

CARACTERIZACIÓN DE ACEITES DE SOYA PRODUCIDOS EN VENEZUELA PARA EL DESARROLLO DE LUBRICANTES INOCUOS CON EL AMBIENTE

Carolina Quintero. PDVSA Intevep. Quinterocv@PDVSA.com

Waleska Castro. PDVSA Intevep. Castrow@PDVSA.com

Sinopsis

Las exigentes regulaciones ambientales y la disminución de las reservas de petróleo a nivel mundial han ocasionado un incremento en la búsqueda de alternativas a las bases lubricantes de origen mineral. Los aceites o bases vegetales están siendo estudiados para ser usados en formulaciones de biolubricantes o lubricantes inocuos al ambiente, debido a sus excelentes propiedades de lubricación y elevada biodegradabilidad. Este trabajo tiene como objetivo estudiar las características fisicoquímicas y desempeño de aceites de soya producidos en Venezuela con diferentes grados de refinación, para ser utilizados como bases lubricantes. El análisis de las características fisicoquímicas y desempeño de los aceites vegetales se realizó utilizando normas AOAC, COVENIN y ASTM aplicadas a las bases lubricantes para las propiedades número ácido, viscosidad cinemática, índice de viscosidad, punto de inflamación y fuego, punto de fluidez, oxidación y ácidos grasos libres, entre otras. Adicionalmente, se caracterizó la composición química de cada uno de los aceites por cromatografía de gas acoplada a espectrometría de masa. En los resultados de las propiedades fisicoquímicas se observó que los aceites de soya evaluados presentaron características similares y de gran potencial para el desarrollo de biolubricantes, tales como baja volatilidad, alto índice de viscosidad y punto de inflamación. Las propiedades de espuma, oclusión de aire, ácidos grasos libres, color y número ácido de los aceites mejoran con el grado de refinación, haciéndolas comparables a una base de origen mineral de grado de viscosidad similar. Los resultados obtenidos indican que es factible utilizar las bases vegetales de origen nacional para formular productos que pudieran entrar en contacto de forma accidental con el ambiente.

Introducción

Los lubricantes se encuentran constituidos por una base lubricante o por una mezcla de bases lubricantes con un paquete de aditivos, donde la base lubricante representa al menos el 80% del lubricante terminado. Por tal razón, propiedades como volatilidad, biodegradabilidad, viscosidad, desempeño a bajas temperaturas, entre otras, son prácticamente definidas por la base lubricante. Estas bases lubricantes son en su mayoría provenientes del petróleo, lo que las hace altamente tóxicas para el ambiente. Sin embargo, en los últimos años se ha experimentado un cambio para el bienestar del planeta, ya que han surgido productos inocuos al ambiente, como es el caso de los biolubricantes.

Los biolubricantes o lubricantes “verdes” se formulan a partir de bases vegetales, que son compuestos orgánicos (principalmente ésteres de ácidos grasos del glicerol, comúnmente denominados triglicéridos) obtenidos a partir de semillas oleaginosas u otras partes de las plantas. Estas bases vegetales han demostrado un desempeño similar o mejor que los lubricantes de base mineral, gracias a la estructura química de los triglicéridos, que le otorgan al aceite vegetal características deseables en un lubricante, como por ejemplo mayor índice de viscosidad y mayor interacción con las superficies metálicas. Su disponibilidad en el tiempo depende de fuentes renovables e inagotables de materias primas y carecen de componentes tóxicos para el ambiente y para el ser humano.

La utilización de los biolubricantes es recomendada para aquellas aplicaciones donde exista la pérdida total del lubricante, como sistemas hidráulicos que trabajen o interaccionen con el medio ambiente, para la industria alimenticia, lubricantes marinos y lubricantes de equipos utilizados en la agricultura.

Existen diversos estudios a nivel mundial sobre el desempeño del aceite de soya como base lubricante, la ventaja de éste sobre otros aceites vegetales es su bajo costo y alta producción de semillas de soya. Sin embargo, a la fecha no se ha realizado ninguna investigación sobre el desempeño de las bases vegetales del tipo aceite de soya como base lubricante, en Venezuela; por lo tanto, es de gran interés evaluar estos aceites con la finalidad de conocer a profundidad su desempeño, y de esta manera, disponer de una base vegetal que permita desarrollar lubricantes biodegradables en el país.

Desarrollo

1. Materiales

Aceites de soya de dos compañías venezolanas con diferente grado de refinación:

Compañía A

Aceite crudo
Aceite RD
Aceite RBD

Compañía B

Aceite crudo
Aceite RB
Aceite RBD

RD: Refinado y desodorizado

RB: Refinado y blanqueado

RBD: Refinado, blanqueado y desodorizado

2. Métodos Experimentales

En la Tabla 1 se muestran los métodos utilizados para la caracterización de las propiedades fisicoquímicas y desempeño de los aceites de soya utilizados en este estudio.

Tabla 1. Métodos experimentales

Método	Norma	Descripción
Ácidos grasos libres	ASTM D 5555 (1995) [1]	Determina los ácidos grasos libres contenidos en aceites para garantizar su calidad.
Índice de refracción	AOAC 921.08 [2]	Es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en una sustancia.
Gravedad específica	AOAC 920.212 [3]	Es la relación existente entre la densidad absoluta de una muestra y la de una sustancia de referencia, donde esta última para el caso de los líquidos es el agua.
Número de peróxido	COVENIN 508 (2001) [4]	Es la cantidad (expresada en miliequivalentes de oxígeno activo por Kg. de grasa) de peróxido en la muestra que ocasiona la oxidación del yoduro de potasio (KI).
Índice de yodo	COVENIN 324 (2001) [5]	Es una medida de la insaturación de los aceites, se expresa como centigramos de yodo absorbidos por gramos de muestra. Para este estudio se utilizó el método Wijs.
Color ASTM	ASTM D 1500 (2004) [6]	Establece la determinación del color visual de lubricantes. Generalmente, se relaciona con el grado de refinación del material.
Viscosidad cinemática de líquidos	ASTM D 445 (2006) [7]	Permite la determinación de la viscosidad cinemática de lubricantes a 40 y 100 °C, la cual influye en la capacidad del aceite para minimizar la fricción y reducir el desgaste.
Índice de viscosidad	ASTM D 2270 (2004) [8]	Se calcula con la viscosidad cinemática medida a 40 y 100 °C. Permite determinar los cambios en la viscosidad producidos por las variaciones en la temperatura.
Características de emulsión	ASTM D 1401 (2002) [9]	Determina la habilidad del lubricante a separarse del agua cuando están sujetos a contaminación y turbulencia del agua. Se realiza a 54 °C cuando la viscosidad del aceite es menor de 90 cSt a 40 °C.
Volatilidad por el método Noack	ASTM D 5800 (2005) [10]	Determina la pérdida por evaporación de aceites lubricantes, lo cual es de particular importancia en la lubricación del motor, ya que la evaporación puede contribuir al consumo del aceite en el motor y llevar a un cambio de propiedades del mismo.
Punto de inflamación y fuego	ASTM D 92 (2005) ASTM D 93 (2007) [11,12]	Permiten medir la tendencia del aceite a formar una mezcla inflamable con aire bajo condiciones controladas de laboratorio, también son usados en regulaciones de seguridad y transporte para definir materiales combustibles e inflamables.
Características de espuma	ASTM D 892 (2006) [13]	Permite determinar las características de espuma de aceites lubricantes. La formación de espuma podría causar una lubricación inadecuada, cavitación de bombas y pérdidas del lubricante.

Tabla 1. Métodos experimentales (Continuación)

Método	Norma	Descripción
Punto de fluidez	ASTM D 97 (2007) [14]	Es el índice de la temperatura más baja para la aplicación del lubricante. Es la temperatura más baja a la cual el movimiento de la muestra es observado.
Oclusión de aire	ASTM D 3427 (2007) [15]	Consiste en la determinación del tiempo de separación de aire retenido en un aceite lubricante. Para aceites con viscosidad entre 9 y 90 cSt a 40 °C, la temperatura de prueba es de 50 °C.
Estabilidad a la oxidación (RPVOT)	ASTM D 2272 (2002) [16]	Evalúa la estabilidad a la oxidación de aceites lubricantes. El tiempo requerido para alcanzar una caída de presión específica es la estabilidad a la oxidación de este ensayo.
Número ácido	ASTM D 974 (2007) [17]	Es usado para el control de calidad de formulaciones de lubricantes y para medir la degradación del lubricante en servicio a través de una titulación colorimétrica.
Densidad y densidad relativa	ASTM D 4052 (1996) [18]	Es una propiedad física que puede ser usada junto con otras propiedades para caracterizar las fracciones del petróleo y sus productos. Para este estudio la medición se realizó a 20 °C.
Cuatro bolas desgaste	ASTM D 4172 (1994) [19]	Permite evaluar las propiedades antidesgaste de un lubricante mediante contacto puntual por deslizamiento en el equipo de 4 bolas desgaste. El ensayo se realiza por 1 hora a 75 °C, 1200 rpm y presión de 15 y 40 Kg.
Corrosión a la lámina de cobre	ASTM D 130 (2004) [20]	Determina la corrosividad de lubricantes al cobre comparando el color y nivel de desgaste de la lámina sumergida en el aceite contra el Estándar de Corrosión de la Lámina de Cobre de la ASTM. La prueba se realiza a 100 °C por 3 horas y a 150 °C por 1 hora.
Grupos funcionales a través de FTIR	-	Esta técnica utiliza el espectro infrarrojo con transformada de Fourier para identificar cualquier especie molecular presente en la muestra analizada. Esta técnica utiliza la región del infrarrojo medio que se extiende entre aproximadamente 670 y 4000 cm ⁻¹ .
Características de prevención a la herrumbre	ASTM D 665 (2006) [21]	Determina la habilidad de aceites lubricantes para prevenir la aparición de herrumbre en partes ferrosas, si el aceite llegara a entrar en contacto con agua. Para este estudio se realizó el ensayo para una mezcla de aceite con 30 % agua destilada a 60 °C, por 24 horas.
Cromatografía GC-MS	-	Determinar cualitativamente los ácidos grasos presentes en el aceite por cromatografía de gas con un detector de masa selectivo. Se realiza una esterificación previa debido a la escasa volatilidad de los ácidos grasos presentes en el aceite vegetal.

3. Resultados y discusión

3.1 Espectroscopia infrarroja FTIR

3.1.1 Compañía A

La Figura 1 muestra los espectros infrarrojos de los aceites de soya de la compañía A, los cuales son similares entre sí, ya que aún cuando poseen diferentes grados de refinación, todos los espectros presentan bandas aproximadamente a 3008 y 1655 cm^{-1} , correspondientes al estiramiento del doble enlace carbono-carbono ($\text{C}=\text{C}$). Adicionalmente, se observa la presencia del enlace carbono-hidrógeno (C-H) característico de los hidrocarburos de tipo alcano, al existir bandas en la región de 2923, 2853, 1463 y 1377 cm^{-1} . Los tres aceites muestran en su composición el grupo carbonilo de ésteres, el cual se evidencia con la presencia de las bandas a 1743 y 1160 cm^{-1} , atribuibles al estiramiento del enlace $\text{C}=\text{O}$ y CO-O , grupo característico de los triglicéridos. Por último, se observa una señal a 722 cm^{-1} proveniente de la vibración de tipo deformación del enlace simple C-H de los hidrocarburos presentes en el aceite [22].

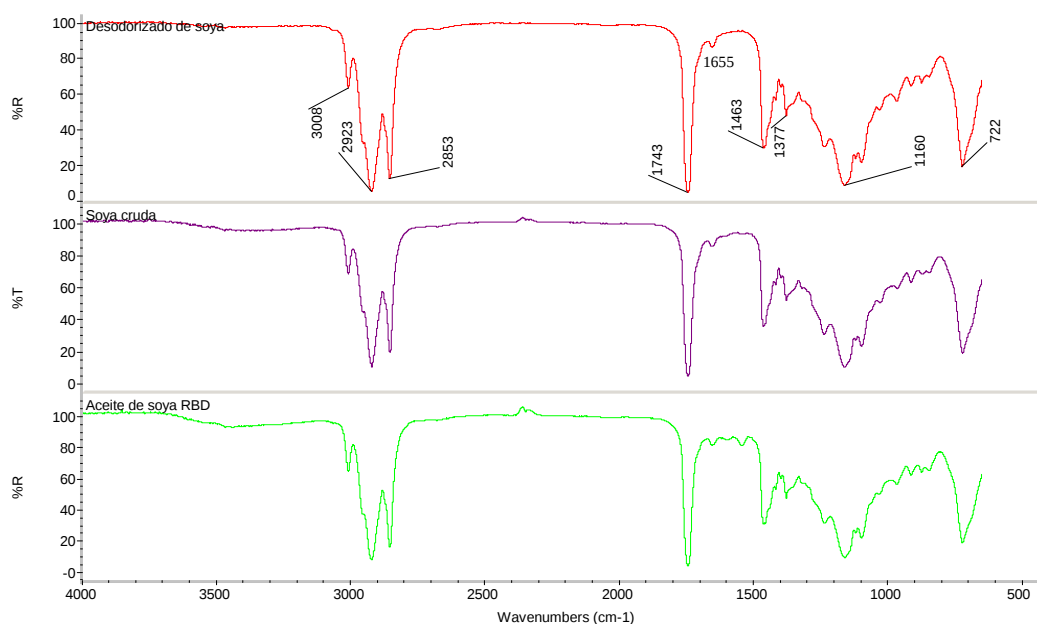


Figura 1. Espectros FTIR de aceites de soya de la compañía A

3.1.2 Compañía B

La Figura 2 muestra los espectros infrarrojos obtenidos para los aceites de soya de la Compañía B; para los tres tipos de aceites se observan bandas similares entre sí, las cuales concuerdan con las señales presentes en los espectros de los aceites de la Compañía A, discutidos anteriormente.

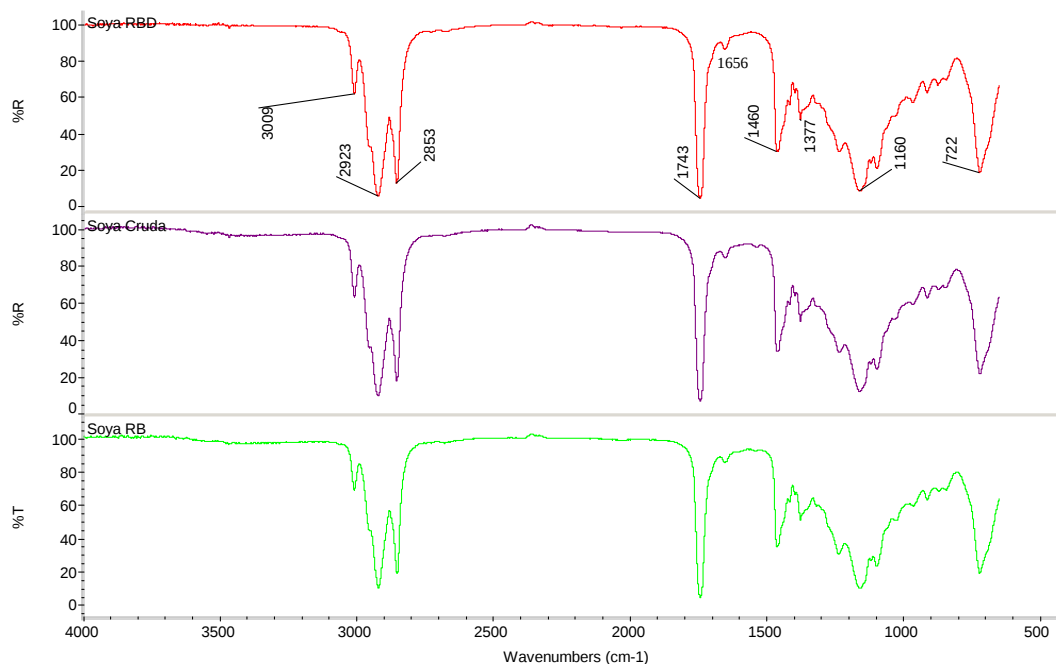


Figura 2. Espectros FTIR de aceites de soja de la compañía B

3.2 Propiedades fisicoquímicas y desempeño

3.2.1 Compañía A

La Tabla 2 muestra que los aceites de soja comercializados por la compañía A presentan valores de viscosidad similar a 40 y a 100 °C, y todas las muestras poseen un alto índice de viscosidad, lo cual es consistente con el comportamiento de los aceites vegetales, de exhibir incrementos mínimos de viscosidad con las variaciones de temperatura [8].

Tabla 2. Viscosidad de los aceites comercializados por la compañía A

	Soya Cruda	Soya RD	Soya RBD
Viscosidad a 40 °C (cSt)	30,99	33,50	32,22
Viscosidad a 100 °C (cSt)	7,484	7,830	7,708
Índice de Viscosidad (adim)	223	217	221

En la Tabla 3 se muestran los resultados de las propiedades de corrosión y herrumbre. Con relación a la corrosión de la lámina de cobre, todos los aceites presentaron corrosión de grado 1a a 100 °C. A 150 °C los aceites de soja crudo y RBD presentaron grado 1a, mientras que el aceite de soja RD presentó un grado de corrosión ligeramente mayor 1b. Sin embargo, el grado de corrosividad de estos aceites es aceptable; sólo se observa un leve desgaste en la superficie de la lámina de cobre luego de realizar la prueba; estos resultados se muestran en la Tabla 3. Todos los aceites analizados de la Compañía A pasaron la prueba de herrumbre de 24 horas (procedimiento A), lo que implica que, si estos aceites llegaran a mezclarse con agua de forma accidental dentro del sistema de lubricación, la

formación de herrumbre no ocurrirá en las partes ferrosas del equipo [21]. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Corrosión y herrumbre de los aceites comercializados por la compañía A

	Soya Cruda	Soya RD	Soya RBD
Corrosión a la lámina de Cu a 100 °C (3 horas) (adim)	1a	1a	1a
Corrosión a la lámina de Cu a 150 °C (1 hora) (adim)	1a	1b	1a
Herrumbre (adim)	Pasa (24 h)	Pasa (24 h)	Pasa (24 h)

La Figura 3a muestra la variación de color con respecto al grado de refinación de los aceites; se puede observar como el color disminuye a medida que aumenta el grado de refinación; esto se debe a que en la etapa de blanqueado del proceso de refinación de los aceites vegetales se eliminan los compuestos coloreados presentes en el aceite [23]. Adicionalmente, se observa como disminuye el grado de acidez de los mismos cuando son más refinados, esto ocurre como consecuencia de la reducción en la cantidad de contaminantes como metales, jabones y productos de oxidación, durante el proceso de refinación [24]. Al igual que el color y la acidez, la volatilidad de los aceites disminuye al aumentar el grado de refinación, esto se evidenció con el ensayo de volatilidad Noack, donde el aceite crudo presentó el mayor porcentaje de volatilidad, lo que sugiere que este aceite contiene mayor cantidad de ácidos grasos que se descomponen por acción oxidativa y generan mayores pérdidas por evaporación [25] (Figura 3b). El grado de refinación afecta de manera consistente el color, acidez y volatilidad de los aceites vegetales.

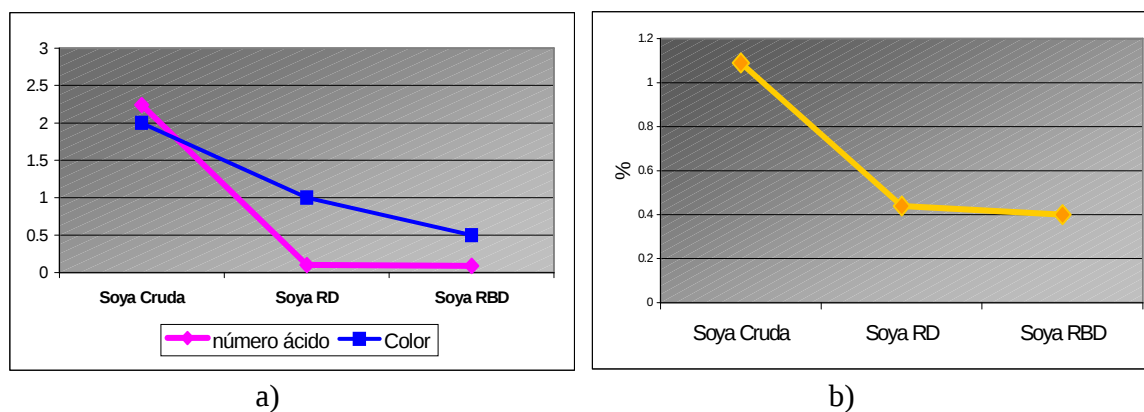


Figura 3. a) Color ASTM y Acidez. b) Volatilidad Noack. Aceites Compañía A

Los tiempos resultantes en el ensayo RPVOT son similares para todos los aceites, obteniéndose valores máximos de 15 minutos para el aceite RB, por tanto se puede inferir que estos aceites ofrecen poca estabilidad a la oxidación, lo cual es característico de aceites vegetales, debido a la presencia de ácidos grasos insaturados, que poseen sitios activos para promover reacciones de degradación como la oxidación, ello los hace principales responsables de la poca estabilidad oxidativa de los aceites [26]. De igual manera, los

resultados del ensayo de punto de fluidez no presentaron variación significativa y se encontró similitud con los valores reportados por Erhan y colaboradores (2006) [27] y Lawate y colaboradores (1997), quienes analizaron un aceite de soya refinado, obteniendo un punto de fluidez de $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 4) [28].

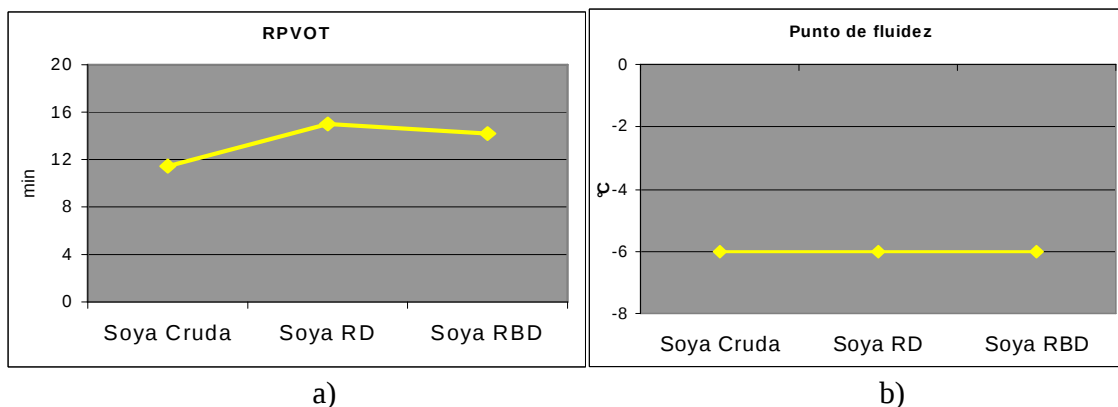


Figura 4. a) RPVOT. b) Punto de fluidez. Aceites Compañía A

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos para las pruebas de número de yodo, número de peróxido y ácidos grasos. El aceite de soya crudo presentó la mayor cantidad de ácidos grasos libres, lo que concuerda con la elevada acidez obtenida para este aceite [17]. Se destaca que los otros dos aceites presentaron menor acidez y por tanto menor cantidad de ácidos grasos libres. El número de peróxido fue mayor para el aceite más refinado (Soya RBD), mientras que el número de yodo fue mayor para aceite crudo, sin embargo, no existe gran diferencia entre los valores obtenidos para los aceites analizados.

Tabla 4. Características químicas de los aceites comercializados por la compañía A

	Soya Cruda	Soya RD	Soya RBD
Nº Yodo (adim)	132	-	122
Nº Peróxido (meq O_2/Kg muestra)	0,1829	-	3,2038
Ácidos Grasos (%)	9,52	0,05	0,64

En la Tabla 5 se observan los resultados del ensayo de espuma para cada aceite, encontrando que el aceite crudo presentó mayor tendencia y estabilidad a la formación de espuma, este aceite posee mayor riesgo de ofrecer una lubricación no adecuada, con la posibilidad de permitir entrada de aire al sistema de lubricación [13]. De igual manera, este aceite consumió el mayor tiempo para liberar la cantidad de aire atrapado según el ensayo de oclusión de aire, lo cual corrobora que este aceite tiene mayor posibilidad de ocasionar mala lubricación en sistemas donde se pueda producir dispersión de burbujas de aire en el aceite, como cojinetes y bombas [15]. En el ensayo de características de emulsión, se observa que sólo para el aceite RBD la emulsión se reduce a menos de 3 mL después de los 30 minutos del ensayo, lo que implica que sólo este tipo de aceite cumpliría los requisitos establecidos en la norma ASTM; esto se atribuye a la presencia del grupo éster que hace

susceptible a estos aceites a formar emulsiones cuando existe una excesiva contaminación con agua [27].

Tabla 5. Propiedades de los aceites comercializados por la compañía A

	Soya Cruda	Soya RD	Soya RBD
Espuma (mL)	Sec I:460/250 Sec II: 60/10 Sec III: 480/310	Sec I:0/0 Sec II: 0/0 Sec III: 0/0	Sec I:0/0 Sec II: 0/0 Sec III: 0/0
Oclusión de aire (min)	1,88	1,12	1,23
Características de emulsión (mL)	3-37-40 (30)	0-37-43 (30)	43-37-0 (15)

En los resultados de los ensayos de índice de refracción, gravedad específica (25 °C) y densidad (20 °C), para los tres tipos de aceites analizados, se observaron valores similares en cada una de las pruebas respectivas, debido a que los aceites analizados provienen de semillas de soya y sólo varía el grado de refinación de cada uno. De igual manera, se observa poca diferencia en los resultados de punto de inflamación y fuego, todos los aceites presentan altos valores para esta propiedad como se muestra en la Figura 5. Estos valores son consistentes con los reportados por Lawate y colaboradores (1997), quienes obtuvieron puntos de inflamación de 320 °C para aceites de soya [28].

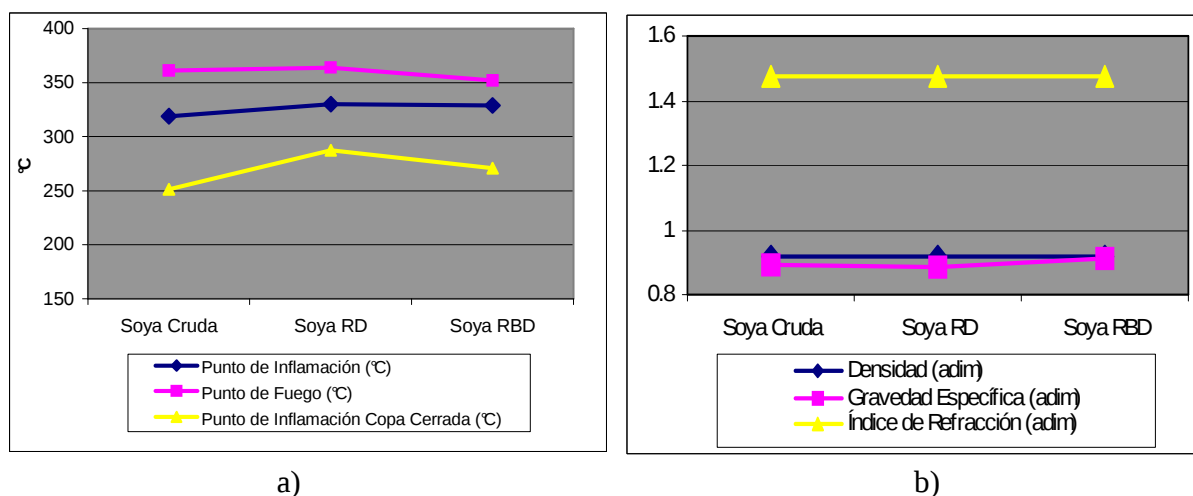


Figura 5. a) Punto de inflamación y fuego b) Densidad, índice de refracción y gravedad específica. Aceites Compañía A

En el ensayo de 4 bolas desgaste se observó que el aceite de soya crudo genera la menor huella de desgaste, corroborando que éste es el aceite que presenta mayor cantidad de ácidos grasos libres, compuestos que poseen propiedades anfifílicas y se adhieren con mayor facilidad a la superficie metálica, por lo que proporcionan mayor protección [29]. En la Figura 6 se observan los resultados obtenidos para cada tipo de aceite a 15 y 40 Kg. Para ambas condiciones se manifiesta el mismo desempeño.

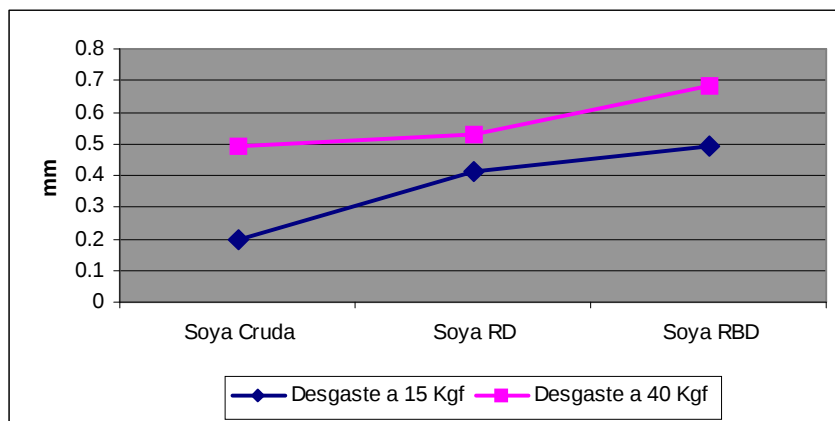


Figura 6. Diámetro de huella obtenido en el ensayo de 4 bolas desgaste.
Aceites Compañía A

Los resultados obtenidos mediante la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas se muestran en las Tablas 6 y 7 para cada uno de los aceites analizados, mediante este ensayo se logró determinar la cantidad de los ácidos grasos presentes en cada uno de los aceites en mayor proporción. Estos resultados se pueden comparar con los obtenidos mediante la caracterización de los aceites por otros métodos.

El aceite de soja crudo presentó mayor cantidad de ácidos grasos insaturados (Tabla 6), donde el ácido oleico representa casi el 45% de su composición.

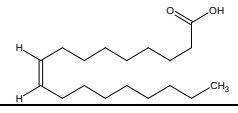
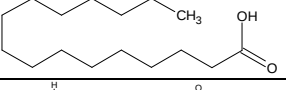
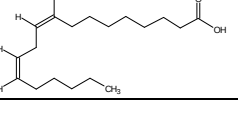
Tabla 6. Composición del aceite de soja crudo (Compañía A)

Compuesto	Estructura Molecular	Proporción (%)
Ácido oleico	<chem>CCCCCCCC=CCCCCCCC(=O)O</chem>	44,33
Ácido palmítico	<chem>CCCCCCCCCCCCCCCC(=O)O</chem>	23,67
Ácido esteárico	<chem>CCCCCCCCCCCCCCCCCCCC(=O)O</chem>	13,59
Ácido linoleico	<chem>CCCC=CCCC=CCCCCCCC(=O)O</chem>	12,36
Otros	-	6,05
Ácidos grasos insaturados	-	57,94
Ácidos grasos saturados	-	42,06

En la Tabla 7 se muestran los resultados para el aceite de soja RBD de la compañía A. Este aceite está compuesto en su mayoría por ácidos grasos insaturados, encontrándose una

mayor cantidad de insaturados que en el aceite crudo, estos resultados no eran los esperados, ya que el mayor porcentaje de volatilidad se consiguió con el aceite crudo.

Tabla 7. Composición del aceite de soya RBD (Compañía A)

Compuesto	Estructura Molecular	Proporción (%)
Ácido oléico		54,40
Ácido palmítico		30,14
Ácido linoleico		15,46
Ácidos grasos insaturados	-	68,86
Ácidos grasos saturados	-	30,14

3.2.2 Compañía B

La Tabla 8 muestra los resultados de viscosidad obtenidos para los aceites de soya de la compañía B. Estos aceites presentan de forma similar a los evaluados con anterioridad, valores de viscosidad en el rango ISO 32, teniendo valores muy cercanos entre ellos, tanto a 40 como a 100 °C. El índice de viscosidad es similar entre todas las muestras analizadas y concuerda con lo esperado para aceites vegetales, los cuales presentan poca variación de viscosidad con respecto al cambio de temperatura [8].

Tabla 8. Viscosidad de los aceites comercializados por la compañía B

	Soya Cruda	Soya RB	Soya RBD
Viscosidad a 40 °C (cSt)	31,13	31,07	31,84
Viscosidad a 100 °C (cSt)	7,523	7,537	7,68
Índice de viscosidad (adim)	224	225	225

En el ensayo de corrosión de la lámina de cobre, todos los aceites presentaron corrosión de grado 1a para 100 y 150 °C, un grado de corrosividad aceptable para estos aceites, es perceptible sólo un leve desgaste en la superficie de la lámina de cobre, luego de realizar la prueba. Se destaca que sólo la muestra de soya RBD presentó corrosión tipo 1b cuando se evaluó a 150 °C por 1 hora. Sin embargo, sigue siendo un grado de corrosión leve, de acuerdo con la norma [20]. Estos aceites también demostraron tener buenas propiedades de protección de la superficie metálica en el ensayo de prevención a la herrumbre, ya que en el ensayo realizado a 24 horas, con agua destilada todos los aceites pasaron la prueba al no observarse picaduras o presencia de herrumbre. En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos en ambas pruebas.

Tabla 9. Corrosión y herrumbre de los aceites comercializados por la compañía B

	Soya Cruda	Soya RB	Soya RBD
Corrosión a la lámina de Cu a 100 °C (3 horas) (adim)	1a	1a	1a
Corrosión a la lámina de Cu a 150 °C (1hora) (adim)	1a	1a	1b
Herrumbre (adim)	Pasa (24 h)	Pasa (24 h)	Pasa (24 h)

En el ensayo de color se observó un desempeño similar al de los aceites de la compañía A; el aceite crudo presenta el color más elevado, debido a que no ha sido sometido a ningún proceso de refinación y posee todos los compuestos que le otorgan un color oscuro, mientras que el aceite RBD presenta el valor más bajo, porque al ser el aceite más refinado, se le han extraído los compuestos coloreados y otros contaminantes [30]. Adicionalmente, el aceite crudo mostró el porcentaje más alto de volatilidad en el ensayo Noack, al igual que los aceites de la compañía A; este aceite contiene mayor cantidad de constituyentes que se descomponen por la acción oxidativa y generan mayores pérdidas por evaporación [25] (Figura 7).

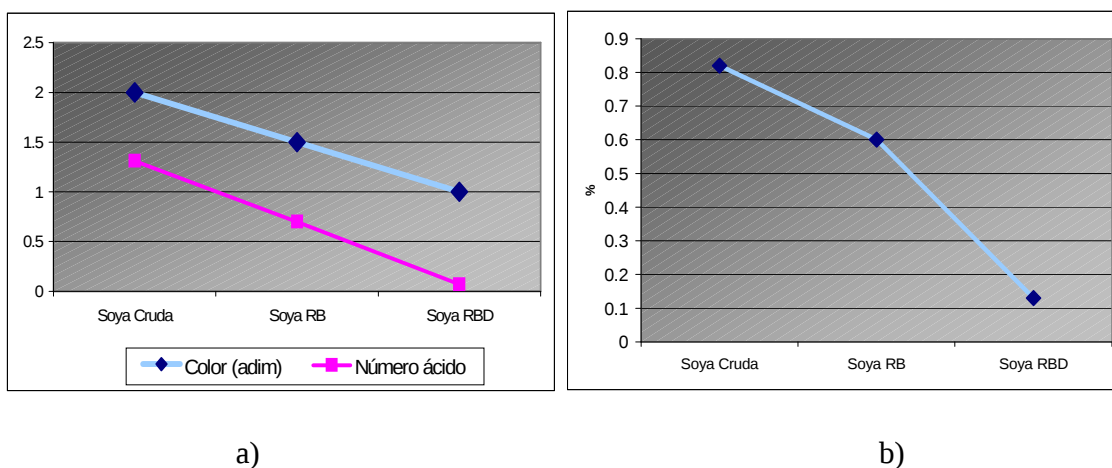
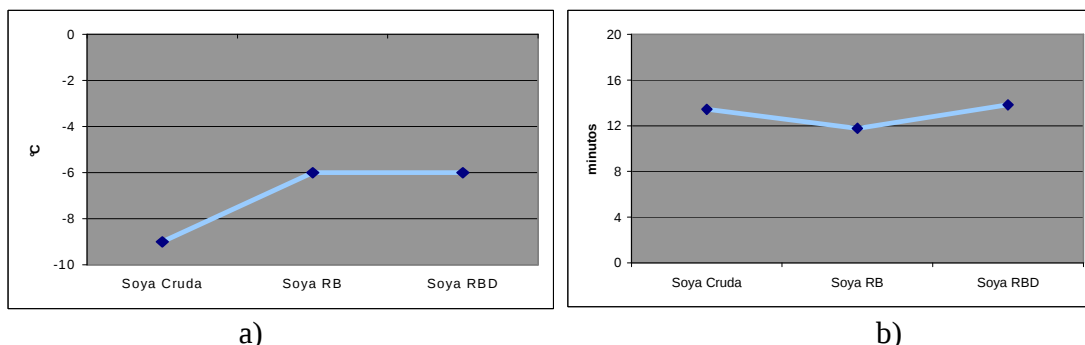


Figura 7. a) Color y Número ácido b) Volatilidad Noack. Aceites Compañía B

El menor punto de fluidez lo exhibe el aceite crudo, sin embargo, no existe una diferencia significativa entre los tres aceites, ya que este valor se encuentra dentro de la reproducibilidad de la norma ASTM [14]. Para la prueba RPVOT (ver Figura 8) los valores de tiempo obtenidos son consistentes entre sí, los cuales no son mayores a 14 minutos. Este desempeño constituye una de las principales desventajas de los aceites vegetales, por su pobre estabilidad a la oxidación, atribuible a la presencia de los dobles enlaces de los ácidos grasos presentes en el aceite y el grupo β -CH del componente alcohólico [31].



a) Punto de fluidez b) RPVOT. Aceites Compañía B

En el aceite crudo se encontró la mayor cantidad de ácidos grasos libres, lo cual concuerda con el resultado de número ácido para este aceite [17]. Adicionalmente, el número de peróxido fue mayor para el aceite más refinado (RBD), mientras que el número de yodo fue mayor para el aceite sin refinar (crudo), sin embargo, no se observan diferencias significativas entre los aceites analizados con respecto al número de yodo (Tabla 10).

Tabla 10. Características de los aceites comercializados por la compañía B

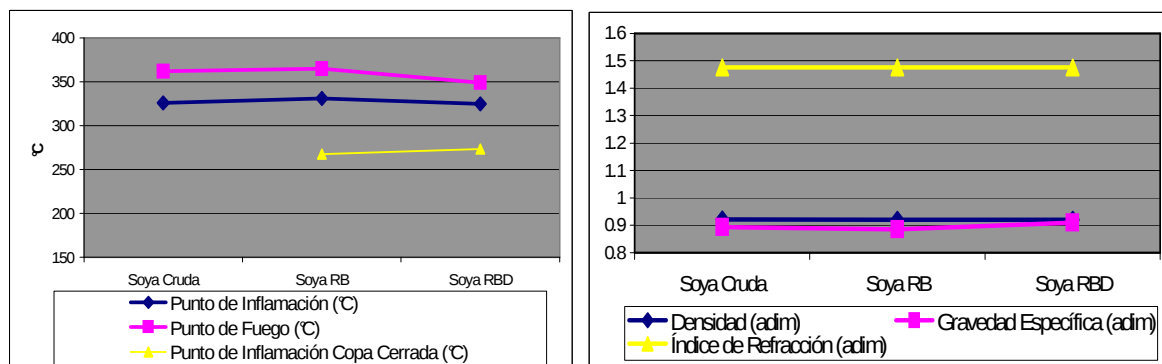
	Soya Cruda	Soya RB	Soya RBD
Nº Yodo (adim)	131	130	126
Nº Peróxido (meq O ₂ /Kg muestra)	0,4174	0,3821	10,9600
Ácidos grasos (%)	22,87	17,04	0,05

En la Tabla 11 se muestran los valores obtenidos para el ensayo de características de emulsión, donde se observa que los aceites estudiados no mostraron resultados satisfactorios, debido a que forman más de 3 mL de emulsión [9]. En esta tabla también se observan los resultados obtenidos en la prueba de oclusión de aire. En este ensayo el aceite crudo sigue mostrando el mayor valor, al igual que para los aceites de la compañía A, lo cual implica que el aire atrapado se tarda más tiempo en ser liberado de este aceite, bajo las condiciones de la prueba. En consecuencia, el aceite crudo presenta mayor riesgo de ocasionar lubricación deficiente en sistemas donde pueda ocurrir una dispersión de burbujas de aire en el aceite [15]. Asimismo, en el ensayo de espuma se observaron tendencias similares, el aceite crudo produce la mayor cantidad de espuma, la cual es estable bajo las condiciones de prueba, corroborando lo expuesto anteriormente [13].

Tabla 11. Características de los aceites comercializados por la compañía B

	Soya Cruda	Soya RB	Soya RBD
Espuma (mL)	Sec I: 560/410 Sec II: 240/0 Sec III: 500/320	Sec I: 0/0 Sec II: 0/0 Sec III: 0/0	Sec I: 0/0 Sec II: 0/0 Sec III: 0/0
Oclusión de aire (min.)	2,30	1,30	1,59
Características de emulsión (mL)	0-13-67 (30)	0-38-42 (20)	0-37-43 (30)

Los valores obtenidos en punto de inflamación y punto de fuego de todos los aceites presentan la misma tendencia en cada propiedad, altos valores de temperatura comparados con las bases minerales. En los ensayos de índice de refracción, gravedad específica (25 °C) y densidad (20 °C) se obtuvieron valores similares en cada ensayo, lo cual era de esperarse, ya que todos los aceites estudiados son a base de soja (ver Figura 9).



a) Punto de inflamación y fuego b) Densidad, índice de refracción y gravedad específica. Aceites Compañía B

Los resultados para el ensayo 4 bolas desgaste coinciden con los de los aceites analizados de la Compañía A, donde se mantiene la tendencia de que el aceite crudo es el que genera menor huella de desgaste bajo las condiciones de la prueba, lo cual indica que esta base vegetal ofrece una mayor protección a la superficie metálica contra el desgaste [19]. En la Figura 10 se observa la tendencia del diámetro de huella en los especímenes de prueba para cada aceite a las diferentes condiciones del ensayo.

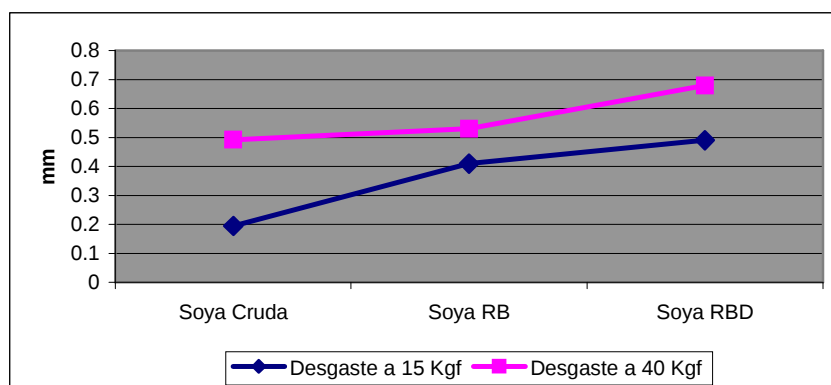
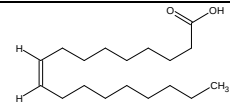
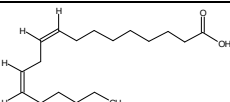
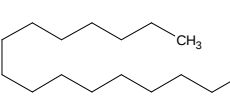
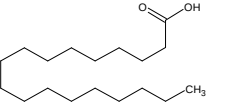


Figura 10. Diámetro de huella obtenido en el ensayo de 4 bolas desgaste.

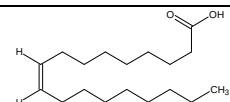
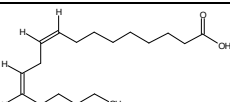
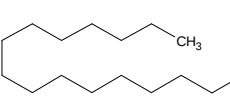
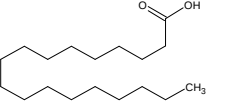
En las tablas 12, 13 y 14 se muestran los resultados de la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas para cada uno de los aceites de la Compañía B. En la Tabla 12 se observa como la mayor proporción del aceite RBD está representada por los ácidos grasos insaturados, principalmente por el ácido oléico que es aproximadamente el 50 % de este aceite.

Tabla 12. Composición del aceite de soya RBD (Compañía B)

Compuesto	Estructura Molecular	Proporción (%)
Ácido oleico		47,23
Ácido linoleico		36,51
Ácido palmítico		9,89
Ácido esteárico		4,17
Otros	-	2,20
Ácidos grasos insaturados	-	83,45
Ácidos grasos saturados	-	16,55

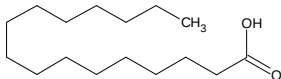
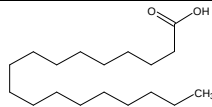
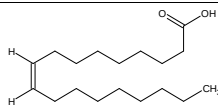
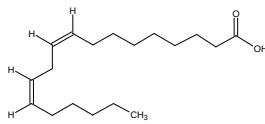
En la Tabla 13 se muestran los ácidos grasos del aceite de soya RB, donde se observa que, al igual que el aceite RBD, el porcentaje de ácidos grasos insaturados representa casi la totalidad del aceite, presentando una cantidad ligeramente mayor que el aceite anterior.

Tabla 13. Composición del aceite de soya RB (Compañía B)

Compuesto	Estructura Molecular	Proporción (%)
Ácido oleico		57,63
Ácido linoleico		26,96
Ácido palmítico		8,76
Ácido esteárico		4,06
Otros	-	2,59
Ácidos grasos insaturados	-	85,95
Ácidos grasos saturados	-	14,05

Para el aceite crudo el porcentaje de ácidos grasos insaturados es menor a los aceites analizados anteriormente para esta compañía, sin embargo los resultados presentan mucha variación con respecto a los aceites RB y RBD.

Tabla 14. Composición del aceite de soya cruda (Compañía B)

Compuesto	Estructura Molecular	Proporción (%)
Ácido palmítico		36,83
Ácido esteárico		31,40
Ácido oleico		26,53
Ácido linoleico		2,29
Otros	-	2,95
Ácidos grasos insaturados	-	28,82
Ácidos grasos saturados	-	71,18

Conclusiones

- ◆ Los aceites crudos podrían recomendarse como base lubricante mejorando sus propiedades antiespumante.
- ◆ Los aceites refinados podrían recomendarse como base lubricante mejorando sus propiedades antidesgaste.
- ◆ Los aceites evaluados podrían usarse como bases lubricantes de grado ISO 32.
- ◆ Todas las bases vegetales presentan altos puntos de fluidez y pobre estabilidad a la oxidación en comparación con las bases minerales.
- ◆ Todas las bases vegetales al ser comparadas con las bases minerales exhibieron excelentes condiciones de protección contra la corrosión y la herrumbre.
- ◆ Los aceites crudos presentan un color más intenso y ofrecen excelentes propiedades de protección a las superficies metálicas, sin embargo generan una elevada formación de espuma y los tiempos para la liberar el aire ocluido son más extensos.

- ◆ Los aceites analizados presentaron un elevado punto de inflamación, independientemente de la compañía que los comercialice o el grado de refinación de los mismos.
- ◆ Los aceites evaluados poseen baja volatilidad y altos índices de viscosidad al ser comparados con las bases minerales.
- ◆ Los resultados de densidad (20 °C), gravedad específica (25°C) e índice de refracción son similares para todos los aceites evaluados.
- ◆ El grado de acidez en el aceite está relacionado a la cantidad de ácidos grasos libres presentes en el mismo y ambas propiedades son mayores para los aceites crudos.

Recomendaciones

◆

Bibliografía

1. ASTM D 5555-95 (Reapproved 2006). Determination of Free Fatty Acids Contained in Animal, Marine, and Vegetable Fats and Oils Used in Fat Liquors and Stuffing Compounds.
2. AOAC 921.08. Index of Refraction of Oils and Fats.
3. AOAC 920.212. Specific Gravity (Apparent) of Oils. Pycnometer Method. 1985 (Reapproved 1994).
4. COVENIN 508:2001. Aceites y Grasas Vegetales. Determinación del Índice de Peróxido.
5. COVENIN 324: 2001. Aceites y Grasas Vegetales. Determinación del Índice de Yodo por el Método de Wijs.
6. ASTM D 1500-07. ASTM Color of Petroleum Products.
7. ASTM D 445-06. Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids.
8. ASTM D 2270-04. Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40 and 100 °C.
9. ASTM D 1401-02. Water Separability of Petroleum Oils and Synthetic Fluids.
10. ASTM D 5800-05. Evaporation Loss of Lubricating Oils by Noack Method.
11. ASTM D 92-05^a. Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester.
12. ASTM D 93-07. Flash Points by Pensky-Martens Closed Cup Tester
13. ASTM D 892-06^{ε1}. Foaming Characteristics of Lubricating Oils.
14. ASTM D 97-07. Pour Point of Petroleum Products.
15. ASTM D 3427-07. Air Release Properties of Petroleum Oils.
16. ASTM D 2272-02. Oxidation Stability of Steam Turbine Oils by Rotating Pressure Vessel.
17. ASTM D 974-07. Acid and Base Number by Color-Indicator Titration.
18. ASTM D 4052-96 (Reapproved 2002)^{ε1}. Density and Relative Density of Líquids by Digital Density Meter.

19. ASTM D 4172-94 (Reapproved 2004)^{ε1}. Wear Preventive Characteristics of Lubricating Fluid (Four-Ball Method)
20. ASTM D 130-04^{ε1}. Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test.
21. ASTM D 665-06. Rust-Preventing Characteristics of Inhibited Mineral Oil in the Presence of Water.
22. Skoog, Douglas.; Holler, James; Nieman, Timothy A. Principios de Análisis Instrumental. Quinta edición. 2001.
23. Elaboración y refinado de aceites comestibles. Copyright 2007. Disponible en www.fao.org
24. Esquema del proceso de aceites comestibles. Disponible en: http://portal.aniam.com/articulo_22.shtml
25. Woods, M.; Lubes-n-Greases, 3,7,14-16-18, 1997
26. N.J. Fox, G.W. Stachowiak. Vegetable oil-based lubricants—A review of oxidation. Tribology International 40. Pag. 1035–1046. 2007. Disponible en <http://www.sciencedirect.com>.
27. Erhan, Sevim; Sharma, Brajendra K.; Pérez, Joseph. Oxidation and low temperature stability of vegetable oil-based lubricants. Industrial Crops and Products Journal. Pag 292-299. Vol 24, Noviembre 2006. Disponible en <http://www.sciencedirect.com>
28. Lawate, Saurabh S., Lal, Kasturi, Huang, Chor. Vegetable Oils - Structure and Performance. Tribology Data Handbook, pag. 103–116. 1997.
29. Adhvaryu, A.; Erhan, S.Z.; Perez, J.M. Tribological studies of thermally and chemically modified vegetable oils for use as environmentally friendly lubricants. 2004. Pag. 359–367. Disponible en <http://www.sciencedirect.com>.
30. Fabricación de grasas y aceites vegetales y subproductos. Comisión nacional del medio ambiente - región metropolitana. 1998. Disponible en <http://www.sofofa.cl/ambiente/documentos/Fabricaci%F3n%20de%20Grasas%20y%20Aceites%20Vegetales%20y%20Subproductos%20.pdf>.
31. Wagner, Helena; Luther, Rolf; Mang Theo. Lubricant base fluids based on renewable raw materials Their catalytic manufacture and modification. 2001. Disponible en <http://www.sciencedirect.com>.