



## ANÁLISIS DE LUBRICIDAD EN MEZCLA DIESEL-BIOCOMBUSTIBLE UTILIZANDO EL ENSAYO DE ESPIGA EN DISCO

LUIS I. NEGRÍN-HERNÁNDEZ<sup>1</sup>, IOSVANI LÓPEZ-DÍAZ<sup>1</sup>, EDUARDO PÉREZ-RUIZ<sup>2</sup>,  
LESTER CONCEPCIÓN-FANDIÑO<sup>1</sup>, LIZET RODRÍGUEZ-MACHÍN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial  
Carretera a Camajuaní km 5, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54830

<sup>2</sup>Universidad de Ibagué

Programa de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería  
Carrera 22, calle 67, Ibagué 73001, Colombia

(Recibido 29 de septiembre de 2017, para publicación 18 de diciembre de 2017)

**Resumen** – En este trabajo se realiza el análisis de lubricidad de una mezcla combustible. La mezcla compuesta por un 10 % de diésel, 35% de aceite de higuereta y 55% de etanol, ofrece resultados favorables. Puede ser utilizada en un motor de encendido por compresión sin necesidad de modificar. Para el estudio comparativo fue seleccionado el ensayo de espiga en disco (*Pin on Disc*) el cual no pretende representar todas las condiciones que pueden experimentarse durante la explotación de una máquina o mecanismo, sino que se utiliza para comparar la magnitud del desgaste en un elemento de un par tribológico estando presente el diésel y la mezcla estudiada. La mezcla biocombustible arrojó mejores resultados en comparación con el diésel, disminuyendo el volumen perdido en un 35%. Esto demuestra un mejor comportamiento en cuanto a la lubricidad y por lo tanto la posibilidad de prolongar la vida útil de cualquier componente que sea lubricado por el propio combustible..

**Palabras clave** – Biocombustible, ensayo *pin on disk*, lubricidad, diésel.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los combustibles que se queman son responsables de grandes catástrofes medioambientales que son de gran relevancia en la agenda política actual. Ejemplos de estos es la acumulación de gases de efecto invernadero, acidificación, contaminación del aire, contaminación del agua, daño de las capas superficiales y el ozono troposférico. Estos problemas son causados por la liberación de contaminantes que normalmente están presente de forma natural en la estructura de los combustibles, como lo son el sulfuro y el nitrógeno. Para disminuir algunos de estos problemas medioambientales se pudiera tener en consideración, entre otras opciones, el desarrollo de los biocombustibles [1].

Numerosas investigaciones en esta rama tienen como objetivo identificar y desarrollar cultivos específicamente mejorados para el desarrollo de biocombustibles, incluyendo plantas de crecimiento rápido y cultivos no comestibles [2]. Estos, además de que pueden ser mezclados con carburantes convencionales, pueden ser usados en vehículos sin modificar. Además facilita la introducción dentro del proceso de suministro de carburantes; reduce el volumen total de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, entre otros [3].

Estas mezclas además de poseer características necesarias para un buen desempeño como combustible en motores de combustión interna, deben actuar también como lubricante en determinadas partes del sistema de inyección, como es el caso de las bombas rotativas e inyectores.

Teniendo en cuenta que cerca del 15% de la energía que se obtiene en un motor de combustión interna se disipa como pérdidas mecánicas, fundamentalmente producto de la fricción [4]. De ahí la importancia de tratar de reducir al máximo la fricción entre los componentes de los motores de combustión interna.

Existen reportes en la literatura en los que se realizan estudios de lubricidad en el diésel utilizado como combustible [5]. También se reportan estudios de lubricidad, entre otras propiedades, en mezclas diésel-etanol utilizados como combustibles [6, 7, 8].

## 2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La mezcla analizada contiene 10% de diésel, 35% de aceite de higuereta (*Ricinus communis*) y 55% de etanol (10-35-55) utilizada en motores de encendido por compresión.

Es muy difícil relacionar las condiciones de uso reales con los resultados logrados en los ensayos de abrasión debido a la presencia de las muchas variables que influyen en este proceso. Sin embargo, existen pruebas que comparan diferentes materiales, o el mismo material en diferentes condiciones y aclaran algunas de las variables presentes en el mecanismo de la abrasión [4]. Uno de los ensayos utilizados para la determinación del desgaste es el de espiga en disco (*pin on disc*) el cual está descrito en la norma ASTM-G 99 [9]. El ensayo tipo *pin on disk* es muy utilizado para evaluar la resistencia al desgaste de los materiales y para evaluar la influencia de los lubricantes en este proceso de desgaste [10, 11, 12].

En este trabajo este análisis se realiza de forma comparativa, realizando el ensayo de desgaste tipo *pin on disk* en tres variantes.

En un primer caso se realiza el ensayo sin lubricación, en el segundo se lubrica con diesel y en el tercero se lubrica con la mezcla de biocombustible. En todos los casos se toma como espiga (*pin*) la punta del inyector (Fig. 1) y el plato (*disk*) se fabrica de acero. Se determinó el número de muestras mínimo a partir de estimar un nivel de confiabilidad del 95%, siendo en este caso de cinco elementos.

Se realiza el análisis químico de los materiales de la espiga y del disco mediante espectroscopia de emisión atómica en una máquina Spektrometrie Opto-Electronik, marca Belec de fabricación alemana (Fig. 2). Los resultados de los valores promedios obtenidos se muestran en las tablas 1 y 2.



Fig. 1. Puntas de inyector utilizadas como espiga en el ensayo.



Fig. 2. Máquina utilizada en el análisis químico.

Tabla 1. Composición química del material del disco.

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V	Ti	Co	W	Pb
0.132	0.062	0.537	0.001	0.014	0.114	0.063	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Tabla 2. Composición química del material de la espiga.

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V	Ti	Co	W	Pb
0.957	0.267	0.979	0.030	0.011	0.103	1.023	0.099	0.025	0.002	0.039	1.223	0.001



Fig. 3. Durómetro vickers utilizado para medir la microdureza.

Tabla 3. Dureza promedio de las espigas y del disco.

Elemento	Dureza (HV)
Espiga	908.6
Disco	138.6

Tabla 4. Rugosidad promedio de las espigas y del disco.

Elemento	Rugosidad (Ra)
Espiga	0.6
Disco	0.6



Fig. 4. Balanza marca SCALTEC con precisión de 0.0001g.

Se midió la microdureza de las espigas y del disco utilizando un durómetro marca Shimadzu (Fig. 3). En la tabla 3 se muestran los resultados de la dureza promedio.

Como se aprecia el disco tiene menor dureza que las espigas, no obstante el control del desgaste se realizará determinando la perdida de volumen de las espigas.

Se realizó la medición de la rugosidad superficial del disco y las probetas con un rugosímetro marca HOMMEL TESTER 1000E de fabricación alemana. En la tabla 4 se muestran los valores de rugosidad promedio (Ra).

Las probetas se pesaron utilizando una balanza digital marca SCALTEC (Fig. 4) con una precisión de 0.0001 g como establece la norma [9]. En la tabla 5 se muestran los pesajes iniciales.

Tabla 5. Masa inicial de las probetas.

Probeta	Masa inicial (g)
1	8.2059
2	10.0006
3	9.5687
4	7.9580
5	9.6201



Fig. 5. Equipo para baño ultrasónico marca BANDELIN SONOREX.

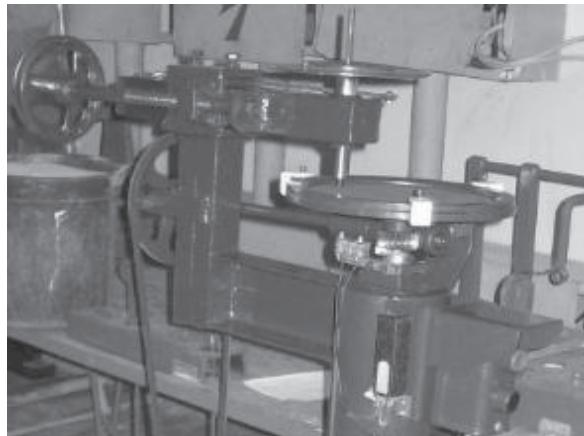


Fig. 6. Máquina utilizada para la realización del ensayo espiga en disco.

Tabla 6. Parámetros de trabajo de la máquina.

Velocidad del disco	26 rpm
Fuerza en la zona de contacto	10 N
Distancia de deslizamiento	500 m
Temperatura ambiente	25 °C

Antes de los pesajes de las probetas estas se limpian utilizando papel especial marca Hydrowipes y spray limpiador de la marca MGchemical y se sometieron a un baño ultrasónico en un equipo marca BANDELIN SONOREX (Fig. 5), con lo que se garantiza que no se tenga en cuenta impurezas que pueden estar sobre la superficie y se afecte la calidad de los pesajes realizados.

Previo a la realización del ensayo se verificaron los parámetros de trabajo de la máquina tipo espiga sobre disco (*pin on disk*) utilizada (ver Fig. 6), para que se encuentren dentro de los establecidos por la norma [9], tabla 6.

Después de realizados los ensayos se procesan los resultados como se establece en la norma ASTM G 99 y se determina el coeficiente de desgaste a partir de la ecuación de Archer [13]:

$$K = \frac{V \cdot H}{W \cdot L} \quad (1)$$

donde:

K es el coeficiente de desgaste.

Ves el volumen perdido.

L la distancia de deslizamiento.

W la fuerza normal entre las superficies.

H es la dureza de la espiga, que es el elemento que se controla.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizados los ensayos se hizo las mediciones de las pérdidas de masa correspondientes. En la tabla 7 se muestra el resultado de la pérdida de masa promedio de las espigas en cada ensayo.

En la Fig. 7 se muestran las huellas dejadas por la espiga sobre el disco en los tres ensayos realizados.

A partir de los valores de pérdida de masa se determina la pérdida de volumen como se establece en la norma ASTM G 99.

Como se plantea anteriormente con estos resultados se determina el coeficiente de desgaste K a partir de la ecuación (1).

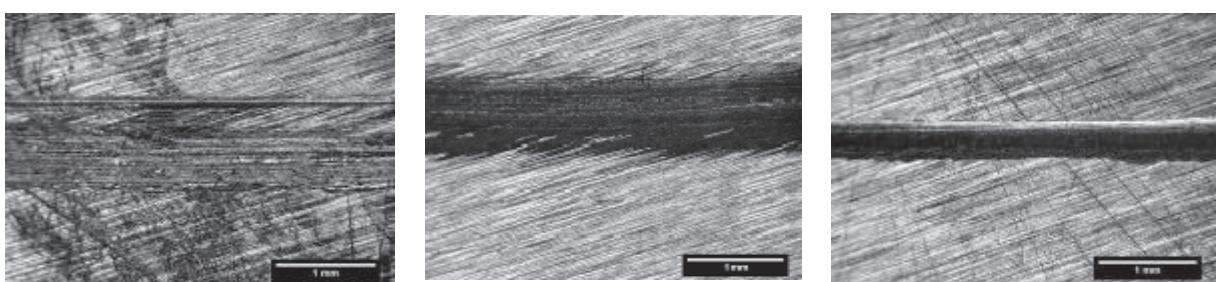
### Datos comunes a los tres ensayos:

**W = 10 N**

$$H \approx 9086 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 500 \times 10^3 \text{ mm}$$

En la tabla 8 se muestran los valores de K para cada ensayo.



a) Sin lubricar. b) Lubricado con diésel. c) Lubricado con biocombustible.  
Fig. 7. Huella de desgaste en el disco en cada ensayo.

Tabla 7. Pérdida de volumen promedio de las probetas en cada ensayo.

Ensayo	Pérdida de volumen promedio (mm <sup>3</sup> )
Sin lubricar	0.2343949
Lubricado con diésel	0.0585987
Lubricado con biocombustible	0.0382165

Tabla 8. Valores del coeficiente de desgaste (K) para cada ensayo.

Ensayo	Coeficiente de desgaste (K)
Sin lubricar	0.426
Lubricado con diesel	0.106
Lubricado con biocombustible	0.069

Como se aprecia, la pérdida de masa promedio en el ensayo sin lubricar es mucho mayor que en los ensayos donde se lubrica con los combustibles. Al lubricar con el diésel la pérdida de masa es un 75% menor que en el ensayo realizado en seco. Al lubricar con el biocombustible la pérdida de masa es un 84% menor que en el ensayo sin lubricar y un 35% menor que en el ensayo lubricado con diésel.

Como es lógico, al comparar las huellas dejadas por las espigas sobre el disco (Fig. 3) las mismas se comportan de un modo similar. Es decir, la huella en el ensayo sin lubricar es mayor que la dejada en el ensayo lubricado con diésel y esta a su vez es mayor que la dejada por la espiga en el ensayo lubricado con biocombustible.

Lo mismo sucede al calcular el volumen perdido, pues este se determina a partir de la pérdida de masa.

El coeficiente de desgaste K da una medida de la severidad del desgaste y permite que ensayos en diferentes condiciones sean comparados [14]. En este caso al comparar el coeficiente obtenido en los tres ensayos se confirma que el desgaste en el contacto sin lubricación es mucho más severo que al lubricar con los combustibles analizados. Y en el caso de la lubricación con diésel el desgaste es mayor que en caso de la lubricación con el biocombustible.

#### 4. CONCLUSIONES

- Se utilizó el ensayo espiga sobre disco (*pin on disk*) para el estudio de la lubricidad de una mezcla biocombustible y se constata que el mismo brinda buenos resultados para realizar ensayos comparativos y determinar entre varios lubricantes cual es el que garantizará un menor desgaste en diferentes pares tribológicos.
- El combustible diésel tiene un significativo efecto lubricante sobre las diferentes partes del sistema de inyección de los motores de combustión interna con los cuales se pone en contacto. Lo que garantiza un tiempo de explotación mayor de estas partes al disminuir significativamente el desgaste.
- La mezcla compuesta por un 10% de diésel, 35% de aceite de higuereta y 55% de etanol (10-35-55) tiene una lubricidad mayor que la del combustible diésel. Esto garantizará que el desgaste de las partes del motor de combustión interna que entran en contacto con esta mezcla biocombustible sea menor y por tanto tendrán una vida de trabajo útil superior producto del menor desgaste que sufrirán en su funcionamiento.

#### REFERENCIAS

- [1] Turrini, E., *El camino del Sol. Un desafío a la humanidad en el tercer milenio. Una esperanza para los países del sur*, Editorial Cubasolar, La Habana. Cuba (2007)
- [2] Kegl, B., “Effects of biodiesel on emissions of a bus diesel engine”, *Bioresource Technology*, **99**(4), 863-873 (2008)
- [3] Xue, J., Grift T., Hansen, A., “Effect of biodiesel on engine performances and emissions”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 1098-1116 (2011)
- [4] Kennedy, F. et al., *Modern Tribology Handbook*, CRC Press LLC. Boca Raton, Florida. USA (2001)
- [5] Oliveira, H., Oliveira, J., “Metodology of evaluation for diesel oil lubricity”. Boletín técnico de PETROBRAS (2011)
- [6] Muñoz, M., Moreno, F., Monne, C., Morea, J., Terradillos, J., “Biodiesel improves lubricity of new low sulphur diesel fuels”, *Renewable Energy*, **36**(11), 2918-2914 (2011)
- [7] Sinha, S., Kumar, A., “Experimental investigation of the effect of biodiesel utilization on lubricating oil degradation and wear of a transportation CIDI engine”, *Journal of engineering for gas turbines and power*, **132**(4), 042801 (2010)
- [8] Gardynski, L., Kaldonek, J., “Comparative study of selected lubricating properties of biofuels”, *Advances in Science and technology Research Journal*, **7**(20), 74-79 (2013)
- [9] ASTM. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. ASTM G 99 (2000)

- [10] Abbasi, S., Jansson, A., Olander, L., Olofsson, U., Sellgren, U., "A pin-on-disk study of the rate of airborne wear particle emissions from railway braking materials", *Wear*, 284-285, 18-29 (2012)
- [11] Arumugam, S., Sriram, G., "Effect of Bio-lubricant and Biodiesel Contaminated Lubricant on Tribological Behavior of Cylinder Liner-Piston Ring Combination", *Tribology Transaction*, 55(4), 438-445 (2012)
- [12] Kurtz, S., MacDonald, D., Kocagoz, S., Tohfafarosh, M., Baykal, D., "Can pin-on-disk testing be used to assess the wear performance of retrieved UHMWPE components for total joint arthroplasty?", *BioMed Research International*, 2014, 1-6 (2014)
- [13] Bhushan, B., *Introduction to Tribology*, John Wiley & Sons Ltd. West Sussex. UK (2013)

## LUBRICITY ANALYSIS IN BIOFUELS-DIESEL BLEND USING PIN ON DISC TEST

**Abstract** – Presently work is carried out the analysis of lubricity of a biofuels-diesel blend. The mixture composed by 10 percent of diesel, 35 percent of higuereta oil and 55 percent of ethanol (10-35-55) offers favorable results; the same one can be used in diesel engines without necessity of modifying. For the comparative study the pin on disc test was selected, which doesn't seek to represent all the conditions that can be experienced during the exploitation of a machine or mechanism, but rather it is used to compare the magnitude of the wear in the couple's element that is in contact being present the diesel and the studied mixture. The biofuel mixture had better results in comparison with the diesel, diminishing the volume lost in 35%. This demonstrates a better behavior as for the lubricity and therefore the possibility to prolong the useful life of any component that is lubricated by the fuel.

**Keywords** – Biofuel, Pin on disc test, Lubricity, Diesel.

