



TRABAJO TEÓRICO EXPERIMENTAL

Evaluación de una mezcla aceite de jatropha-diésel bajo la acción de un campo magnético

Evaluation of a mixture of jatropha oil-diesel under the action of a magnetic field

Dignora de las Mercedes Dinza Verdecia¹ *; Ramón Arias Gilart¹; Carlos Eduardo Alfaro Rodríguez²; Yadira Silveira Font¹; Roberto Orlando Menadier Gainza¹; Katia de la Caridad Soto Fernández³

¹ Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

² Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

³ Refinería Hermanos Díaz, Santiago de Cuba, Cuba.

*Autor de correspondencia: dignora@uo.edu.cu

Recibido: 30 de mayo de 2019

Aprobado: 2 de octubre de 2019

Licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional 

RESUMEN/ABSTRACT

En este trabajo se evaluó el comportamiento del proceso de combustión de una mezcla diésel-aceite de *Jatropha curcas* al 10% bajo la acción de un campo magnético. La mezcla y el diésel empleados presentaron propiedades físico-químicas similares. Para realizar los experimentos se utilizó un grupo electrógeno experimental Lister Petter LPWS2 y se evaluaron los siguientes parámetros: emisiones de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y el consumo horario de combustible. El campo magnético estático utilizado fue de 0,36 Tesla (T) y se ubicó directamente sobre las tuberías de combustible en el motor. Con el empleo de este campo magnético se alcanzaron disminuciones de un 24,84% de CO, de un 15,78% de CO₂ y de un 20,43% de NO_x en sus máximas cargas. Además se obtuvieron disminuciones del consumo horario de combustible de un 2,59%, empleando la mezcla bajo la acción del campo magnético.

Palabras clave: *Jatropha curcas*, motores de combustión interna, Tratamiento magnético, combustión.

In this work the behavior of the combustion process of mixture of diesel- Jatropha curcas oil at 10% under the action of a magnetic field was evaluated. The mixture and diesel showed similar physicochemical properties. To carry out the experiments, an experimental generator set Lister Petter LPWS2 was used and the following parameters were evaluated: carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x) emissions and hourly fuel consumption. The static magnetic field used was 0.36 Tesla (T) and was located directly on the fuel lines in the engine. With the use of this magnetic field, decreases of 24.84% of CO, 15.78% of CO₂ and 20.43% of NO_x were reached in their maximum loads. In addition, reductions in the hourly fuel consumption of 2.59% were obtained, using the mixture under the action of the magnetic field.

Key words: *Jatropha curcas* oil, internal combustion engines, magnetic treatment, combustion.

INTRODUCCIÓN

El consumo excesivo de los combustibles fósiles ha generado impactos adversos en la salud humana y en el medio ambiente; estos combustibles son los principales responsables del cambio climático a nivel mundial [1]. El calentamiento global es una amenaza inminente y se debe principalmente a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), muchos de estos gases se generan en los procesos de combustión [2]. Los principales gases contaminantes producidos por la combustión son: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x), entre otros [3]. Los motores de combustión interna (MCI) son responsables de una gran parte de las emisiones de estos gases [4]. Según el tipo de encendido estos motores se clasifican en motores de encendido eléctrico (utilizan gasolina como combustible) y motores de encendido por compresión (utilizan diésel). Los motores de encendido por compresión (motores diésel) son los preferidos por los fabricantes y por los consumidores debido a sus altos valores de potencia de salida y a su elevado rendimiento térmico [5].

Cómo citar este artículo:

Dignora de las Mercedes Dinza Verdecia. Evaluación de una mezcla aceite de jatropha-diésel bajo la acción de un campo magnético. 2019. vol. 41, n.1, enero/abril. ISSN: 1815-5901.

Sitio de la revista: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>

Por otro lado, estos motores pueden convertirse en la principal fuente de contaminación del aire en un futuro próximo, debido a sus emisiones de gases productos de la combustión. Actualmente se están produciendo variaciones en los niveles de producción y en los precios de los productos derivados del petróleo, además se han incrementado las normativas establecidas por los gobiernos para el control de las emisiones de gases contaminantes. Estos cambios han inducido a los fabricantes, científicos e investigadores a identificar combustibles alternativos (fundamentalmente renovables) que incrementen el rendimiento de los motores diésel y que logren disminuir sus emisiones de gases contaminantes [6].

En las últimas décadas se ha incrementado el interés en los biocombustibles, tanto en países desarrollados como en subdesarrollados [7]. Los combustibles derivados de la biomasa, como la biomasa sólida, los combustibles líquidos y varios biogases, se encuentran bajo la definición de biocombustibles. Generalmente se clasifican como biocombustibles convencionales (primera generación) y biocombustibles avanzados (segunda, tercera y cuarta generación). Los biocombustibles de primera generación están hechos de cultivos alimenticios ricos en azúcar, almidón o aceite vegetal, los más comunes son los bioalcoholes (etanol) y el biodiesel. Los biocombustibles de segunda generación se producen a partir de residuales no comestibles de los cultivos actuales, así como de otros cultivos que no se utilizan con fines alimenticios o industriales. Los biocombustibles de tercera generación se obtienen a partir de algas. Los biocombustibles creados a partir de procesos distintos a los mencionados anteriormente se conocen como biocombustibles de cuarta generación. Estos son altamente experimentales y sus tecnologías incluyen la descomposición de los biocombustibles a altas temperaturas, reacciones de fotosíntesis artificiales y organismos modificados genéticamente para secretar hidrocarburos [8].

Muchos investigadores han estudiado el uso de aceites vegetales en motores diésel. Los aceites vegetales ofrecen casi la misma potencia de salida con una eficiencia térmica ligeramente menor cuando se utilizan en motores diésel [9]. En el estudio de los biocombustibles a partir de aceites vegetales, se le ha prestado especial atención a los producidos a partir de materias primas no comestibles (aceites vegetales no comestibles). Algunos de estos aceites son producidos a partir de: *Jatropha curcas* (piñón), *Milletia pinnata* (pongabía), *Azadirachta indica* (neem), *Simmondsia chinensis* (jojoba), etc [10].

La utilización de estos aceites crudos (sin ningún tratamiento previo) como combustibles en MCI ha recibido una investigación intensiva en las últimas décadas. Estos aceites generalmente tienen una alta viscosidad, lo que limita su uso en motores diesel. Esta alta viscosidad conduce a una combustión incompleta y al depósito de carbono en la cámara de combustión a largo plazo [11]. Una de las técnicas más utilizadas para disminuir la viscosidad de estos aceites es la mezcla de estos con otros combustibles de menor viscosidad. Esto permite que el sistema de combustible del vehículo maneje la mezcla sin ninguna dificultad. El aceite crudo de *Jatropha curcas* mezclado con diésel ha sido considerado como un potencial combustible alternativo para los motores de encendido por compresión [12]. Se ha comprobado que las pruebas a corto plazo de diferentes mezclas de combustible diésel-aceites vegetales tienen éxito como combustibles para motores [13; 14]. Forson y col. obtuvieron un incremento en la eficiencia térmica, en la potencia y una reducción del consumo específico de combustible al utilizar mezclas de aceite de *jatropha* crudo en un motor monocilíndrico de inyección directa [15].

Otra de las técnicas utilizadas con el objetivo de disminuir las emisiones de gases contaminantes y aumentar la eficiencia de los MCI es el tratamiento magnético del combustible. Algunos estudios actuales sugieren que el tratamiento magnético del combustible tiene un efecto positivo en el comportamiento de los procesos de combustión [5; 16] porque causa cambios en algunas propiedades físico-químicas de estos fluidos [17-19]. Además se plantea que los combustibles fósiles líquidos contienen predominantemente hidrocarburos que tienen fuertes fuerzas de atracción física, de modo que pueden formar estructuras densamente compactas llamadas pseudocompuestos que pueden organizarse en grupos. Estos compuestos son relativamente estables y su capacidad de reaccionar con los átomos de oxígeno se ve dificultada, lo que resulta en una combustión incompleta [20]. Cuando el combustible pasa a través de un campo magnético, algunas de sus moléculas se reorientan en una dirección opuesta a la del campo magnético. También cambian su configuración, lo que reduce considerablemente sus fuerzas de atracción intermoleculares. La reducción de las fuerzas intermoleculares separa las moléculas de hidrocarburos entre sí, lo que promueve una rápida unión con los iones de oxígeno presentes en el aire, lo que resulta en una combustión más eficiente [21].

Varios investigadores sostienen que la instalación de imanes permanentes o acondicionadores magnéticos (MC) en las líneas de combustible en el MCI aumenta la eficiencia de la combustión y ayuda a reducir las emisiones de escape [5; 22]. Uno de los métodos más extendidos es la ubicación de los imanes justo antes de los inyectores en los motores diésel [16; 23]. Al utilizar este tratamiento en un motor diésel de cuatro tiempos y seis cilindros, Al-Khaledy (2008) obtuvo una disminución en el consumo de combustible, aumentos en la eficiencia de la combustión y también logró una reducción en las emisiones de NO_x del 20% [24].

La aplicación de campos magnéticos en mezclas de aceites vegetales crudos con diésel resultaría novedoso e interesante, además podría ser una alternativa que posibilite un mayor uso de fuentes renovables de energía en los motores diésel. Es por ello que el objetivo de nuestro trabajo es evaluar el efecto de un campo magnético estático de 0.36 T en la combustión de una mezcla de diésel con aceite de *Jatropha curcas* L. cubano al 10%.

MATERIALES Y MÉTODOS

Combustibles utilizados

Para el desarrollo de la experimentación se utilizó diésel de producción nacional (DIÉSEL) obtenido en los depósitos que comercializan este tipo de combustible y aceite vegetal de *Jatropha curcas L* crudo (ACEITE). Este aceite se obtuvo de una plantación que está ubicada en la granja Paraguay, en la provincia de Guantánamo, a más de 800 km de la Habana y a unos 70 km de Santiago de Cuba. El suelo de la zona es mayormente seco, con elevada salinidad y con tendencia a la desertificación. Esta plantación tiene el potencial de proveer *Jatropha curcas L* como aceite o biodiésel para satisfacer necesidades locales de producción de energía.

Para las pruebas realizadas en el motor de combustión se utilizó una mezcla diésel-aceite de *Jatropha curcas L* al 10 % de este último (MEZCLA). La misma se preparó añadiendo lentamente el aceite crudo al diésel, se preparó un volumen de 1 L. La mezcla resultante se agitó durante cinco minutos a 2000 rpm en un agitador IKA RW20 digital.

Algunas de las propiedades físico-químicas de estos combustibles que se determinaron fueron: densidad, viscosidad, Índice de cetano, punto de inflamación, residuo de carbón, entre otras. Las propiedades del diésel, del aceite y de la mezcla se muestran en la tabla 1.

Propiedades	Unidades	DIÉSEL	ACEITE	MEZCLA	Norma
ρ 15°C	g/cm ³	0,847	0,916	0,854	ASTM D 4052
ρ 40°C	g/cm ³	0,833	0,902	0,843	ASTM D 4052
Punto de inflamación	°C	72	>160	73,667	ASTM D 93
Viscosidad cinemática	mm ² /s	3,569	33,232	4,224	ASTM D 445
Viscosidad dinámica	cP	2,973	29,975	3,561	ASTM D 445
Índice de cetano	--	51,4	--	49,6	ASTM D 613
Residuo de Carbón	% peso	1,203	--	0,856	ASTM D 189
Valor calórico	MJ/kg	42,5	39,07	41,6	ASTM D 4530

Instalación experimental utilizada y procedimientos

La instalación experimental utilizada para el estudio de la combustión del diésel y de la mezcla tratada magnéticamente y sin tratar está conformada a partir de un grupo electrógeno de prueba Lister Petter LPWS2. El diagrama esquemático de la instalación experimental se muestra en la figura 1. El grupo electrógeno está formado por un motor diésel Lister Petter de dos cilindros y de inyección indirecta. El motor tiene acoplado mediante una conexión rígida un generador, las características principales del motor y del generador se muestran en la tabla 2.

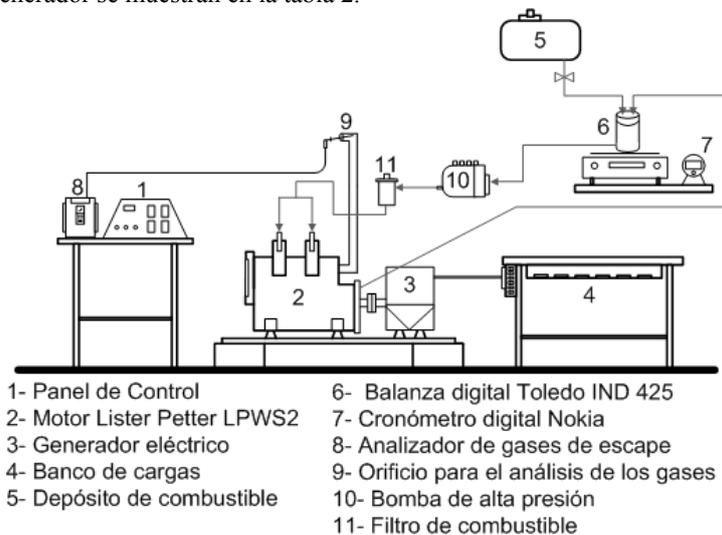


Fig. 1. Diagrama esquemático de la instalación experimental.

Una serie de resistencias eléctricas se conectan al generador, estas al ser encendidas consumen energía, provocando las diferentes cargas a las que estuvo sometido el motor. La carga del motor puede variar desde 0 hasta 96 % en un rango de 16% de carga.

Motor		Generador	
Diámetro nominal del cilindro (mm)	86	Fabricante	Lister Petter
Carrera (mm)	80	Modelo	BC1164D1
Cilindrada (L)	0,93	Factor de potencia	0,86
Relación de compresión	23,5:1	Tensión (V)	220
Velocidad constante (rpm)	1500	Velocidad (rpm)	1500
Tipo de enfriamiento	Enfriado por agua	Frecuencia (Hz)	50

Tratamiento magnético de la mezcla directamente en las tuberías del motor

Se aplicó un campo magnético estático directamente sobre las tuberías de combustible en el motor cuando este operaba con la mezcla de diésel y *Jatropha Curcas L.* al 10% (MEZCLA TM). El mismo incluía cuatro acondicionadores magnéticos, uno colocado en el retorno, otro a la entrada del filtro de combustible y uno delante de cada inyector. En la figura 2, se muestra el diagrama con la ubicación de los acondicionadores en el motor.

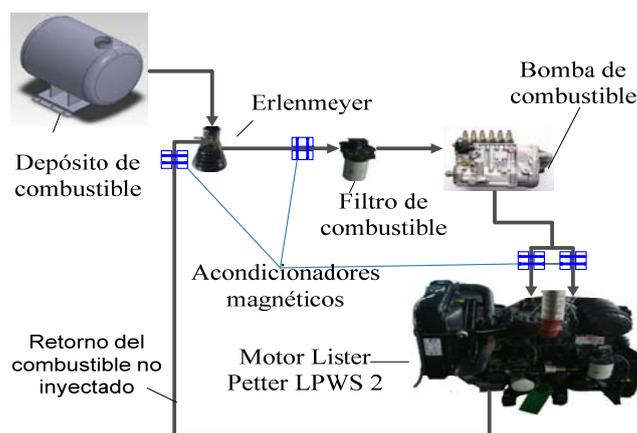


Fig. 2 Diagrama descriptivo con la ubicación de los acondicionadores magnéticos en el motor.

Para producir el campo magnético estático se utilizaron acondicionadores magnéticos contruidos a partir de imanes permanentes de Neodimio-Hierro-Boro (figura 3). La inducción magnética promedio de estos acondicionadores es de 0,36T con una desviación de 0,005T.



Fig. 3 Imagen de uno de los acondicionadores magnéticos utilizados.

Se utilizó una configuración dipolar para garantizar que las líneas de inducción del campo se distribuyan uniformemente por toda el área de flujo del combustible.

Pruebas de rendimiento del motor y emisiones de escape

Los parámetros estudiados en el grupo electrógeno fueron el consumo horario de combustible y las emisiones de gases de escape de CO₂, de CO y de NO_x. La medición del consumo de combustible se realizó mediante el método gravimétrico. A través de este método se determinó el tiempo (t_c) en que se consume una masa (M_c) determinada de combustible ($M_c=10$ g).

Este procedimiento se realizó cinco veces por carga en cada corrida experimental. Para la medición de M_c se utilizó una balanza digital Toledo IND 425 con una escala de 0 a 6 kg y una precisión de $\pm 0,1$ g. En la balanza se colocó un Erlenmeyer de 1 L de capacidad, que contiene el combustible para las mediciones. A este recipiente se conectaron tres conductos de combustible: uno que conduce el combustible hacia el motor, otro para el retorno del combustible no inyectado y el último para el completamiento del Erlenmeyer desde el depósito principal. Esta última proviene del tanque principal o depósito, donde se abastece el combustible objeto de estudio. Para establecer t_c se utilizó un cronómetro digital Nokia, cuya precisión es de $\pm 0,01$ s.

El estudio de las emisiones de los gases de escape se realizó con un equipo Analizador de gases Testo 350. Este equipo posee una sonda que se introduce en el orificio destinado a la toma de muestras de los gases. Es capaz de medir en tiempo real las emisiones de gases como el CO, los NO_x y el CO_2 . Se midieron 10 valores de concentraciones de gases por cada carga (seis cargas), estas se promediaron y se graficaron para realizar la comparación. Para evaluar el efecto del tratamiento magnético en el proceso de combustión de la mezcla diésel-aceite de *Jatropha curcas* al 10 % se realizaron tres corridas experimentales con cada tipo de combustible utilizado. Los experimentos se realizaron aleatoriamente y las desviaciones obtenidas en cada uno de ellos se muestran en los gráficos a través de las barras de error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar el efecto del tratamiento magnético en el proceso de combustión de la mezcla diésel-aceite de *Jatropha curcas* al 10 % se analizaron las emisiones de gases productos de la combustión y el consumo horario de combustible de un grupo electrógeno de prueba Lister Petter LPWS2. Se realizaron los experimentos en el motor utilizando como combustibles los siguientes:

1. Diésel de producción nacional como control (DIÉSEL).
2. Mezcla diésel-aceite de *Jatropha curcas* al 10 % (MEZCLA).
3. Mezcla diésel-aceite de *Jatropha curcas* al 10 % tratada magnéticamente, colocando los dispositivos magnéticos directamente en las tuberías que transportan el combustible en el motor (MEZCLA TM).

Las emisiones de gases constituyen parámetros importantes para evaluar los procesos de combustión, fundamentalmente desde el punto de vista ambiental. El estudio de las emisiones se realizó variando la carga del motor. Los grupos electrógenos, generalmente trabajan por encima del 80 % de carga porque en estas condiciones se obtiene un mejor rendimiento del motor. Es por esto que las comparaciones se realizan en las mayores cargas del motor. Los principales gases contaminantes analizados en esta investigación fueron: CO, CO_2 y NO_x .

El comportamiento de las emisiones de CO del grupo electrógeno se muestra en la figura 4. Este gas es producido cuando existe combustión incompleta del combustible en los motores de combustión por lo que una disminución de sus emisiones significa que aumenta la eficiencia del proceso de combustión porque se disminuyen las pérdidas por combustión incompleta.

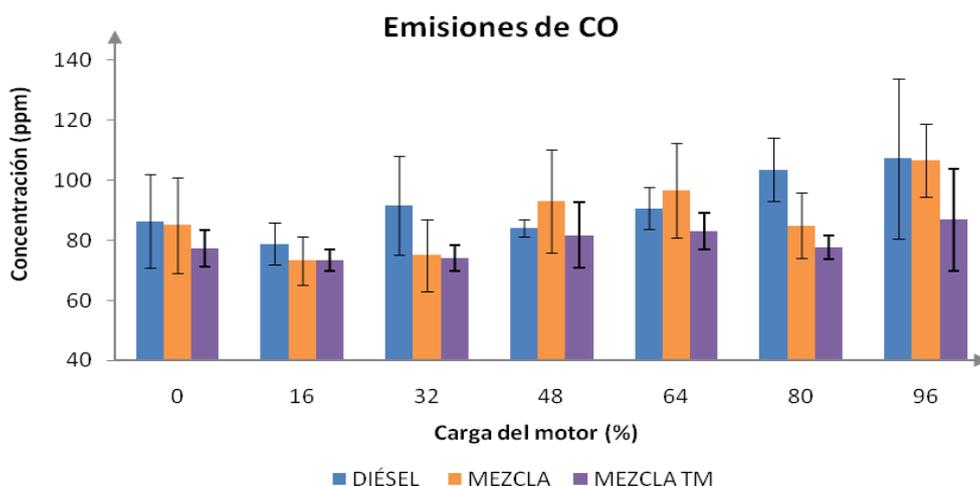


Fig. 4 Comportamiento de las emisiones de CO.

Las emisiones de CO producidas con los diferentes tipos de combustible siguen el mismo comportamiento como se observa en la figura 4, aumentando a medida que se incrementa la carga del motor. Las emisiones de este gas generadas con la MEZCLA muestran disminuciones respecto a las generadas con el DIÉSEL control, a excepción de las cargas 48 y 60% en las que aumentan. Este resultado ratifica los resultados obtenidos por varios autores quienes plantean que el uso de combustibles alternativos (mezclas de diésel con aceites vegetales) puede disminuir las emisiones de CO generadas por los motores de combustión interna [25; 26].

Al evaluar el efecto del tratamiento magnético se puede decir que las emisiones generadas con la MEZCLA TM fueron inferiores a las generadas con el diésel y con la MEZCLA sin tratamiento magnético, en todas las cargas del motor. En algunas de estas cargas las diferencias fueron estadísticamente significativas. Al 80% de cargas, al utilizar la MEZCLA TM se obtuvo una disminución de las emisiones de CO de un 24,84% respecto al diésel y de un 8,38% respecto a la MEZCLA sin tratar. Los anteriores resultados coinciden con lo planteado por Govindasamy y col. [27]. Quienes obtuvieron resultados similares utilizando una mezcla diésel-aceite de *Jatropha curcas* al 50%.

Otro de los gases importantes en el proceso de combustión es el CO₂, se produce en la reacción química de oxidación completa de los combustibles. Desde el punto de vista medioambiental es uno de los principales responsables del efecto invernadero. Las emisiones de este gas obtenidas en esta investigación se revelan en la figura 5.

Las emisiones de CO₂ aumentan con el incremento de las cargas, son directamente proporcionales a la cantidad de átomos de carbono del combustible que se inyecta a las cámaras de combustión. La combustión de las mezclas diésel-aceite de *Jatropha curcas* al 10% generó emisiones de CO₂ más bajas que el DIÉSEL. Eso se explica debido a que los aceites vegetales presentan compuestos oxigenados y otros elementos en formas de traza, los cuales provocan que en la mezcla disminuya la cantidad de carbono elemental respecto al diésel puro. Resultados contradictorios fueron obtenidos utilizando mezclas diésel-aceite de *Jatropha curcas* con diferentes composiciones volumétricas respecto al aceite [28].

Con la aplicación de tratamiento magnético a la mezcla se disminuyen aún más las emisiones de CO₂, fundamentalmente en las mayores cargas. En algunas de estas cargas las diferencias fueron estadísticamente significativas. En la máxima carga, al utilizar la MEZCLA TM se obtuvo una disminución de las emisiones de CO₂ de un 15,78% respecto al diésel y de un 7,27% respecto a la MEZCLA sin tratar. Yamin (2017) también obtuvo disminuciones de este gas aplicando un tratamientos magnéticos diferentes a mezclas diésel-biodiésel de aceites residuales de cocina [9].

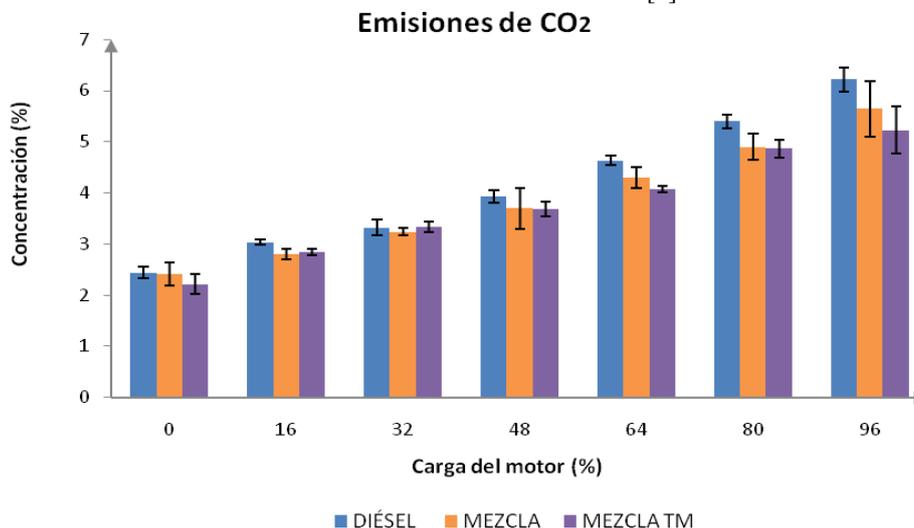


Fig. 5 Comportamiento de las emisiones de CO₂.

Otros de los contaminantes ambientales originado en los procesos de combustión son los NO_x. Estos gases se forman en las cámaras de combustión y en los conductos de escape de los gases cuando estos alcanzan condiciones extremas de presión y temperaturas. Las emisiones de este gas se presentan en la figura 6. De manera general se obtuvieron disminuciones en las emisiones de los NO_x cuando se utilizan las mezclas en el motor, respecto al diésel. Los resultados planteados por otros autores respecto a este gas son contradictorios. En nuestro caso se lograron las mayores reducciones en las mayores cargas, obteniéndose los valores más bajos con la MEZCLA TM. Se observan diferencias estadísticamente significativas en algunas cargas. Al 96% de cargas y utilizando la MEZCLA TM se alcanzó una disminución de las emisiones de NO_x de un 20,43% respecto al diésel y de un 15,41% respecto a la MEZCLA sin tratar. Resultados equivalentes han sido obtenidos por Govindasamy y col. [27].

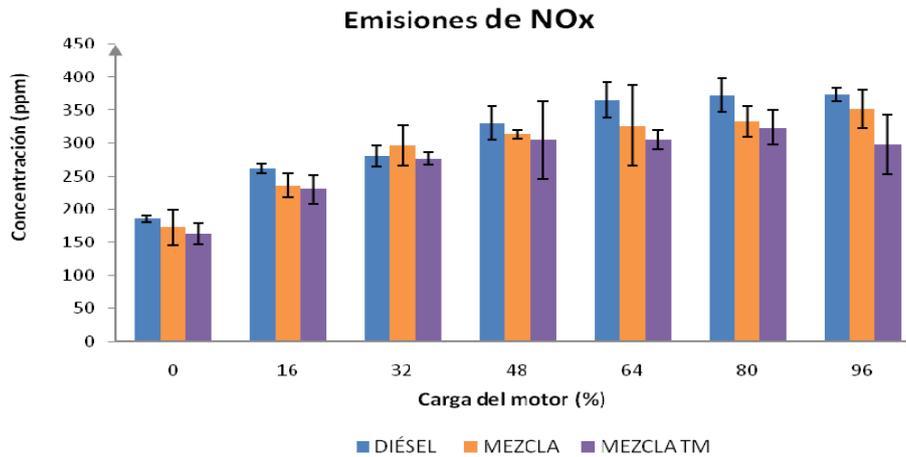


Fig. 6 Comportamiento de las emisiones de NOX.

La disminución de las emisiones al medio ambiente de este gas es un asunto de importancia a nivel internacional. Con los resultados obtenidos se demuestra que es posible reducir el impacto ambiental negativo producido por los motores de combustión interna, específicamente por los grupos electrógenos utilizados para la generación de energía eléctrica.

Consumo horario de combustible

Unido a las emisiones de gases contaminantes, el consumo de combustible es un parámetro de vital importancia para el control de la eficiencia de la combustión. Este indicador se estudia con el fin de disminuir el uso excesivo de los combustibles fósiles derivados del petróleo.

En la figura 7, se muestra el comportamiento de este indicador para los combustibles analizados. El consumo horario de combustible aumenta con el incremento de las cargas del motor. En la mayoría de las cargas el consumo de combustible obtenido con las mezclas diésel-aceite de *Jatropha curcas* al 10% es ligeramente mayor. Esto se debe a que los aceites vegetales y por ende sus mezclas con combustibles tradicionales tienen menores valores calóricos que el diésel tradicional. Es por ello que el motor necesita sobre consumir combustible para lograr la misma potencia. Estos resultados se corresponden con los obtenidos por [25; 26]. No obstante, como la mezcla contiene solo un 90 % de diésel permite que se reduzca el consumo de combustibles fósiles. Con la aplicación de los campos magnéticos, sin embargo, disminuye el consumo horario de combustible respecto a la MEZCLA y en ocasiones respecto al DIÉSEL. Al 96% de carga se obtuvo una disminución del consumo de un 2,59% con combustible tratado magnéticamente respecto a la MEZCLA sin tratar.

Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que la combinación del uso de los combustibles alternativos renovables con la aplicación de tratamientos magnéticos al combustible es una opción sostenible para el futuro inmediato. Los efectos provocados por la aplicación del tratamiento magnético al combustible pueden explicarse debido a que los hidrocarburos se unen a grupos más grandes, tales grupos forman asociaciones llamadas clústeres. Las moléculas de hidrocarburos de los combustibles tratadas con campos magnéticos tienden a romper esos clústeres, creando partículas más pequeñas. El tratamiento magnético del combustible debilita los enlaces entre las cadenas de hidrocarburos, lo que da como resultado una disminución de la tensión superficial.

La disminución de la tensión superficial provocada por el tratamiento magnético provoca un alto grado de atomización, por lo que, mejora el proceso de mezcla del combustible con el aire (mayor homogeneidad de la mezcla). Este efecto es importante desde el punto de vista de la eficiencia de la combustión, lo que pudiera conllevar a una disminución en las emisiones de gases contaminantes y a un menor consumo de combustible.

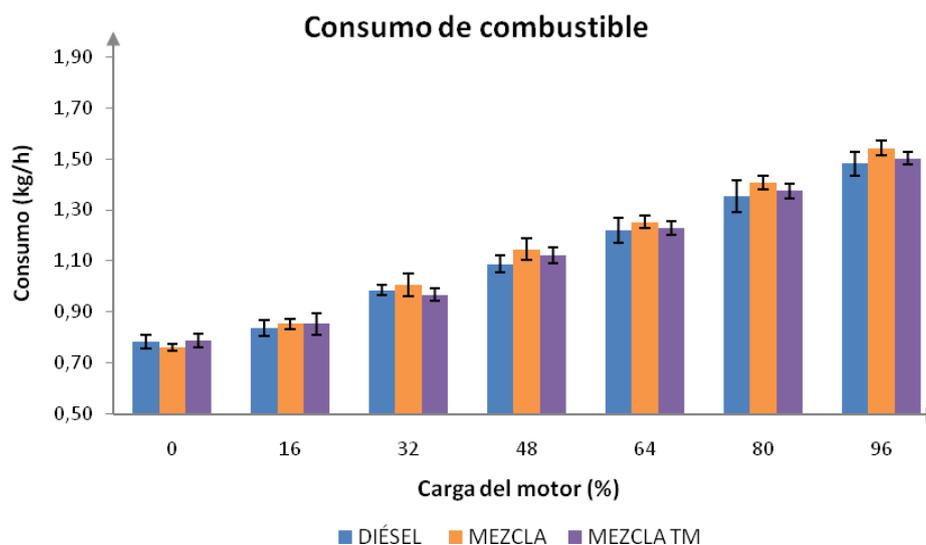


Fig. 7 Comportamiento del consumo horario de combustible.

Algunas investigaciones corroboran esta teoría como es el caso de Faris y col., quienes analizaron los espectros de absorción infrarroja (FTIR) de muestras de combustible (gasolina) tratadas magnéticamente. El espectro infrarrojo de absorción de los combustibles proporciona una visión de su estructura molecular. Los momentos dipolares de transición de las moléculas del combustible tratado magnéticamente se incrementan con respecto a los del combustible no tratado, debido a los desplazamientos de los átomos de las moléculas y a los cambios en los momentos magnéticos de las moléculas bajo la acción del campo magnético [20].

Por lo tanto, se puede deducir que la fuerza de atracción molecular entre los hidrocarburos disminuye después de atravesar el campo magnético. Esta es la razón por la cual algunas propiedades de los hidrocarburos como la tensión superficial, que están influenciadas por la fuerza de atracción molecular, disminuyen después de que estos fluyen a través del campo magnético.

CONCLUSIONES

Las propiedades de ambos combustibles fueron similares, lo que posibilita el uso de este biocombustible alternativo como carburante de los motores diésel. Las emisiones de gases del grupo electrógeno Lister Petter LPWS2 utilizando una mezcla diésel-aceite de *Jatropha curcas* al 10 % tratada magnéticamente fueron menores que las generadas con diésel y con la mezcla sin tratar. Se alcanzaron disminuciones de un 24,84% de CO, de un 15,78% de CO₂ y de un 20,43% de NO_x cuando el motor trabajaba en sus máximas cargas. Con el tratamiento magnético de la mezcla diésel-aceite de *Jatropha curcas* al 10 % se disminuyó el consumo de combustible del motor del grupo electrógeno Lister Petter en un 2,59%.

REFERENCIAS

- [1] RYAN, L., CONVERY, F., FERREIRA, S. "Stimulating the use of biofuels in the European Union: implications for climate change policy". *Energy Policy*, 2006, v. 34, n. 17, p. 3184-3194. ISSN: 0301-4215. [Consultado en: 01/12/2017]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.06.010>
- [2] ARVINDNARAYAN, S., *et al.* "Algal biomass energy carriers as fuels: An alternative green source". *Journal of the Energy Institute*, 2017, v. 90, n. 2, p. 300-315. ISSN: 1743-9671. [Consultado en: 28/09/2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.joei.2015.12.002>
- [3] JOHNSON, K. G., MOLLENHAUER, K., TSCHÖKE, H. "Handbook of diesel engines". Edtion ed.: Springer Science & Business Media, 2010. ISBN 3540890831. [Consultado en: 15/07/2017] Disponible en: https://vidyaputrasite.files.wordpress.com/2016/01/handbook_diesel-engine-by-vidyaputra.pdf
- [4] BOUBEL, R. W., *et al.* "Fundamentals of air pollution". Edtion ed.: Elsevier, 2013. ISBN 978-0-12-373615-4 [Consultado en: 25/02/2018] Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/fundamentals-of-air-pollution/stern/978-0-12-666560-4>
- [5] CHEN, C.-Y., *et al.* "Impact of Magnetic Tube on Pollutant Emissions from the Diesel Engine". *Aerosol and Air Quality Research*, 2017, v. 17, n. 4, p. 1097-1104. ISSN: 1680-8584. [Consultado en: 05/12/2017]. Disponible en: http://www.aaqr.org/article/download?articleId=2414&path=/files/article/2414/24_AAQR-16-11-OA-0478_1097-1104.pdf

- [6] SHAAFI, T., *et al.* "Effect of dispersion of various nanoadditives on the performance and emission characteristics of a CI engine fuelled with diesel, biodiesel and blends—a review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, v. 49, p. 563-573. ISSN: 1364-0321. [Consultado en: 19/02/2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.086>
- [7] LAMERS, P., *et al.* "International bioenergy trade—a review of past developments in the liquid biofuel market". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, v. 15, n. 6, p. 2655-2676. ISSN: 1364-0321. [Consultado en: 21/06/2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.022>
- [8] PASCHALIDOU, A., *et al.* "Biofuels". edited by SPRINGER. Edtion ed. London: Springer, Cham, 2018. p. 25-30. ISBN 978-3-319-63943-7. [Consultado en: 25/12/2018] Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-63943-7_5
- [9] YAMIN, J. A. "Performance comparison of a CI engine using diesel and biodiesel fuels and a magnetic fuel conditioner". *Biofuels*, 2018, v. 9, n.6 p. 729-738. ISSN: 1759-7269. [Consultado en: 08/04/2018]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/17597269.2017.1306682>
- [10] MAT, S. C., *et al.* "Performance and emissions of straight vegetable oils and its blends as a fuel in diesel engine: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, v. 82, Part-1, p. 808-823. ISSN: 1364-0321. [Consultado en: 28/09/2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.080>
- [11] MOSAROF, M., *et al.* "Implementation of palm biodiesel based on economic aspects, performance, emission, and wear characteristics". *Energy conversion and Management*, 2015, v. 105, p. 617-629. ISSN: 0196-8904. [Consultado en: 15/09/2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.08.020>
- [12] PRAMANIK, K. "Properties and use of Jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine". *Renewable energy*, 2003, v. 28, n. 2, p. 239-248. ISSN: 0960-1481. [Consultado en: 15/04/2016]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00027-7](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00027-7)
- [13] PANT, M., *et al.* "Insecticidal activity of eucalyptus oil nanoemulsion with karanja and jatropha aqueous filtrates". *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2014, v. 91, p. 119-127. ISSN: 0964-8305. [Consultado en: 09/03/2017]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.11.019>
- [14] RAKOPOULOS, D., *et al.* "Comparative environmental behavior of bus engine operating on blends of diesel fuel with four straight vegetable oils of Greek origin: sunflower, cottonseed, corn and olive". *Fuel*, 2011, v. 90, n. 11, p. 3439-3446. ISSN: 0016-2361. [Consultado en: 02/02/2017]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.06.009>
- [15] FORSON, F., ODURO, E., HAMMOND-DONKOH, E. "Performance of jatropha oil blends in a diesel engine". *Renewable energy*, 2004, v. 29, n. 7, p. 1135-1145. ISSN: 0960-1481. [Consultado en: 13/05/2015]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.11.002>
- [16] RAUT, M. S., UPARWAT, S. S., NAGARALE, C. "Experimental Inspection by using the Effect of Magnetic Field on the Performance of Diesel Engine". *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2017, v. 4, n. 3, p. 2191-2194. ISSN: 2395 -0056. [Consultado en: 21/09/2017]. Disponible en: <https://www.irjet.net/archives/V4/i3/IRJET-V4I3573.pdf>
- [17] FEDORCHAK, V., FEDORCHAK, T. "Analysis and classification of physical and chemical methods of fuel activation". *Ovidius University Annals of Chemistry*, 2015, v. 26, n. 2, p. 67-73. ISSN: 2286-038X. [Consultado en: Enero 2017]. Disponible en: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/auoc.2015.26.issue-2/auoc-2015-0011/auoc-2015-0011.xml>
- [18] CALABRÒ, E., MAGAZÙ, S. FTIR. "Spectroscopy Analysis of Molecular Vibrations in Gasoline Fuel Under 200 mT Static Magnetic Field Highlighted Structural Changes of Hydrocarbons Chains". *Petroleum Science and Technology*, 2015, v. 33, n. 19, p. 1676-1684. ISSN: 1091-6466. [Consultado en: Enero 2017]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10916466.2015.1089282>
- [19] ARIAS, G. R., *et al.* "Efecto de un campo magnético estático en la tensión superficial del diésel y su atomización". *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 2018, v. 22, n. 1, p. 9-21. ISSN: 1137-2729. [Consultado en: 26/12/2018]. Disponible en: <https://www2.uned.es/ribim/volumenes/Vol22N1Abril2018/V22N1%20A03.pdf>
- [20] FARIS, A. S., *et al.* "Effects of Magnetic Field on Fuel Consumption and Exhaust Emissions in Two-Stroke Engine". *Energy Procedia*, 2012, v. 18, p. 327-338. ISSN: 1876-6102. [Consultado en: 03/11/2016]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610212008144>
- [21] AL ALI, Y., HRAIRI, M., AL KATTAN, I. "Potential for improving vehicle fuel efficiency and reducing the environmental pollution via fuel ionization". *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2012, v. 9, n. 3, p. 495-502. ISSN: 1735-1472. [Consultado en: 18/04/2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0053-7>
- [22] TIPOLE, P., *et al.* "Reduction in the exhaust emissions of four-stroke multi-cylinder SI Engine on application of multiple pairs of magnets". *International Journal of Ambient Energy*, 2018, v. 29, n. 8, p. 823-829. ISSN: 0143-0750. [Consultado en: 25/08/2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01430750.2017.1354321>
- [23] CHAVAN, M. S., JHAVAR, M. P. "Effect of Application of Magnetic Field on Emission of Petrol Engine". *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2012, v. 18, p. 327-338. ISSN: 2454-1362. [Consultado en: 08/02/2017]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610212008144?token=C83D49839D62F184CBBC9266F121AA53B0D1C375EF37D77C9C17593172937A667CD71574A89725B1FA4F742274F13B8F>
- [24] AL-KHALEDY, A. A. J. "High performance and low pollutant emissions from a treated diesel fuel using a magnetic field". *Al-Qadisiya Journal for Engineering Sciences*, 2008, v.1, n. 2, p. 211-224. ISSN: 1998-4456. [Consultado en: 28/01/2018]. Disponible en: <http://qu.edu.iq/journaleng/index.php/JQES/article/view/26>

- [25] BORNARE, P. P., DESHMUKH, D., TALELE, D. ``Experimental Investigation on a Single Cylinder Compression Ignition Engine System Performance with Jatropha oil Blends``. *International Journal of Science, Spirituality, Business and Technology*, 2015, v. 4, n. 1, p. 18-23. ISSN: 2277—7261. [Consultado en: 16/06/2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/298259494/6-Experimental-Investigation-on-a-Single-Cylinder-IJSSBT>
- [26] SHARMA, S., *et al.* ``Performance and emission analysis of diesel engine using biodiesel and preheated jatropha oil``. *Int J Curr Res Acad Rev*, 2014, v. 2, n. 6, p. 229-239. ISSN: 2347-3215. [Consultado en: 21/06/2018]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/1a9c/9ac4546a3b0be06e55832b1bf485a9622714.pdf>
- [27] GOVINDASAMY, P., DHANDAPANI, S. ``Effects of EGR & Magnetic Fuel Treatment System on Engine Emission Characteristics in A Bio Fuel Engine``. In *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering, Bangladesh*, 2009, p. 26-28. [Consultado en: 21/06/2018]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKewiL84mj4ZnmAhXhpVkKHxfDY8QFjABegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fprints.lmu.edu.ng%2F2545%2F1%2FCombustion_Enhancers_in_Diesel_Engines_Magnetic_Fi.pdf&usq=AOvVaw2BTvh5TsxalLWC_HBSviZ
- [28] LAYEK, A. ``Engine Performance and Emission having Jatropha Diesel Blend``. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 2016, v. 6, n. 2, p. 607-613. ISSN: 1309-0127. [Consultado en: 29/03/2018]. Disponible en: <https://ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/3915/pdf>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Dignora de las Mercedes Dinza Verdecia: <https://orcid.org/0000-0003-3081-2336>

Contribuyó a la realización de los experimentos, a la recogida de datos, al análisis e interpretación de datos. Colaboró con el diseño gráficos y esquemas. Trabajó en la redacción del borrador del artículo y en la revisión crítica de su contenido. Además en la revisión y aprobación final de la versión que va a publicarse.

Ramón Arias Gilart: <https://orcid.org/0000-0003-2050-9712>

Contribuyó con la idea y realización del estudio, a la realización de los experimentos, a la recogida de datos, al análisis e interpretación de datos. Colaboró con el diseño gráficos y esquemas. Trabajó en la redacción del borrador del artículo y en la revisión crítica de su contenido. Además en la revisión y aprobación final de la versión que va a publicarse.

Carlos Eduardo Alfaro Rodríguez: <https://orcid.org/0000-0001-9281-5765>

Contribuyó a la realización de los experimentos, a la recogida de datos. Trabajó en la redacción del borrador del artículo y en la revisión crítica de su contenido. Además en la revisión y aprobación final de la versión que va a publicarse.

Katia de la Caridad Soto Fernández: <https://orcid.org/0000-0001-9330-5855>

Contribuyó a la realización de los experimentos, a la recogida de datos. Trabajó en la redacción del borrador del artículo y en la revisión crítica de su contenido. Además en la revisión y aprobación final de la versión que va a publicarse.

Yadira Silveira Font: <https://orcid.org/0000-0002-6043-2003>

Contribuyó a la realización de los experimentos, a la recogida de datos. Trabajó en la redacción del borrador del artículo y en la revisión crítica de su contenido. Además en la revisión y aprobación final de la versión que va a publicarse.

Roberto Orlando Menadier Gainza: <https://orcid.org/0000-0002-0712-2284>

Contribuyó a la realización de los experimentos, a la recogida de datos. Trabajó en la redacción del borrador del artículo y en la revisión crítica de su contenido. Además en la revisión y aprobación final de la versión que va a publicarse.