

Propiedades fisicoquímicas y tribológicas de una grasa grafitada de *Jatropha curcas* L y jabón de litio

Physicochemical and tribological properties of graphite grease based on *Jatrophacurcas* L oil and lithium soap

Juliano-Chitue de Assunção-Nascimento^I, Francisco Lafargue-Pérez^{II},
Luis Reyes-Semanat^{III}, Manuel Díaz- Velásquez^{IV}

I. Instituto Superior Politecnico da Universida de Katyavala Bwila. Benguela. República de Angola

Correo electrónico: julianochitue@yahoo.com.br

II. Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería Mecánica. Santiago de Cuba. Cuba

III. Empresa Cubana de Lubricantes CUBALUB. Santiago de Cuba. Cuba

IV. Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería Química. Santiago de Cuba. Cuba

Recibido: 2 de abril de 2014

Aceptado: 4 de agosto de 2014

Resumen

Las grasas lubricantes son consideradas una dispersión coloidal de un espesante en un fluido lubricante. Los aceites vegetales son ampliamente usados en muchas formulaciones de grasas. En este trabajo se determinaron las propiedades fisicoquímicas y tribológicas de una grasa lubricante fabricada con aceite vegetal de *Jatropha curcas* L y jabón de litio (JC1G5). Alfa tocoferol acetato y grafito fueron usados como aditivos antioxidante y de extrema presión respectivamente. La grasa JC1G5 mostró un color negro, una temperatura de goteo de 140 °C, apropiadas propiedades de corrosión al cobre y un grado de consistencia NLGI Grado1. El efecto de la lubricación de la grasa JC1G5 fue probado, empleando una máquina de cuatro bolas y un tribómetro timken. Los resultados indican que la grasa JC1G5 posee propiedades tribológicas comparables con una grasa mineral de jabón de litio.

Palabras claves: grasa, *jatropha curcas* L, jabón de litio, propiedades fisicoquímicas, propiedades tribológicas.

Abstract

Lubricating greases are considered as colloidal dispersions of a thickener in a lubricating fluid. The vegetable oils are widely used in many formulations of greases. In this paper were determined the physicochemical and tribological properties of graphite grease based on *Jatropha curcas* L vegetable oil and lithium soap (JC1G5). Alpha tocoferol acetate and graphite were used as antioxidant and extreme pressure additives respectively. The grease JC1G5 showed a black color, a dropping point of 140 °C, appropriate magnitude of copper corrosion and consistency NLGI Grade 1. Lubrication performance of the grease JC1G5 was tested using the 4-ball wear tester and timken tribometer tester. Results indicate that the grease JC1G5 has tribological properties comparable to that of mineral oil base lithium grease.

Key words: grease, *jatrophacurcas* L, lithium soap, physicochemical properties, tribological properties.

Introducción

La mejor capacidad de trabajo en condiciones de lubricación límite, mixta y elastohidrodinámica, especialmente en cojinetes de rodamientos y en engranajes abiertos, ser lubricante y al mismo tiempo su propio reservorio, es actuar como sello y ser capaz de absorber los impactos por carga en los rodamientos, amortiguar las vibraciones de las partes de las máquinas expuestas a fricción reduciendo el ruido, minimizar las fugas, el chorreo y las salpicaduras del propio lubricante, así como la protección de las superficies metálicas contra la corrosión y el herrumbre son algunas de las ventajas de las grasas lubricantes en comparación con los aceites lubricantes.

Ya en el año 1400 a.c. los egipcios utilizaban grasas lubricantes fabricadas de aceite de oliva y de cal para la lubricación de los ejes de madera de sus carruajes, sin embargo la primera grasa lubricante moderna se fabricó en el año 1872, la cual fue de jabón de sodio y aceite mineral [1]. Los aceites minerales siguen siendo los más empleados en la fabricación de las grasas lubricantes, pues estos poseen una mayor estabilidad oxidativa y mejor comportamiento a bajas temperaturas que los aceites vegetales [2].

Los aceites sintéticos también son utilizados en la obtención de grasas lubricantes, pero debido a su alto costo, sólo son empleados en las aplicaciones médicas, aeroespaciales y en medios computacionales [3-4].

El resurgimiento de los aceites vegetales como lubricantes, se debe fundamentalmente a la alta contaminación ambiental provocada por los lubricantes minerales, al agotamiento de las reservas de petróleo [5] y al desarrollo de la industria biotecnológica y química, la cual ha permitido incrementar la estabilidad oxidativa de los aceites vegetales, mediante la modificación genética de las semillas de las plantas oleaginosas (obteniendo un aceite con un alto contenido de ácido oleico); la modificación química del aceite (transesterificación, hidrogenación parcial y epoxidación) junto con la fabricación de nuevos aditivos [5-6].

Por su parte, uno de los aspectos más importantes del uso de los aceites vegetales como componente mayoritario de las grasas lubricantes (75 % - 95 %), es que son un recurso renovable y biodegradable [7].

Varias publicaciones han reportado el empleo de aceites vegetales como aceite base en la fabricación de grasas lubricantes, donde algunas de estas grasas son empleadas en la industria pesada [8].

El aceite vegetal de *Jatropha curcas* L posee un gran potencial para la producción no sólo de biocombustibles, sino también de biolubricantes [9].

La primera grasa lubricante fabricada con aceite vegetal de *Jatropha curcas* L y jabón de litio [10], sólo empleó como aditivo un antioxidante.

En el trabajo se determinan las propiedades fisicoquímicas y tribológicas de una grasa de *Jatropha curcas* L y jabón de litio, empleando el grafito como aditivo de extrema presión.

Métodos y Materiales

En la formulación de la grasa grafitada de *Jatropha curcas* L y jabón de litio (JC1G5) se emplea aceite base, espesante y aditivos.

Aceite base: El aceite base empleado es el aceite vegetal de *Jatropha curcas* L con refinado químico o alcalino [11], cuyas propiedades fisicoquímicas se muestran en la tabla 1.

Espesante: como espesante se emplea el jabón de litio, el cual fue obtenido de la reacción del ácido graso 12 hidroxisteárico (12 OHST) y el hidróxido de litio monohidratado (LiOH.H₂O).

Aditivos: el alfa tocoferol acetato se usa como aditivo antioxidante y el grafito como aditivo de extrema presión.

Preparación de la grasa JC1G5

La grasa lubricante es fabricada mediante cuatro etapas fundamentales, la saponificación, la disolución del jabón, la recristalización y la homogenización. La formulación de la grasa comprende una relación jabón de litio/aceite base (1:8.6), un 3 % de aditivo antioxidante (en peso de la mezcla total) y un 5 % de aditivo de extrema presión (en peso de la mezcla total). El aceite base (60 % en peso de la mezcla total) fue previamente calentado en un reactor de 1 litro hasta los 60 °C, añadiéndose la mezcla del ácido 12 hidroxisteárico e hidróxido de litio monohidratado con una relación molar de 1:0.75, luego se eleva la temperatura hasta los 90 °C, manteniéndose una hora y media con agitación a 460 rpm. Posteriormente se eleva la temperatura lentamente hasta fundirse el jabón de litio a los 200 °C, donde la mezcla fue inmediatamente enfriada añadiéndole el aceite base restante (40 % en peso de la mezcla total). Al alcanzar los 70 °C durante el enfriamiento, se le añade el aditivo antioxidante, siguiendo con agitación hasta enfriarse a la temperatura ambiente, obteniéndose de esta forma la grasa lubricante.

Posteriormente la grasa se homogeniza para obtener una estructura estable y finalmente el grafito es añadido y distribuido homogéneamente en la grasa como relleno y como aditivo de extrema presión.

Grasa mineral: se utiliza a modo de comparación en los estudios tribológicos una grasa mineral comercial de jabón de litio de consistencia NLGI Grado 2, que emplea bisulfuro de molibdeno como aditivo de extrema presión (3 % en peso de la mezcla total) y cuyas propiedades fisicoquímicas se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L refinado

Propiedades y normas empleadas		Magnitud
Densidad, (Kg/m ³) (ASTM D 1298)		0,914
Viscosidad cinemática a 40 °C, cSt (ASTM D 445)		32,620
Viscosidad cinemática a 100 °C, cSt (ASTM D 445)		7,510
Índice de viscosidad (ASTM 2270)		210,000
Punto de fluidez, °C (ASTM D97)		300,000
Punto de inflamación, °C (ASTM D97)		-7,000
Índice de acidez, mg de KOH/g (AOCS, Ca 5 ^a -40)		0,210
Composición de los ácidos grasos por CG, % (AACc, 58-18)	C14:0 (ácido mirístico)	0,070
	C16:0 (ácido palmítico)	11,645
	C16:1 (ácido palmitoleico)	0,635
	C17:0 (ácido margárico)	0,080
	C18:0 (ácido esteárico)	6,775
	C18:1 (ácido oleico)	31,270
	C18:2 (ácido linoleico)	49,120
	C18:3 (ácido linolénico)	0,140
	C20:0 (ácido araquídico)	0,195
	C20:1 (ácido gadoleico)	0,070

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de la grasa mineral y su aceite base

Propiedades	Magnitud
Color	Gris Acero
Penetración trabajada 25 °C, a 60 golpes, 1/10 mm.	280
Temperatura de goteo, °C	180
Corrosión al cobre, 100 °C, 3hr	1a
Carga crítica, N	981
Carga de soldadura, N	1962
Aceite base	
Densidad (Kg/m ³)	0.8907
Viscosidad cinemática a 40 °C, cSt	178
Viscosidad cinemática a 100 °C, cSt	16,3
Índice de viscosidad	95

Determinación de las propiedades fisicoquímicas y tribológicas

Propiedades fisicoquímicas de la grasa JC1G5

Se identifica el color y textura, se determinan varias propiedades, tales como: penetración, temperatura de goteo y corrosión al cobre, empleando las normas ASTM D-217, ASTM D-566 y ASTM D-130 respectivamente.

Propiedades tribológicas

Se determinan las propiedades de extrema presión de la grasa JC1G5, empleando una máquina de cuatro bolas con la norma ASTM 2596-97, obteniendo la magnitud de la carga crítica y la carga de soldadura, también en esta máquina se determina el desgaste de las bolas inferiores para la grasa JC1G5 y la grasa mineral, con carga y velocidad constante, por el período de una hora.

Otro parámetro tribológico importante es el coeficiente de fricción. Este se determina para ambas grasas lubricantes, empleando un tribómetro *timken* con el par tribológico bola-rodillo. En la prueba para determinar el coeficiente de fricción se emplea un termopar para medir la temperatura generada por la fricción, la cual fue medida en el último minuto antes de culminar cada prueba.

En esta prueba también es determinado el régimen de lubricación y el espesor de película relativo, empleando las ecuaciones para el cálculo del espesor de película elastohidrodinámica, según Hamrock y Dowson [12], estas ecuaciones son las siguientes:

$$h_{min} = 3.63 \cdot (1 - e^{-0.68k}) \cdot \frac{G^{0.49} \cdot U^{0.68}}{W^{0.073}} \cdot Rr \quad (1)$$

$$G = \alpha \cdot Er \quad (2)$$

$$U = \frac{\eta_0 \cdot Vr}{Rr \cdot Er} \quad (3)$$

$$Vr = 0.5V \quad (4)$$

$$W = \frac{Fn}{Er \cdot Rr^2} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{h_{min}}{\sqrt{(Ra1^2 + Ra2^2)}} \quad (6)$$

Donde:

h_{min} : Espesor mínimo de la película lubricante;

k : Parámetro elíptico del contacto;

G : Parámetro del material;

U : Parámetro de la velocidad;

Rr : Radio reducido de curvatura;

W : Parámetro de la carga;

α : Coeficiente de presión-viscosidad;

Er : Módulo de elasticidad efectivo;

η_0 : Viscosidad dinámica;

Vr : Velocidad superficial en el contacto;

V : Velocidad lineal;

Fn : Carga normal;

$Ra1, Ra2$: Rugosidad superficial de los cuerpos en contacto;

λ : Coeficiente de espesor de película relativo.

Las configuraciones de las pruebas tribológicas en ambos casos se muestran en la figura 1.

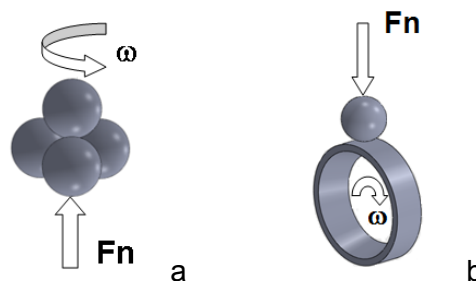


Fig. 1. Configuración del contacto para cada prueba tribológica
a) Extrema presión y desgaste, b) Fricción

Las condiciones experimentales y las características de las probetas se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Condiciones experimentales y características de las probetas

Propiedades	Extrema Presión	Desgaste	Fricción
Carga normal (N)	196 - 2070	392	53,4
Velocidad lineal (m/s)	0,43	0,8	1,55
Tiempo (s)	10 (cada carga)	3600	720
Temperatura inicial (°C)	28-32	28-32	28-32
Material de las bolas	AISI 52100	AISI 52100	AISI 52100
Dureza de las bolas (HRC)	65	65	65
Dimensiones de las bolas (mm)	d=12.7	d=12,7	d=12,7
Rugosidad superficial bolas (µm)	0.035	0,035	0,035
Material del rodillo	-	-	AISI 52100
Dureza del rodillo (HRC)	-	-	65
Dimensiones del rodillo (mm)	-	-	d=35 y b=6
Rugosidad superficial del rodillo (µm)	-	-	0,16

Resultados y Discusión

Propiedades fisicoquímicas de la grasa JC1G5

Los resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas de la grasa se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de la grasa JC1G5

Propiedades	Magnitud
Color	Negro
Penetración trabajada 25 °C, a 60 golpes, 1/10 mm	321
Temperatura de goteo, °C	140
Corrosión al cobre, 100 °C, 3 hr	1a

El aspecto físico de la grasa, muestra un color negro, con una textura lisa y homogénea.

La magnitud de la penetración trabajada ubica a esta grasa con un grado de consistencia NLGI Grado 1, es decir se trata de una grasa muy blanda, recomendada a emplear por su grado de consistencia en cojinetes de rodamientos y deslizamiento, sistemas centralizados, lubricación de engranajes abiertos y en sistemas de pérdida total.

La temperatura de goteo es de 140°C y la prueba de corrosión al cobre resultó 1a, es decir sin acción corrosiva respecto a la tira de cobre.

Los resultados de los análisis estadísticos de las propiedades fisicoquímicas son los siguientes:

En el caso de la penetración trabajada, la repetibilidad según la norma ASTM 217 plantea, que para resultados duplicados obtenidos por el mismo operador en iguales condiciones de ensayos, la diferencia no excederá las 7 unidades, en el ensayo realizado la diferencia fue de hasta 6 unidades.

Para la temperatura de goteo, la repetibilidad según la norma ASTM 566 plantea, que para resultados duplicados obtenidos por el mismo operador en iguales condiciones de ensayos, la diferencia no excederá los 7 °C, en el ensayo realizado la diferencia fue de hasta 3°C.

La corrosión al cobre fue determinada tomando 5 muestras de grasas diferentes, resultando en todos los casos el mismo grado de corrosión 1a.

Propiedades tribológicas

Propiedades de extrema presión

La figura 2 muestra los resultados de la curva carga vs desgaste de extrema presión con las magnitudes de la carga crítica y la carga de soldadura.

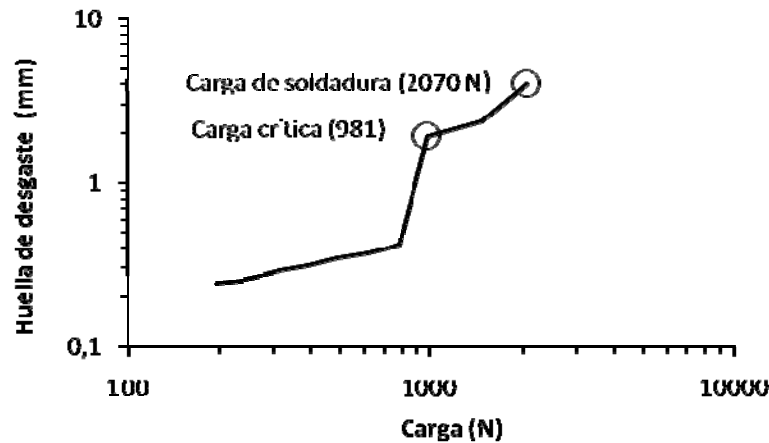


Fig. 2. Curva carga-desgaste de extrema presión de la grasa JC1G5

La carga crítica correspondió a una magnitud de 981 N, igual a la carga crítica de la grasa mineral de comparación.

La carga de soldadura fue igual a 2070 N, carga ligeramente superior 5.5 % a la magnitud de la carga de soldadura para la grasa mineral.

Los resultados del análisis estadístico en la determinación de la carga crítica y la carga de soldadura según la norma ASTM 2596-97 plantea, que la repetibilidad de los resultados duplicados obtenidos por el mismo operador en iguales condiciones de ensayos excederán solo hasta un incremento de carga. En el ensayo realizado los resultados se producen para la misma carga.

Desgaste

La huella de desgaste en las bolas inferiores empleando la grasa JC1G5 posee un diámetro medio de 0.66 mm, similar al diámetro medio para la grasa mineral con una magnitud igual a 0,64 mm.

La morfología de la huella de desgaste en las bolas inferiores para ambas grasas puede observarse en la figura 3.

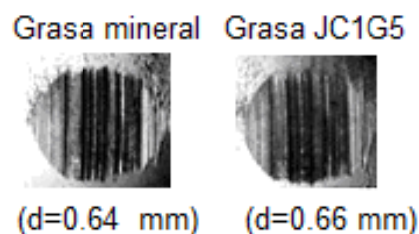


Fig. 3. Diámetro de la huella de desgaste, acercamiento 100X

El análisis estadístico de la huella del desgaste con un total de cinco ensayos para la misma condición de carga y velocidad trae como resultado un coeficiente de variación de 3.34 y 2.89 % para el empleo de las grasas JC1G5 y la grasa mineral respectivamente, mucho menores que el coeficiente de variación admisible para un 95 % de confianza.

Coefficiente de fricción

El comportamiento del coeficiente de fricción obtenido en el tribómetro *timken* para ambas grasas, se muestra en la figura 4. El coeficiente de fricción para ambos casos disminuye progresivamente respecto al tiempo, lográndose cierta estabilidad alrededor de los diez minutos de rozamiento. Al finalizar el ensayo al cabo de los doce minutos, la grasa JC1G5 posee un coeficiente de fricción igual a $f=0,098$, por su parte el coeficiente de fricción obtenido con la grasa mineral fue igual a $f=0,097$, no existiendo una diferencia significativa entre ambas magnitudes.

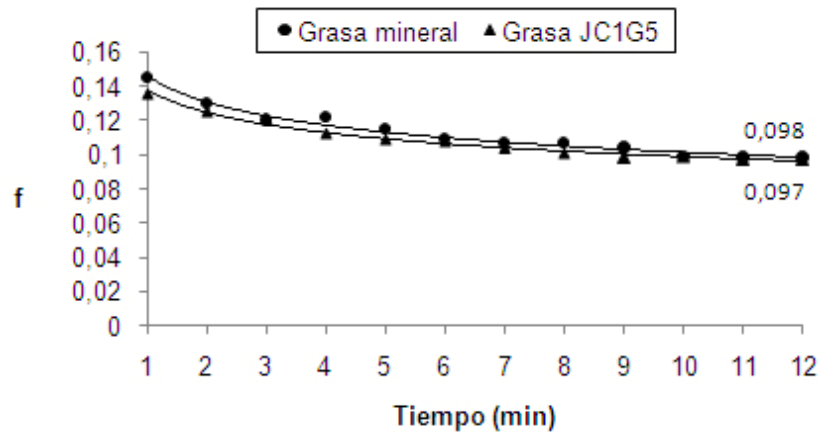


Fig. 4. Comportamiento del coeficiente de fricción

Para ambas grasas se realizaron un total de cinco réplicas, procesándose estadísticamente y obteniendo un modelo potencial para la grasa mineral con R cuadrado de 0,808, ecuación 7 y para la grasa JC1G5 un modelo potencial con un R cuadrado de 0,889, ecuación 8.

$$f = \frac{0.138}{T^{0.144}} \quad (7)$$

$$f = \frac{0.147}{T^{0.160}} \quad (8)$$

La temperatura promedio generada por la fricción en el tribómetro timken fue igual a $T=49.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la grasa mineral y $T=49.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la grasa JC1G5.

Régimen de lubricación

En la tabla 5, se muestran los resultados de los parámetros del contacto y el coeficiente de espesor de película relativo (λ) para cada grasa.

Tabla 5. Parámetros del contacto y coeficiente de espesor de película relativo

Parámetros	Magnitud
Parámetro elíptico, k	1,307
Radio reducido de curvatura, Rr (m)	0,002687
Módulo de elasticidad efectivo, Er (Pa)	$2,19 \cdot 10^{11}$
Parámetro de la carga, W	$3,36 \cdot 10^{-5}$
Grasa mineral	
Viscosidad dinámica, η_0 (Pa-s)	0,09
Coefficiente de presión-viscosidad, α (Pa^{-1})	$2,48 \cdot 10^{-8}$
Parámetro del material, G	$5,46 \cdot 10^3$
Parámetro de la velocidad, U	$5,90 \cdot 10^{-11}$
Espesor mínimo de la película lubricante, h_{\min} (m)	$9,13 \cdot 10^{-8}$
Coefficiente de espesor de película relativo, λ	0,558
Grasa JC1G5	
Viscosidad dinámica, η_0 (Pa-s)	0,021
Coefficiente de presión-viscosidad, α (Pa^{-1})	$1,87 \cdot 10^{-8}$
Parámetro del material, G	$4,12 \cdot 10^3$
Parámetro de la velocidad, U	$1,37 \cdot 10^{-11}$
Espesor mínimo de la película lubricante, h_{\min} (m)	$2,94 \cdot 10^{-8}$
Coefficiente de espesor de película relativo, λ	0,18

La magnitud del coeficiente de espesor de película relativo en ambos casos, es menor que la unidad, por lo que las condiciones experimentales condujeron a la presencia un régimen de lubricación límite.

En el régimen de lubricación límite, es conocido que el mecanismo de lubricación es controlado por los aditivos presentes en la grasa lubricante. El efecto combinado de los ácidos grasos que presenta el aceite vegetal de *Jatropha curcas* L y el grafito como lubricante sólido, el cual mejora la fricción en la grasa JC1G5, trae por consecuencia un coeficiente de fricción prácticamente igual al que posee la grasa mineral.

En este caso los ácidos grasos del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L son adsorbidos por las superficies metálicas, formando una capa mono-molecular que se adhiere fuertemente a las superficies, disminuyendo el contacto directo metal-metal. Por su parte la presencia del grafito como lubricante sólido forma también capas que evita el contacto metal-metal e incrementa la distribución de la carga a largo del área de contacto, ambas acciones reducen la fricción, donde además existe una formación de una interface de bajo esfuerzo cortante entre las superficies opuestas. Este mecanismo de lubricación corresponde a un mecanismo de lubricación límite con temperatura moderada y alta carga de contacto.

Conclusiones

La grasa JC1G5 formulada, posee una consistencia NLGI Grado 1, una temperatura de goteo de 140°C y un grado de corrosión al cobre 1a, recomendada para lubricar cojinetes de rodamientos y deslizamiento, así como sistemas centralizados, engranajes abiertos y sistemas de pérdida total.

La inclusión del grafito como lubricante sólido y de extrema presión en la grasa lubricante de *Jatropha curcas* L, conduce a la obtención de magnitudes de cargas crítica y de soldadura, así como valores del coeficiente de fricción y de la huella de desgaste, similares a una grasa mineral que posee bisulfuro de molibdeno como aditivo de extrema presión.

En las condiciones experimentales tribológicas establecidas, se obtiene un régimen de lubricación límite, donde la combinación de los ácidos grasos presentes en el aceite vegetal de *Jatropha curcas* L y la presencia del grafito, evitan el contacto metal-metal e incrementan la distribución de la carga a lo largo del área de contacto, disminuyendo de esta forma el rozamiento y por ende el esfuerzo cortante entre las superficies opuestas.

La grasa JC1G5 posee propiedades fisicoquímicas y tribológicas adecuadas para su empleo en la lubricación de elementos mecánicos sometidos a altas cargas de contacto.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Proyecto BIOMASS-CUBA, por el suministro del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L y a la Empresa Cubana de Lubricantes, CUBALUB, por el suministro de la grasa mineral, los aditivos y componentes para la fabricación de la grasa JC1G5, así como los análisis realizados a las grasas lubricantes.

Referencias

1. Mara, J. y Barrera, D. *Temas selectos en aceites y grasas*. São Paulo, Brasil: 2009. [Consultado el: 2 de enero del 2014]. Disponible en: <http://www.blucher.com.br/editor/amostra/04893.pdf> ISBN 978-85-212-0489-3.
2. Salimon, J., Salih, H. y Emad, Y. 2010. "Biolubricants: Raw materials, chemical modifications and environmental benefits". *European Journal of Lipid Science and Technology*. vol. 5, p. 519-530. ISSN 1438-9312.
3. Bessette, P. A. y Stone, D. S. 1999. Synthetic Grease. En: *In Synthetic Lubricants and High-Performance Functional Fluids*. New York, USA: Marcel Dekker, Inc., p. 519-538.
4. Hayder, A. A., Rosli, M. Y. y Abdurrahman, H. N. 2011. "Lubricating grease from spent bleaching earth and waste cooking oil: Tribology properties". *International Journal of the Physical Sciences*. vol. 6, nº. 20, p. 4695-4699. ISSN 1992-1950.
5. Erhan, S. Z. y Sharma, B. K. 2006. "Modification of Vegetable Oils for use as Industrial Lubricants". En: *International Conference on Artificial Reality and Telexistence-Workshops*, ICAT 2006. Hangzhou, China.
6. Aluyor, E. O. y Ori, J. M. 2008. "The use of antioxidants in vegetable oils - A review". *African Journal of Biotechnology*. vol. 7, nº. 25, p. 4836-4842. ISSN 1684-5315.
7. Sukirno, L. y Rizkon, F. 2010. "Anti-wear properties of bio-grease from modified palm oil and calcium soap thickener". *Agricultural Engineering International*. vol. 12, nº. 2, p. 64-69. ISSN 1682-1130.

8. Barriga, J., Aranzabe, A. y Galda, P. 2006. "Sunflower Based Grease for Heavy Duty Applications". *Mecánica Experimental*. vol. 13, nº. p. 129-133. ISSN 122-922.
9. Mohd, T., Gunam, M. y Idrisz, A. 2009. "Production of Biodegradable Lubricant from Jatropha curcas and Trimethylolpropane". *International Journal of Chemical Reactor Engineering*. vol. 7, p. 1-9. ISSN 1542-6580.
10. De Assunção, J. C., Lafargue, F. y Barrera, N. 2013. "Caracterización de una biograsa de aceite vegetal de Jatropha curcas L y jabón de litio". *Ingeniería Mecánica*. vol. 16, nº. 2, p. 171-177. ISSN 1815-5944.
11. Lafargue, P. F. 2012. "Caracterización físico-química del aceite de Jatropha curcas L". *Tecnología Química*. vol. 32, nº. 2, p. 162-165. ISSN 0041-8420.
12. Kabir, M. A., Higgs, F. y Love, M. R. 2008. "A Pin on Disk Experimental Study on a Green Particulate Fluid Lubricant". *Journal of Tribology*. vol. 130, nº. 1-6, ISSN 0742-4787.