

# 9no Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente

## EVALUACIÓN ACEITES VEGETALES EN COMPARACIÓN CON ACEITE MINERAL EN PAR ACERO-ACERO Y TRIBÓMETRO DE BLOQUE Y DISCO.

**Autores:** Daniel Rodríguez Peña<sup>1</sup>, Alejandro Velázquez González<sup>1</sup>, Kirenia Abreu González<sup>2</sup>, Francisco Lafarge Pérez<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Universidad de Las Tunas. Centro de Estudios de Eficiencia Energética y Procesos Tecnológicos. Las Tunas. Cuba

<sup>2</sup>Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Villa Clara. Cuba.

<sup>3</sup>Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Santiago de Cuba. Cuba.

### RESUMEN

En el presente trabajo se estudió el comportamiento tribológico de cuatro aceites en un tribómetro de bloque y disco. Los cuatro aceites estudiados son tres vegetales, Sésamo, soya y caña con un 15% de cera, y el mineral uno de transmisión el EP 90 GL4. A los cuatro se le midió la progresión del incremento de la temperatura en la probeta durante el ensayo, y se recopilaban los datos necesarios para el cálculo del coeficiente de fricción presente en el transcurso del experimento y coeficiente de desgaste para cada ensayo. Se obtuvieron los peores resultados en general para el aceite de soya y con buenos resultados el de sésamo y el de caña, este último teniendo mejores resultado en el coeficiente de fricción y en el coeficiente de desgaste, los mejores resultados de manera integral para el mineral como era de esperarse. Se concluyen en las buenas potencialidades de los aceites de sésamo y caña como aceites lubricantes.

Palabras claves: Tribología, Biolubricante, Ensayo bloque y disco.

### ABSTRACT

In the present work we studied the tribological behavior of four oils in a block and disk tribometer. The four oils studied are three vegetables, Sesame, soybean and cane with 15% wax, and the mineral one of transmission EP 90 GL4. At four the progression of the temperature increase in the test piece during the test was measured, and the necessary data were collected for the calculation of the coefficient of friction present during the experiment and the coefficient of wear for each test. The worst results were obtained in general for soybean oil and with good results that of sesame and cane, the latter having better results in the coefficient of friction and in the coefficient of wear, the best results in an integral way for the mineral As it was expected. They conclude in the good potentials of sesame and cane oils as lubricating oils.

Keywords: Tribology, Biolubricant, Block and disk test.

## INTRODUCCIÓN

Con la documentada disminución de las fuentes naturales de recursos, el cambio climático global, y el aumento de la conciencia ambientalista los lubricantes de base renovable han comenzado a considerarse como una alternativa potencial para sustituir los aceites derivados del petróleo.

La sustitución de los aceites minerales por productos biodegradables, no tóxicos es uno de las formas de reducir el efecto negativo sobre los ecosistemas producidos por los lubricantes. La biodegradabilidad está volviéndose una propiedad muy importante en las regulaciones medioambientales, siendo la más restrictiva, aquella que tiene que ver con la integridad de suministros de agua y el ambiente en general. La biodegradación en condiciones aeróbica (aire) es producida debido a los procesos graduales de hidrólisis y oxidación. Por oxidación las moléculas de aceite se descomponen en  $CO_2$ ,  $H_2O$  y biomasa orgánica (Ștefănescu, CALOMIR, GHEORGHIȘ, & SPÂNU, 2005).

Los lubricantes biodegradables deben ser especialmente empleados en tribosistemas que trabajan bajo el principio de lubricación de un sólo paso o de pérdida total y en áreas ambientalmente sensibles, como son: manufactura de la madera, en la agricultura, la construcción y la industria de alimentos (Barriga, Aranzabe, Galda, & al., 2006). Aunque otros autores han trabajado las modificaciones químicas y su comportamiento tribológico ante estas, con el objetivo de aumentar su tiempo de uso y eliminar una de sus principales desventajas (Adhvaryu & Erhan, 2002; Asadauskas, Pérez, & Duda, 1996; Campanella, RUSTOY, BALDESSARI, & BALTANÁS, 2010; Erhan, Sharma, Liu, & Adhvaryu, 2008; Erhan, Sharma, & Perez, 2006; Salimon, Salih, & Yousif, 2011; Santos, Matos, & Sales, 2013; Sharma, Adhvaryu, Zengshe, & Erhan, 2006).

Según (Barriga et al., 2006; Brajendra & Adhvaryu, 2005; Garcés, Martínez-Force, & Salas, 2011) los aceites vegetales más empleados como biolubricantes se encuentran el aceite de ricino, el aceite de colza, de girasol y soya, pero tienen alta demanda como aceites comestibles, lo que crea contradicciones sociales su uso.

La composición química del aceite vegetal es fundamental en sus propiedades tribológicas como lo reflejan (Asadauskas et al., 1996; Baumgart, Canzi, Hanashiro, Doezema, & Siniawski, 2010; de Assunção-Nascimento, Lafargue-Pérez, Reyes-Semanat, & Díaz-Velásquez, 2014; Siniawski, Saniei, Adhikari, & Doezema, 2007). En la provincia de Las Tunas se tiene la producción de diferentes aceites vegetales, ya sea de manera artesanal como industrial, los más representativos son: Soya, sésamo y de la cera de la caña de azúcar, aunque se tienen referencias de existir pequeñas producciones aceite de maní. Del aceite de cera de caña se tienen pocas referencias, aunque de los aceites de las Provincia de Las Tunas (Remedios, 2000) hizo una profunda caracterización reológica de estos solos y mezclados con cera.

Aunque los dos primeros aceites son ampliamente estudiados, cada aceite varía su composición en dependencia de la variedad y las condiciones edafológicas en donde se desarrolló el cultivo (Vieitez & Dios, 1950), del aceite de caña se tienen pocos estudio. Por lo que nos planteamos un estudio de estos aceites tuneros y compararlos con un aceite mineral para tener una idea clara de sus potencialidades para futuros aceites bases de biolubricantes, aunque a estos hayan que hacerles otras operaciones para un real uso como

Biolubricante(Adhvaryu & Erhan, 2002; Bokade & Yadav, 2007; Campanella et al., 2010; Erhan et al., 2008; Garcia Colomer, 2011).

## DESARROLLO

Instalación Experimental.

En las fotos siguientes se muestra la instalación experimental que consta de, Soporte de la Carga, Palanca, Porta Probeta, Depósito para Lubricante, Motor asincrónico de  $110\text{ V}$ ,  $n=900\text{ r.p.m.}$  Los instrumentos utilizados para controlar la temperatura de la probeta, el consumo de energía del motor, las r.p.m, la masa del bloque inicial y final y la huella producto del contacto entre los cuerpos son los siguientes



Termómetro laser-Infrarrojo (*UT-306*).

Tacómetro Laser (*UT-372*).

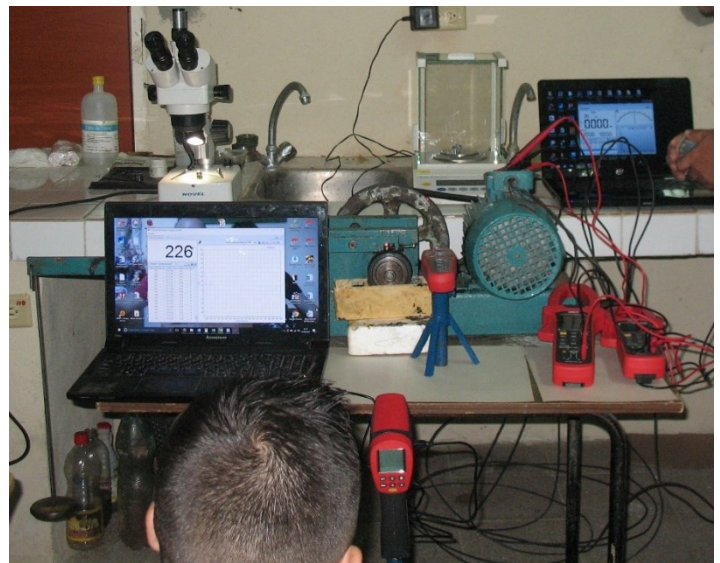
Multímetro de campo (*UT-233*).

Balanza Analítica ( ).

Esteroscopio óptico  $40x$  ( ).

Para la realización de los experimentos se utilizaron los siguientes materiales:

- Bloque – Acero *1045* con Dureza *155-165 HB*.
- Rodillo acero aleado con Dureza de *55-60 HRC*.



Lubricantes Utilizados.

- Aceite de Soya.
- Aceite de Sésamo.
- Aceite de Caña de azúcar (Producto de la Refinación de la Cera)
- Aceite Mineral *EP 90 GL4*.

Propiedades	Aceite de Soya	Aceite de Caña de azúcar (15% de Cera)	Aceite de Sésamo	Aceite Mineral <i>EP 90 GL4</i>
Viscosidad cinemática a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$	28	388	29,64	190.0
Viscosidad cinemática a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$	11,35	18.11	11.89	17.25
Índice de Viscosidad	185.2	11.45	183	95

Densidad, a 20 °C g/cm <sup>3</sup>	0,92-0,93	0,89-0,91	0.915-0.924	0.8410
-------------------------------------	-----------	-----------	-------------	--------

El brazo de palanca sobre el cual está montado el bloque es articulado, como se aprecia en las imágenes. La carga se aplica mediante el sistema de peso muerto en el extremo de la palanca, la carga actuando sobre los bloques se determina por la siguiente expresión:

$$N = 19,38 \cdot P \quad (1)$$

Siendo

$P \rightarrow$  Carga aplicada en la palanca [ $N$ ].

$N \rightarrow$  Carga sobre la probeta [ $N$ ].

La velocidad de deslizamiento se determinó por la siguiente expresión:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 10^3} \quad (2)$$

Donde:

$n \rightarrow$  Número de revoluciones del rodillo [ $r.p.m$ ].

$d \rightarrow$  Diámetro del rodillo [ $mm$ ].

$V_d \rightarrow$  Velocidad de deslizamiento [ $m/s$ ]

Las r.p.m a las que se mueve el rodillo varían según la carga y el aceite que se esté usando en el ensayo por lo que se miden para cada ensayo usando el tacómetro Laser.

Ensayos

Inicialmente se mide el consumo de potencia activa de la instalación en vacío durante 5 min. Después de aplicada la carga correspondiente se mide el consumo de potencia cada 10 segundos durante un tiempo de 50 minutos, la potencia activa se mide con el multímetro. El coeficiente de fricción se calcula según:

$$f = \frac{\dot{W}_c - \dot{W}_v}{N \cdot V_d} \quad (3)$$

Donde:

$\dot{W}_c \rightarrow$  Potencia del motor con carga [ $W$ ].

$\dot{W}_v \rightarrow$  Potencia del motor en vacío [ $W$ ].

$N \rightarrow$  Carga sobre la probeta [ $N$ ].

$V_d \rightarrow$  Velocidad de deslizamiento [ $m/s$ ]

Régimen de Lubricación en el Experimento

El régimen de lubricación en cualquier par tribológico está definido por la relación entre el espesor mínimo de la película de lubricante ( $h_{min}$ ) y la sumatoria de los acabados superficiales de los cuerpos en contacto, según la siguiente expresión.

$$\lambda = \frac{h_{min}}{(R_1^2 + R_2^2)^{0.5}} \quad (4)$$

La definición del régimen de lubricación a través del coeficiente de película  $\lambda$  es

Régimen hidrodinámico  $\lambda \geq 3$

Régimen Mixto  $\lambda = 1 \div 3$

Régimen Limite  $\lambda < 1$

Otra forma de establecer el régimen de lubricación es con el coeficiente de fricción que está presente en el ensayo lo cual se puede ver en la siguiente tabla:

Régimen de lubricación	de	Espesor de Película ( $\mu m$ )	Coeficiente espesor de película. ( $\lambda$ )	Coeficiente de Fricción. ( $f$ )
Limite		$0.005 \div 0.10$	$< 1$	$0.15 \div 0.40$
Mixta		$0.01 \div 1$	$1 \div 3$	$0.02 \div 0.15$
Elastohidrodinámica		$0.01 \div 10$	$3 \div 10$	$0.01 \div 0.10$
Hidrodinámica.		$1 \div 100$	$> 6$	$0.001 \div 0.01$

Los coeficientes de fricción se calculan por la fórmula 3

Evaluación de los Aceites.

La metodología a seguir para desarrollar los experimentos es la siguiente:

Cada aceite se medirá bajo la acción de un peso de  $1kg$  y  $2 kg$  respectivamente durante un tiempo de  $50$  minutos. El aceite estará en un recipiente debajo del anillo de tal manera que bañe completamente el par en contacto. La probeta (Bloque) se pesará al inicio y al final del ensayo para contabilizar la pérdida de masa después de ser lavada en un solvente (nafta). Durante el ensayo se medirá el consumo de potencia del motor eléctrico en espacio cada  $10$  segundos, la temperatura del bloque y las rpm a las que se mueve el anillo. Las mediciones se registran en computadoras mediante software e interface que suministra el fabricante del instrumento.

Evaluación del Desgaste.

El tipo de desgaste principal en este ensayo en el adhesivo, al ser poca la concentración de partículas duras en el aceite (desgaste abrasivo) y ser poco tiempo para que ocurra la fatiga superficial, aunque al tener una superficie más dura que otra no se descarta cierta abrasión (Norton, 2011). Para el desgaste adhesivo Rabinowics ha desarrollado un trabajo consecuente durante años a partir de la determinación del coeficiente de desgaste ( $K$ ) establecido en 1953 por Archard. El coeficiente de desgaste se determina por la expresión #5, cabe señalar que esta ecuación también se aplica al desgaste abrasivo (Norton, 2011).

$$K = \frac{3,3 \cdot HB \cdot I_h}{P_N} \quad (5)$$

Donde:

$HB$  → Dureza Brinell del material. En casos de diferentes durezas entre los dos cuerpos se toma la de menor dureza ya que es donde se producirá el desgaste mayor.

$I_h$  → Intensidad lineal del desgaste; del material en análisis.

$P_N$  → Presión nominal (MPa)

$$I_h = \frac{W_L}{S_F} \quad (6)$$

Donde:

$W_L$ : Desgaste lineal (m)

$S_F$ : Distancia recorrida en el ensayo (m)

Rabinowics ha calculado el valor del coeficiente de desgaste para diferentes condiciones y ha recopilado una gran cantidad de resultados obtenidos por otros autores, a partir de lo cual elaboró una tabla que permite para un par de rozamientos dado, evaluar:

- Si es necesario sustituir uno de los materiales.
- Si es recomendable cambiar el lubricante.
- Si se necesita modificar las condiciones de lubricación y/o enfriamiento.
- Si es necesario mejorar las condiciones de carga y de movimiento relativo.

En dependencia de la magnitud del coeficiente de desgaste se establecen los siguientes tipos de desgaste adhesivo:

- a).- Desgaste por pulido  $K = 10^{-6} - 10^{-8}$
- b).- Desgaste moderado  $K = 10^{-4} - 10^{-6}$
- c).- Desgaste severo  $K = 10^{-2} - 10^{-4}$

Par de rozamiento acero aleado-acero al carbono, parcialmente compatibles, con cierta tendencia a la adhesión(Norton, 2011; Rabinowicz, Peterson, & Winer, 1980).

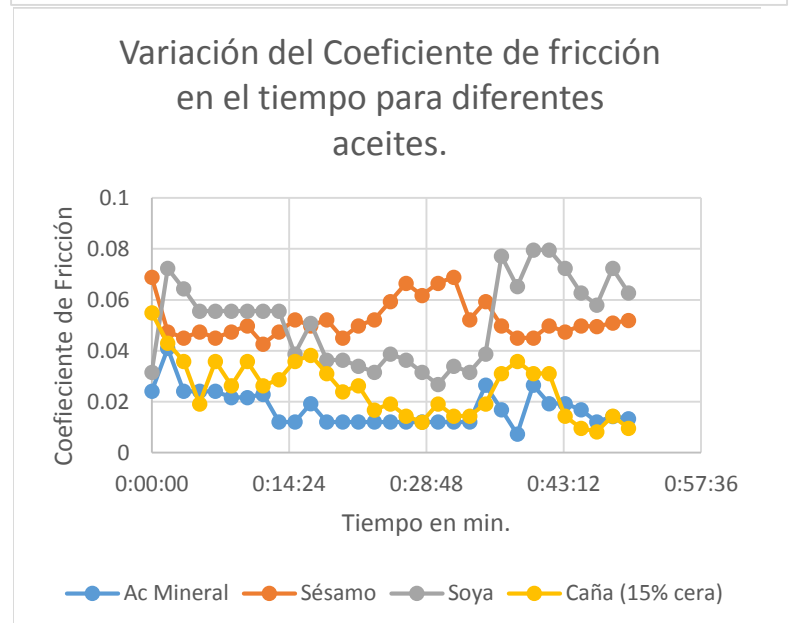
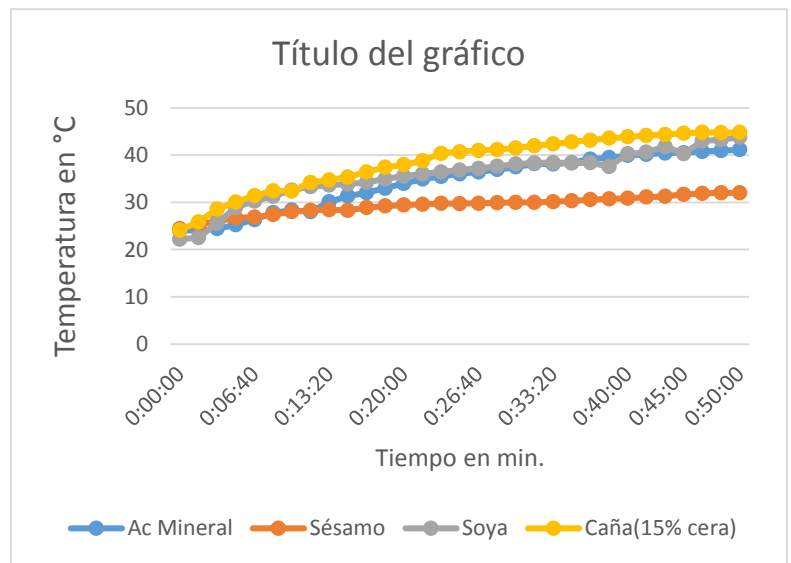
Resultados y Discusión de los Ensayos.

En la siguiente se muestran los resultados obtenidos del coeficiente de desgaste a través de los cálculos realizados.

Aceite	$W_L (m)$	$I_h$	$P_N (MPa)$	$K$
Mineral 1 kg	0,00005	$1,23 \cdot 10^{-8}$	12,58	$5,32 \cdot 10^{-7}$
Soya 1 kg	0,00035	$8,59 \cdot 10^{-8}$	3,69	$1,27 \cdot 10^{-5}$
Sésamo 1 kg	0,00015	$3,66 \cdot 10^{-8}$	5,27	$3,78 \cdot 10^{-6}$
Caña (15% de cera)	0.00010	$2,47 \cdot 10^{-8}$	8,11	$1,66 \cdot 10^{-6}$

El coeficiente es mayor donde el aceite tiene un peor comportamiento con lubricante en este caso es para el aceite de soya, mejor en el de sésamo y caña, obteniendo un mejor comportamiento en el mineral como es de esperarse. En el de soya se obtiene un desgaste moderado y en el de sésamo y caña de moderado a uno por pulido.

En la gráfica que se muestra a continuación se ven los resultados del comportamiento de la temperatura en el bloque. Donde se tiene un mejor comportamiento es para el aceite de sésamo y un peor para el de caña. En todos los aceites se ve un aumento brusco inicial con una disminución gradual de la pendiente de las gráficas. Todo este comportamiento coincide con el desgaste inicial que siempre es mayor, para luego venir el periodo de asentamiento, comportamiento que es similar a la vida de los elementos de máquinas. Es de significar en este comportamiento del aceite de sésamo con respecto al mineral que es un aceite vegetal sin ninguna modificación química y sin aditivos que mejoren su comportamiento como lubricante, a diferencia del mineral que es un producto terminado. En el caso del de





caña quizás se contradiga el comportamiento del aumento de su temperatura con su buen comportamiento al desgaste, pero cuando hay baja temperatura por su porcentaje de Cera el comportamiento reológico es de un pseudoplástico (Remedios, 2000), en la segunda parte de la gráfica solo hay un aumento de 5°C siendo en esa parte el aumento mayor en el de soya y mineral, para esta parte su comportamiento reológico se acerca a un fluido newtoniano.

En la gráfica siguiente se refleja el comportamiento del coeficiente de fricción para estos mismos aceites.

Si bien entra un poco en contradicción con el comportamiento de la temperatura se corresponde con el coeficiente de desgaste del aceite de sésamo se observa un comportamiento más estable y mejor en los inicios y finales del ensayo cada aceite. El de caña tiene un comportamiento acorde a su desgaste y gráfica de temperatura. Siendo mejor para el aceite mineral como era de esperar. Por el valor del coeficiente de fricción para el mineral y el de caña tenemos una lubricación mixta en los inicios que después hace frontera con la elastohidrodinámica de ahí su bajo desgaste, el de sésamo y soya el régimen es mixto de ahí sus niveles de desgaste siendo mayor en el de soya.

## CONCLUSIONES

1. Desde el punto de vista tribológico el mejor comportamiento es para el aceite mineral.
2. Entre los aceites vegetales el de mejor comportamiento tribológico fue el de caña+15% de cera, con coeficiente de desgaste menor y menor coeficiente de fricción durante el ensayo.
3. Las temperaturas de las probetas fue mayor para el de caña, algo menor para el de soya y mucho mejor en el de sésamo, siendo variable el comportamiento del de caña que con la variación de temperatura evoluciona desde un pseudoplástico hasta un fluido newtoniano.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adhvaryu, A., & Erhan, S. Z. (2002). Epoxidized soybean oil as a potential source of high-temperature lubricants. *Industrial Crops & Products*, 15(3), 247.
- Asadauskas, S., Pérez, J., & Duda, J. (1996). Oxidative stability and antiwear properties of high oleic vegetable oils. *Lubr. Eng.*, Vol 52, 877-882.
- Barriga, J., Aranzabe, A., Galda, P., & al., e. (2006). Sunflower Based Grease for Heavy Duty Applications. *Mecânica Experimental.*, Vol. 13, p. 129-133.
- Baumgart, P., Canzi, G., Hanashiro, T., Doezema, L. A., & Siniawski, M. T. (2010). Influence of fatty acid additives on the tribological performance of sunflower oil. *Lubrication Science*, 22(9), 393-403. doi: 10.1002/lis.134
- Bokade, V. V., & Yadav, G. D. (2007). Synthesis of Bio-Diesel and Bio-Lubricant by Transesterification of Vegetable Oil with Lower and Higher Alcohols Over Heteropolyacids Supported by Clay (K-10). *Process Safety & Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part B*, 85(5), 372-377. doi: 10.1205/psep06073
- Brajendra, S., & Adhvaryu, A., Pérez. (2005). Influence of Composition on Thermo-oxidative and Tribochemical Behavior. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2961-2968.
- Campanella, A., RUSTOY, E., BALDESSARI, A., & BALTANÁS, M. A. (2010). Lubricants from chemically modified vegetable oils. *Bioresource Technology*, 101, 245–254.

- de Assunção-Nascimento, J.-C., Lafargue-Pérez, F., Reyes-Semanat, L., & Díaz- Velásquez, M. (2014). Propiedades fisicoquímicas y tribológicas de una grasa grafitada de *Jatropha curcas* L y jabón de litio. *Ingeniería Mecánica*, 17, 255-263.
- Erhan, S. Z., Sharma, B. K., Liu, Z., & Adhvaryu, A. (2008). Lubricant base stock potential of chemically modified vegetable oils. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 56(19), 8919-8925. doi: 10.1021/jf801463d
- Erhan, S. Z., Sharma, B. K., & Perez, J. M. (2006). Oxidation and low temperature stability of vegetable oil-based lubricants. *Industrial Crops & Products*, 24(3), 292-299. doi: 10.1016/j.indcrop.2006.06.008
- Garcés, R., Martínez-Force, E., & Salas, J. J. (2011). Vegetable oil basestocks for lubricants. *Grasas y Aceites*, 62(1), 21-28. doi: 10.3989/gya.045210
- Garcia Colomer, A. (2011). *Diseño, selección y producción de nuevos biolubricantes*. (Tesis Doctoral), Universitat Ramon Lull, Barcelona.
- Norton, R. L. (2011). *DISEÑO DE MÁQUINAS* (Cuarta Edición ed.): Prenteci Hall. Pearson.
- Rabinowicz, E., Peterson, M. B., & Winer, W. O. (1980). *Wear Control Handbook* (ASME Ed.). Nueva York: ASME.
- Remedios, P. D. C. (2000). *Caracterización reológica de productos derivados de la caña de azúcar y su aplicación al cálculo de bombas de tornillo*. (PhD), Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.
- Salimon, J., Salih, N., & Yousif, E. (2011). Chemically modified biolubricant basestocks from epoxidized oleic acid: Improved low temperature properties and oxidative stability. *Journal of Saudi Chemical Society*, 15(3), 195-201.
- Santos, J. P., Matos, P., & Sales, M. (2013). Comparative study of the oxidative and thermal stability of vegetable oils to be used as lubricant bases. *Journal of Thermal Analysis & Calorimetry*, 111(2), 1437-1442. doi: 10.1007/s10973-012-2529-6
- Sharma, B. K., Adhvaryu, A., Zengshe, L., & Erhan, S. Z. (2006). Chemical Modification of Vegetable Oils for Lubricant Applications. *Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS)*, 83(2), 129-136.
- Siniawski, M. T., Saniei, N., Adhikari, B., & Doezema, L. A. (2007). Influence of fatty acid composition on the tribological performance of two vegetable-based lubricants. *Journal of Synthetic Lubrication*, 24(2), 101-110. doi: 10.1002/jsl.32
- Ștefănescu, I., CALOMIR, C., GHEORGHIȘ, C., & SPÂNU, C. (2005). STUDY ON TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF VEGETABLE SUNFLOWER OIL USED AS POSSIBLE ECOLOGICAL LUBRICANT. *THE ANNALS OF UNIVERSITY "DUNĂREA DE JOS " OF GALAȚI, TRIBOLOGY, FASCICLE VIII*.
- Vieitez, M. G., & Dios, R. (1950). Contribución al Estudio de los aceites vegetales en dependencia con el clima y el suelo. Retrieved from <http://digital.csic.es/bitstream/10261/60571/1/Dios%20-%20Contribuci%C3%B3n%20al%20estudio....pdf> website: <http://digital.csic.es>