite}	visc _{aceite}
40	30,54	30,13	30,33	30,1	30,15	30,34	30,265	2,44123714
50	29,77	30,02	30,01	29,86	30,46	30,28	30,06666667	2,42523917
60	26,74	27,12	26,45	26,93	26,34	27,44	26,83666667	2,16470073
70	23,43	23,38	23,43	23,09	23,53	23,18	23,34	1,8826524
80	20,17	20,25	20,32	20,22	20,14	20,06	20,19333333	1,6288358
90	17,53	17,3	17,21	16,96	16,99	17,09	17,18	1,38577413
100	13,13	13,01	13,5	13,75	13	13	13,23166667	1,06729345

Tabla 4.12: Tiempos cronometrados para el aceite virgen.

S-C	20min	500km	1000km	1500km	2000km	2500km	3000km	7500km
T °C	tiempo _{prom aceite}							
40	30,26	30,54	30,22	30,59	30,6	30,21	30,22	29,32
50	29,43	29,3	28,9	29,79	29,79	29,39	29,23	28,74
60	26,99	26,61	26,51	26,36	26,36	26,22	26,15	26,22
70	23,52	23,28	22,95	23,35	23,35	22,56	22,73	22,54
80	20,65	20,04	19,86	19,69	19,7	19,07	19,34	19,53
90	17,48	17,18	16,41	15,6	15,6	15,7	15,46	16,27
100	14,45	14,14	13,71	13,2	13,2	13,1	12,59	13,29

Tabla 4.13: Tiempos promedios para muestras sin carga.

S-C	20min	500km	1000km	1500km	2000km	2500km	3000km	7500km
	δ_{aceite}							
	0,879	0,877	0,879	0,881	0,877	0,876	0,877	0,886

Tabla 4.14: Densidad de las muestras de aceite sin carga.

S-C	20min	500km	1000km	1500km	2000km	2500km	3000km	7500km
T °C	Visc _{aceite}							
40	2,44	2,46	2,44	2,47	2,43	2,47	2,43	2,38
50	2,37	2,36	2,33	2,41	2,36	2,38	2,35	2,34
60	2,18	2,14	2,14	2,13	2,11	2,11	2,1	2,13
70	1,89	1,87	1,85	1,89	1,82	1,85	1,83	1,83
80	1,67	1,61	1,6	1,59	1,53	1,55	1,56	1,59
90	1,41	1,38	1,32	1,26	1,26	1,29	1,24	1,32
100	1,17	1,14	1,11	1,07	1,05	1,02	1,01	1,08

Tabla 4.15: Viscosidad de las muestras de aceite sin carga.

C-C	20min	500km	1000km	1500km	2000km	2500km	3000km	7500km
T °C	tiemp prom aceite	tiemp prom aceite	tiemp prom aceite	tiemp prom aceite	tiempo prom aceite	tiemp prom aceite	tiemp prom aceite	tiemp prom aceite
40	31,1	30,545	30,42	30,45	30,44	30,09	29,91	31,09
50	29,68	29,15	29,29	29,03	29,04	29,15	28,86	29,75
60	28,57	26,59	26,19	26,21	26,35	26,32	25,66	27,21
70	23,78	23,17	22,79	22,96	22,92	22,68	22,62	23,31
80	20,6	20,43	19,52	19,97	20,15	19,53	18,31	20,14
90	17,29	16,75	16,05	16,13	16,64	15,48	15,87	17,48
100	15,03	13,96	13,62	13,53	13,64	12,53	13,51	14,02

Tabla 4.16: Tiempos promedios de las muestras de aceite con carga.

C-C	20min	500km	1000km	1500km	2000km	2500km	3000km	6000km	7500km
	$\bar{\delta}$ aceite								
	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,881	0,884

Tabla 4.17: Densidad de las muestras de aceite con carga.

C-C	20min	500km	1000km	1500km	2000km	2500km	3000km	7500km
T °C	Visc _{aceite}							
40	2,51	2,47	2,46	2,46	2,46	2,43	2,42	2,52
50	2,4	2,36	2,37	2,35	2,35	2,36	2,33	2,41
60	2,31	2,15	2,12	2,12	2,13	2,13	2,07	2,21
70	1,92	1,87	1,84	1,86	1,85	1,83	1,83	1,89
80	1,67	1,65	1,58	1,61	1,63	1,58	1,48	1,63
90	1,4	1,35	1,29	1,3	1,35	1,25	1,28	1,42
100	1,22	1,13	1,11	1,09	1,1	1,01	1,09	1,14

Tabla 4.18: Viscosidad de las muestras vehículos con carga.

En el mismo documento *Excel* insertar una nueva hoja de cálculo colocando el respectivo nombre de muestra a analizar, luego abrir el programa *xlstat*.



Figura 4.2: Menú de XLSTAT.

Buscar la opción *Modelación de datos* dentro de la cual abrir la opción *Regresión Lineal*.

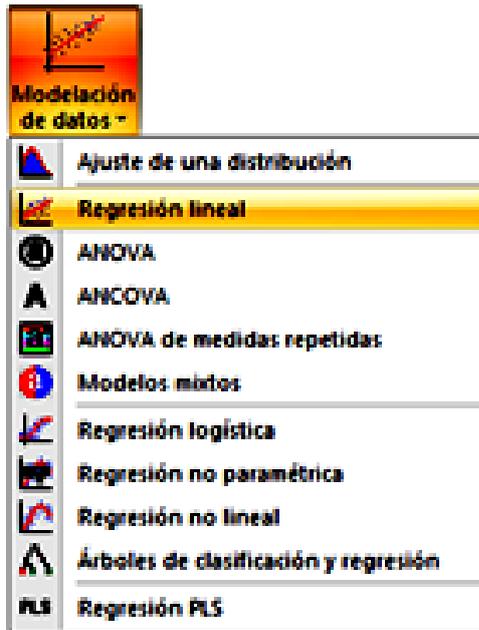


Figura 4.3: Ingreso a Regresión Lineal.

Esta opción abrirá una nueva ventana, dentro de la cual seleccionar las variables a analizar; para lo cual de las tablas anteriores, en el rango de datos de “Y”, copiar la viscosidad (visc) y para los valores de “X”, seleccionar los datos de temperatura (T°C).

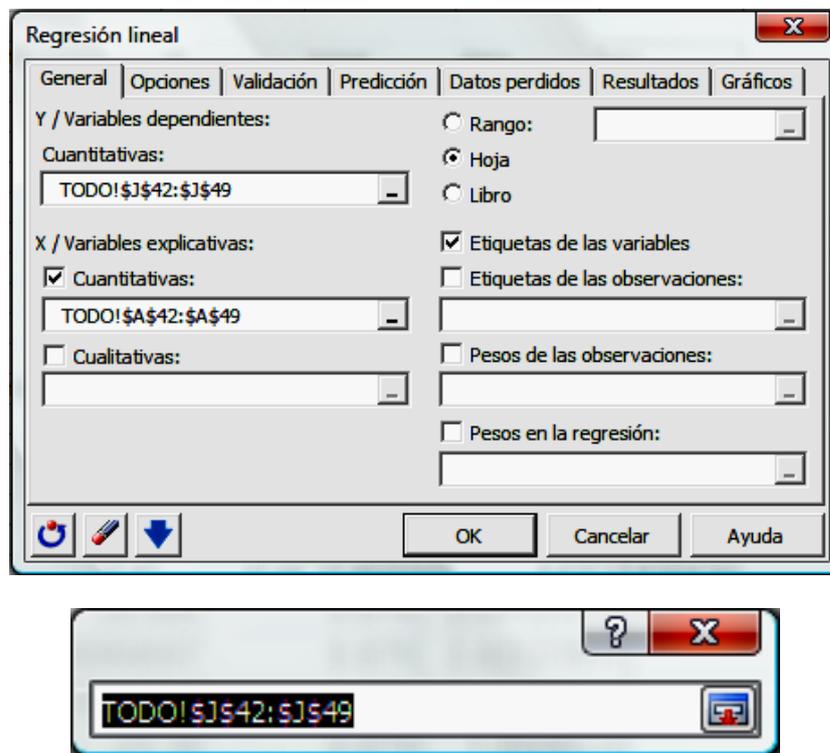


Figura 4.4: Selección de datos en XLSTAT.

Por último dar clic en OK creándose una serie de tablas y gráficos, de donde se copiará el dato indicado con amarillo dentro de la tabla *que se indica en la siguiente figura*.

44								
45		Parámetros del modelo:						
46								
47		Fuente	Valor	esviación típica	t	Pr > t	límite inferior (95%)	límite superior (95%)
48		Intersección	3.541	0.118	30.111	< 0,0001	3.238	3.843
49		T °C	-0.024	0.002	-14.896	< 0,0001	-0.028	-0.020
50								
51								
52		Ecuación del modelo:						
		visc-2500K	visc-3000K	visc-7500K	TODO	PLS	Regresión NP	Regresión lineal
		C-20 min	C-5					
		Listo						

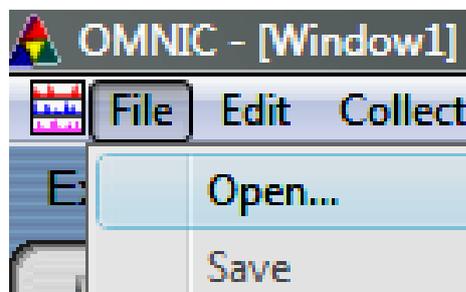
Figura 4.5: Copiado del dato de Sensibilidad de la muestra.

Todos los datos de la sensibilidad (IV) de las muestras se copiarán al documento *Excel* “elaboración de todo” con signo cambiado.

c) Datos del infrarrojo

Los datos del análisis infrarrojo serán suavizados mediante la utilización del programa *omnic32.exe*, ya que mediante la eliminación de los pequeños picos se obtendrá una curva más continua mejorando su interpretación y análisis.

Primero ejecutar el programa *omnic32.exe*, una vez dentro dar clic en *Open...* abriendo una ventana del mismo nombre en la cual se buscará el archivo correspondiente a cada muestra y dar clic en *Open*.



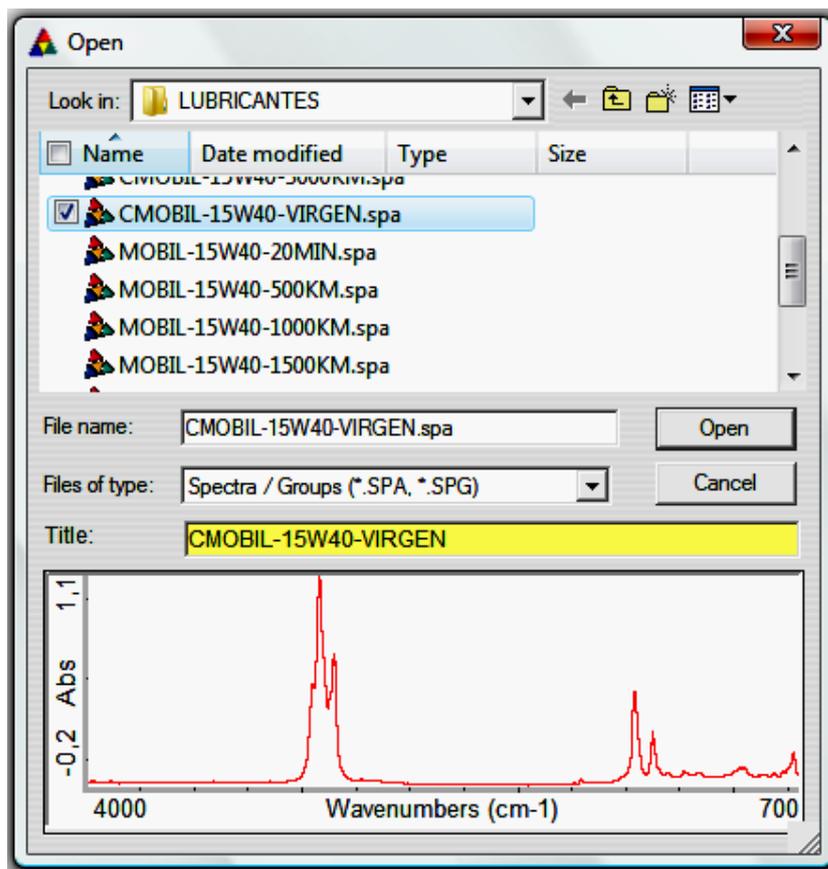


Figura 4.6: Ingreso a Open y Selección de Curvas en OMNIC.

La curva se mostrará en el programa como indica la figura.

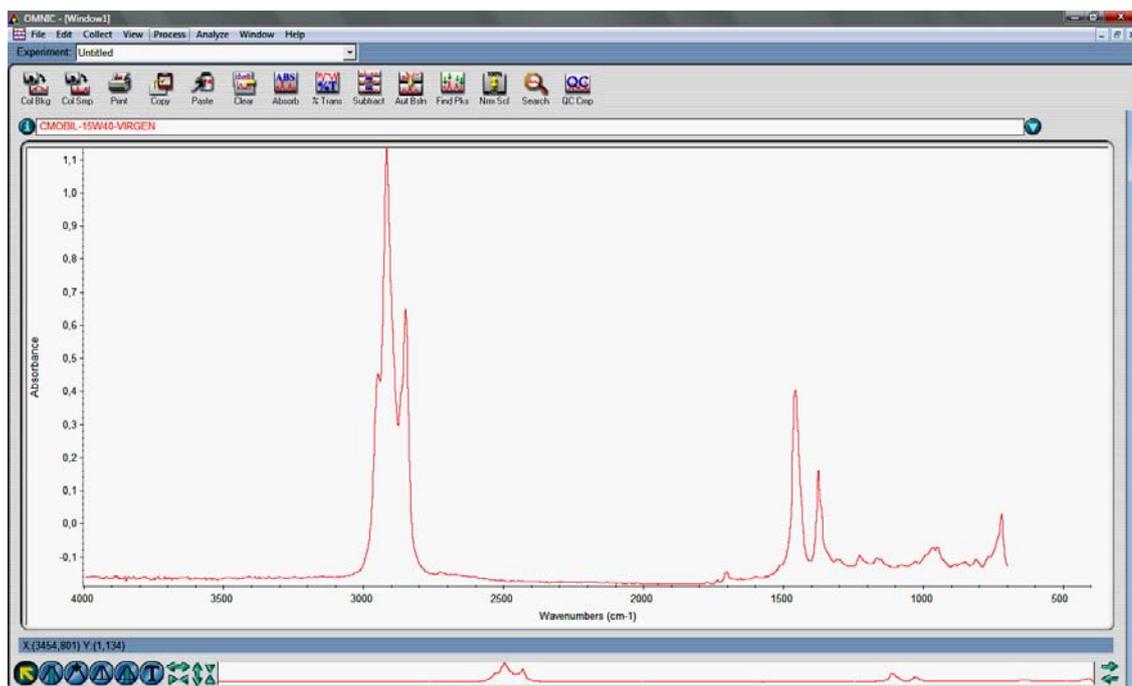


Figura 4.7: Curva seleccionada en OMNIC.

Luego para la primera suavización de la curva buscar la opción *Process*, en el submenú, encontrar *Automatic Smooth* y abrirla.

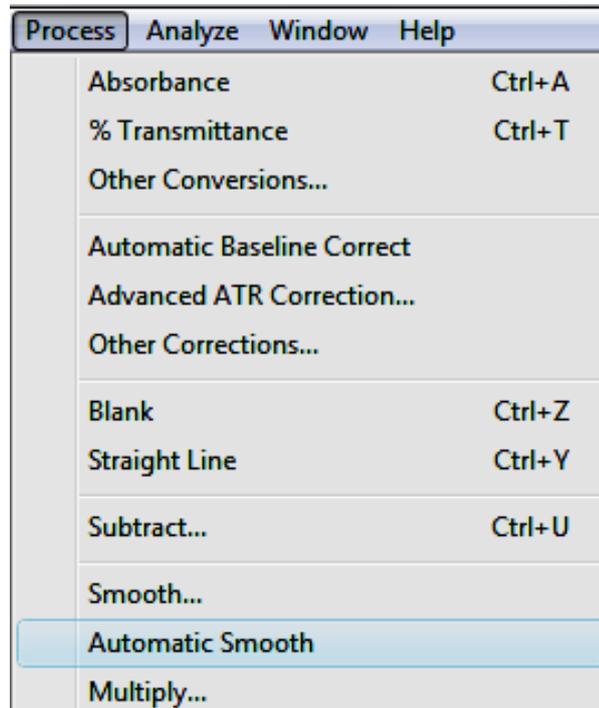


Figura 4.8: Ingreso a Automatic Smooth.

Una vez hecho esto aparecerá una nueva curva en la pantalla; como se muestra en la figura.

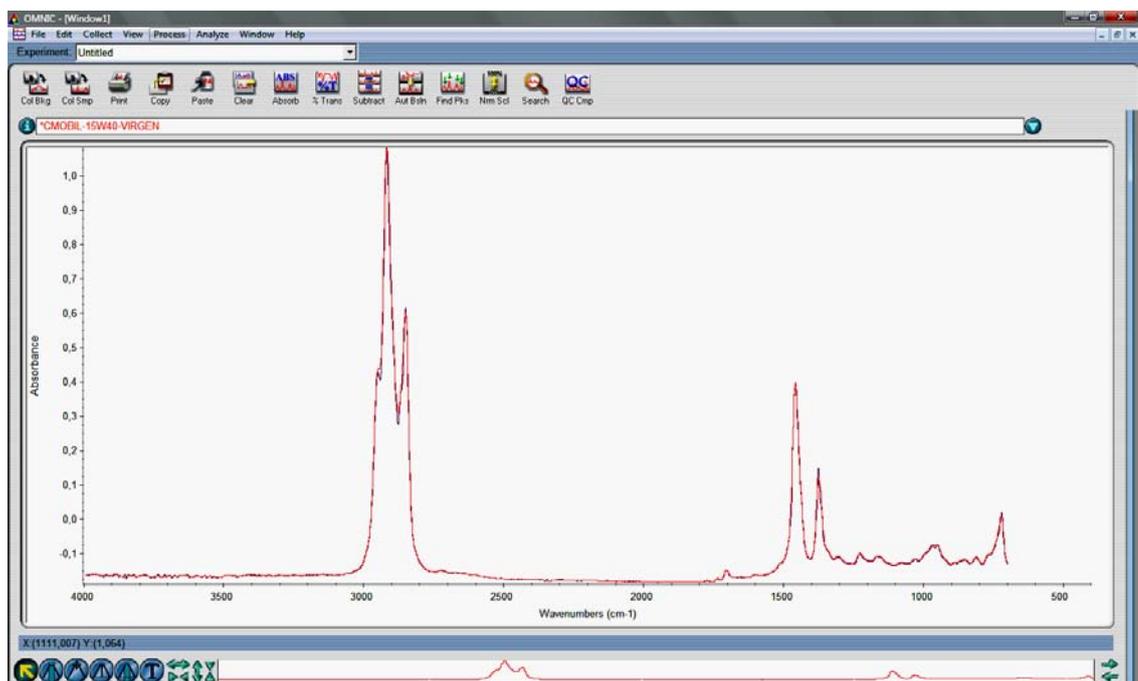


Figura 4.9: Curvas Primaria y Secundaria suavizada en OMNIC.

Seguidamente, en la primera barra que esta sobre la curva seleccionar el nombre de la curva anterior, para eliminarla dar *clic* en *clear* que se encuentra en el menú del programa:



Figura 4.10: Selección y Borrado de la curva primaria.

Luego de esto hacer una última corrección a la curva, para lo cual en el menú, buscar la opción *Process*, bajar en el submenú y abrir la opción *Automatic Baseline Correct*.

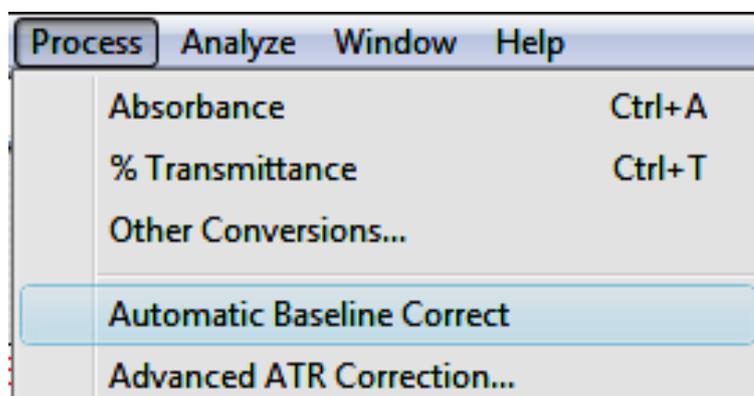


Figura 4.11: Ingreso a Automatic Baseline Correct.

Creando así una nueva curva, la cual cambiará su nombre incrementando dos asteriscos (**) detrás del mismo; como se muestra la figura.



Figura 4.12: Selección y Borrado de la curva secundaria suavizada.

Una vez creada la nueva curva se borrará la anterior, es decir la que tiene un solo asterisco (*), esto para evitar confusiones.

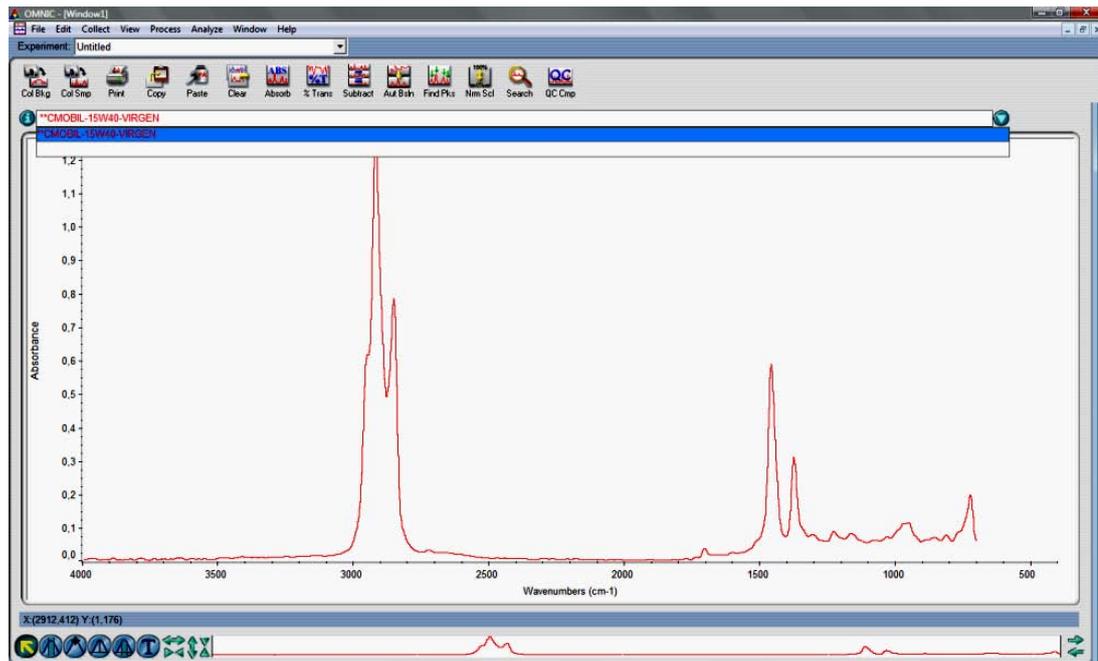


Figura 4.13: Curva Final Suavizada.

Por último guardar la curva: ir a *File* y dar *click* en *Save As...*

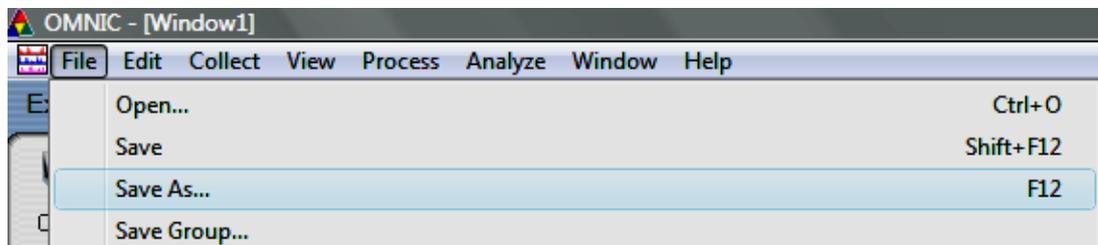


Figura 4.14: Guardado de la curva final.

Luego se abrirá una ventana en la cual se le dará un nombre nuevo con el formato *CSV Text (*.CVS)*, para después dar *click* en *Save*.

Este formato hará que la curva se transforme a datos numéricos los cuales pueden ser leídos con el programa *Excel*, como se ve en la siguiente figura.

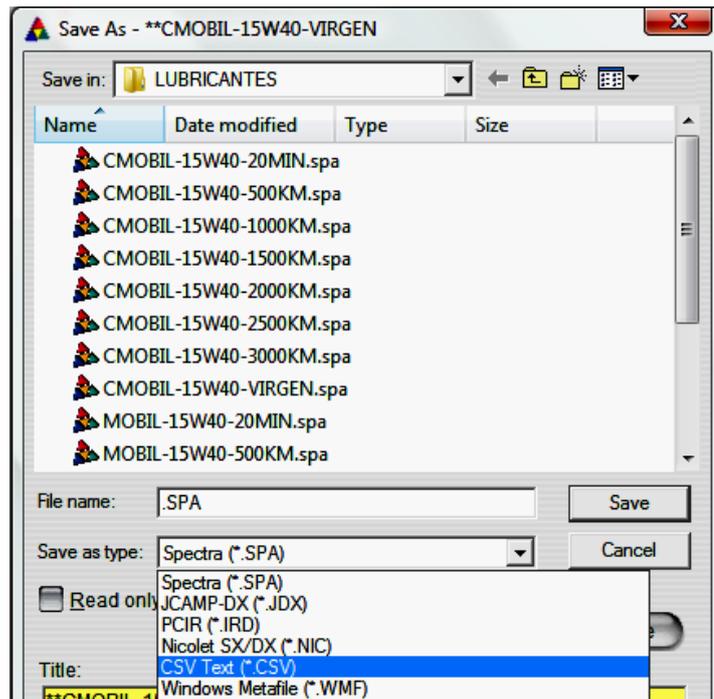


Figura 4.15: Selección del formato para guardar la curva.

Finalmente abrir los respectivos documentos *Excel* y extraer los valores de la absorbancia cercando los datos desde la longitud de onda de 700 hasta los 1800 cm^{-1} , y por ultimo copiarlos en el documento *Excel* "ELABORACIÓN DE TODO".

d) Datos de la termobalanza

Primero abrir *ta.exe* (*Programa de suavización de las curvas dibujadas por la termobalanza.*), luego dentro del programa dar clic en *file*, bajar en el submenú y abrir *New*.



Figura 4.16: Ingreso en New.

En la ventana *Window name* dar clic en *OK*.

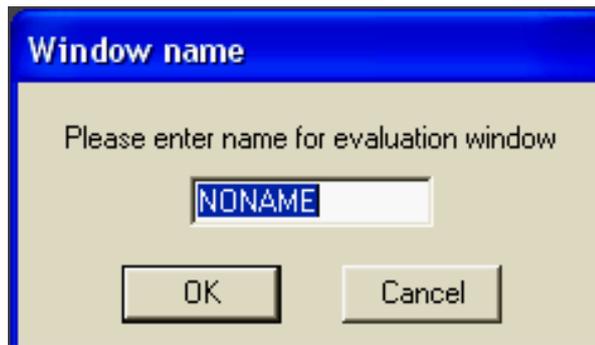


Figura 4.17: Ingreso del nombre de la curva.

Nuevamente en la ventana *Linseis Data Evaluation* se coloca en *file* y dar un clic en el submenú *Load Data...*

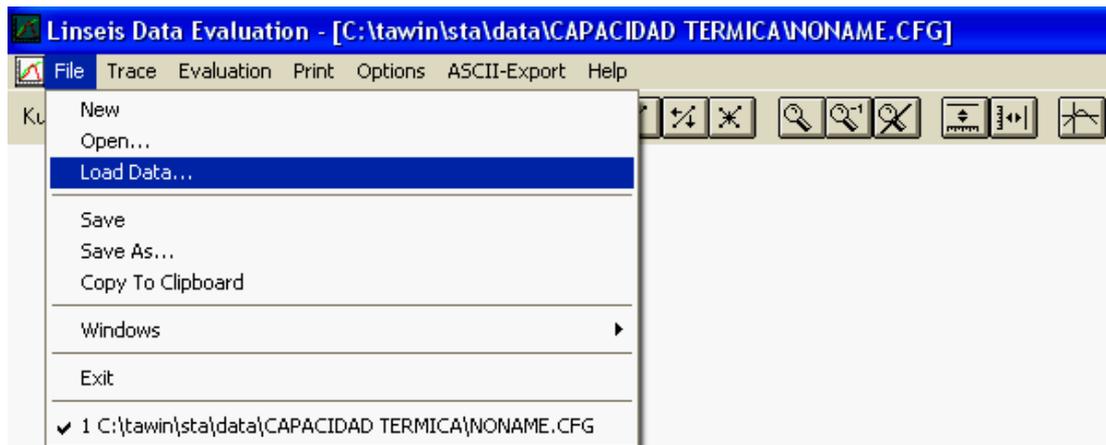


Figura 4.18: Ingreso a Load Data.

Se abrirá la ventana *Select datafile*, luego seleccionar *TG-PROBE* y *MOBIL15W40_XXXXKm* y dar clic en *OK*.

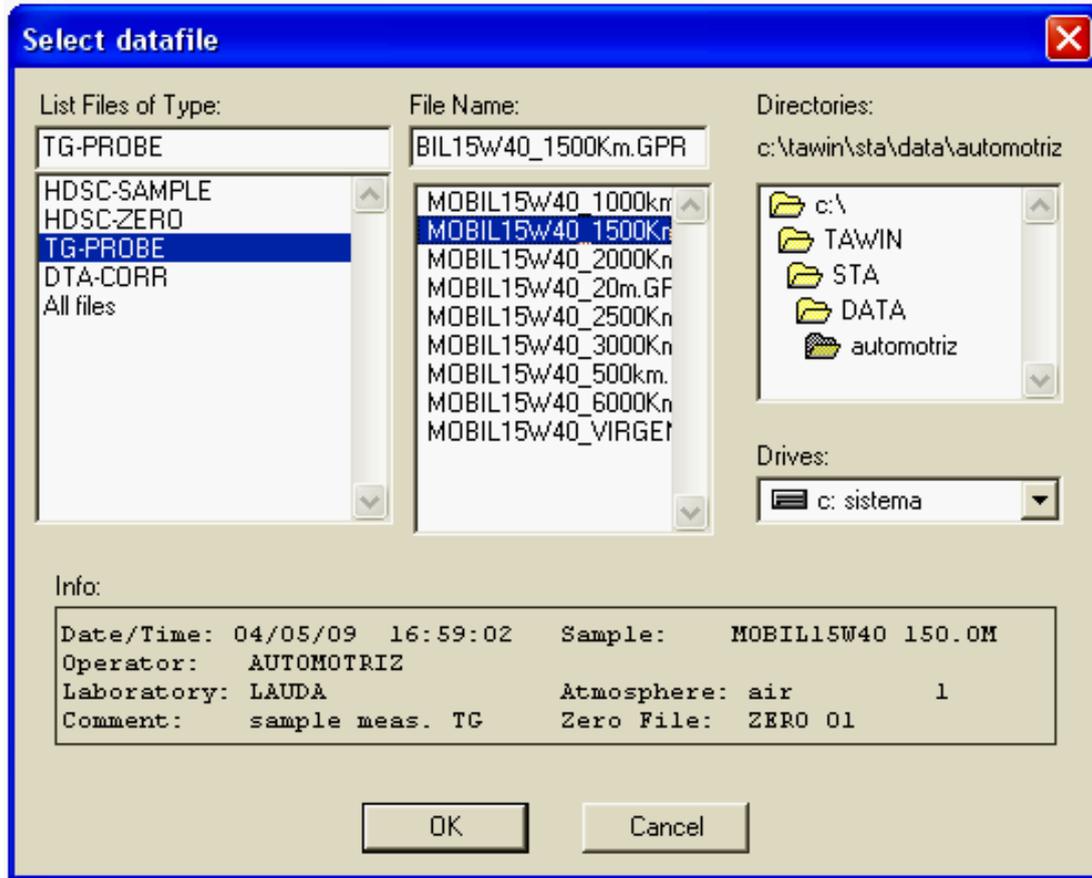


Figura 4.19: Ventana de selección de las curvas dibujadas por la termobalanza.

En las siguientes ventanas dar clic en OK.

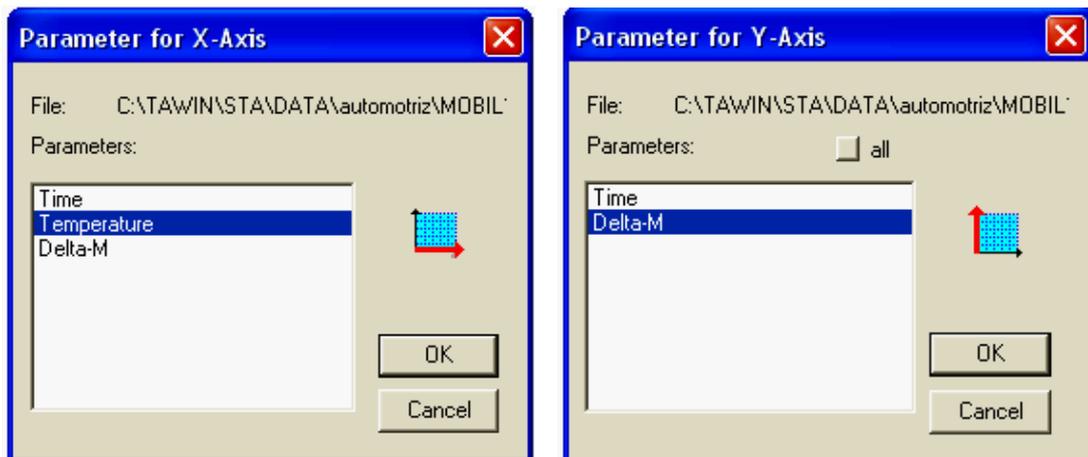


Figura 4.20: Parámetros de la curva.

Se Abrió la ventana con la curva de la variación del peso con respecto a la temperatura.

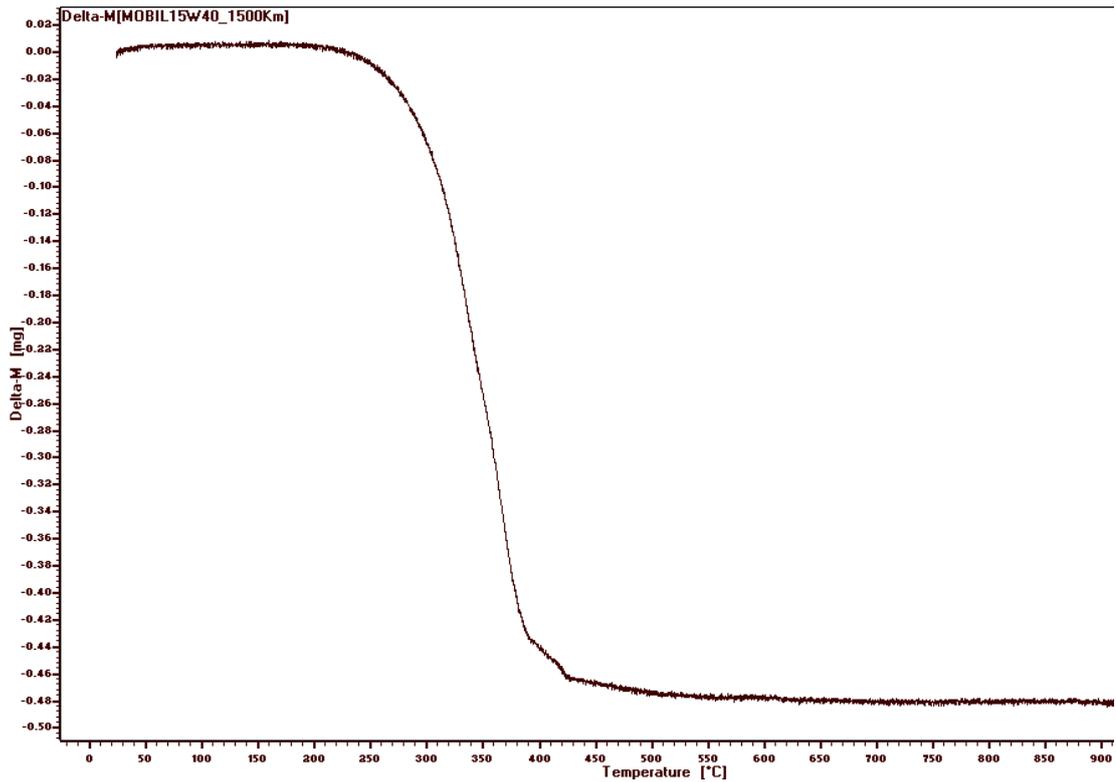


Figura 4.21: Curva Temperatura-masa.

Luego en la misma ventana, dar un *click* en *ASCII-Export*.



Figura 4.22: Ingreso a ASCII-Export.

Buscar la carpeta donde se encuentren los archivos y abrirlos (C:\tawin\sta\data\automotriz).

Seleccionar en orden los archivos (teniendo cuidado con la dirección) *MOBIL15W40_XXXXKm.GPR*. y dar *click* en abrir.

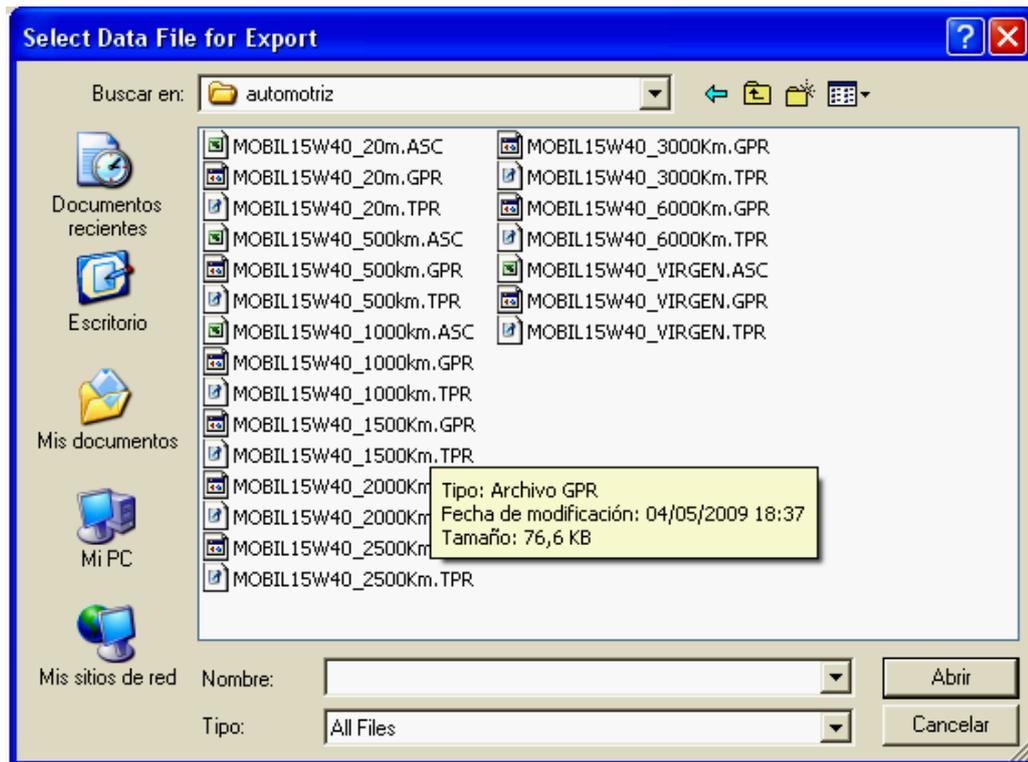


Figura 4.23: Selección de archivo.

Se abrirá la ventana *Data Export ASCII*, seleccionar *ANSI Format* y dar clic en *OK*.

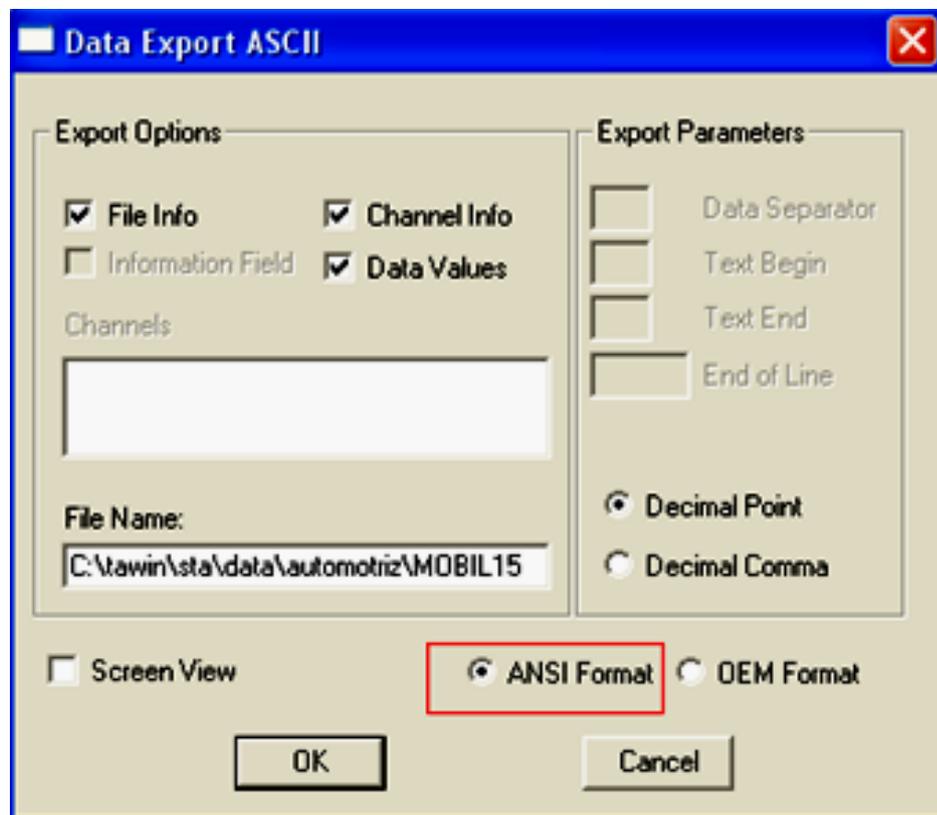


Figura 4.24: Cambio a formato Ansi de la curva termográfica.

Finalmente estos resultados se podrán leer por Excel almacenándolos para su posterior suavización y análisis.

Los datos de la termobalanza transformados a formato ANSI se suavizan mediante el programa MATLAB, el cual ayudará a extraer los límites de la curva y sus valores con gran precisión. Para lo cual primero abrir el programa matlab.exe. Luego ingresar a *Desktop\Editor*.

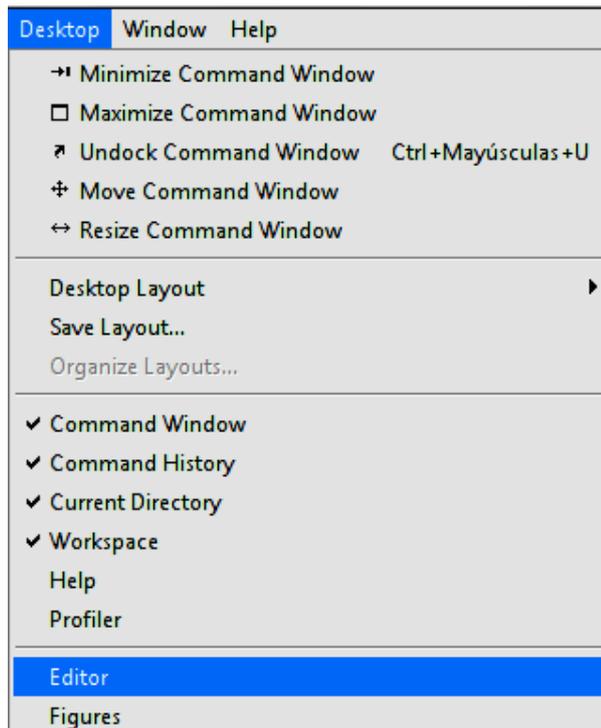


Figura 4.25: Ingreso a Editor.

En la ventana *Editor* dar un *click* en el icono *New M-File*, una vez abierto el editor se procede a elaborar el programa, el cual se llamará: PROGRAMA ELABORACION DATOS TERMOGRAVIMETRICOS. Y debajo de este título se escriben las variables y el comando utilizado.

```

1      % PROGRAMA ELABORACIÓN DATOS TERMOGRAVIMETRICOS
2
3 -    xx=[];
4 -    yy=[];
5 -    cftool
  
```

Figura 4.26: Desarrollo del programa de elaboración de datos termogravimétricos.

Una vez terminado este programa se procede a extraer los datos de la termobalanza transformados a formato ANSI, estos datos son pegados en el editor de *matlab*; en la variable “xx=[]”, entre los corchetes, y la columna de la derecha en la variable “yy=[]”, después de esto los datos son guardados.

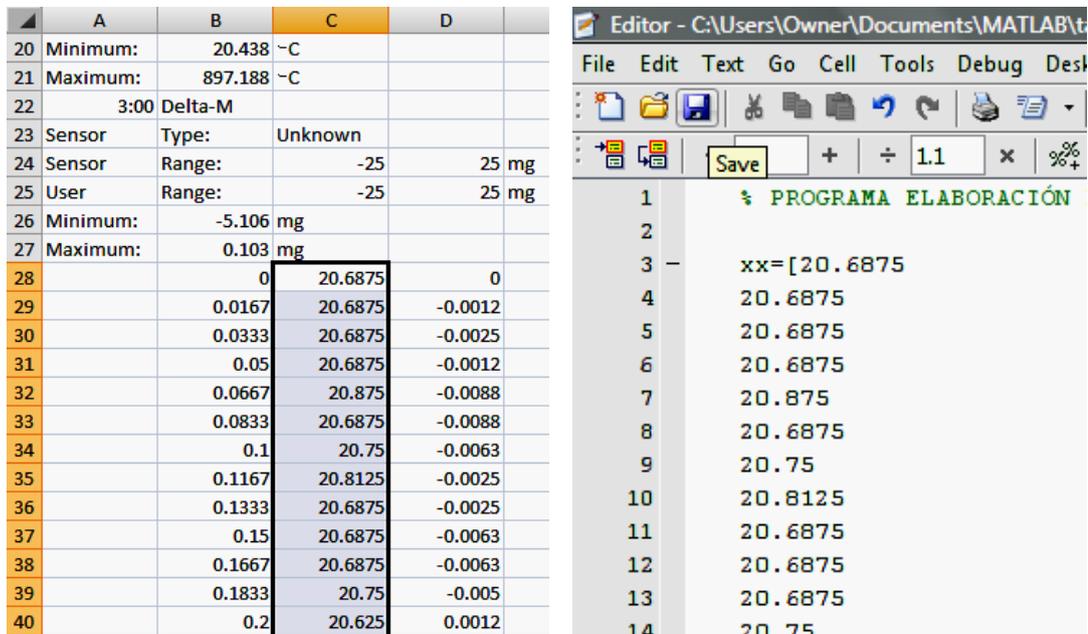


Figura 4.27: Copiado de los datos en matlab.

NOTA: algunas de las curvas realizadas en la termobalanza son dibujadas en ascenso y descenso de temperatura, pero los datos que necesitamos son solo los de ascenso, es por esto que se produce un exceso de datos y la curva final general se ve afectada; para remediar esto solo se copian los datos de ascenso de temperatura; en este caso se copiaron los datos hasta llegar a 999°C.

Una vez grabados los cambios se procede a ejecutar el programa editado desde *Command Windows*; este programa fue llamado “ta”, escribir el nombre del programa editado y oprimir *enter*, tal como se muestra en la figura.

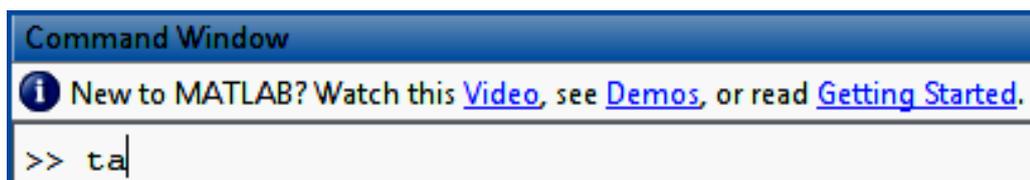


Figura 4.28: Ejecución del programa elaboración de datos termogravimétricos en *command Windows*.

Al oprimir *enter* se abrirá una ventana llamada *Curve Fitting Tool*, en la cual se va suavizar la curva original termogravimétrica, dentro de esta ventana primero dar *click* en *Data....*

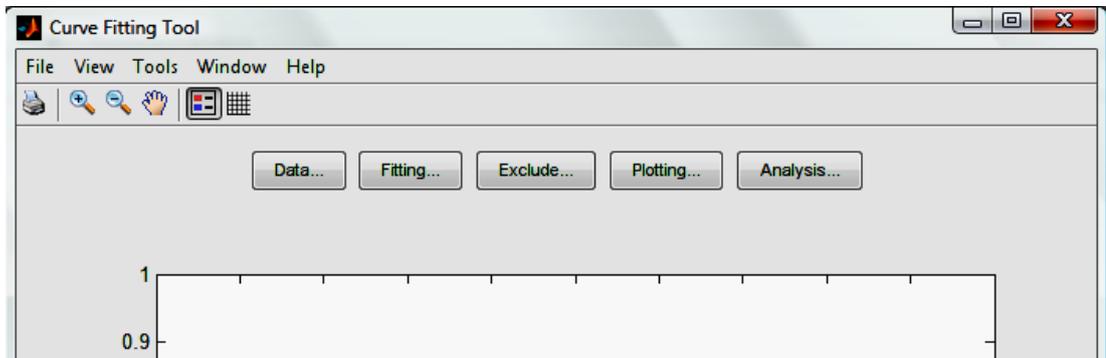


Figura 4.29: Ventana *Curve Fitting Tool* de *MATLAB*.

Al abrir *Data* aparecerá una nueva ventana del mismo nombre, una vez ubicados en la ventana *data*, por defecto se presenta una pestaña llamada *Data Sets*, en la que se pedirá ingresar las variables a analizar; en la parte “*X Data:*” seleccionar las variables “*xx*”, ingresadas en el programa del editor de *Matlab*.

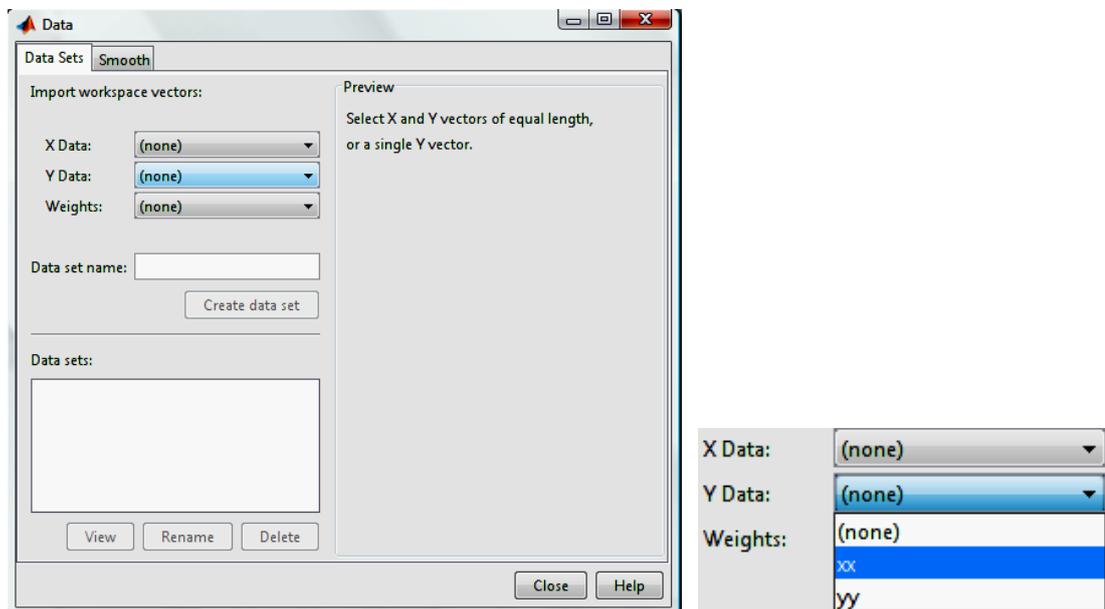


Figura 4.30: Ventana *Data* y Selección de las variables (*xx*).

En la parte derecha de la ventana se verá una vista previa de la curva que se dibujará con las variables ingresadas.

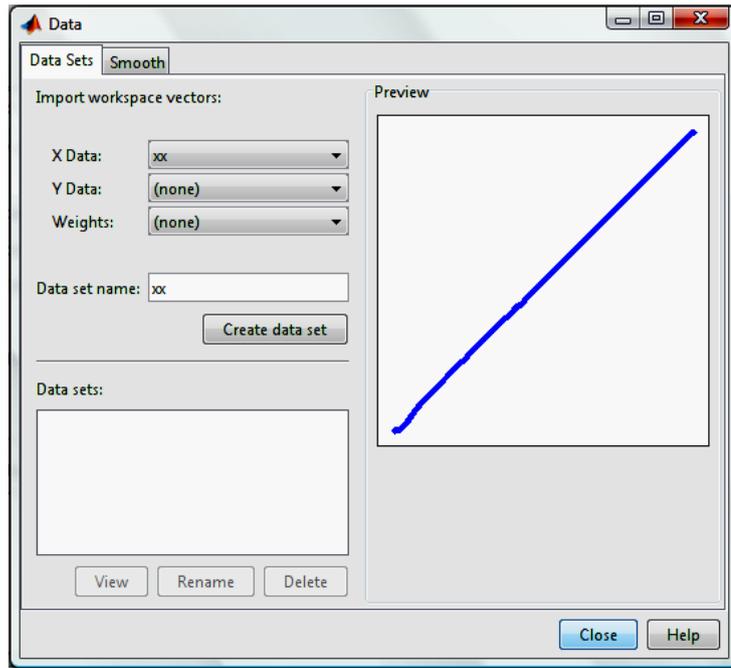


Figura 4.31: Vista de la curva.

Seguidamente se va a ingresar los datos en “Y Data:”, estas serán las variables de “yy”, luego se verá una vista previa de la curva dibujada al a derecha de la ventana, una vez ingresadas las variables dar *clik* en *Create data set*.

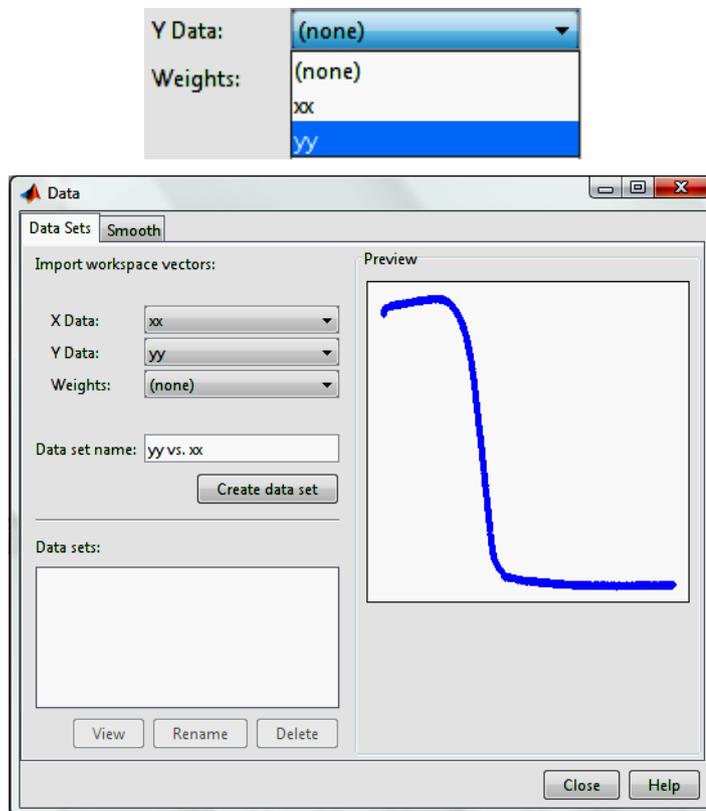


Figura 4.32: Selección de variables (yy) y vista de la curva completa.

Después de ingresados los datos, se pasa a la pestaña *Smooth* (suavizar), dentro de esta cambiar el método (*Method:*) a *Savitzky-Golay*.

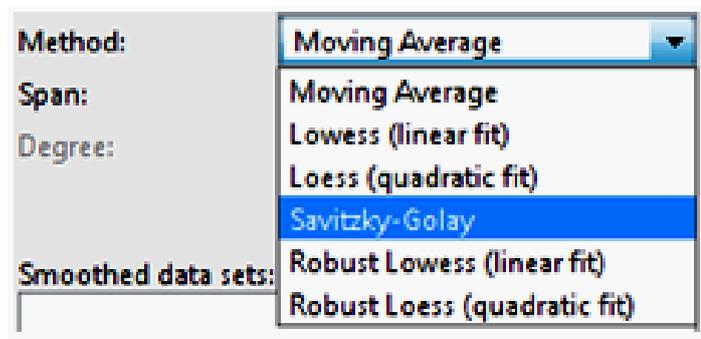
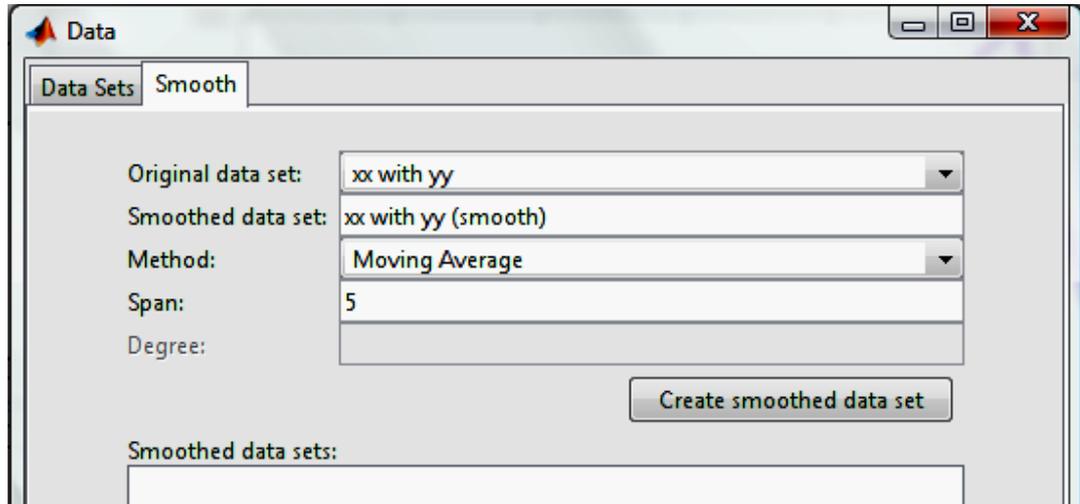


Figura 4.33: Ingreso a *Smooth* y Selección del método *Savitzky-Golay*.

Seleccionado el método dar clic en *Create smoothed data set*, hecho esto se verá en la parte inferior de la ventana un aviso que indica que la curva suavizada está ubicada; como se puede ver en la figura (*xx with yy (smooth)*).



Figura 4.34: Creación de la curva suavizada.

Después cambiar de ventana, a *Curve Fitting Tool*, en la cual se verá la curva dibujada.

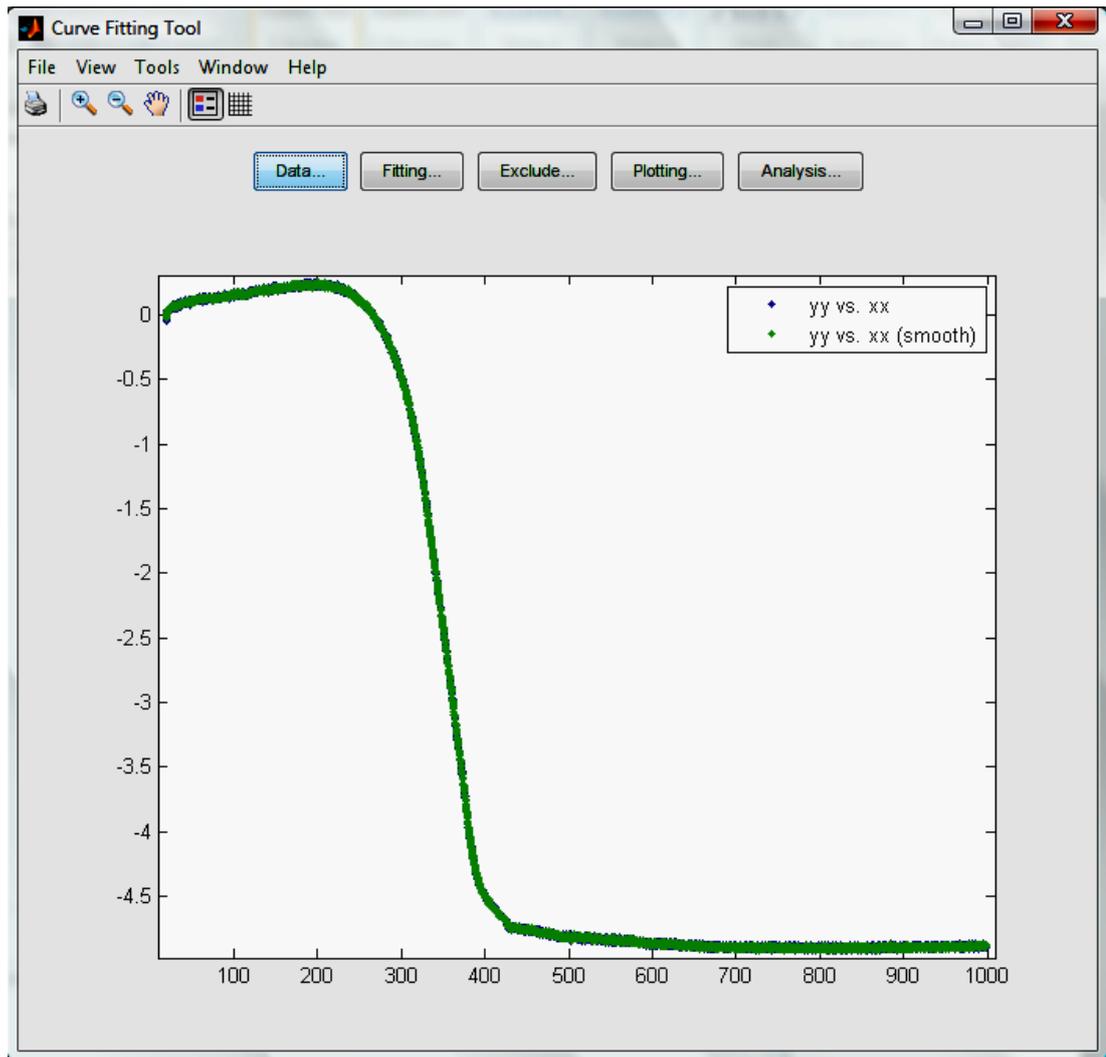


Figura 4.35: Ventana Curve Fitting Tool y curva suavizada con Savitzky-Golay.

Después ingresar a *fitting...*, luego dar clic en *New fit*.

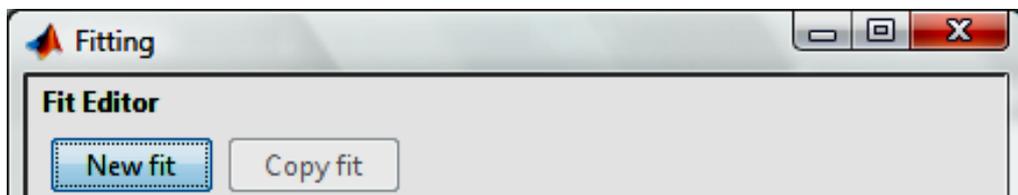


Figura 4.36: Ventana fitting de matlab.

El programa escoge las variables ingresadas en *Data set*, luego en *Type of Fit* elegir la opción *Smooth Spline*.

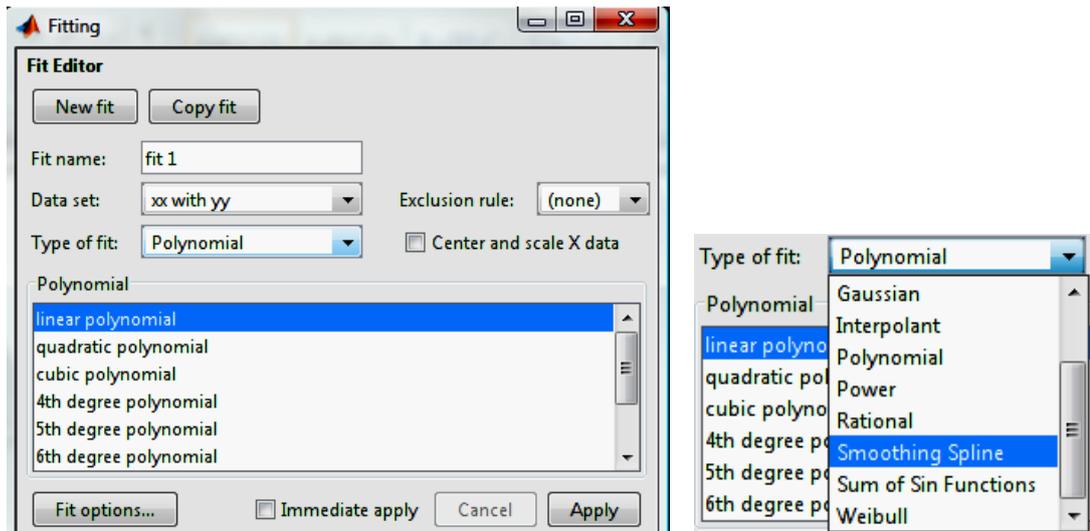


Figura 4.37: Ventana Fitting y selección de la opción Smooth Spline.

Finalizar dando *click* en *Apply*. Luego se creará una nueva curva suavizada en color azul; como se muestra en la figura.

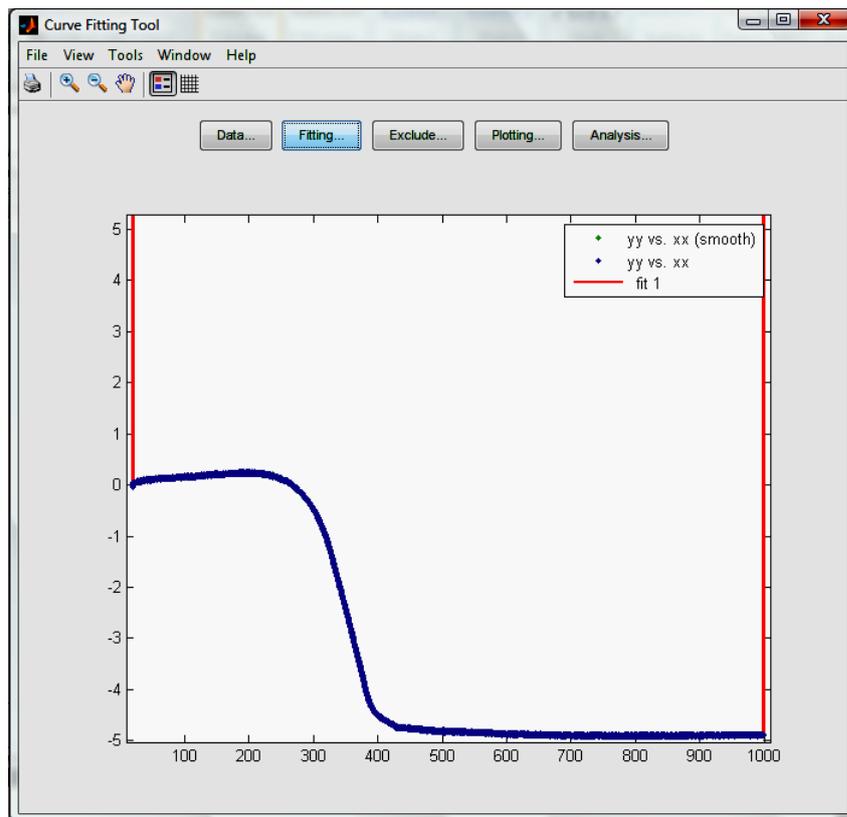


Figura 4.38: Curva suavizada mediante Smooth Spline.

Seguidamente ingresar en *Plotting...*, en esta ventana quitar los vistos de “xx with yy” y “xx with yy (smooth)”

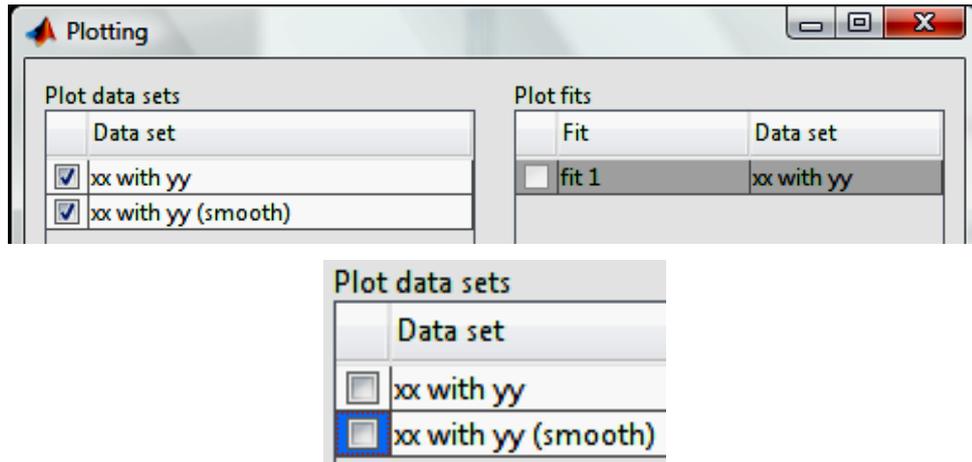


Figura 4.39: Ventana Plotting.

Quedando presentada la curva suavizada que va a servir.

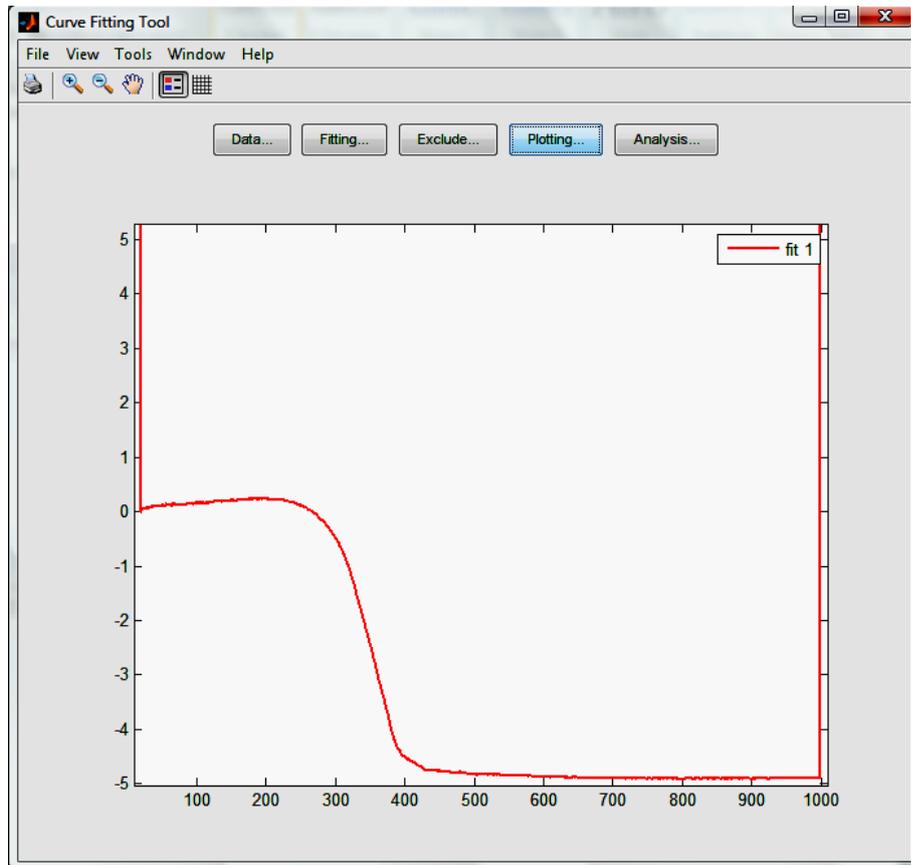


Figura 4.40: Curva suavizada.

Por último ingresar a *Analysis...*, se abrirá una ventana llamada con el mismo nombre, dentro de esta ventana se escogerá la primera derivada a X_i (*1st derivative at X_i*).

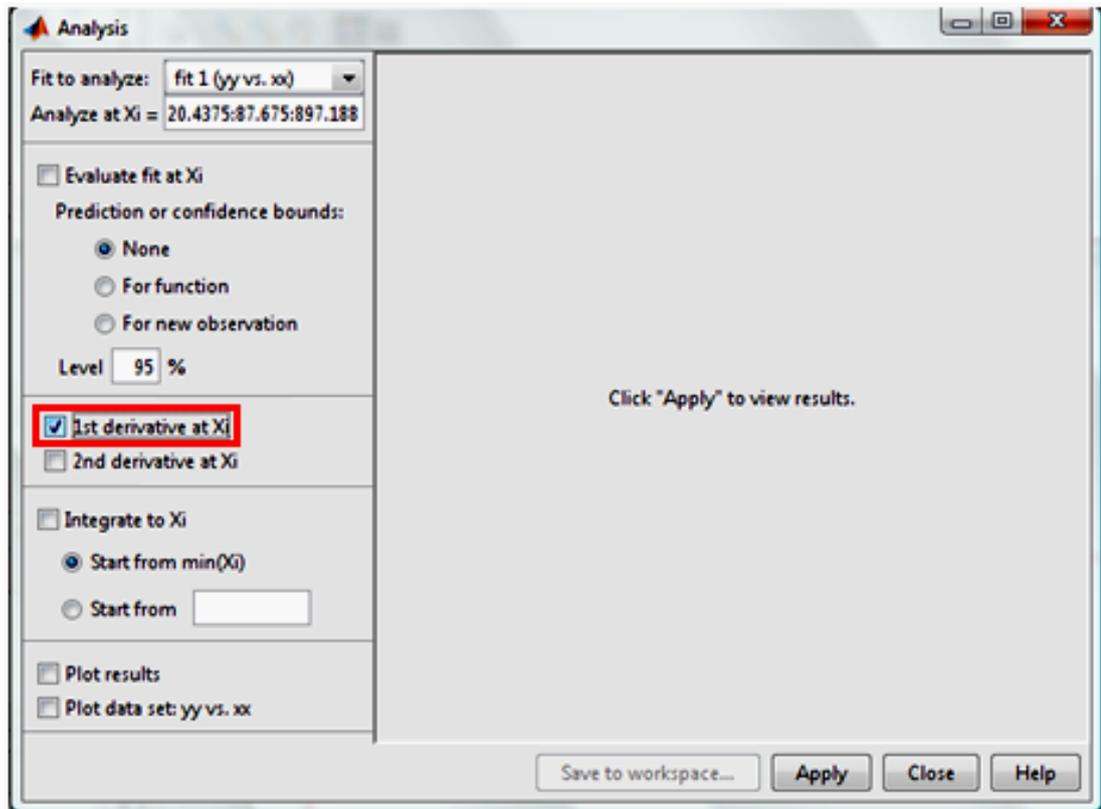


Figura 4.41: Ventana Analysis.

Luego de esto damos *clik* en *Apply*, después grabar los datos de las derivadas realizadas, dando *clik* en *Save to workspace*, Al hacer esto se habrá una ventana de aviso en la cual se puede cambiar el nombre del archivo a guardar; pero usó el nombre predeterminado; por ultimo dar *clik* en *OK*.

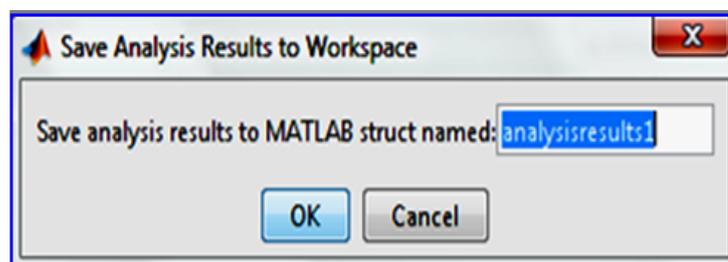


Figura 4.42: Guardado de datos de las derivadas.

Ahora la gráfica se puede apreciar casi terminada en la ventana *Curve Fitting Tool*.

Luego dar *clik* en *Grid On/Off*, quedando de la siguiente manera.

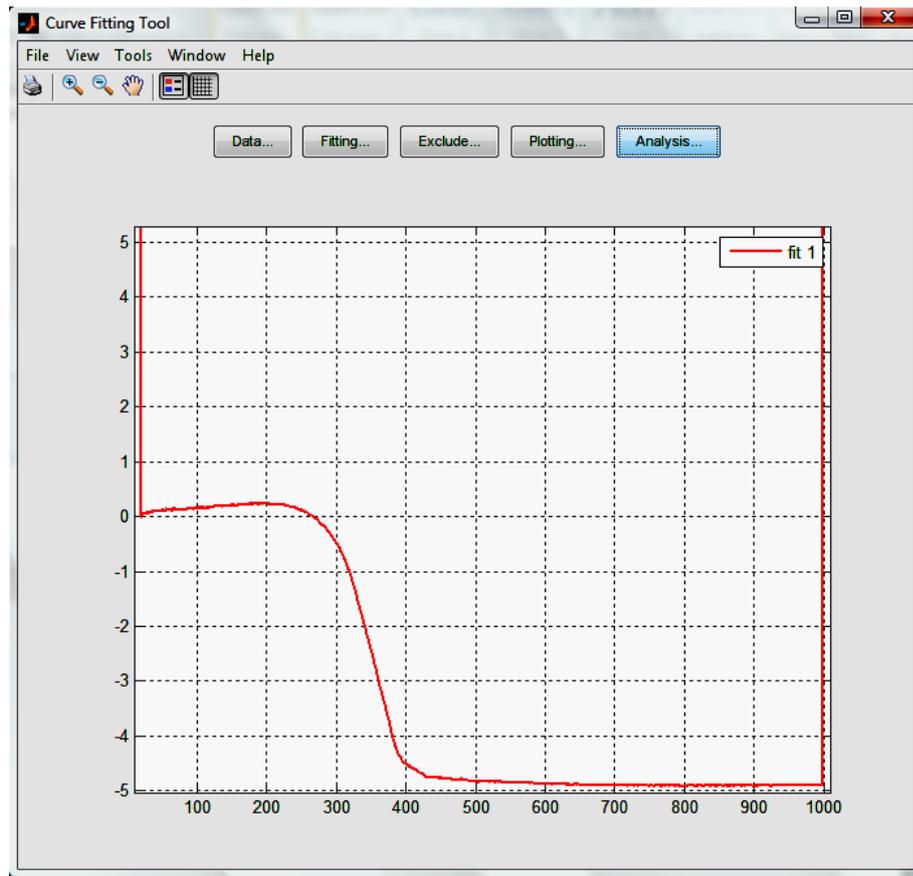


Figura 4.43: Grillado del dibujo.

Ajustar los límites de la gráfica para que quede centrada y sea más fácil de apreciar, dar clic en *Axis Limit Control* la cual se encuentra dentro del menú en la opción *Tool*; tal como se muestra en la siguiente figura.

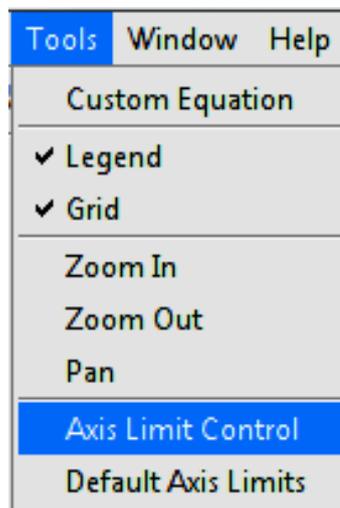


Figura 4.44: Ingreso a *Axis Limit Control*.

Al hacer esto en la ventana *Curve Fitting Tool* aparecerán cuatro pequeñas ventanas, en las cuales ingresar los valores de los límites para que la curva se vea centrada, en este caso los límites ingresados fueron los siguientes:

- Y Upper Limit = 0.3.
- Y Lower Limit = -5.
- X Lower Limit = 25.
- X Upper Limit = 950.

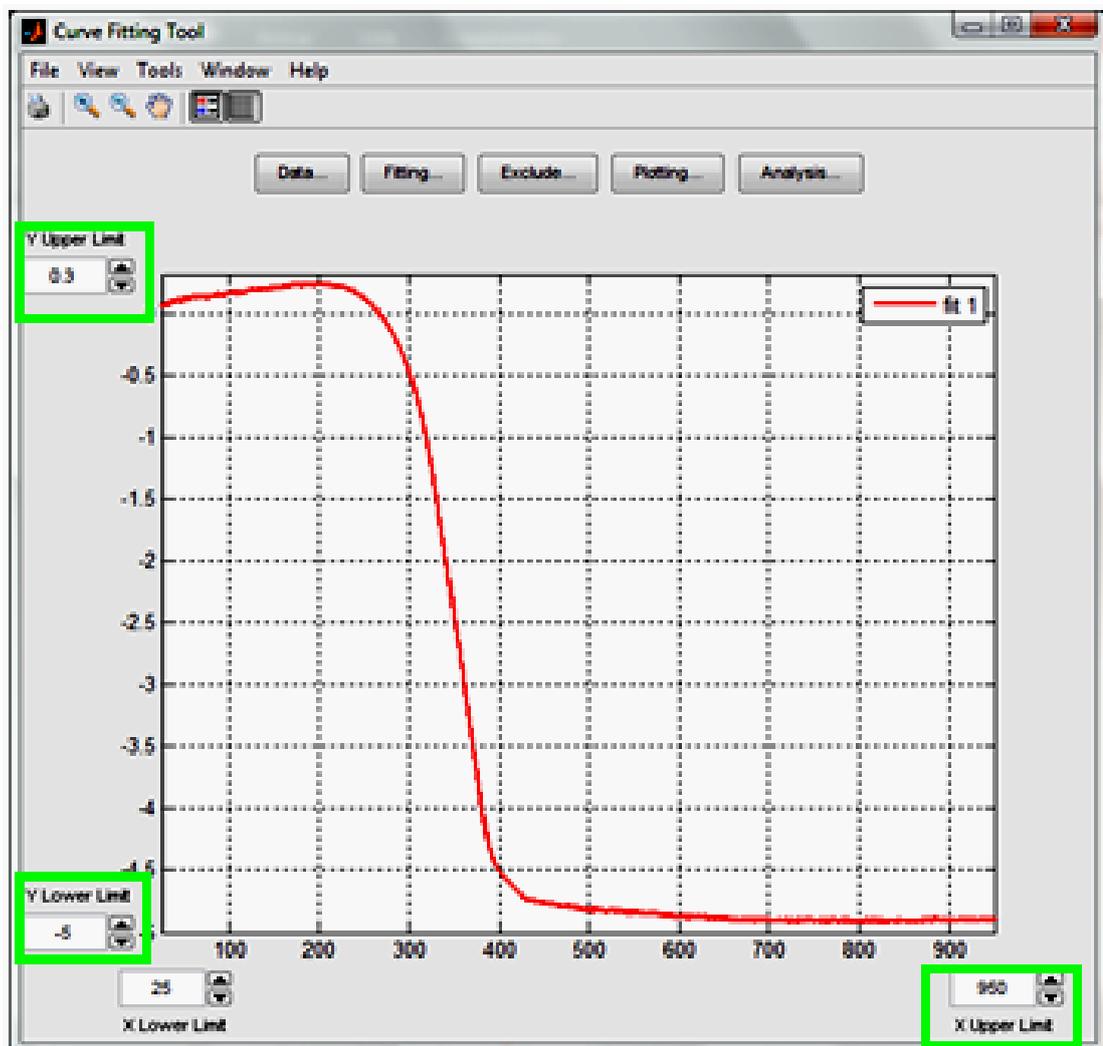


Figura 4.45: Delimitación de la curva.

Una vez ubicados los límites buscar en el submenú de *File*, la opción *Print to Figure*.

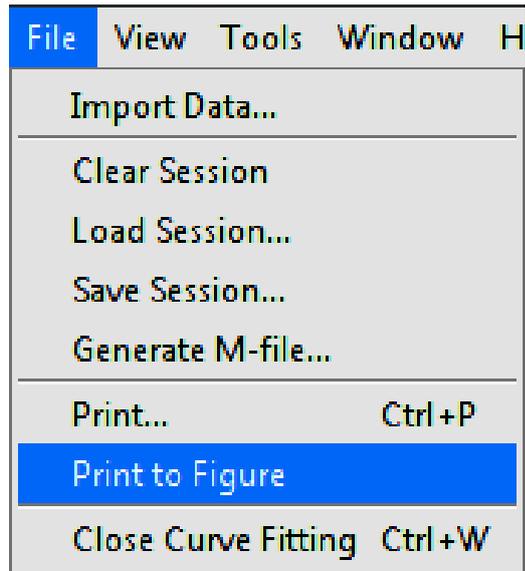


Figura 4.46: Ingreso a Print to Figure.

Esto abrirá una ventana con la curva finalizada, luego en la barra de menú buscar *Insert* y escoger la opción *X Label*; Ingresando aquí el nombre de los datos del eje “X”, de la misma manera ingresar el nombre de los datos del eje “Y”.



Figura 4.47: Ingreso de los nombres de los ejes.

Ingresar el título general de la gráfica.

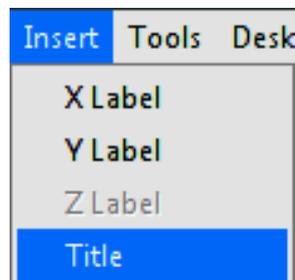


Figura 4.48: Ingreso del título de la gráfica.

La gráfica quedará como se muestra en la siguiente figura.

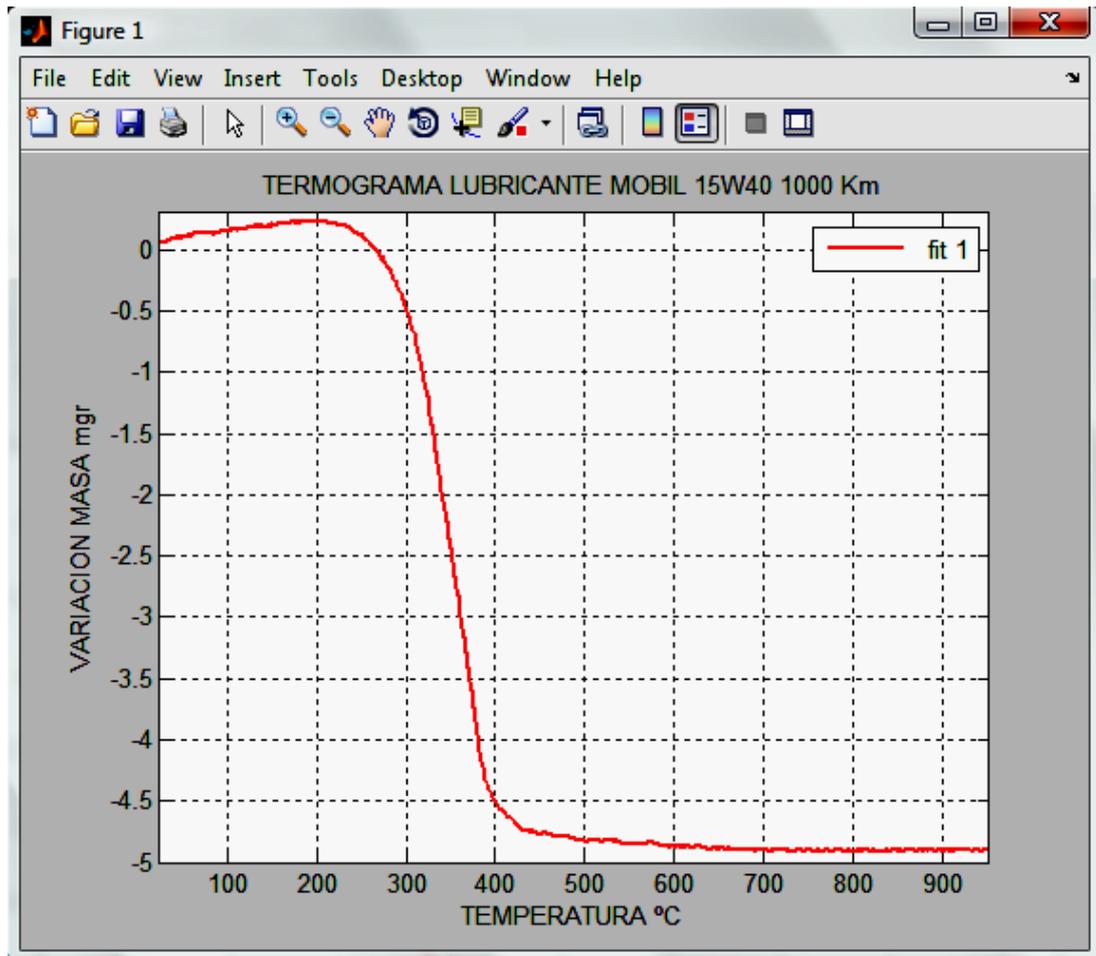


Figura 4.49: Curva Final suavizada.

Por último copiar los valores de las derivadas calculadas, que se encontrarán dentro de la ventana *workspace* en la opción *analysisresults1*.

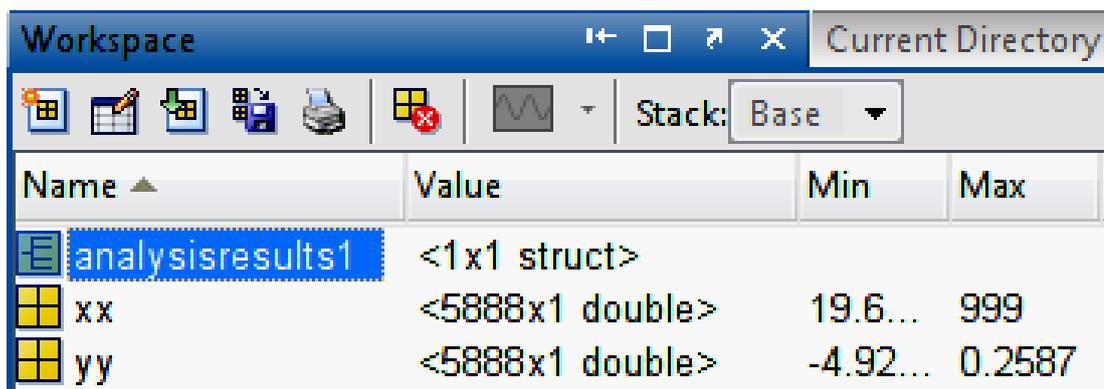


Figura 4.50: Ingreso a *analysisresults1*.

Una vez dentro de *analysisresults1* buscar la opción *dydx*, dentro de la cual están los valores de las primeras derivadas.

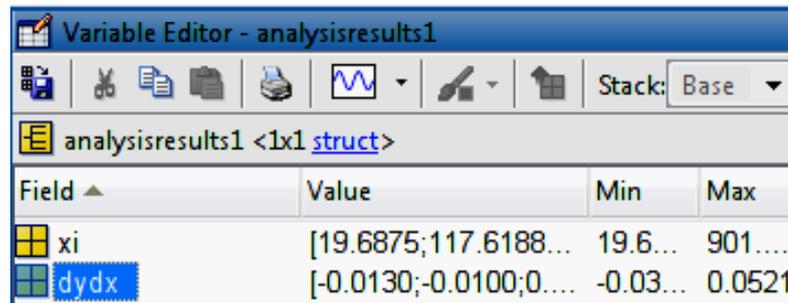


Figura 4.51: Ingreso a dydx.

Copiar los valores de las derivadas las cuales después serán pegadas en una hoja de Excel con el nombre *ELABORACIÓN DE TODO*.

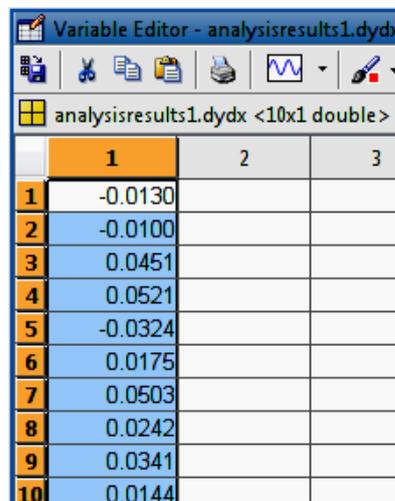


Figura 4.52: Copiado de datos de las primeras derivadas.

4.2. Procesamiento de datos mediante la utilización del programa SCAN

Abrir el programa *malab.exe* y dentro de *Command Window* digitar lo que se muestra en la siguiente figura “`xx=[];`”

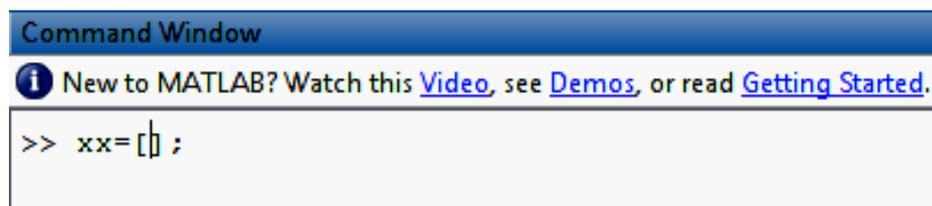


Figura 4.53: Command Window de MATLAB.

Entre los corchetes copiar los datos del archivo EXCEL “ELABORACIÓN DE TODO”, en donde se englobarán todos los resultados, Una vez copiados los valores dentro de *Comand Window*, realizar la traspuesta de la matriz “xx”.

```
>> X=xx';
>>
```

Una vez hecho esto en el *Workspace* aparecerán las variables “X” y “xx”, dar clic en “X”, esto abrirá una ventana llamada *Variable Editor-X*. Seleccionar todos los datos y luego copiarlos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	99	100	1	2	3	4	5	6	7	8	
2	1	1	-9.1514e-04	-2.3178e-04	0.0020	0.0026	0.0049	-0.0130	-0.0337	-0.0463	-0.0
3	1	2	-0.0011	7.0278e-04	0.0038	-0.0104	0.0011	-0.0041	-0.0267	-0.0232	-0.0
4	1	3	-0.0011	7.0278e-04	0.0038	-0.0104	0.0011	-0.0041	-0.0267	-0.0232	-0.0
5	1	4	-0.2654	-0.0034	0.0012	2.9667e-04	-0.0030	-0.0028	-0.0220	-0.0456	-0.0
6	1	5	-0.0084	-0.0012	-0.0022	0.0073	0.0068	-0.0094	-0.0073	-0.0042	0.0
7	1	6	0.0046	0.0027	0.0013	-2.4729e-04	-5.9937e-04	7.1810e-04	-0.0037	-0.0023	0.0
8	1	7	-0.0214	0.0103	0.0010	0.0725	-0.0302	0.0179	-0.0888	-0.0085	-0.0
9	1	8	0.0129	0.0818	-0.0258	0.0700	0.0469	0.0259	-0.0873	0.0281	-0.0
10	1	9	-0.0948	-0.0271	0.0315	0.0514	0.0154	0.0629	-0.0015	-0.0792	-0.0
11	1	10	0.0646	0.0200	0.0047	0.0221	0.0287	0.0169	0.0115	-0.0304	0.0
12	2	11	-9.1514e-04	-2.3178e-04	0.0020	0.0026	0.0049	-0.0130	-0.0337	-0.0463	-0.0
13	2	12	-0.0048	0.0203	0.0550	0.0389	-0.0604	0.0213	-0.0795	-0.0302	-0.0
14	2	13	0.0329	0.0893	-0.1227	0.0429	0.0528	-0.0567	0.0099	-0.0455	-0.0
15	2	14	0.0564	-0.0248	-0.0416	-0.0214	-0.0848	0.0228	-0.0836	-0.0723	-0.0
16	2	15	0.0632	-0.0115	0.0230	-0.0365	0.0095	-0.0369	-0.0600	-0.0522	-0.0
17	2	16	-0.0274	0.0272	-0.0120	-0.1055	0.0248	0.0276	-0.0342	-0.1811	-0.0
18	2	17	0.0160	-0.0096	0.0199	0.0228	-0.0072	-0.0644	-0.0387	0.0177	-0.0
19	2	18	-0.0105	0.0470	-0.0246	-0.0042	0.0045	-0.0344	0.0061	-0.0433	-0.0

Figura 4.54: Traspuesta de los datos del archivo *Elaboracion todo*.

Abrir el programa SCAN; y pegar los datos copiados de *MATLAB*. Una vez hecho esto, nombrar a las columnas C01 y C02, como *CLASE* y *MUESTRA* respectivamente, después al final de todos los datos, llenar una nueva columna llamada *TIEMPO*, dentro de esta columna colocar los números del 1 al 17.

Luego ir al menú y dentro de *Explore* escoger la opción *Principal Component by NIPALS...*

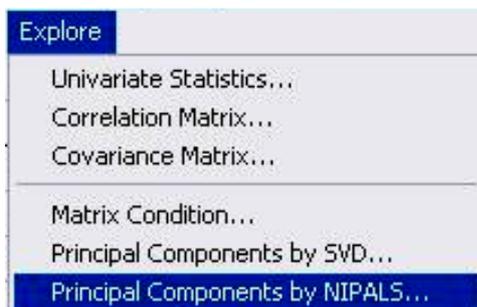


Figura 4.55: Ingreso a *Component by NIPALS*.

Esto hará que se abra una nueva ventana con el mismo nombre, dentro de esta ventana dar clic en *Options...*

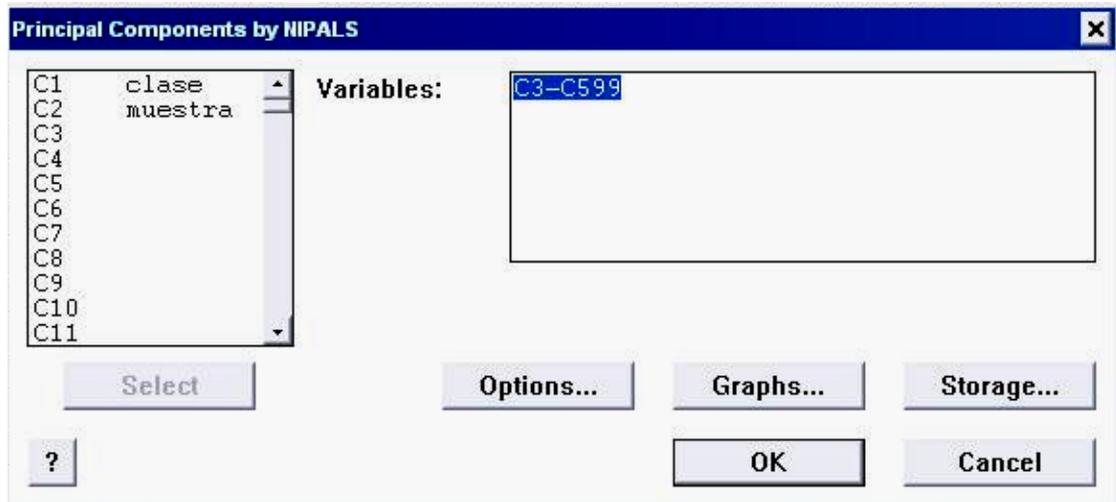


Figura 4.56: Ventana Principal Component by NIPALS.

Abriéndose otra ventana en la cual se buscará la opción *Number of Component* y en *Only*, digitar el número 4.

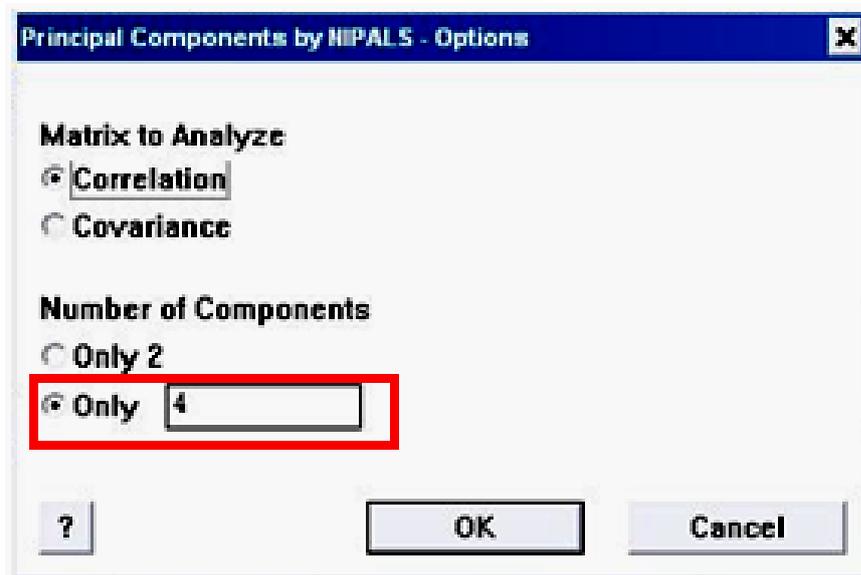


Figura 4.57: Ventana Principal Component by NIPALS - Options.

Después dar clic en la *opción Storage*, esto abrirá otra ventana dentro de la cual se buscará las opciones *Scores for* y *loadings for*, dentro de las cuales se digitará el número 4 (*components*), después dar clic en OK.

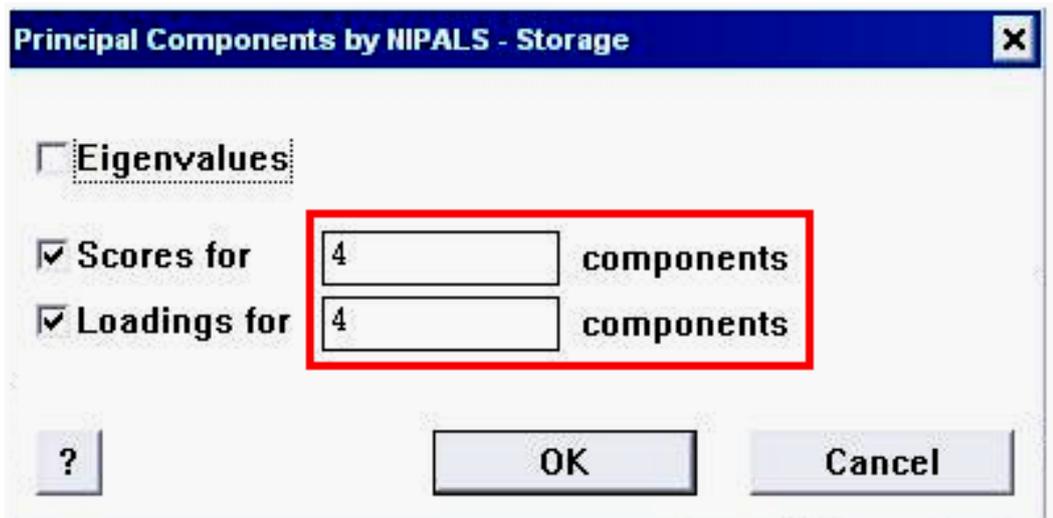


Figura 4.58: Ventana Principal Component by NIPALS - Storage.

Luego en la ventana *Principal Component by NIPALS*, dar clic en *Graph*, dentro de la cual se escogerá la opción *Eigenvalue profile plot* y clic en *OK*.

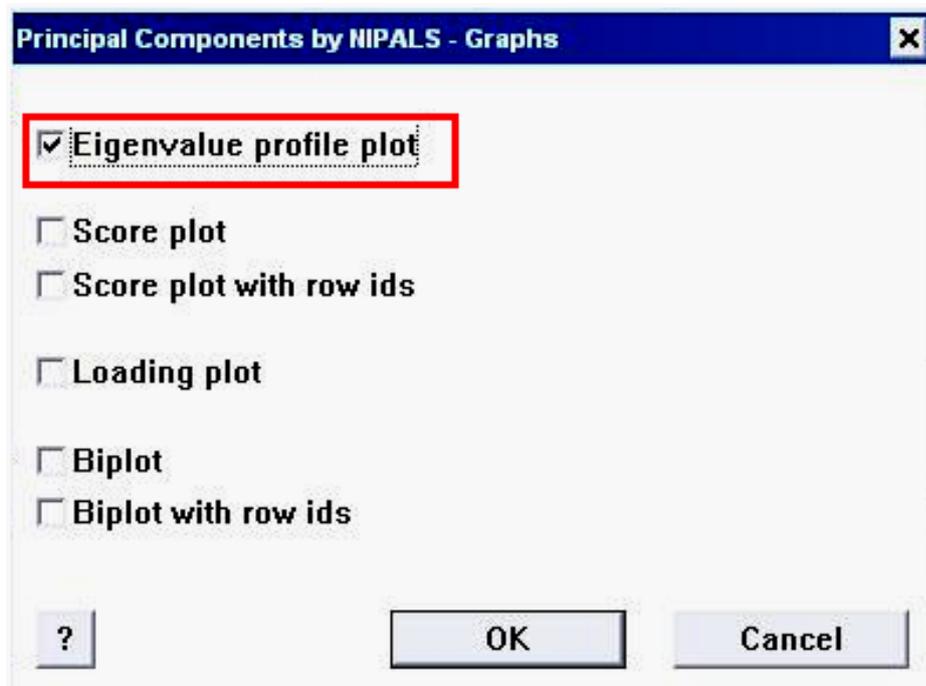


Figura 4.59: Ventana Principal Component by NIPALS - Graph.

Una vez hecho esto, se abrirá otra ventana en la que se muestra un gráfico llamado *NIPALS Eigenvalue (Scree) Plot*.

NIPALS Eigenvalue (Scree) Plot

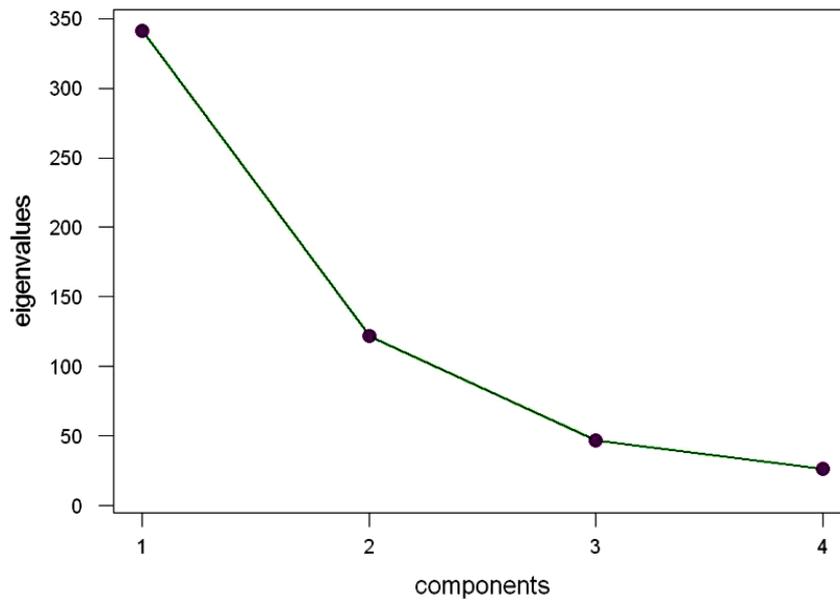


Figura 4.60: Gráfico NIPALS Eigenvalue (Scree) Plot.

C601	C602	C603	C604	C605	C606	C607	C608
PcaSco1	PcaSco2	PcaSco3	PcaSco4	PcaLoa1	PcaLoa2	PcaLoa3	PcaLoa4
5.0010	18.8943	-5.4785	-4.7899	0.0204831	0.0157264	0.010657	0.041366
-20.6465	-6.2620	-0.7903	0.6101	0.0085089	0.0141332	-0.027720	0.080037
-20.4999	-5.3003	0.4014	1.9044	0.0013514	-0.0197445	0.035676	-0.010463
-22.0312	-5.2035	-1.2399	1.0684	-0.0226134	0.0307582	0.025386	0.001010
-20.1694	-6.4493	0.6721	-1.6988	0.0090440	-0.0081089	0.014327	0.034290
-21.5721	-2.9212	-0.3044	3.0368	-0.0205583	-0.0140859	0.058745	-0.042897
-22.9224	-3.1827	-1.7953	2.1751	-0.0118585	0.0310292	0.021885	-0.030784
-26.3452	5.1859	-3.1690	6.4537	-0.0133103	0.0055368	-0.004806	0.086083
-13.6617	-6.0587	13.3674	-15.2172	-0.0333219	0.0438818	0.037030	0.032522
14.5031	11.5162	21.5906	10.1141	-0.0215405	0.0024158	-0.025672	-0.061990
5.0010	18.8943	-5.4785	-4.7899	0.0016379	0.0247006	0.006293	0.014185
11.5050	5.5665	-0.8503	-1.8314	0.0041526	0.0039429	-0.054155	-0.060680
10.0665	10.2824	-2.4450	-3.4401	-0.0194286	-0.0150496	-0.034313	-0.013595
21.0715	-14.1540	-1.6762	-0.1895	0.0096649	-0.0057668	-0.000273	-0.006704
20.0834	-12.1933	-4.6552	-1.1289	-0.0107024	0.0156517	0.045015	0.001182
20.5032	-9.3370	-0.2621	-2.3987	-0.0226113	0.0149896	0.014806	-0.111660
13.0316	10.6135	5.2504	-1.0485	0.0161965	-0.0266414	0.008054	0.031563
4.0235	15.7032	-7.8453	4.3641	-0.0022956	0.0046194	0.035536	0.023883
23.5151	-13.8612	1.6056	3.5924	-0.0244702	0.0367771	0.044820	-0.014697
19.5436	-11.7333	-6.8975	3.2137	0.0129698	0.0017390	-0.025320	-0.080426
				-0.0028192	0.0180186	0.010709	0.022543
				-0.0189222	-0.0071728	-0.012009	0.017184
				-0.0335811	-0.0169118	0.012946	0.009400
				-0.0123065	0.0006551	0.008774	0.062166

Figura 4.61: Columnas de variables reducidas del programa SCAN.

Este procedimiento servirá para proyectar todos los resultados de 500 variables a un espacio nuevo de solo 4 variables; con estas cuatro variables se tendrá un 84% de la información total, luego en la página principal del programa, se podrá ver las nuevas columnas de variables resumidas. Las columnas *PcaLoa1*, *PcaLoa2* y *PcaLoa3* se copiarán en *Excel* para realizar las gráficas del resumen general de todos los datos obtenidos en la tesina y su respectivo análisis.

4.3. Análisis de resultados

Producto de la preparación y suavización de datos, anteriormente realizados, a continuación se hará el análisis de los resultados con respecto a desgaste, degradación y contaminación de las muestras.

4.3.1. Análisis del desgaste

El análisis del desgaste mediante el conteo de partículas en ppm (partes por millón) indicará, que si los niveles medidos exceden los valores normales, habrá una alerta de desgaste en las piezas móviles del motor.

4.3.1.1. Espectrometría y Espectrofotometría

Como se puede observar en los análisis de desgaste, los resultados del conteo de partículas los dividimos en dos categorías: metales propios del desgaste (tabla: 4.19) y los elementos de aditivación (tabla: 4.24).

Nº	Ppm (Cu)	Ppm (Fe)	Ppm (Pb)	Ppm (Al)	Ppm (Na)
virgen	1,2	0	2,63	0,15	0
20 min sc	0,82	0	0,24	0,13	0,05
500 km sc	0,55	0	0	0,20	0,23
1000 km sc	0,86	4,29	0,54	0,50	2,55
1500 km sc	0,55	0	0	0,08	0
2000 km sc	0,55	0	0	0,24	0,65
2500 km sc	0,4	8,65	0	0,31	0,94
3000 km sc	0,52	0	0	0,46	0,47
7500 km sc	0,89	0	0	0,27	0,9
20 min cc	1,08	2,52	0,54	0,23	0
500 km cc	0,93	0	0	0,08	0
1000 km cc	1,16	0	0	0,11	0
1500 km cc	1,2	0	0	0,14	0
2000 km cc	1,12	0	0	0,14	0
2500 km cc	0,97	0	0	0,15	0
3000 km cc	1,05	0	0	0,25	0
6000 km cc	1,13	0	0	0,19	0
7500 km cc	1,61	0	0	0,12	0

Tabla 4.19: Concentración (ppm) de los elementos metálicos.

En el caso de los elementos propios de desgaste (tabla 4.19) se observó que las partículas se encontraron dentro de los límites normales, pudiendo ser comparados con los análisis de Cepsa y con la tabla: 4.21, de *cómo interpretar los valores de un aceite usado (valores aceptables)*.

Con respecto a la comparación entre vehículo cargado y sin carga, en la tabla 4.19 se pudo observar que el motor no tiene fallas de desgaste evidente, ya que no se aprecia una tendencia al incremento y debido a que no es representativo tomar el valor más alto de la tabla se sacó un promedio de los elementos de desgaste en cada experiencia (vehículo sin carga y cargado) obteniendo los siguientes resultados (tabla 4.20).

ppm	SC (sin carga)	CC (con Carga)	Diferencia.
Cu	0.7	1.27	+0.57
Al	0.26	0.17	-0.09
Pb	0.38	0.35	-0.03
Fe	1.44	0.28	-1.16
Na	0.64	0	-0.64

Tabla 4.20: promediado de las ppm de los elementos de desgaste.

Analizando los promedios de partículas, vehículo sin carga y cargado, en el primero se observa un mayor desgaste de los elementos de fricción, que se lubrican mediante escurrimiento y barboteo, debido a que se trabajó a mayores revoluciones, esto generó un aumento de "Fe", el cual se encuentra en piezas de rozamiento tales como: rines, cilindro, válvulas, guías de válvulas.

Para el "Cu" (el cual indica desgaste entre apoyos, cojinetes de biela y de bancada), se puede decir que las elevadas revoluciones generan un efecto contrario, ya que se produce menor conteo en el promedio de partículas, esto es debido a que por las altas revoluciones la bomba de aceite por medio de los conductos de lubricación produce mayor presión mejorando la lubricación de estas superficies disminuyendo su desgaste.

El "Al" es un indicador grave aun cuando su valor sea pequeño, normalmente indica desgaste de cojinetes o rose del faldón de los pistones, mientras que el "Pb" es

producto del desgaste de cojinetes de biela y bancada, no generaron diferencias al comparar los promedios (vehículo cargado y sin carga), por lo que para estos elementos el desgaste del motor fue igual en ambas prácticas.

En el caso del “Na” si bien se encuentra como elemento típico de aditivación para el aceite Mobil 15W-40 (tabla 4.25), en la tabla 4.19, la muestra de aceite virgen no presenta dicho elemento, por lo que seguramente no forma parte del paquete de aditivación del Mobil Delvac MX 15W-40; si se encontrase este elemento en niveles elevados (tabla 4.21), indicaría fuga interna del refrigerante, esto puede hacer que el aceite pierda su fluidez, causando el atascamiento de rines y taponamiento de filtros; en el caso de las muestras de vehículo sin carga se encuentra en niveles bajos mientras que con el vehículo cargado no hay, librando al motor de este inconveniente.

ELEMENTO	Simb.	Valores aceptables (ppm)	Consecuencias
Aluminio	Al	0-10	Desgaste pistones, aros de levas.
Cobre	Cu	0-30	Desgaste apoyos y cojinetes del cigüeñal.
Hierro	Fe	0-100	Desgaste piezas de rozamiento.
Plomo	Pb	0-50(Caterpillar tiene) tablas/vehículo)	Desgaste cojinetes de bancada motor gasoil>=perdida de viscosidad por combustible.
Cromo	Cr	0-10	Desgaste segmentos.
Silicio	Si	0-40	Polvo abrasivo contaminación.
Sodio	Na	0-12	Fuga interna de refrigerante

Tabla 4.21: Cómo interpretar un análisis de aceite usado Fuente: EFTM (Escuela de formación técnica) MOTUL SA., Como interpretar un análisis de aceite usado, <http://www.motul-lubricantes.com/efm/analisis_aceite_usado.pdf>, Francia, 2008.

Causas y efectos de la contaminación y desgaste.	
Si	En valores altos puede desgastar el metal de distintas piezas en operación, debido a su poder abrasivo, aunque en valores bajos se lo encuentra en aditivos anti espuma.
Na	El aumento de este indica fuga de refrigerante, el glicol del refrigerante puede hacer que el aceite pierda su fluidez, causando el atascamiento de rines y taponamiento de filtros.
Si-Cr-Fe	Esta combinación indica entrada de polvo al sistema de inducción, produciendo un posible desgaste de la camisa del cilindro y rines.
Si-Fe-Pb-Al	Esta combinación indica presencia de polvo en la parte interior, con el riesgo de averías del cigüeñal y cojinetes.
Al	Es un indicador grave aun cuando su valor sea pequeño (atención inmediata), producido por el desgaste de cojinetes y rose del faldón de los pistones.
Fe	Proviene de varias fuentes, un aumento en la contaminación por hierro acompañado por pérdida de aceite indica desgaste severo de las camisas del cilindro.

Tabla 4.22: Causas y efectos de la contaminación y desgaste fuente: folleto el aceite lubricante y su motor (Caterpillar).

Metales y aleaciones de los que están compuestos las partes en fricción del motor	
Cojinetes de biela y de bancada	Aleación(Sn-Cu-Al), Chapa de Fe recubierta en su interior por: metal blando con Sn o Pb, Bronce al Cd, Bronce al Cu, Bronce al Al, Bronce al Cu-Ni impregnados de Pb.
Fabricación y acabado de las camisas	Fundición aleada de estructura perlítica con porciones variables de: Ni, Cr, Mo, Cu.
Pistón	Al-Si con ligeros contenidos de: Cu, Ni, Mg.
Rines	Fundición de Fe aleada con: Si, Ni y Mn.
Cigüeñal	Acero al carbono con componentes variables de Cr, Ni, Co y Mo.
Árbol de levas	Fabricados con C-Si-Mn-Cu-Cr-P-S.
Asientos de válvulas	Fundición gris aleada con: Cr-Ni.
Guía de válvulas	Fundición gris al: Cr- V.
Muelles	Acero al carbono, acero al: Si-Mn, Acero al: Cr-V, Acero sueco.
Válvulas de admisión	Se fabrica de un solo metal Acero al: Cr- Si
Válvula de escape	Parte inferior del vástago y el platillo Acero al: Cr-Mg y la parte superior del vástago Acero al: Cr-Si

Tabla 4.23: Metales y aleaciones de los que están compuestos los elementos del motor fuente: tecnología de la automoción 2.2.

No	Ppm (Mg)	Ppm (Ca)	Ppm (Zn)
virgen	114,81	91,25	1249,5
20 min sc	70,97	76,95	0
500 km sc	110,83	56,51	474,76
1000 km sc	105,51	31,98	164,39
1500 km sc	77,61	85,12	0
2000 km sc	105,51	46,29	432,11
2500 km sc	101,53	31,98	981,78
3000 km sc	106,84	38,11	801,71
7500 km sc	100,2	38,11	661,93
20 min cc	101,53	38,11	1038,64
500 km cc	82,92	89,21	0
1000 km cc	78,94	85,12	107,53
1500 km cc	90,9	74,9	365,77
2000 km cc	96,21	78,99	100,42
2500 km cc	96,21	76,95	100,42
3000 km cc	100,2	46,29	583,74
6000 km cc	108,17	48,33	443,96
75000 km cc	100,2	40,16	552,94

Tabla 4.24: Concentración (ppm) de los elementos de aditivación.

En general los elementos de aditivación (tabla 4.24) no son utilizados como parámetros de diagnóstico para el aceite usado; debido a que los paquetes de aditivos varían según el fabricante, y por otra parte el porcentaje de los mismos no es una información que los fabricantes den fácilmente; sin embargo se pudo encontrar un aproximado del paquete de aditivos que componen al lubricante MOBIL multigrado diesel 15W-40 (visto en la tabla: 4.25). Comparando los niveles en ppm del aceite MOBIL Delvac MX 15W-40, (muestra virgen en la tabla 4.24), con los elementos de aditivación del aceite Mobil multigrado 15W-40 (tabla 4.25), se pudo observar que si bien poseen los mismos elementos, a excepción del “Na”, la diferencia radica en el porcentaje, el cual varía según el uso y el clima al que se lo va a someter, siendo esto formulado por los fabricantes.

Aceite	Na	Ca (detergencia y antidesgaste)	Zn (detergencia + dispersante)	Mg (detergencia + dispersante)	P (antidesgaste)	Ba	Bo
Mobil multigrado Diesel 15W-40	9.8	3667	1231	355	1084	1.4	152

Tabla 4.25: Concentraciones medias en elementos típicos de aditivación. Fuente: *TORMOS, B. Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado.*

España. Editorial Reverté. 1998

Para culminar, en la figura: 4.62 “análisis resumido globalizado”, donde se agrupan todos los resultados de los análisis realizados con respecto al kilometraje, la curva azul pertenece a los valores de vehículo sin carga y la roja pertenece a los valores de las muestras vehículo con carga. Mediante esta gráfica podemos ver el comportamiento del aceite en las dos experiencias, el cual posee las mismas tendencias; otro punto que se pudo observar es que para los 7500km, en ambas experiencias se obtuvo como resultado una unificación en el comportamiento y con el aumento del kilometraje el aceite sin carga tiende a la misma conducta de las muestras del vehículo con carga.

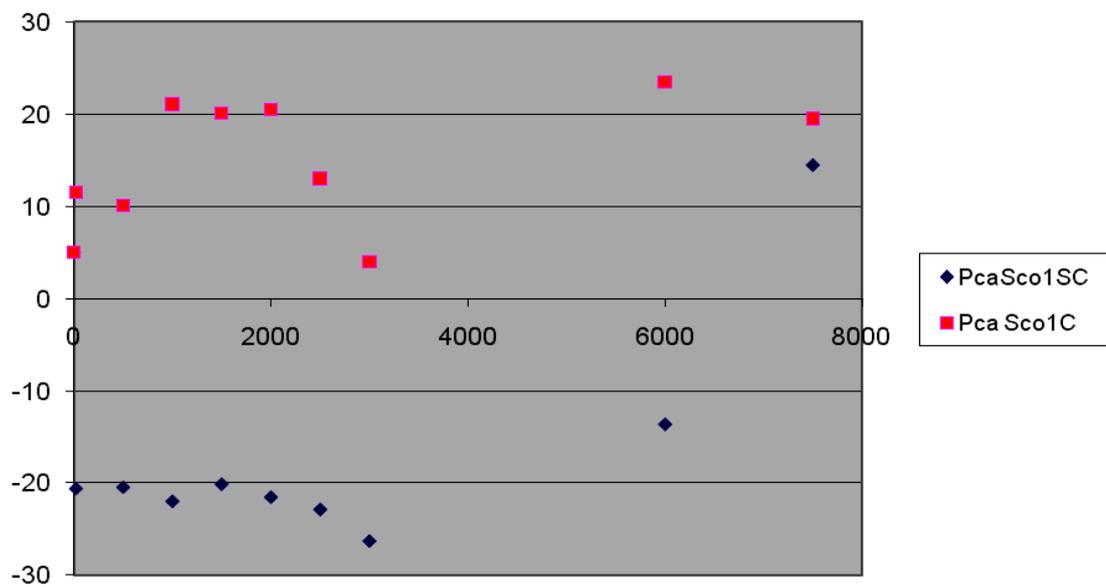


Figura 4.62: Gráfica del análisis resumido globalizado.

4.3.2. Análisis de la degradación

El análisis de la degradación se va a realizar mediante dos métodos: La medición de la viscosidad y la Espectroscopia infrarroja; esta ultima dará información para determinar la oxidación y nitración del aceite.

4.3.2.1. Infrarrojo

a) Nitración

Debido al paso de los gases de combustión al cárter, la nitración aparecerá en el lubricante, siendo esta una reacción del aceite con los óxidos de nitrógeno (NOx) producidos en la fase de combustión.

Este proceso causa un espesamiento del aceite formando barnices y lacas que podrían taponar los filtros.

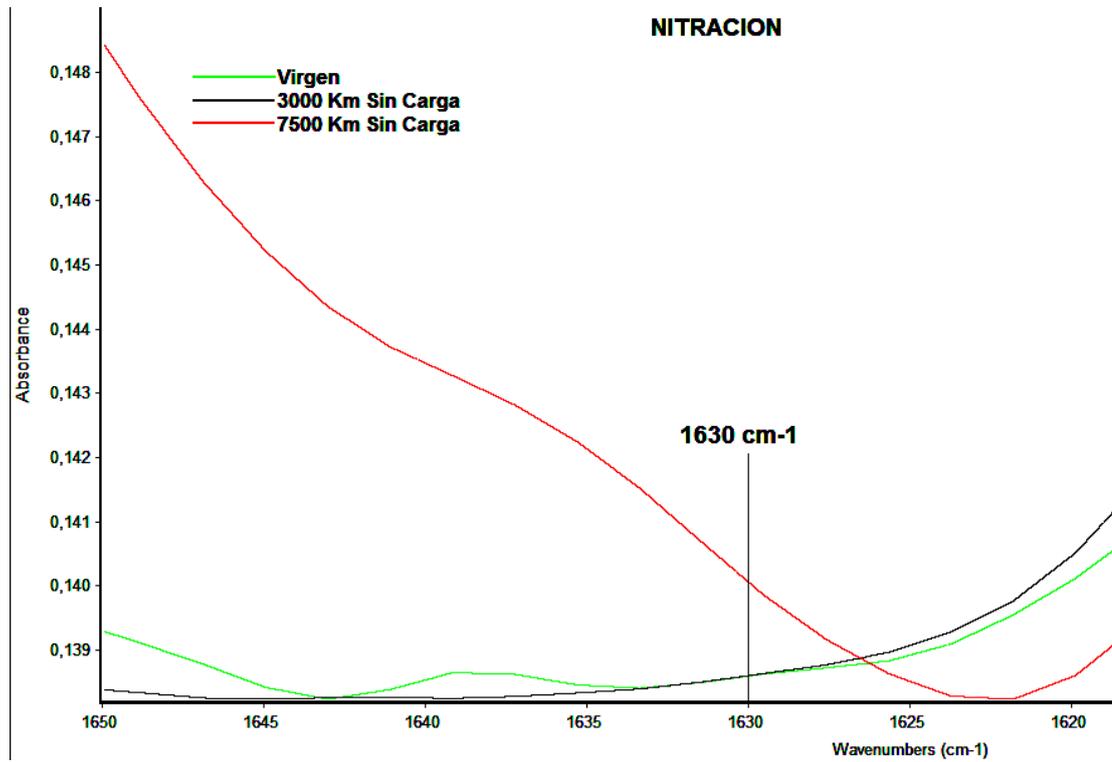


Figura 4.63: Espectros lubricantes de nitración vehículo sin carga.

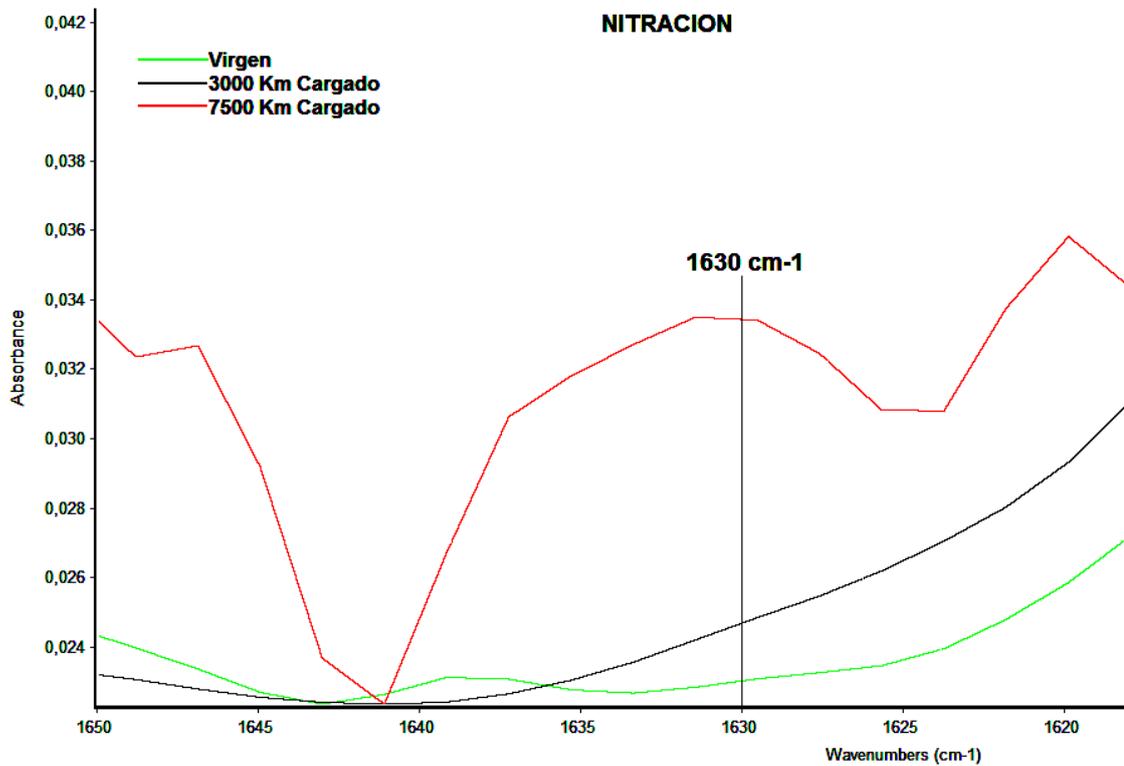


Figura 4.64: Espectros lubricantes de nitración vehículo con carga.

La frecuencia correspondiente al nitrógeno se sitúa en los 1630 Cm^{-1} donde conforme aumenta el periodo de uso del aceite aumenta la cantidad de estas moléculas; en las figuras: 4.63 y 4.64 se puede observar que existen indicios de nitración, pues en esta frecuencia los espectros de las muestras a los 7500km (cargado y sin carga), se pudo observar lo siguiente: en el primero hay una tendencia ascendente, mientras que en el segundo se produce un pequeño pico, en ambos casos sus espectros se diferencian del aceite virgen dando a entender que a los 7500km existe una notable nitración; el nivel de absorbancia mas alto lo tiene la muestra de 7500km sin carga, esto debido a las altas revoluciones que fue sometido el vehículo.

En las Figuras: 4.65, 4.66 y 4.67 se indica la frecuencia 1630 cm^{-1} , pero es en la primera componente principal donde se observar claramente un pico que decrece de manera abrupta, en donde podríamos tomar este dato para determinar el indicio de la degradación del aceite por nitración.

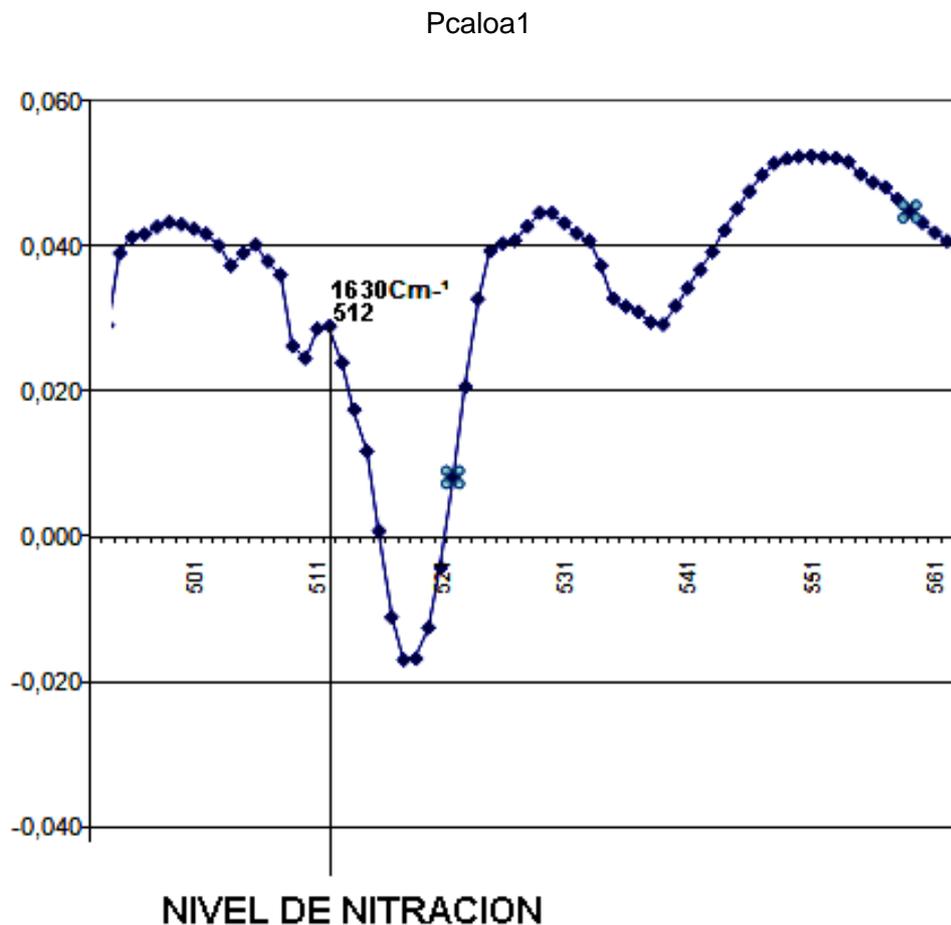


Figura 4.65: Primera componente principal.

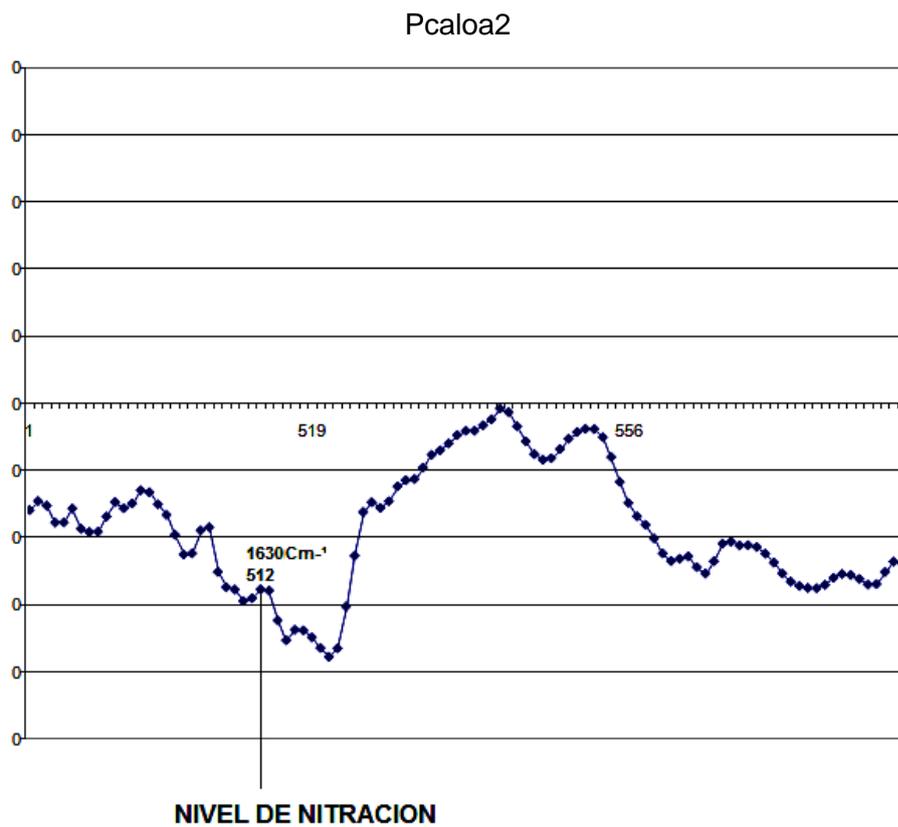


Figura 4.66: Segunda componente principal.

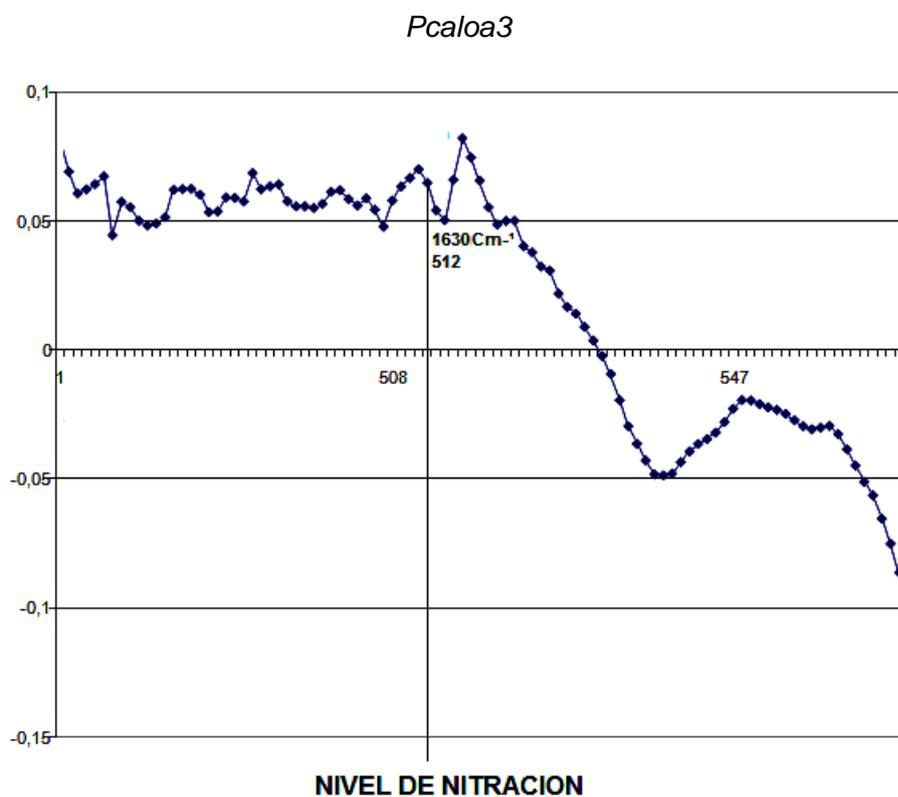


Figura 4.67: Tercera componente principal.

b) Oxidación

Producto de la temperatura y conforme se va usando el aceite este se degrada generando productos de descomposición, como cetonas, ácidos carboxílicos, los cuales contienen grupos carbonilo (C=O), estos contribuyen a la acidificación del aceite y al consumo de la reserva alcalina del mismo (TBN).

El efecto de la oxidación prolongada en el aceite es la posible corrosión y aumento de la viscosidad del mismo lo cual puede producir el taponamiento de filtros, el agarrotamiento de los rines y la formación de depósitos en los pistones.

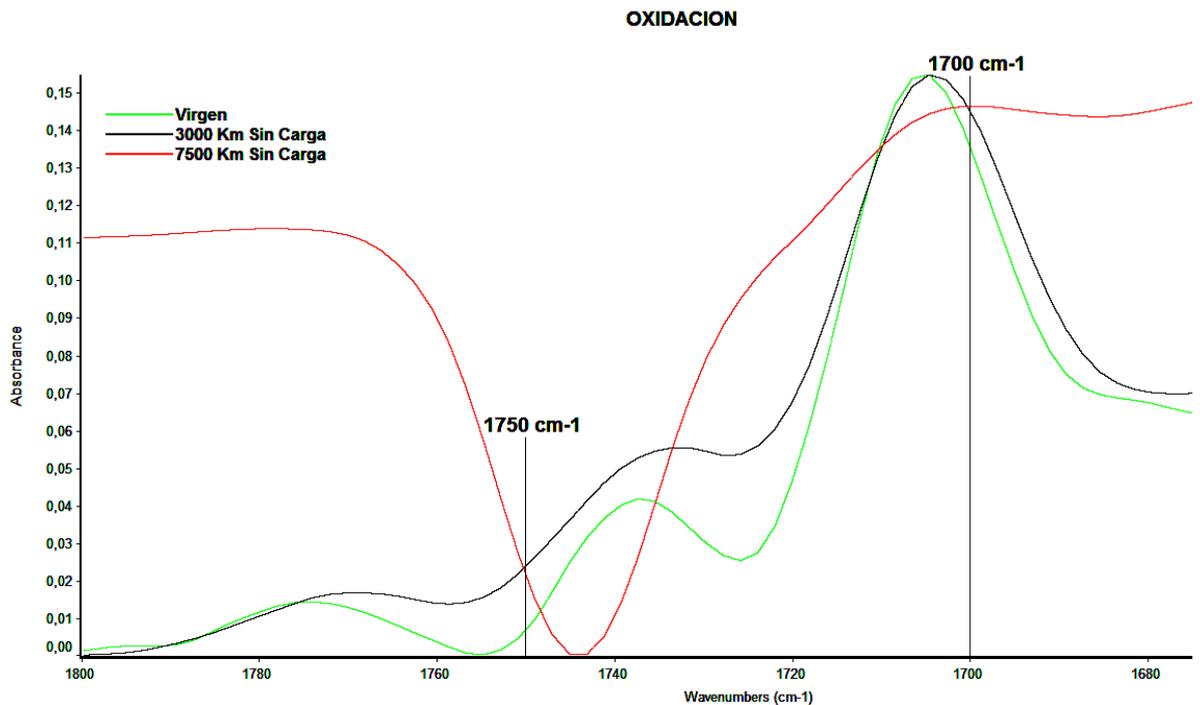


Figura 4.68: Espectros lubricantes de oxidación vehículo sin carga.

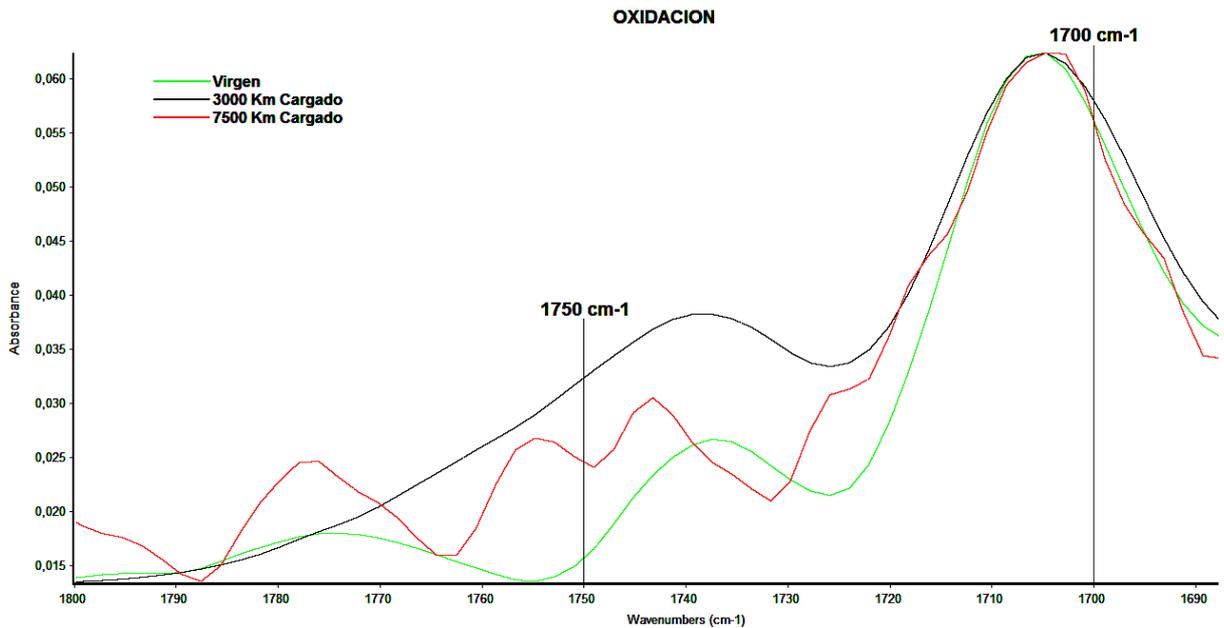


Figura 4.69: Espectros lubricantes de oxidación vehículo con carga.

Los enlaces de la oxidación se detectan entre las frecuencias de 1700 Cm^{-1} y 1750 Cm^{-1} ; en el caso de la curva de 7500 Km (vehículo cargado) se observa que conforme aumenta el uso del lubricante también lo hará la oxidación, distorsionando la curva resultante dentro de dicho rango, causado por el aumento de la temperatura y bajas revoluciones; mientras que a los 7500 Km (vehículo sin carga) dicha curva no sigue las mismas tendencias iniciales, teniendo un cambio significativo o más drástico en su longitud, lo que se denota como indicios de oxidación aun mayor por el trabajo a mayores velocidades, del vehículo.

Además en la Figura: 4.70, 4.71 y 4.72 se puede observar una tendencia al descenso lo cual se tomará como una pauta para determinar indicios de oxidación del lubricante, y en comparación con los análisis de CEPESA, a los 7500km el aceite se encuentra con el TBN cerca al límite de su vida útil, que es producto de la oxidación del mismo.

Pcaloa1

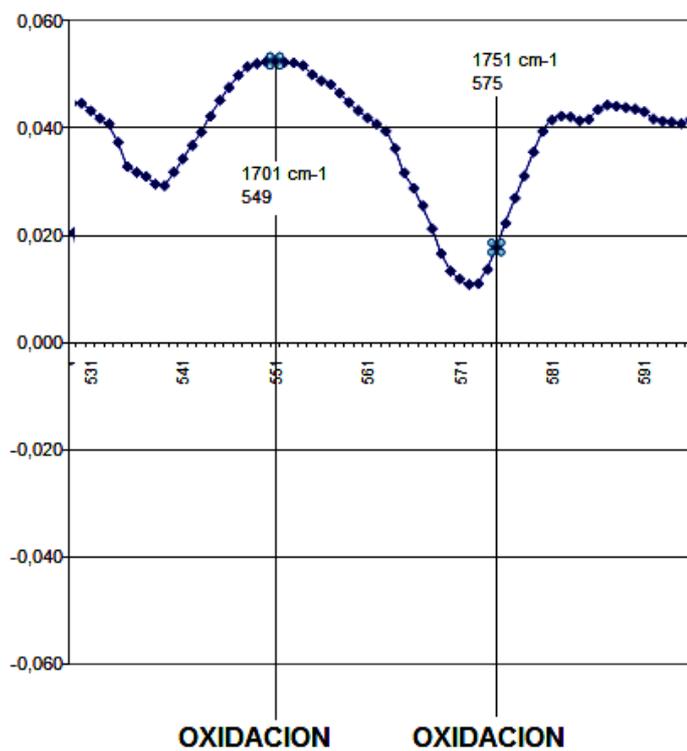


Figura 4.70: Tercera componente principal.

Pcalba2

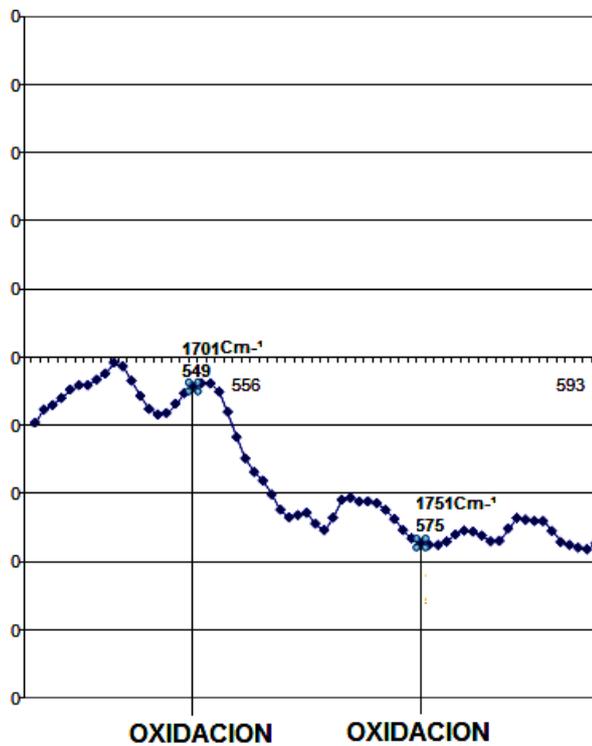


Figura 4.71: Tercera componente principal.

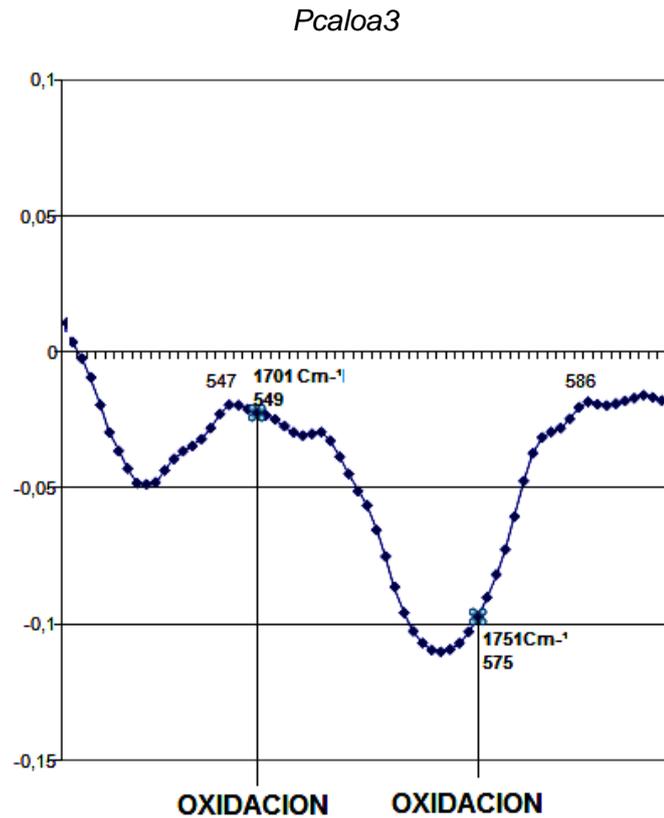


Figura 4.72: Tercera componente principal.

4.3.2.2. Viscosidad

La viscosidad puede ser alterada por distintos efectos (temperatura, filtraciones de agua y combustible, oxidación y nitración) los cuales causan cambios en su comportamiento, estos pueden indicar degradaciones propias del aceite o anomalías en el funcionamiento del motor; en la *Figura: 4.73* donde se relaciona la sensibilidad (Índice de Viscosidad) con el kilometraje, se observa que a los 3000km el vehículo sin carga tiene un mayor incremento que en la curva con carga, lo cual puede ser interpretado como una mayor ruptura en las moléculas de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad; mientras que a los 7500km del vehículo sin carga la sensibilidad desciende tanto hasta situarse en un punto menor que la muestra 7500km con carga, lo cual nos indica que el vehículo sin carga producto de las altas revoluciones genera mayores cambios en la estructura del lubricante debido a las polimerizaciones, oxidación, perdidas por evaporación, formación de lodos y lacas.

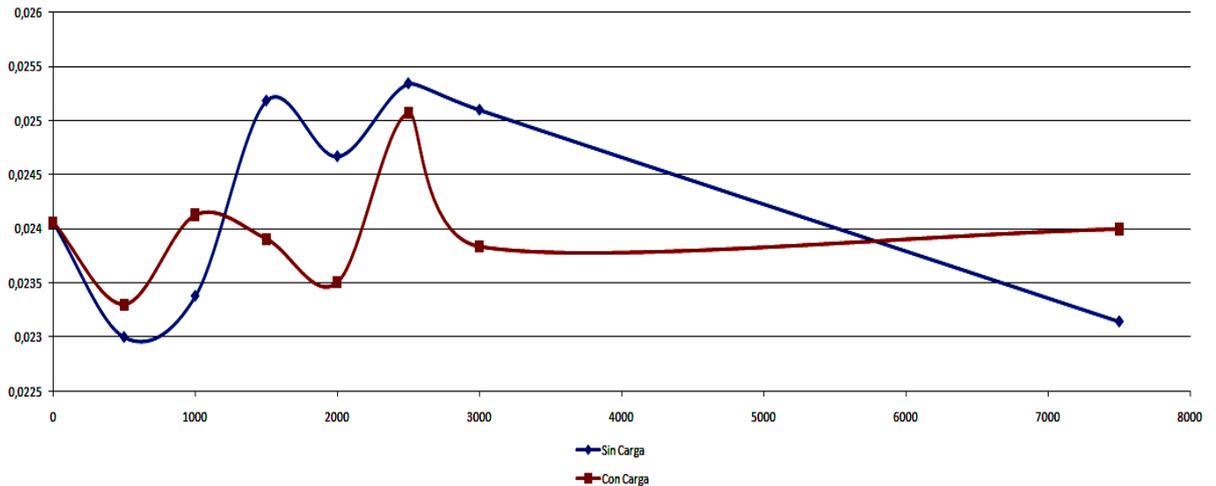


Figura 4.73: Gráfica de la sensibilidad de las dos experiencias respecto al kilometraje.

Nota: El ascenso y descenso de la viscosidad se puede producir por elementos contaminantes como el combustible y el agua del refrigerante, en este caso fue descartado gracias al análisis infrarrojo.

Como consecuencias se podría decir que, si el valor de la viscosidad es relativamente alto se producirá una mayor generación de calor, flujo inadecuado a las zonas de lubricación (rodamientos, cojinetes, etc.), pérdida por mayor consumo de energía, descenso en las características antiespumantes y pobres características de bombeabilidad a baja temperatura.

Si el valor de la viscosidad es excesivamente bajo, se podría encontrar con: pérdida de la película de aceite, alta fricción mecánica, fugas externas e internas, incremento de la sensibilidad del sistema a la contaminación por partículas y fallo de la película lubricante en condiciones severas (altas temperaturas, baja velocidad y alta carga).

Otro factor a tomar en cuenta son los valores límites (máximos y mínimos) de la viscosidad a 40°C y 100°C, tomados de las diferentes tablas de especificaciones de motores de automoción, en donde para el aceite Mobil Delvac MX 15W-40 se adoptó como rango $\pm 25\%$ del aceite virgen; con este rango se podrá analizar todas las viscosidades del aceite (Tabla 4.26 y 4.27).

Las muestras de aceite entre vehículo cargado y sin carga se encontraban dentro de dicho rango, llegando a la conclusión de que si bien el aceite aumenta su viscosidad, este no supera los límites del rango de referencia, pero no es de extrañar pues el aceite es recomendado por sus fabricantes cambiarlo cada 45.000km (en otros países).

SIN CARGA		
Muestra	Visco 40°C ±25% Min 1.83 / máx. 3.05	Visco 100°C ±25% Min 0.80 / máx. 1.33
virgen	2.44	1.07
20min	2.44	1.17
500Km	2.46	1.14
1000Km	2.44	1.11
1500Km	2.47	1.07
2000Km	2.43	1.05
2500Km	2.47	1.02
3000Km	2.43	1.01
7500Km	2.38	1.08

Tabla 4.26: Viscosidad a 40° y 100°C de las muestras vehículos sin carga.

CON CARGA		
Muestra	Visco 40°C ±25% Min 1.83 / máx. 3.05	Visco 100°C ±25% Min 0.80 / máx. 1.33
20min	2.51	1.22
500Km	2.47	1.13
1000Km	2.46	1.10
1500Km	2.46	1.09
2000Km	2.46	1.10
2500Km	2.43	1.01
3000Km	2.42	1.09
7500Km	2.52	1.14

Tabla 4.27: Viscosidad 40° y 100°C de las muestras vehículos con carga.

4.3.3. Análisis de la contaminación

A continuación se analizarán los elementos contaminantes del aceite no provenientes del desgaste ni del polvo atmosférico.

4.3.3.1. infrarrojo

a) Combustible

Como elemento contaminante ocasiona el descenso de la viscosidad lo que producirá: perdida de la película de aceite, alta fricción mecánica, fugas externas e

internas, incremento de la sensibilidad del sistema a la contaminación por partículas y fallo de la película lubricante en condiciones severas.

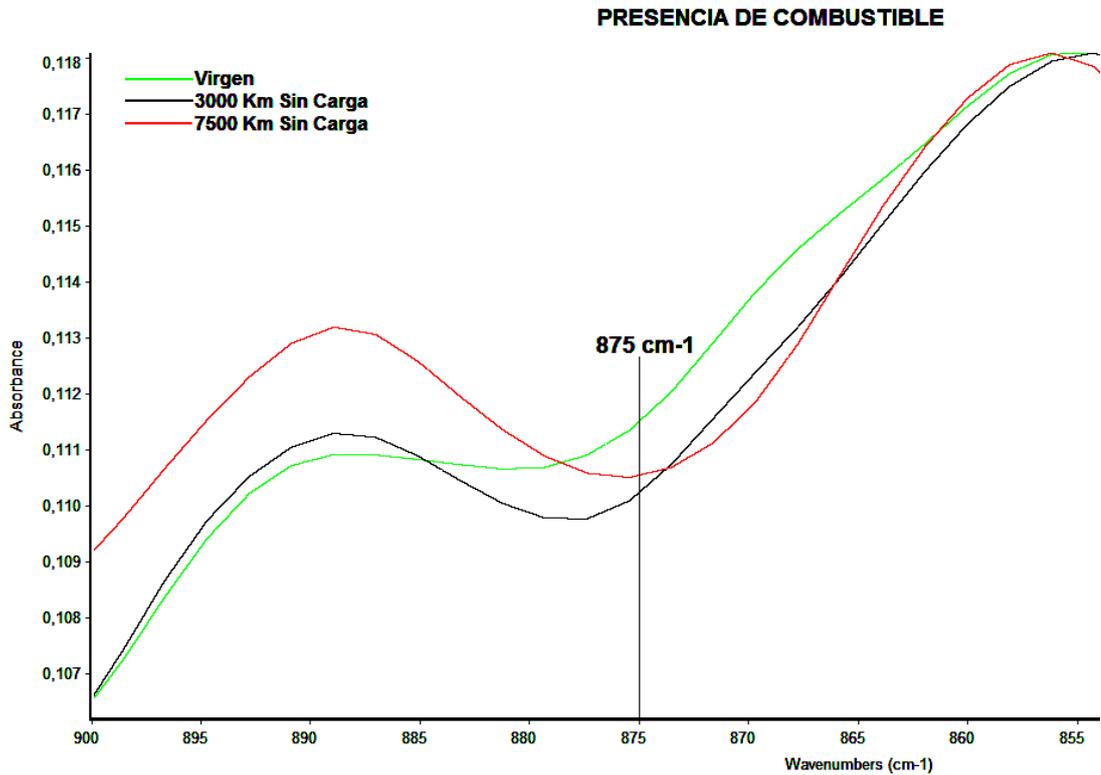


Figura 4.74: Espectro lubricantes de presencia de combustible vehículo sin carga.

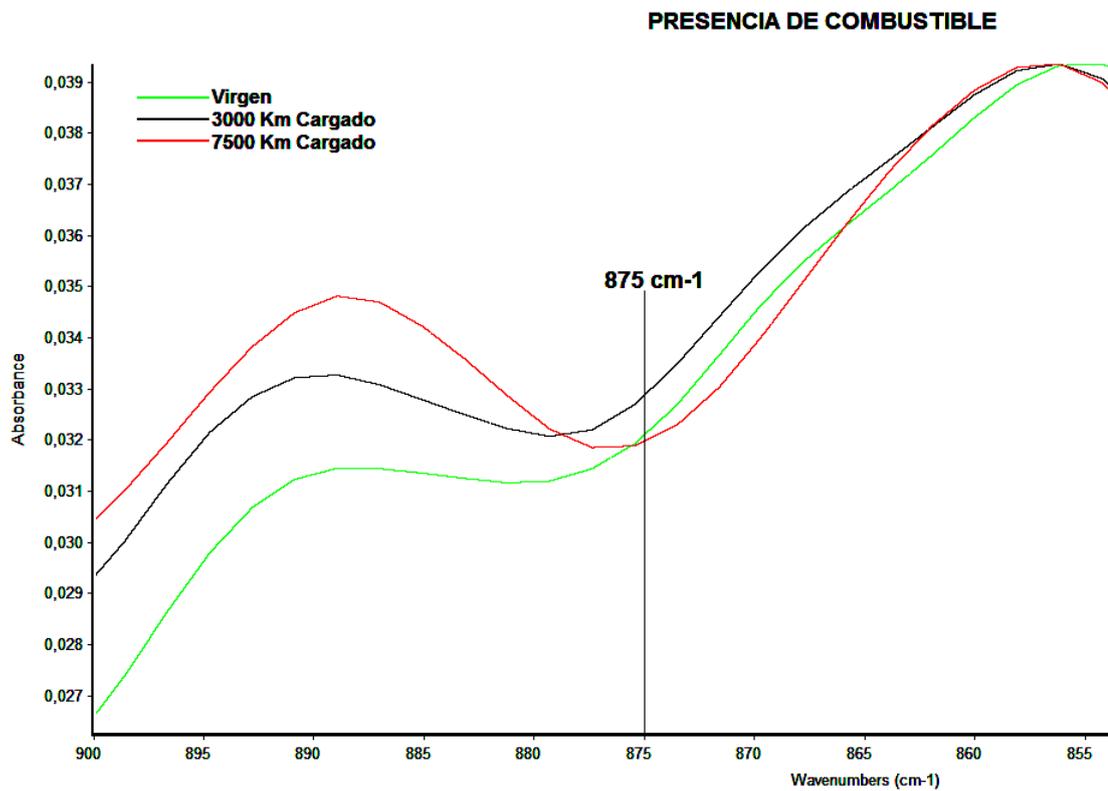


Figura 4.75: Espectros lubricantes de presencia de combustible vehículo cargado.

Para determinar la presencia de combustible la única longitud de onda donde se encuentra diferencias es a 875 Cm^{-1} , pero es difícil de cuantificar, debido a que tanto el aceite como el combustible son destilados del petróleo y sus composiciones químicas son muy similares.

La dilución de combustible en este punto se debería observar como una pequeña oscilación de la curva, diferenciándose del aceite nuevo; por lo que se puede ver en la *Figura 4.74 y 4.75*, no existen cambios entre el aceite virgen, 3000km y 7500km (vehículo sin carga y cargado).

En las *Figuras 4.76, 4.77 y 4.78* no existen oscilaciones, ni picos en el punto donde estaría dicha frecuencia, esto deberá ser patrón a seguir para llegar a la conclusión de que no existen filtraciones de combustible desde los cilindros del motor, que podrían producir falla de los cojinetes y el agarrotamiento de los pistones.

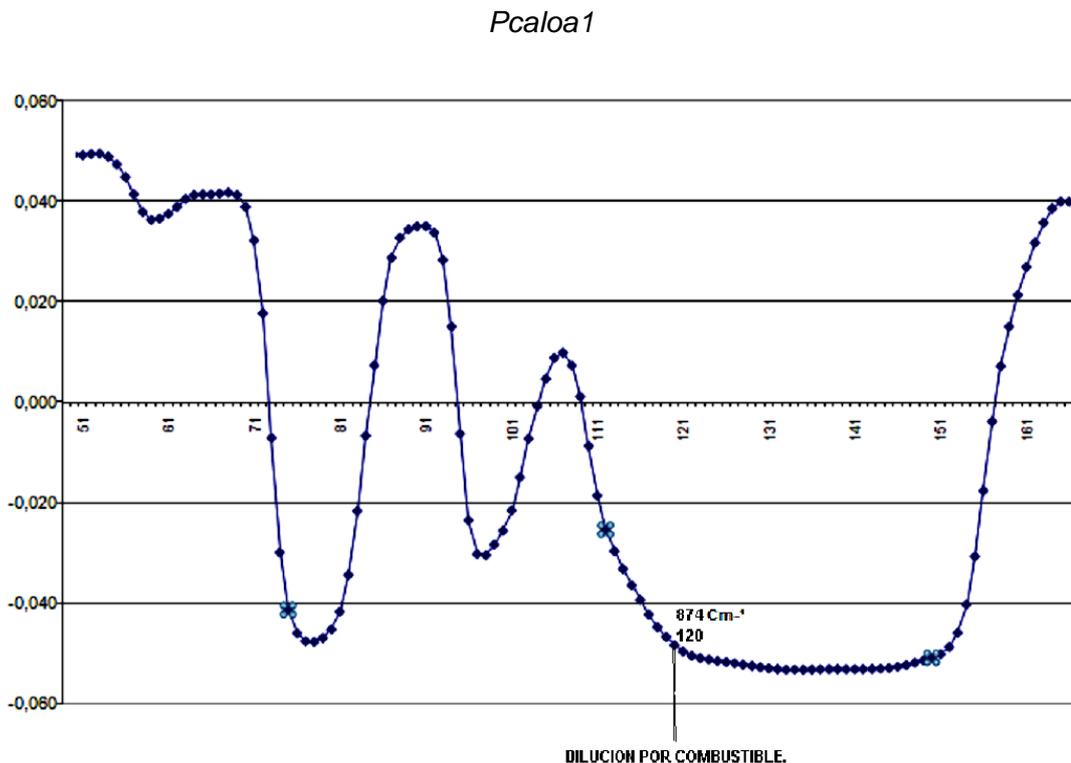


Figura 4.76: Primera componente principal.

Pcaloa2

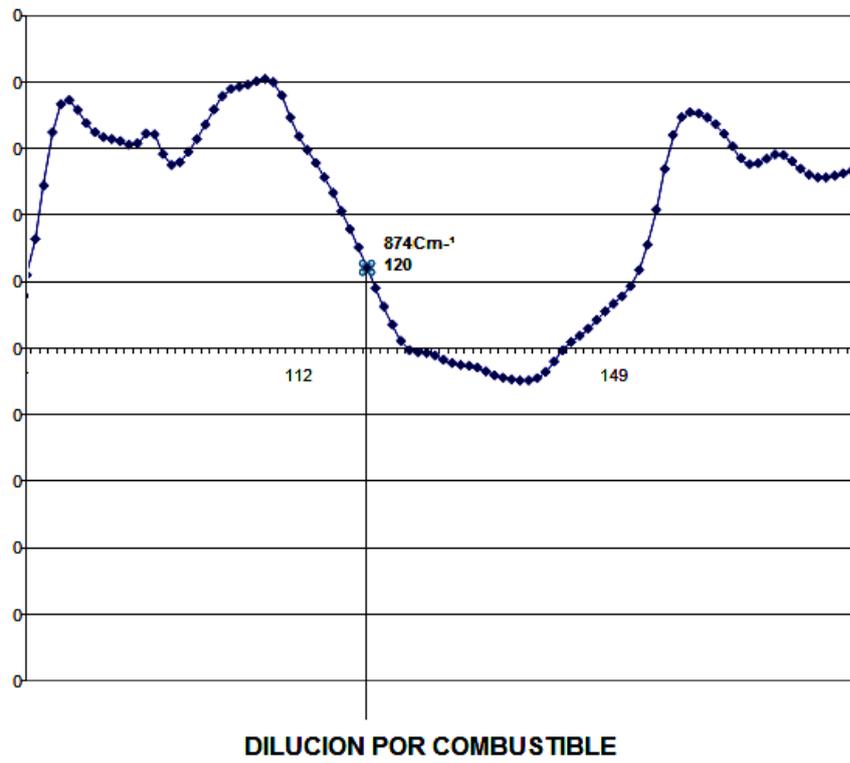


Figura 4.77: Segunda componente principal.

Pcaloa3

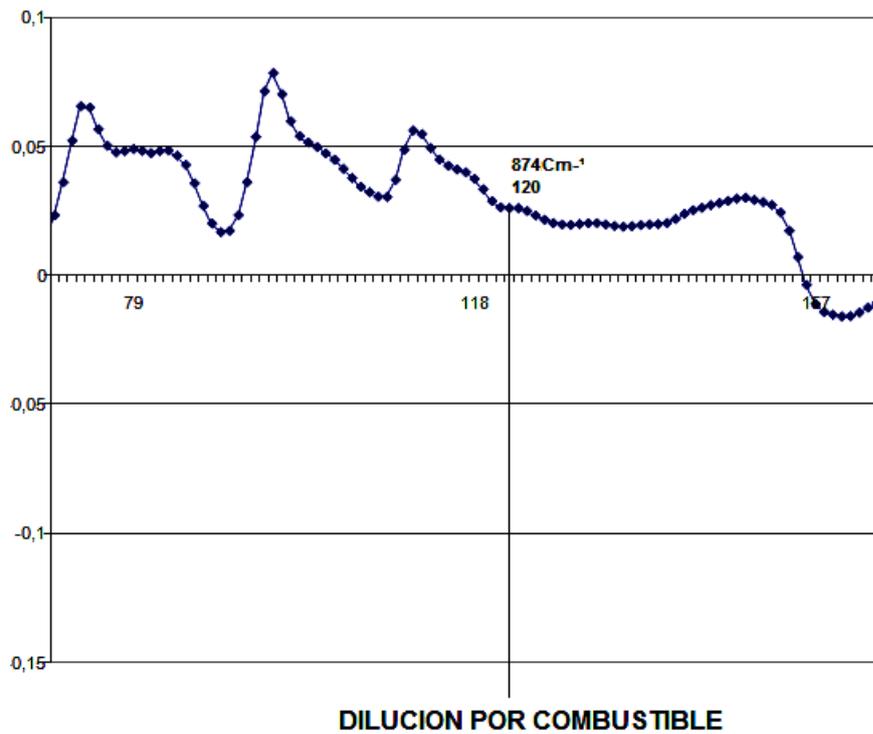


Figura 4.78: Tercera componente principal.

b) Etilenglicol

El gran número de grupos hidroxilo (-O-H) existentes en el aceite producto de la contaminación por anticongelante (etilenglicol), la presencia de este puede hacer que el aceite pierda su fluidez, causando el atascamiento de rines y taponamiento de filtros.

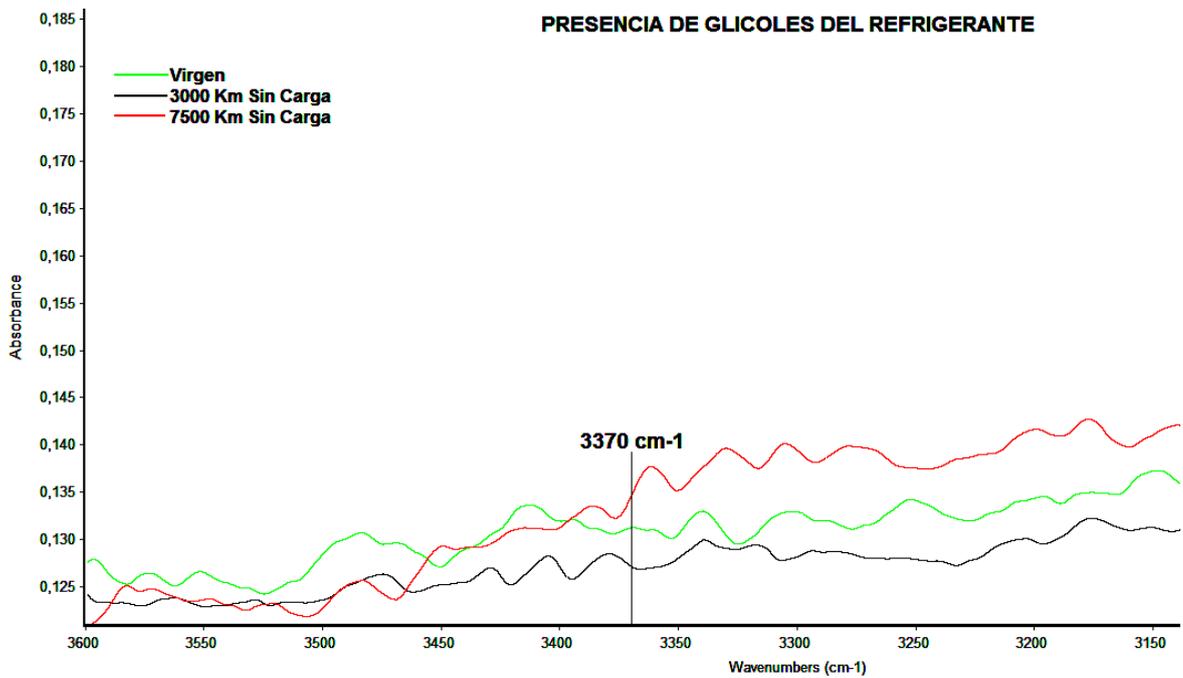


Figura 4.79: Espectros lubricantes de presencia de glicol vehículo sin carga.

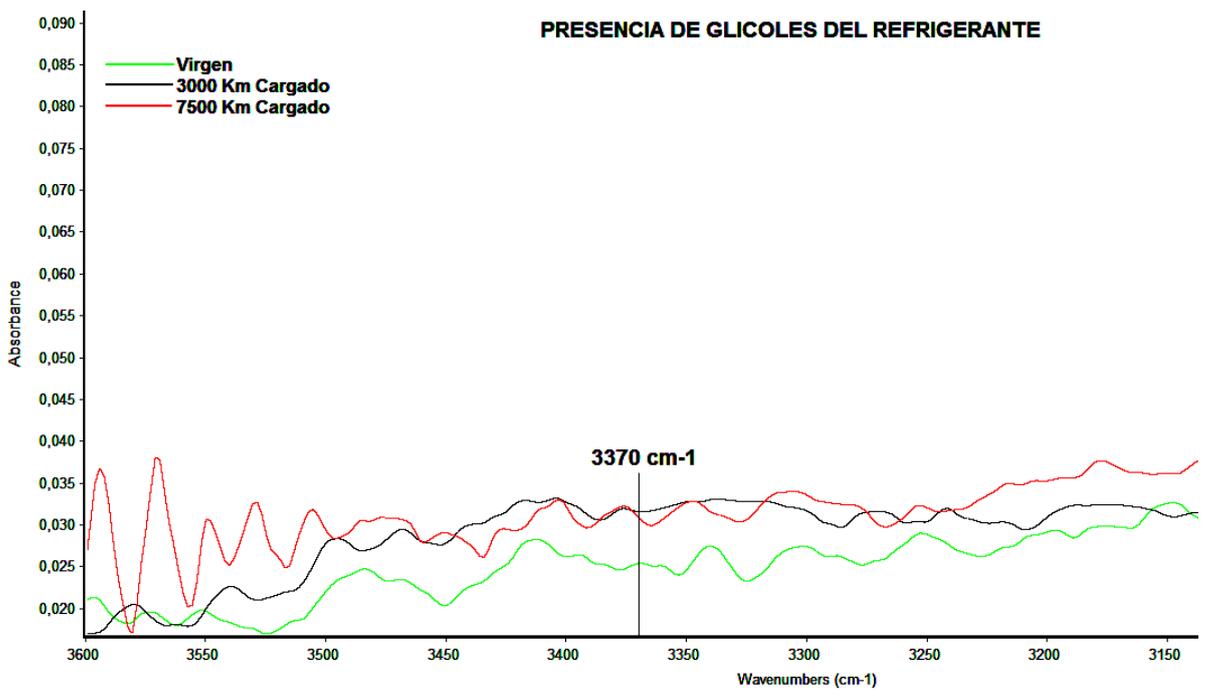


Figura 4.80: Espectros lubricantes de presencia de glicol vehículo sin carga.

Para observar la presencia de glicol se utiliza la frecuencia de 3370 Cm^{-1} , en la *Figura: 4.79 y 4.80* los espectros poseen oscilaciones que se pueden ver gracias al aumento de la escala, siendo más evidentes en los análisis de vehículo sin carga aunque la presencia del contaminante es mínimo, cuando en ese punto exista una presencia considerable de concentraciones de etilenglicol se debería producir una curva hacia arriba con abombamiento continuo y constante.

Nota: corroborar esto mediante presencia en ppm de Na.

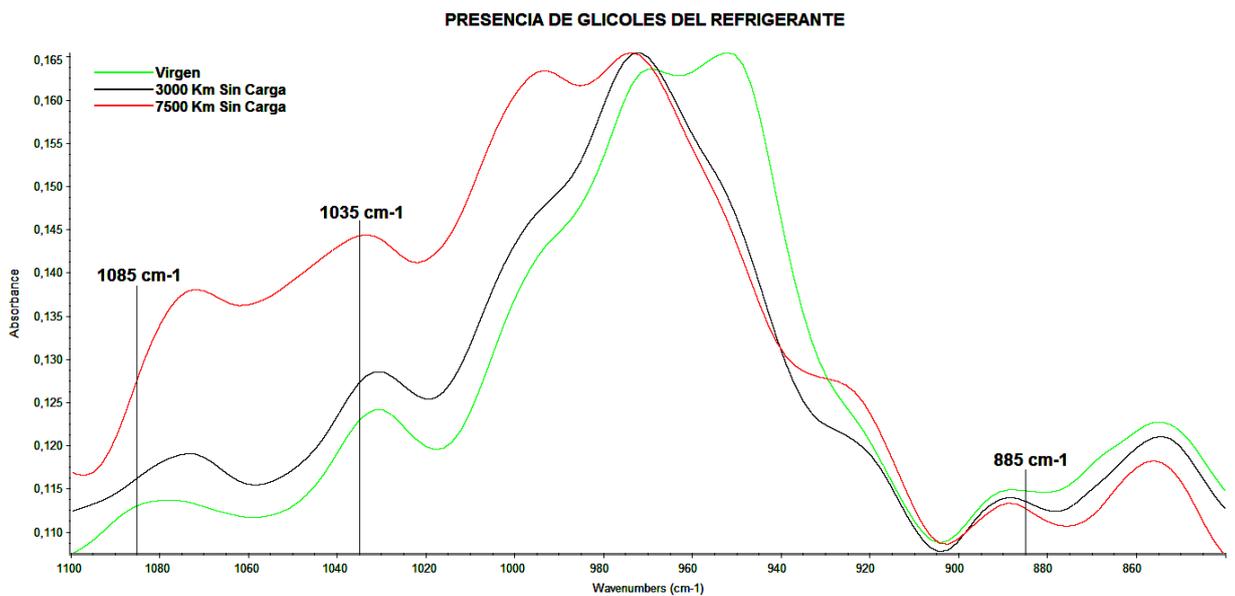


Figura 4.81: Espectros lubricantes de presencia de refrigerante vehículo sin carga.

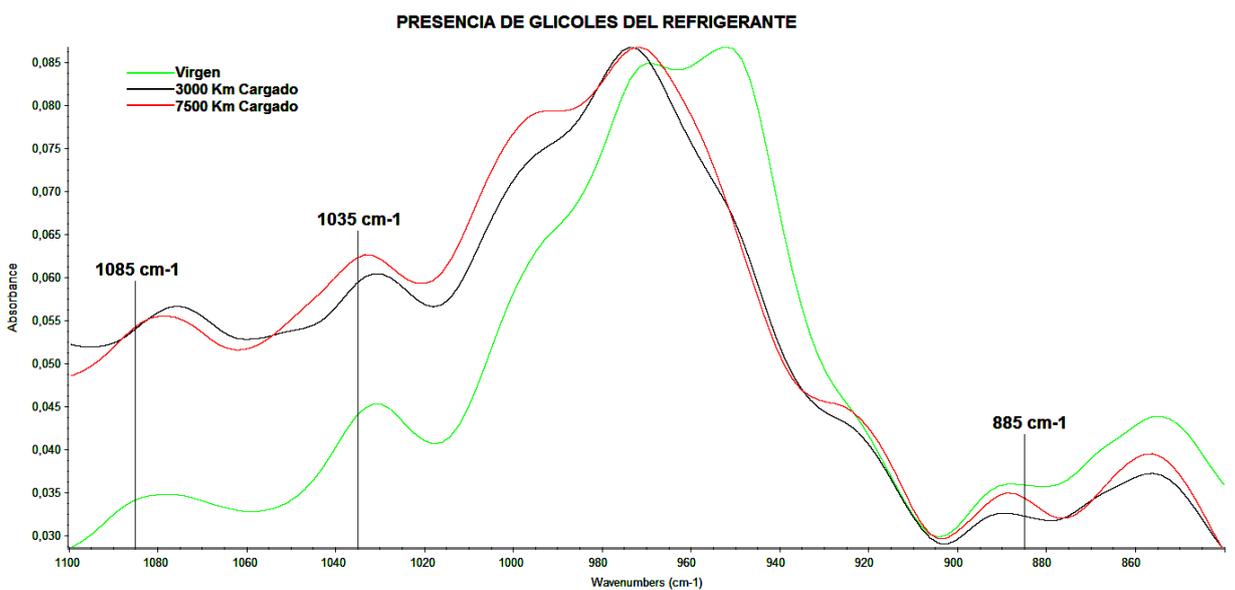


Figura 4.82: Espectros lubricantes de presencia de refrigerante vehículo cargado.

Otras frecuencias donde se puede observar la presencia de glicol son el rango comprendido entre: 1035 Cm^{-1} a 1085 Cm^{-1} , dichas frecuencias son características del glicol aunque aquí los picos no mantienen una proporcionalidad con la concentración como a la frecuencia 3370 Cm^{-1} . Estas frecuencias pueden ser empleadas simplemente para determinar la presencia del contaminante. La última frecuencia que corresponde con la contaminación de glicol es el punto 885 Cm^{-1} que presenta una intensidad mucho menor a los dos espectros anteriores.

Como se puede observar en las figuras: 4.81 y 4.82, en los espectros del vehículo sin carga y cargado, no existe la presencia de dicho contaminante debido a que las curvas mantienen la misma forma y tendencia; no importa que los espectros no estén superpuestos ya que esto es producto de la diferente refracción por el infrarrojo debido a opacidad de las muestras.

Las curvas de las figuras: 4.83, 4.84 y 4.85; pueden ser emplear como una prueba de diagnóstico para determinar la presencia de refrigerante en las muestras; según se observa en las siguientes curvas, las tendencias son casi iguales y no existe un pico elevado que demuestre que existe una gran cantidad de refrigerante diluido en los análisis.

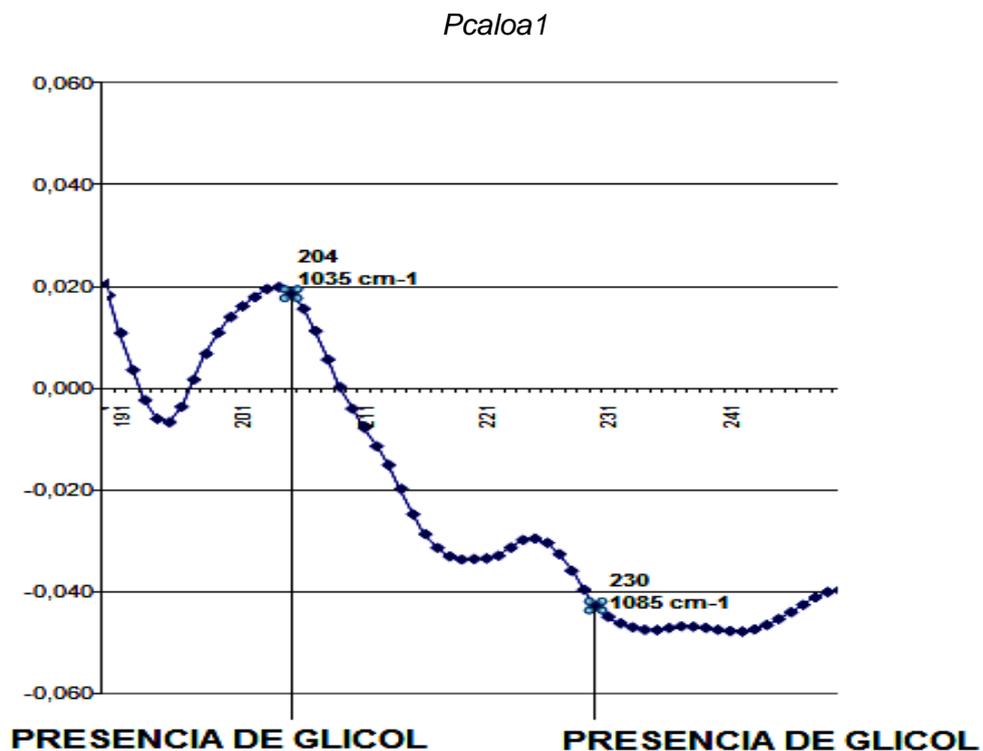


Figura 4.83: Primera componente principal

Pcaloa2

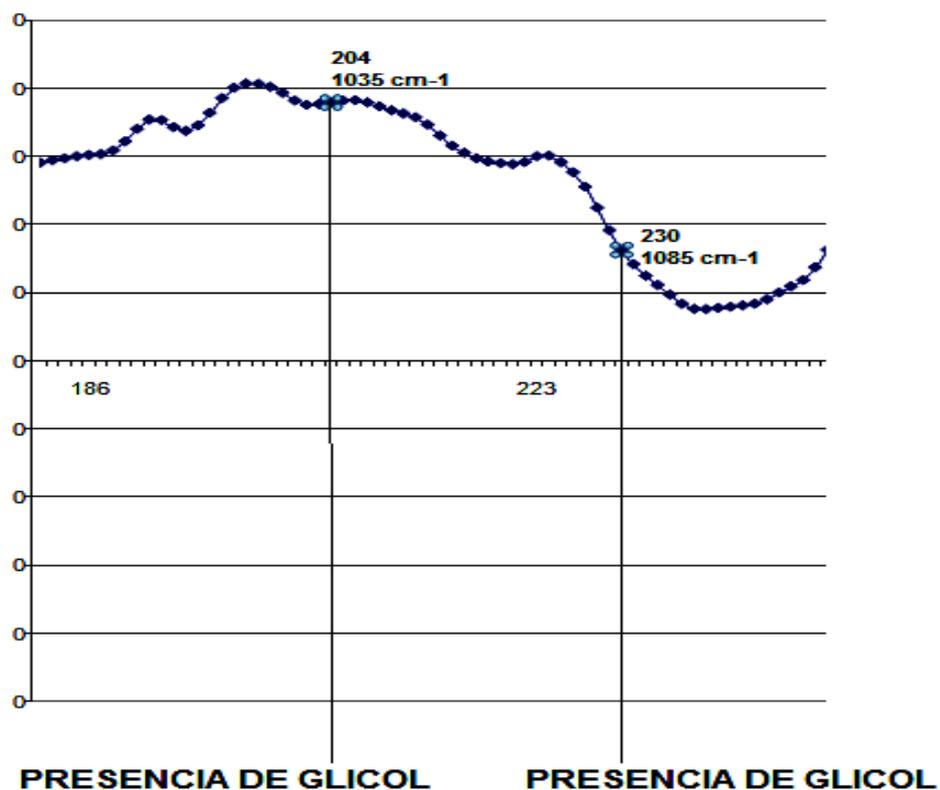


Figura 4.84: Segunda componente principal.

Pcaloa3

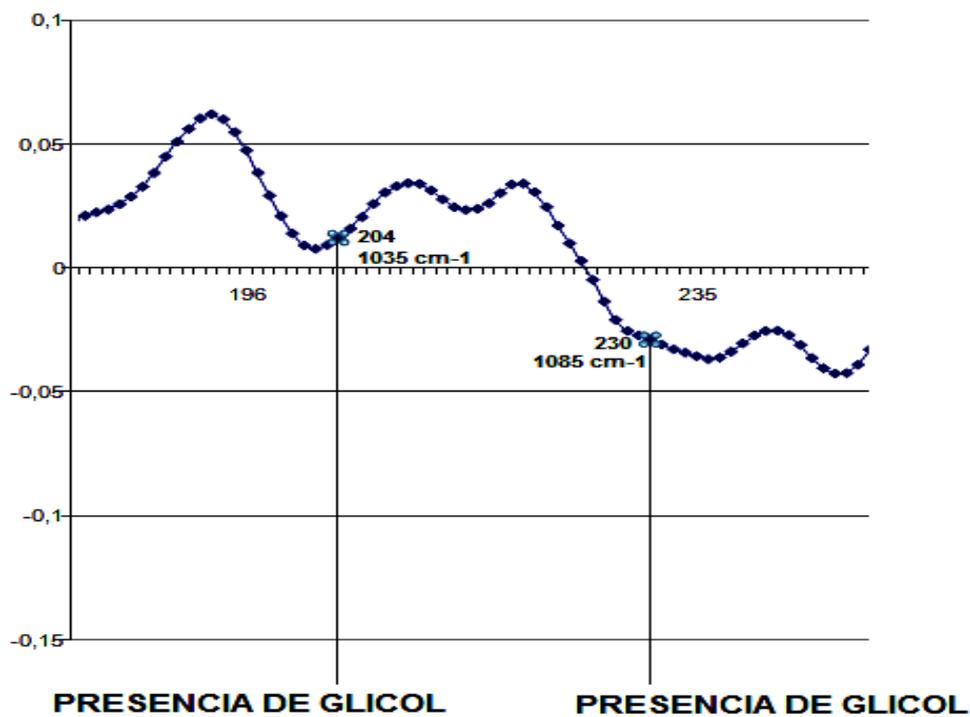


Figura 4.85: Tercera componente principal.

c) Agua

Este contaminante se debe de tener muy en cuenta ya que a mayores proporciones emulsiona con el aceite, tapando filtros y formando ácidos peligrosos que corroen las piezas de metal.

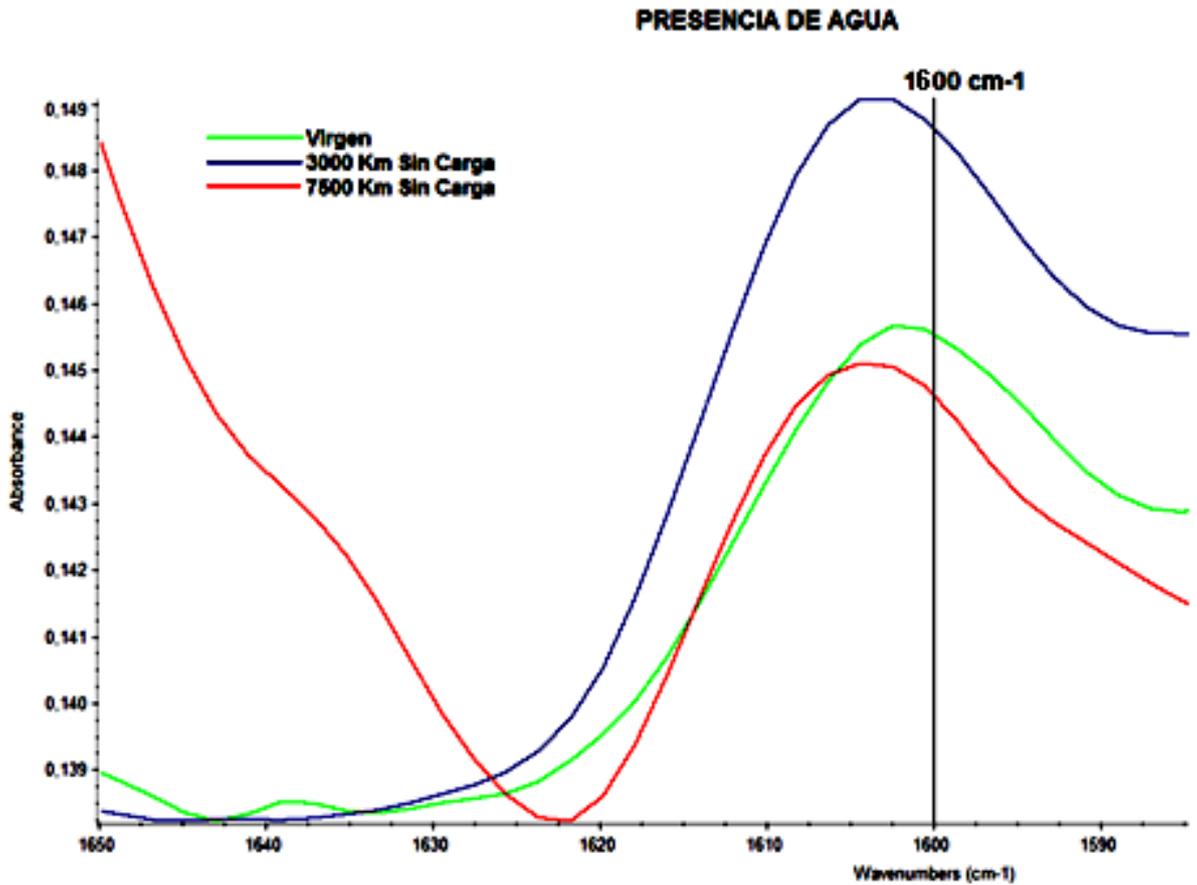


Figura 4.86: Espectros lubricantes de presencia de agua vehículo sin carga.

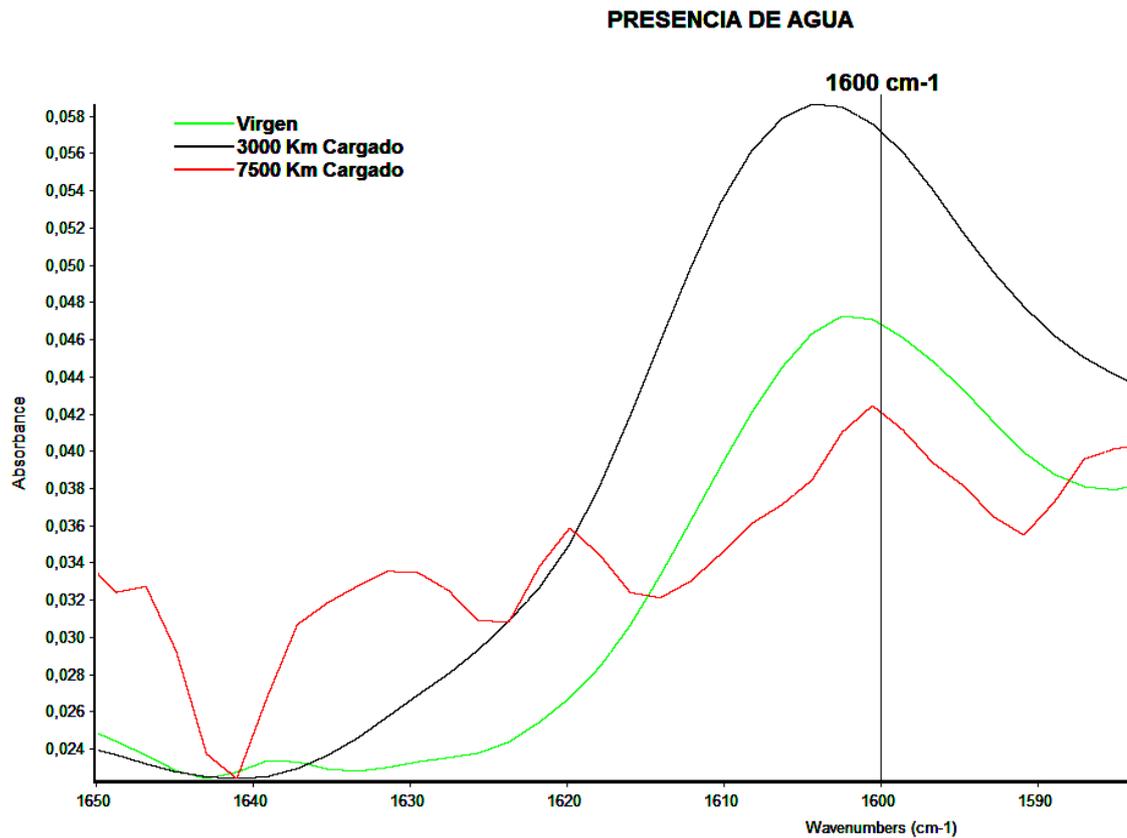


Figura 4.87: Espectros lubricantes de presencia de agua vehículo cargado.

La presencia de agua se caracteriza por las vibraciones del enlace ($-O-H$) a 1600 cm^{-1} , con la utilización de la espectrometría infrarroja se puede detectar agua a concentraciones bajas

En este caso en la figura 4.86 no presentan mayores diferencias entre los espectros, pero en la figura 4.87 se puede evidenciar claramente que a 7500km, del vehículo con carga, hay una distorsión de su espectro lo cual no tiene necesariamente que ser indicativo de fugas de agua del sistema de refrigeración, sino simplemente podrían ser condensaciones de vapor producto de la combustión; en los análisis de Cepsa contemplan este parámetro tolerando un máximo de 0.2 en (%Vol.), dichos análisis dieron como resultado presencia negativa de agua.

Ahora que, si bien comparando los espectros a los 7500Km del vehículo sin carga y cargado, es en este ultimo donde se observa una distorsión a los 1600cm^{-1} , esto indica que el vehículo al ser sometido a mayores exigencias genera una mayor contaminación de agua, pero solo debido a la convención del aire interno del motor.

4.3.3.2. Termobalanza

En el TERMOGRAMA de la muestra de aceite virgen Figura: 4.88 se puede observar la temperatura (200°C) en la que el aceite comienza a perder masa y la última temperatura (550°C) en donde queda reducido a cenizas, con respecto a los demás termogramas estos tenían el mismo comportamiento y no presentaban variaciones visibles.

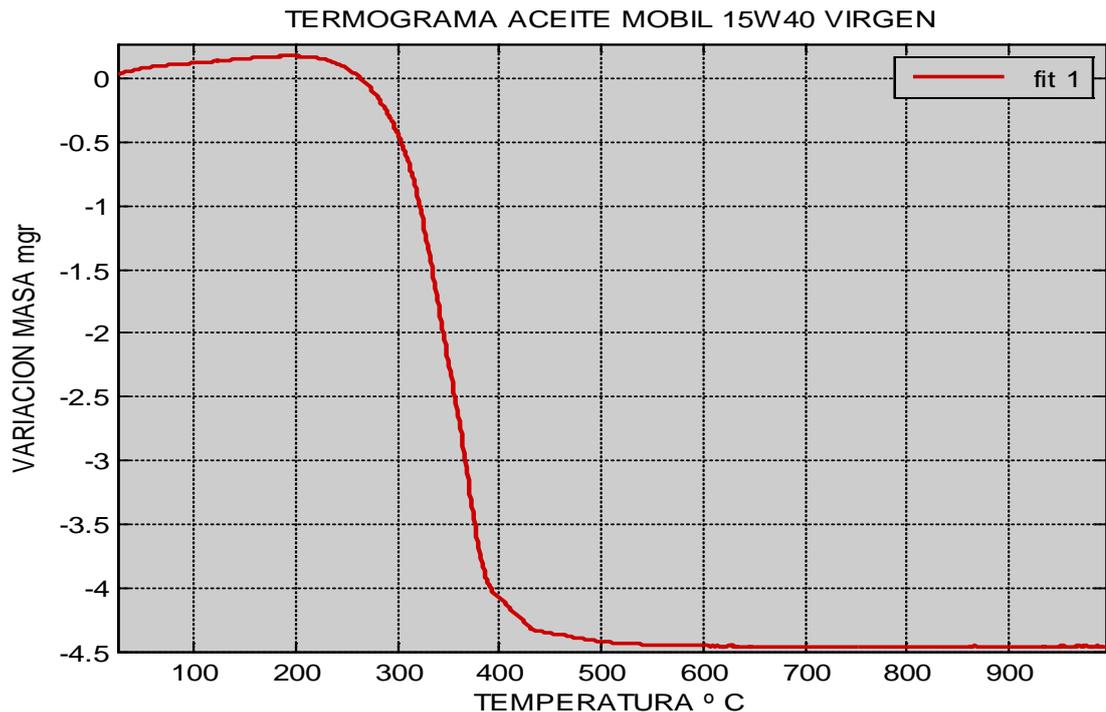


Figura 4.88: Gráfica termograma muestra virgen de la termobalanza.

En vista que los termogramas de las muestras no proporcionaron mayores diferencias, fue necesario analizar las curvas mediante la utilización del programa *Matlab*, donde se calcularon los valores de las primeras derivadas para observar las distintas velocidades de pérdida de masa de las muestras.

La derivada de la muestra virgen Figura: 4.89, indica que a partir de los 200°C la masa desciende considerablemente hasta los 390°C, demostrando así que la estructura molecular de la muestra cambia, pudiendo traducirse, la primera temperatura, como la máxima que soporta el aceite hasta comenzar a perder sus propiedades, cuando el aceite se encuentra en buenas condiciones.

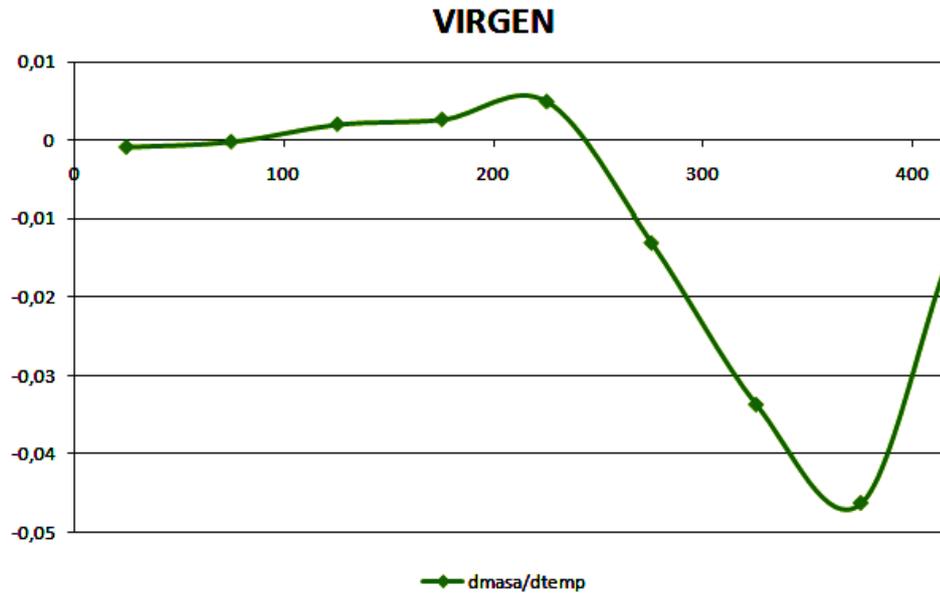


Figura 4.89: Gráfica de la derivada muestra virgen de la termobalanza.

Por otro lado, en la curva a los 3000km sin carga figura: 4.90, se puede observar que a los 90°C ya existe un cambio en la velocidad de pérdida de masa, descendiendo hasta los 120°C debido a la degradación de los aditivos, y llegando a los 320°C donde se muestra el punto más bajo quedando solo cenizas del aceite. Esto se produce por la degradación propia por el uso del lubricante, que hace que se acorte el nivel de temperatura donde el aceite comienza a perder sus propiedades.

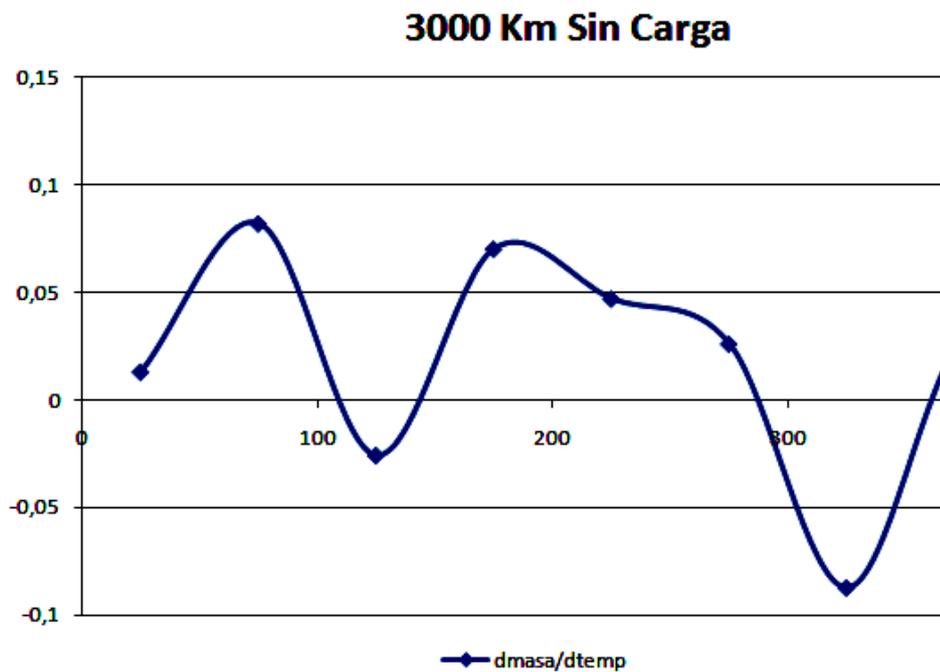


Figura 4.90: Gráfica de la derivada 3000 km sin carga de la termobalanza.

A los 7500Km sin carga figura: 4.91, se puede observar que desde el inicio el lubricante muestra un cambio estructural, pero se mantiene estable hasta aproximadamente 225°C, esto se debe a que en esta muestra ya existe una cantidad considerable de carbonos y con un grado de oxidación notable, estos elementos producidos por la degradación de la muestra afectan el análisis de la masa, haciendo que soporten una mayor temperatura; pero aunque esto suceda, el lubricante ya no estaría actuando con sus propiedades en optimas condiciones como al inicio, es también por esto que el punto más bajo en la velocidad de la pérdida de masa es a los 380°C.

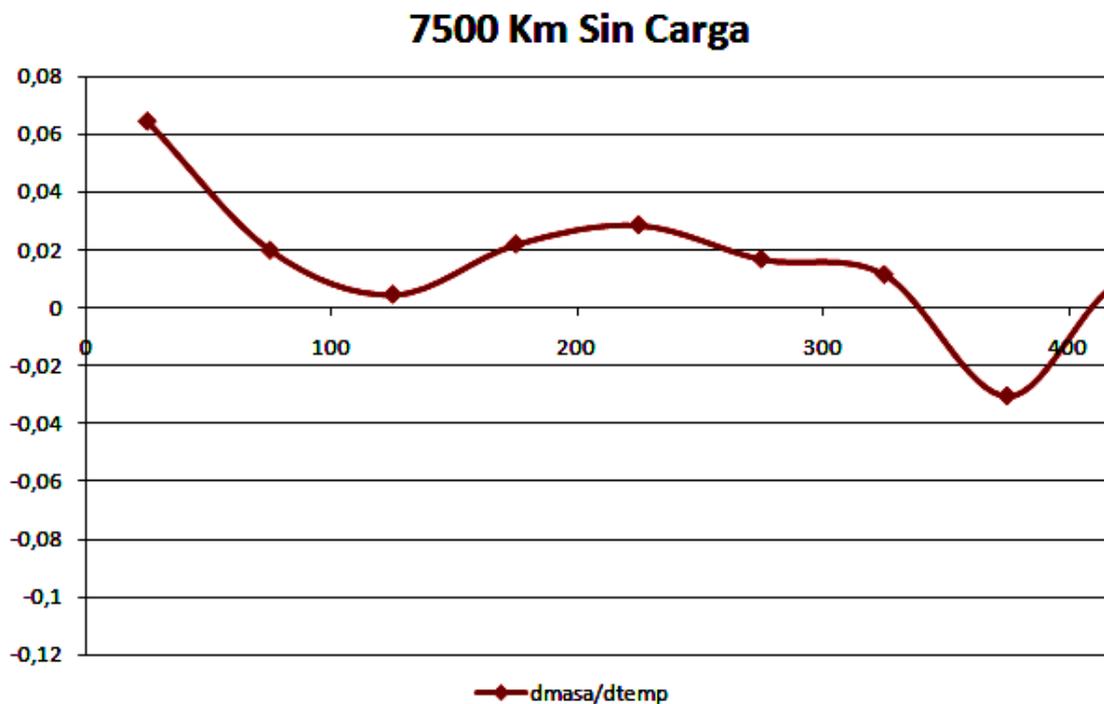


Figura 4.91: Gráfica de la derivada 7500 km sin carga de la termobalanza.

En la curva a los 3000Km con carga figura: 4.92, de igual manera, que a los 3000Km sin carga, se produce un cambio en la velocidad de pérdida de masa a los 90°C, pero en este caso llega a tener el punto más bajo en la pérdida de masa a los 280°C; es decir que su estructura está alterada por la menor presencia de carbonilla y oxidación.

Esto puede ser producto de las menores temperaturas de trabajo del motor o por las menores exigencias en la conducción del vehículo.

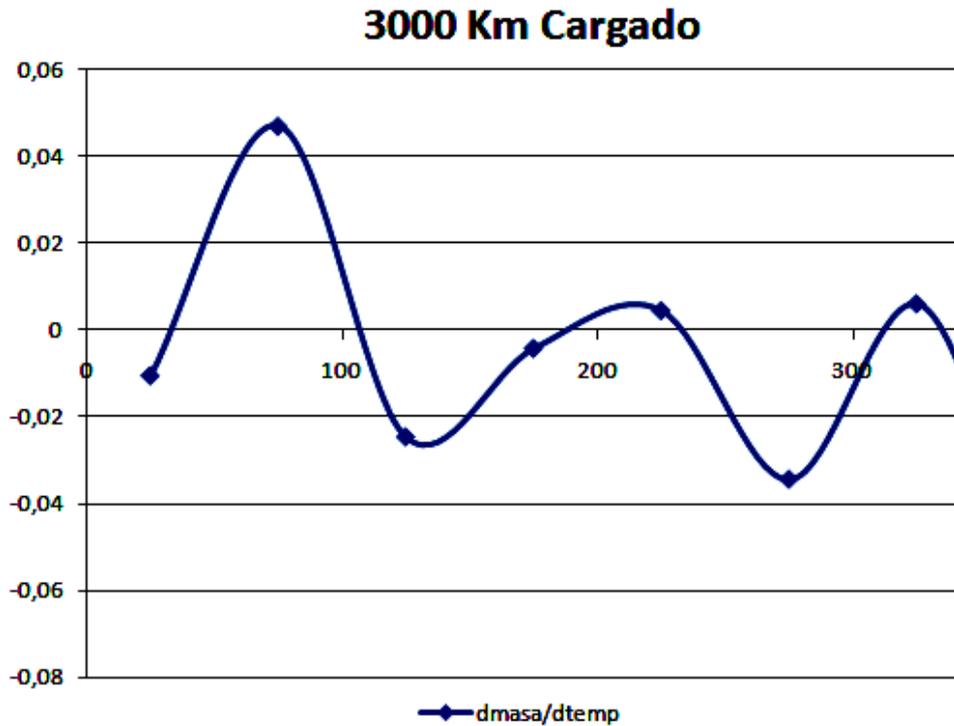


Figura 4.92: Gráfica de la derivada 3000 km con carga de la termobalanza.

Con respecto a la curva de 7500Km con carga figura: 4.93, se puede decir la pérdida de masa se inicia a los 90°C, similar que a los 3000km sin y con carga, el punto de la pérdida de masa llega a los 280°C y con respecto a los 7500Km sin carga, este punto es mucho más bajo; Esto se debe a que el motor trabajó a menores revoluciones.

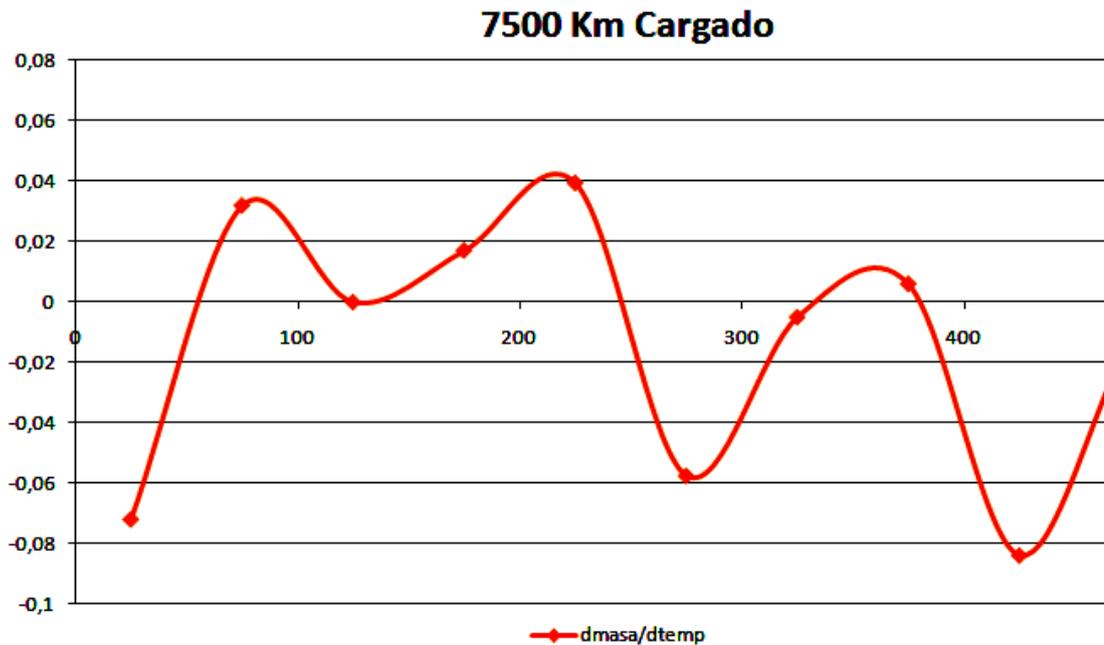


Figura 4.93: Gráfica de la derivada 7500 km con carga de la termobalanza.

Este análisis guarda una relación con la gráfica sensibilidad respecto al kilometraje figura: 4.73, lo cual nos indica que el vehículo con carga no genera mayores cambios en la estructura del lubricante o al menos es mucho más reducido que a los 7500Km sin carga.

4.4. Conclusiones

El diagnóstico del aceite no se debe basar en un solo análisis (desgaste, degradación y contaminación), sino hacer una comparación de todos, ya que se puede tener la viscosidad en óptimas condiciones mientras que el TBN está en su límite de uso.

La absorción atómica y el ultravioleta visible sirvieron para determinar las trazas de metales de desgaste además de elementos de aditivación, analizando los promedios de partículas, vehículo sin carga y cargado, en el primero se observa un mayor desgaste de los elementos de fricción, que se lubrican mediante escurrimiento y barboteo, debido a que se trabajó a mayores revoluciones, esto generó un aumento de Hierro, el cual se encuentra en piezas de rozamiento tales como: rines, cilindro, válvulas, guías de válvulas. Para el Cobre (el cual indica desgaste entre apoyos, cojinetes de biela y de bancada), se obtuvo un menor conteo en el promedio de partículas, esto es debido a que por las altas revoluciones, la bomba de aceite produce mayor presión mejorando la lubricación de estas superficies disminuyendo su desgaste.

El Aluminio es un indicador grave aun cuando su valor sea pequeño, normalmente indica desgaste de cojinetes o roce del faldón de los pistones, mientras que el Plomo es producto del desgaste de cojinetes de biela y bancada; para estos dos últimos elementos no se generaron diferencias entre los promedios de las practicas del vehículo sin y con carga; dándonos como conclusión que los desgastes fueron similares y que no hay diferencias en el conteo de partículas de las dos practicas.

Se logro encontrar una tabla en la que se indican los elementos de aditivación de un aceite lubricante Mobil multigrado 15W-40, en el cual, de manera general, se muestra cuales son y en qué porcentaje están añadidos al aceite base; Los datos de este lubricante fueron comparados con los resultados obtenidos en el análisis

del aceite Mobil Delvac Mx 15W-40, pero los porcentajes de los elementos de aditivación variaban, pudiendo concluir que la formulación utilizada en las prácticas es una mezcla elaborada específicamente para motores que trabajan en países que cuentan con dos estaciones climáticas.

El sodio es el único elemento con el que no cuenta la formulación para nuestro país; esto ocurre debido a que en se cuenta con temperaturas bajo cero. si se encontrase este elemento en niveles elevados, indicaría fuga interna del refrigerante, esto puede hacer que el aceite pierda su fluidez, causando el atascamiento de rines y taponamiento de filtros; en el caso de las muestras de vehículo sin carga se encuentra en niveles bajos mientras que con el vehículo cargado no hay, librando al motor de este inconveniente.

En estos análisis no se encontraron partículas de litio y potasio, estos elementos no constan como elementos de aditivación y tampoco como elementos de aleación de las parte móviles; por lo que no los debe analizar en futuras investigaciones.

Cabe recalcar que si bien se analizaron los promedios de partículas de las dos experiencias (Vehículo sin y con carga), para comparar el comportamiento de desgaste entre estas, los resultados obtenidos no sobrepasan los límites de tolerancia en los cuales se podría dar un diagnostico desfavorable.

Pese a que el nivel del aceite en el motor fue bajando, con forme se fueron sacando las muestras, los análisis no mostraban un incremento en las partículas de desgaste, dando como conclusión que el aceite cumplía muy bien con su trabajo, además se guardo cuidado en que dicho nivel no baje del límite inferior recomendado por el fabricante.

Uno de los métodos más efectivos para el análisis de las muestras es mediante el uso del espectrómetro infrarrojo, en el cual se obtienen resultados en un menor tiempo; con este método se pudo analizar la degradación del lubricante, con la visualización de la oxidación y la nitración, así como también la presencia de agentes contaminantes, como el agua, refrigerante y combustible. Si bien para el análisis de las dos experiencias, no se encontró presencia de contaminantes (corroborado con los análisis de CEPESA), con respecto a la degradación a los

7500Km (vehículo sin y con carga), se visualizo los primeros indicios de oxidación y nitración, siendo mayores en el espectro del vehículo sin carga, llegando a la conclusión de que a mayor revoluciones existe una mayor degradación del aceite.

Aunque resulte obvio decir que el aceite se degrada más rápido con el vehículo cargado, lo más importante son las altas revoluciones y la forma de conducir del piloto.

La termobalanza como análisis del aceite no es un método utilizado para dar un diagnostico; aún cuando los resultados de peso con respecto a la temperatura no mostraban diferencias, se realizó las primeras derivadas de las curvas y se logro obtener las velocidades de pérdida de masa, mostrando los puntos en el que el aceite pierde sus propiedades lubricantes, se evapora y llega a ser cenizas. Dándonos como conclusión de que conforma aumenta el kilometraje, disminuye la temperatura a la cual el lubricante pierde sus propiedades.

Los resultados de la viscosidad dependen de la calibración de los instrumentos que se utilizan, es por esto que los resultados obtenidos no siempre van a coincidir con los de otros laboratorios, para lograr tener los datos parecidos a los de los fabricantes se debe saber que método y parámetros que utilizan. Sin embargo nuestros datos guardaron bastante relación con los datos obtenidos en el laboratorio independiente. Realizando la comparación entre los promedios de las viscosidades del vehículo cargado y sin carga, se pudo concluir que no hay una diferencia significativa, siendo el único parámetro evidente el análisis con respecto a la oxidación, nitración y el TBN.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hay que tener presente que el tipo de aceite analizado cuenta con certificaciones de calidad a nivel mundial, por lo que su desempeño fue más que justificado, aunque esto es muy bueno para la marca del lubricante, no lo fue tanto para el estudio, ya que no se obtuvo una degradación significativa entre muestra y muestra.

Como recomendaciones, si se va a realizar el análisis de un aceite que tiene todas las certificaciones de calidad, realizar un muestreo mucho más espaciado, extrayendo 200ml cada 3000km como mínimo, esto para contar con una mayor cantidad de lubricante en el motor, de manera que se pueda extender el recorrido hasta el punto de su deterioro real.

Realizar los análisis en laboratorios independientes, para tener datos como referencia y obtener resultados de los estudios que no se puedan realizar en los laboratorios de la universidad; tales como el TBN, presencia de Si, y Cr. En el caso del TBN, este determinó el límite en el cual el aceite pierde su reserva alcalina; mientras que por la no presencia de silicio (principal agente abrasivo), no se sobrepasa los límites máximos permitido de desgaste en las partes móviles del motor y tampoco comprometiendo al Cromo como principal elemento de aleación en dichas partes.

Con respecto al muestreo, tener el mayor cuidado posible en la limpieza y nunca cebar o verter el aceite sobrante de los estudios en el motor, ya que esto podría alterar los resultados de los análisis. Siempre agitar las muestras, de preferencia utilizar un agitador mecánico, para obtener una dispersión uniforme de las partículas, ya que es representativa del estado original de la muestra cuando se tomó, esto es debido a que la materia insoluble contenida en la misma pueden precipitar en forma rápida y quedar adheridas en el frasco.

También tener mucho cuidado en la utilización y limpieza de los equipos, lavando todos los elementos utilizados en las prácticas para que no existan impurezas que afecten al resultado final del análisis y por el costo que representan.

Al englobar todos los resultados obtenidos en las prácticas se pudo dar un diagnóstico del estado del aceite, el cual nos da la pauta para decir que una de las variables más importantes, que influyen en la degradación, desgaste y contaminación del lubricante, es la forma de conducir del piloto; ya que el vehículo sin carga, por la facilidad de alcanzar altas velocidades, se sobre revolucionó, haciendo que la temperatura aumente, comprometiendo la vida útil del aceite dentro del motor; por otro lado al tener el vehículo con carga, el piloto, inconscientemente, procura cuidarlo, disminuyendo la velocidad y compensando el esfuerzo del motor con la caja de cambios.

Con estos análisis se comprendió que se puede dar una recomendación general en el kilometraje del uso del aceite, pero para motores que presenten fallas mecánicas este no puede ser usado en periodos largos de recorrido, ya que lo más técnico sería reparar el motor.

El aceite Mobil Delvac MX 15W-40 de clasificación API CI-4, puede ser usado hasta 7500Km, sin que represente daños al motor, en vehículos que tengan un recorrido menor a 100.000Km y que hayan tenido un buen mantenimiento a lo largo de su vida.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias Bibliográficas

- **GERSCHLER, H.** Tecnología del automóvil tomo 2, 20^{va} edición, España, Editorial Reverté, 1985.
- **HERMOGENES, G.** Manual del automóvil reparación y mantenimiento, España, Editorial Cultural, S. A., 2002
- **METCALFE, C.** Química moderna, México, Editorial Interamericana, 1984.
- **TORMOS, B.** Diagnostico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado. España. Editorial Reverté. 1998.
- **VARGAS, J.** Guía práctica de mecánica automotriz, Colombia, Editorial Intermedio, 2003.
- **WEST, D,** Química analítica, España, Editorial Mc Graw-Hill, 1988.
- **Caterpillar,** Folleto de El aceite lubricante y su motor.
- **Caterpillar,** Folletos de Servicios de mantenimiento. Análisis de Fluidos SOSSM.
- **Caterpillar,** Folleto de servicios de mantenimiento Caterpillar.

Referencias Electrónicas

- **Cepsa (Compañía Española de Petróleo SA.),** Índice de viscosidad, <http://www.cepsa.com/cepsa/Que_ofrecemos/Lubricantes/Glosario_de_lubricacion/>, España, 2010.
- **CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía),** Lubricación de los motores de combustión interna, <<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4084/1/lubricacion.pdf>>, México, 29/09/09.

- **Diario HOY Ciudad Quito**, Ecuador tiene el peor diesel en América latina, <<http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/ecuador-tiene-el-peor-diesel-en-america-latina-273543-273543.html>>, Ecuador, 30/julio/2007.
- **Ing. Esteban Echeverría**, EXXON Mobil lubricants & specialties, aditivos detergentes y dispersantes, <http://taho.servidoraweb.net/~exfakoc/consejos_tecnicos/Consejo-034-Aditivos-detergentes-y-dispersantes.pdf>, Argentina, 2009.
- **Instituto Ecuatoriano de Normalización**. Reglamento técnico Ecuatoriano RTE INEN 014:2006 para Aceites Lubricantes. <URL: www.inen.gov.ec>, Ecuador, Acceso: 24 Abril 2009.
- **PEREZ, J.** Los aceites lubricantes, <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:j8jKW_yzbr4J:www.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/21/aceites_lubricantes.doc+www.educarm.es/templates/portal/ficheros/.../21/aceites_lubricantes.doc&cd=1&hl=es&ct=clnk>, España, 2009.
- **Por Esteban Echeverria Esso mobil lubricantes**, MobilMobil Delvac MX 15W-40 Aceite SHPD de muy alto rendimiento para motores diesel <http://www.trucksrys.com/Delvac_mx_15w-40.pdf> Argentina, 2007.
- **Por Raúl Felipe**, Función de los aditivos aceites lubricantes, <<http://lubricaciondemaquinaria.over-blog.es/article-36396895.html>>, España, martes 22 de septiembre del 2009.
- **Scuola Interuniversitaria**, Campana di Specializzazione all'Insegnamento, <<http://www.unina2.it/>>, Italia, 2009.
- **Siero's Valley**, Aceites lubricantes Tipos de aditivos utilizados, <<http://members.fortunecity.es/100pies/Lubricantes/lubricantes4.htm>>, España, Acceso: 2007.
- **Widman international SRL**, El desarrollo de los aceites para motores a diesel, <<http://www.widman.biz/Seleccion/Motores/Desarrollo/desarrollo.html>>, Bolivia. Acceso: 9 Marzo 2009.
- **EFTM (Escuela de formación técnica) MOTUL SA.**, Como interpretar un análisis de aceite usado, <http://www.motul-lubricantes.com/efm/analisis_aceite_usado.pdf>, Francia, 2008.

GLOSARIO

Aceite de base. Producto derivado de la refinación del petróleo usado en la producción de aceites Lubricantes.

Aceite lubricante. Producto derivado de la refinación del petróleo, que se obtiene de la mezcla de aceites básicos y aditivos que se interpone entre dos superficies en movimiento a fin de reducir la fricción y desgaste entre ellas.

Aceite virgen. Aceite lubricante que no ha sido utilizado.

Aceite monógrado. Es aquel que tiene un solo grado de viscosidad S.A.E.

Aceite multigrado. Es aquel que varia sus grados de viscosidad S.A.E con respecto a la temperatura.

Aditivos. Compuestos químicos que se adicionan a los aceite lubricantes con el fin de impartir nuevas propiedades o reforzar algunas ya existentes.

Clasificación API. Orden sistemático de las categorías de acuerdo con los diferentes niveles de desempeño en pruebas internacionalmente establecidas.

Aforar. Acción de disolver una muestra en una concentración establecida.

Rotular. Colocar una etiqueta para que sirva de guía en el desarrollo de los análisis.

Simbología

En esta tesina se establecen los símbolos siguientes:

A.P.I. American Petroleum Institute (Instituto Americano de Petróleo). Organismo que, entre otras actividades, establece la clasificación de calidad y servicio, así como la nomenclatura de los niveles de calidad de los aceites lubricantes.

S.A.E. Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices).

TBN. Total base number (número total de base).

TAN. Total acid number (número total de acido).

V.I. índice de viscosidad. Propiedad de los aceites a mantener su viscosidad con la temperatura.

A.A. Espectroscopía de absorción atómica.

E.A. Espectroscopía de emisión atómica.

T.G. Termo gravimetría.

U.V. Espectrofotometría ultravioleta visible.