

DISMINUCIÓN DE LAS EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO CON EL TRATAMIENTO MAGNÉTICO DEL COMBUSTIBLE

REDUCING EMISSIONS OF CARBON MONOXIDE USING MAGNETIC FUEL TREATMENT

Ramón Arias Gilart^{1}, Mónica Berenguer Ungaro¹, José A. Vázquez Nigorenko²,
Yadira Silveira Font¹ y Carlos E. Alfaro Rodríguez²*

¹ Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA). Universidad de Oriente. Ave. de las Américas. s/n. Santiago de Cuba. Cuba.

² Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Universidad de Oriente. Ave. de las Américas. s/n. Santiago de Cuba. Cuba.

Recibido: Marzo 2, 2017; Revisado: Abril 5, 2017; Aceptado: Agosto 10, 2017

RESUMEN

En la siguiente investigación se evaluó el comportamiento de las emisiones de monóxido de carbono (CO) producidas por el grupo electrógeno de prueba Lister Petter LPWS2, utilizando diesel tratado magnéticamente como combustible. El tratamiento magnético del diesel se realizó antes de introducirlo en los depósitos del motor, se utilizó una instalación experimental y un acondicionador magnético con una inducción promedio de 0,4T. Un Analizador de Gases Testo 350 se empleó para determinar las emisiones de CO del grupo electrógeno operando a máxima carga. El análisis estadístico de los datos demostró que con el tratamiento magnético del diesel se disminuyen las emisiones de CO producidas por el grupo electrógeno en un 21,3% aproximadamente. El tratamiento magnético del combustible contribuyó a lograr una combustión más completa, lo que provoca un mayor aprovechamiento de la energía del combustible. Desde el punto de vista ambiental se redujeron las emisiones de uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre y de uno de los gases más tóxicos para el ser humano.

Palabras claves: diesel; gases; grupos electrógenos; medio ambiente; motores de combustión.

Copyright © 2018. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Ramón Arias, Email: rag@uo.edu.cu

ABSTRACT

The behavior of the carbon monoxide (CO) emissions produced by the Lister Petter LPWS2 test generator, using magnetically treated diesel as fuel, was evaluated in this investigation. The magnetic treatment of diesel was carried out before its introduction into the engine tanks. An experimental installation and a magnetic conditioner with an average induction of 0.4 T was used for this purpose. A Testo 350 Gas Analyzer was used to determine the CO emissions of the generator set when it operates at maximum load. The statistical analysis of the data showed that with the magnetic treatment of diesel, the CO emissions produced by the generator are reduced by approximately 21.3%. The magnetic treatment of the fuel contributed to achieve a more complete combustion, which improves use of fuel energy. From the environmental point of view, the emissions of one of the largest pollutants in the Earth's atmosphere and one of the gases most toxic to humans were reduced.

Key words: diesel; gases; combustion engines; environment; generators.

1. INTRODUCCIÓN

La energía mecánica es indispensable para poner en acción diferentes tipos de máquinas, se puede obtener utilizando energía térmica, hidráulica, solar y eólica. La más utilizada es la energía térmica obtenida de los combustibles de naturaleza orgánica. Los equipos energéticos que más aceptación han tenido son los motores de combustión interna (MCI), a ellos corresponde más de un 80% de la totalidad de la energía producida en el mundo (Varona y col., 2007).

La función de los MCI es la producción de energía mecánica a partir de la energía química obtenida por la oxidación de los combustibles (Uguru-Okorie y Dare, 2013). La mayoría de los combustibles utilizados son líquidos y no se oxidan hasta que se vaporizan y se mezclan con el oxígeno del aire (El Fatih y Saber, 2010). Si la combustión en un motor fuera perfecta, el oxígeno en el aire convertiría todo el hidrógeno del combustible en agua (H₂O) y todo el carbono en dióxido de carbono (CO₂). En la realidad, el proceso de combustión no es perfecto y, en consecuencia, los motores emiten varios tipos de gases contaminantes como son: el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los hidrocarburos no quemados (HC) (Jain y Deshmukh, 2012).

Estos gases contaminan considerablemente el medio ambiente, contribuyen a agravar el efecto invernadero y producen el smog que no es más que la contaminación atmosférica producida por la mezcla de diversos compuestos gaseosos y aerosoles. Por lo antes expuesto existe la necesidad mundial de reducir entre un 50% y un 80% las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero para el 2050 (Ávila y Pardo, 2016).

Por ello es de gran importancia el estudio e implementación de nuevos métodos que permitan la disminución de las emisiones de gases contaminantes de los MCI, específicamente del CO, uno de los más nocivos para el medio ambiente.

Algunos de los métodos estudiados en la actualidad para la reducción de las emisiones de gases de escape en los MCI son: la optimización de la cámara de combustión, la optimización del sistema de ignición, la activación catalítica del combustible, el uso de

mezclas de combustibles, la recirculación de los gases de escape y el tratamiento magnético del combustible según Govindasamy (2007). La mayoría de estos métodos son costosos porque implican cambios y modificaciones técnicas en el motor. Uno de los más económicos y novedosos es el tratamiento magnético del combustible (Kumar y col., 2014).

Estudios actuales sugieren que el tratamiento magnético tiene un efecto positivo en el comportamiento de los MCI. Para los vehículos de motor y las calderas industriales, se reportan tanto la disminución del consumo de combustible como la reducción de las emisiones de gases de escape (El Fatih y Saber, 2010), (Faris y col., 2012), (Kumar y col., 2014) y (Patel y col., 2014).

Los experimentos realizados por (Faris y col., 2012), en un motor de gasolina de dos tiempos con encendido por chispa, utilizando imanes permanentes con inducciones desde 0,2 Tesla (T) hasta 0,9 T, colocados en la tubería de combustible, logran buenos resultados en las emisiones de gases de escape: el CO y el HC se redujeron en un 30% y 40% respectivamente. Por otra parte los ensayos de (Patel y col., 2014) se llevaron a cabo en un motor diesel de un solo cilindro, de cuatro tiempos y alcanzaron una reducción de un 7% en las emisiones de CO utilizando imanes permanentes de 0,2 T de inducción, colocados en la tubería de combustible justo antes del inyector.

(Kushal y Basavaraj, 2015) llevaron a cabo pruebas en un motor diesel de ensayo, monocilíndrico, de cuatro tiempos. Sus resultados afirman que la inducción magnética ideal para el tratamiento varía ampliamente. Depende del tipo de combustible, del equipamiento del motor y de las condiciones en que ocurre la combustión. En general el rango más utilizado de inducción magnética es de 0,1 T a 0,4 T (Kushal y Basavaraj, 2015).

En este trabajo se persigue evaluar el efecto del combustible tratado magnéticamente (diesel), en las emisiones de CO del grupo electrógeno de prueba Lister Petter LPWS 2.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Instalación experimental

En los ensayos se utilizó un grupo electrógeno de prueba Lister Petter LPWS2 con un rango de potencia de 7,4 – 14,7 kW, cuyo motor es de dos cilindros y de cuatro tiempos (Figura 1).



Figura 1. Instalación experimental (1-Panel de control, 2- Analizador de gases, 3-Motor, 4- Generador, 5-Resistencias)

El motor tiene acoplado un generador mediante una conexión rígida. En este caso, al generador se conectan una serie de resistencias eléctricas en paralelo (6 pares) logrando 220 V (Figura 2). Estas resistencias consumen energía y permiten variar las cargas del motor desde 0 hasta 96%, con incrementos de 16%.

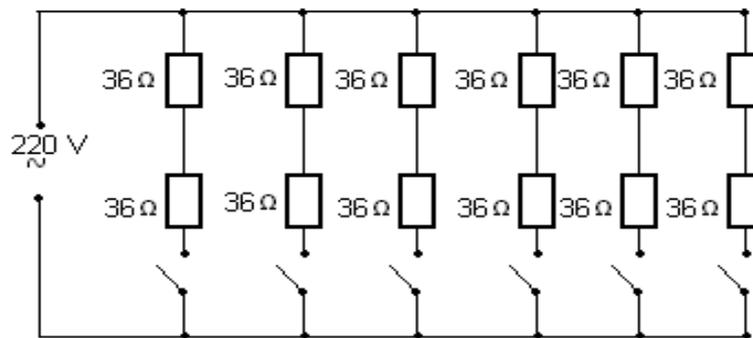


Figura 2. Esquema del circuito del banco de resistencias para dar carga al grupo electrógeno

2.2. Equipos de medición

Para determinar las emisiones de gases se utilizó un Analizador de Gases Testo 350 de última generación, este equipo es capaz de medir en tiempo real las emisiones de gases productos de la combustión como el CO, con un error de medición de 10 ppm.

2.3. Diesel

El diesel utilizado se comercializa en Cuba en todos los depósitos de ventas de este tipo de combustible y cumple con algunos requisitos que se generalizan en todas las refinerías del país. En la tabla 1 se muestran algunas de estas especificaciones.

Tabla 1. Especificaciones del diesel utilizado

<i>Índice de Calidad</i>	<i>Método de ensayo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor especificado</i>
Temperatura de inflamación	NC ASTM D 93	K	mínimo 318
Índice de cetano	ASTM 4727	-	mínimo 43
Viscosidad cinemática a 313K	NC ASTM D 445	mm ² /s	1,6 – 5,3
Densidad a 288 K	NC ASTM D 1298	kg/m ³	0,815-0,865

2.4. Acondicionador magnético

El acondicionador magnético utilizado para el tratamiento magnético (Figura 3) está fabricado con imanes permanentes de neodimio-hierro-boro, recubiertos con níquel para protegerlos de la oxidación. La inducción magnética promedio de este acondicionador es de 0,4 T con una dispersión del 10%.

**Figura 3.** Imagen de los dispositivos 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. En la tabla 2 se muestran algunos datos técnicos de este acondicionador.

Tabla 2. Datos técnicos de los acondicionadores magnéticos

<i>Características del acondicionador</i>	<i>Valor</i>
Remanencia (kGs)	11,7-12,1
Fuerza Coercitiva (kOe)	10,8 -11,5
Temperatura máxima de operación (K)	423
Temperatura de Curie (K)	623
Densidad (kg/m ³)	7,4

2.5. Metodología para el tratamiento magnético

Para la aplicación del tratamiento magnético se empleó una instalación experimental como se muestra en la Figura 4, compuesta de: un acondicionador magnético a imanes permanentes, una tubería diamagnética, dos recipientes y dos válvulas. Para mantener la velocidad del fluido se mantuvo el recipiente principal con un volumen de muestra constante.

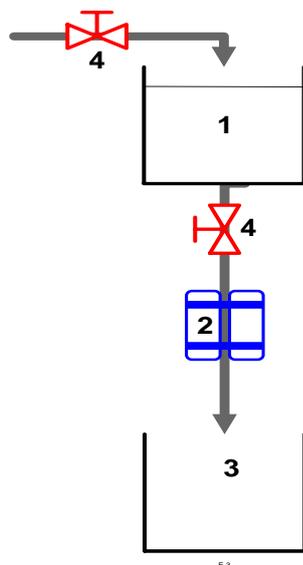


Figura 4. Esquema del tratamiento magnético del combustible. (1- Recipiente con diesel (nivel del líquido constante), 2- Acondicionador magnético, 3- Vaso de precipitado, 4- Válvulas que garantizan el nivel del líquido constante)

Entre las dos caras polares del acondicionador magnético se colocó la tubería diamagnética (manguera) de 0,008 m de diámetro, a través de la cual se hizo fluir el diesel.

El tiempo de exposición (TE) del diesel al tratamiento magnético se determinó según la metodología planteada por (Sofia y col., 2010).

Para un volumen de diesel de 5 L el tiempo promedio que demoró la muestra en pasar por el sistema con y sin tratamiento magnético fue de 49 s. Siguiendo las ecuaciones de la metodología anterior se obtuvo que el diesel fluyó por el sistema a una velocidad de 2 m/s y que el tiempo de exposición al tratamiento magnético fue de 0,025 s.

Es necesario destacar que aunque el TE es muy bajo, existen reportes donde los dispositivos magnéticos están instalados directamente en las tuberías que alimentan el diesel a las cámaras de combustión (específicamente antes de los inyectores). En estos sistemas se provoca el movimiento del combustible utilizando bombas de alta presión, estas generan velocidades mucho mayores y TE mucho más bajos; sin embargo se obtienen resultados relevantes en la eficiencia de la combustión y en la disminución de las emisiones de gases contaminantes.

A pesar de que la instalación experimental para tratar el combustible está separada del motor, el tiempo de relajación de las propiedades del combustible (también conocido como “memoria magnética”) no afecta las condiciones experimentales. Para los derivados del petróleo esta variable se conserva de 2 a 4 horas según Pivovarova (2004).

2.6. Procedimiento

Se realizaron aleatoriamente cuatro corridas experimentales con diesel tratado magnéticamente y cuatro con diesel sin tratar (control). Se tomaron 10 valores de concentraciones de CO cuando el motor alcanzaba la máxima carga (96%) en cada experimento. Por lo que se tienen en total 40 valores de concentraciones de CO producidas con diesel tratado magnéticamente (CTM) y 40 valores obtenidos con diesel

sin tratar (STM). Los experimentos se realizaron a una temperatura del local de 30 a 33°C (303-306 K).

El procedimiento planteado por (Arias y col., 2016) se utilizó para realizar los experimentos y los análisis de gases.

Los resultados obtenidos en los experimentos se validaron empleando el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION XV.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos recogidos durante los ensayos se analizaron de la siguiente forma:

- Muestra 1: Concentración de CO Sin Tratamiento Magnético (STM) (ppm)
- Muestra 2: Concentración de CO Con Tratamiento Magnético (CTM) (ppm)

Los resultados del comportamiento de las emisiones de CO obtenidos con y sin tratamiento magnético del diesel cubano se muestran en la Figura 5.

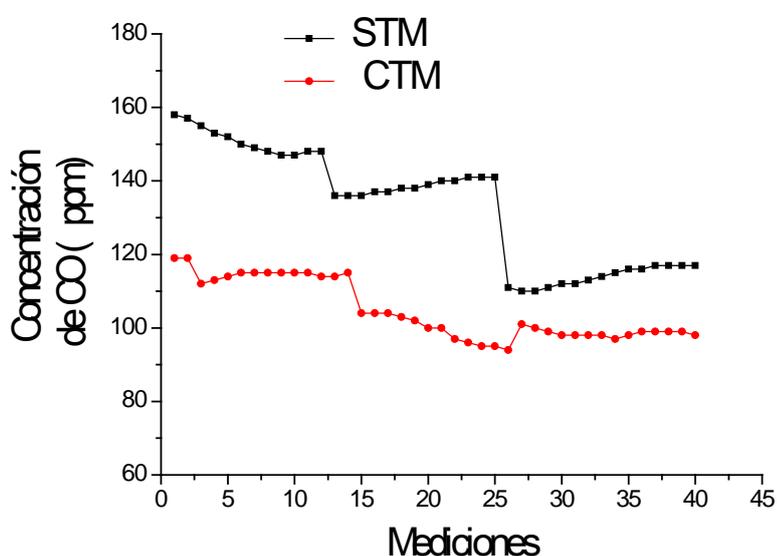


Figura 5. Concentración de CO en las emisiones producidas por el grupo electrógeno con y sin tratamiento magnético del diesel cubano

Las emisiones de CO producidas con el combustible tratado magnéticamente fueron menores que las producidas con el combustible sin tratamiento (Figura 5). La disminución de la concentración de CO de cada muestra respecto al número de mediciones realizadas se debe al aumento de la temperatura del local a medida que se realizaban los experimentos. Utilizando el paquete estadístico *STATGRAPHICS CENTURION XV*, se realizó el análisis de los datos para demostrar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de CO obtenidas.

Se ejecutó una “Comparación de dos muestras independientes”, este procedimiento está diseñado para comparar dos muestras de datos, calcular parámetros estadísticos, realizar gráficas para cada muestra y ejecutar pruebas para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras de datos.

El primer paso del análisis es determinar si las muestras de datos provienen de distribuciones normales. En la tabla 3 se presenta el resumen estadístico para las dos

muestras de datos. Estos estadígrafos caracterizan el centro de los datos, miden la dispersión y la forma de estos con respecto a una distribución normal.

Tabla 3. Resumen estadístico

<i>Estadígrafos</i>	<i>Muestras</i>	
	<i>Concentración de CO STM</i>	<i>Concentración de CO CTM</i>
Recuento	40	40
Promedio	133,0	104,63
Mediana	137,5	100,5
Coefficiente de Variación	12,09%	7,74%
Mínimo	110,0	94,0
Máximo	158,0	119,0
Rango	48,0	25,0
Sesgo Estandarizado	-0,48	1,27
Curtosis Estandarizada	-1,95	-1,86

Los principales parámetros estadísticos como el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación y la varianza de las concentraciones de CO obtenidas con combustible tratado magnéticamente son menores que las obtenidas con combustible sin tratar. La Tabla 3 revela que el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada se encuentran dentro del rango de -2 a +2 por lo que ambas muestras provienen de distribuciones normales, son datos paramétricos; esto permite utilizar la “Prueba t-Student” para comparar las medias de las muestras.

Para la realización de la Comparación de medias y de la Prueba t-Student es necesario conocer si las muestras tienen igualdad de varianzas y/o desviaciones estándar. En la Tabla 4 se muestran los resultados de estos estadígrafos para ambas muestras.

Tabla 4. Comparación de desviaciones estándar

<i>Estadígrafos</i>	<i>Muestras</i>	
	<i>Concentración de CO STM</i>	<i>Concentración de CO CTM</i>
Desviación Estándar	16,08	8,09
Varianza	258,67	65,47
Grados de libertad	39	39

Al analizar la Tabla 4 se observa que los estadígrafos Desviación Estándar y Varianza de la concentración de CO obtenidas con el diesel cubano tratado magnéticamente son

mucho menores que los obtenidos sin el tratamiento magnético. Esto significa que existe menor variabilidad en los datos de concentraciones generadas a partir del tratamiento magnético.

3.1. Comparación de Medias con la Prueba t-Student

A la hora de analizar los datos recogidos para una investigación, la elección de un método de análisis adecuado es crucial para evitar llegar a conclusiones erróneas. En el análisis de datos cuantitativos, uno de los métodos estadísticos más conocidos y utilizados en la práctica es la Prueba t-Student.

Los datos de ambas muestras cumplen con la distribución normal y son datos paramétricos, además existen diferencias estadísticamente significativas entre las desviaciones estándar de las dos muestras por lo que podemos aplicar la Prueba t-Student para definir realmente si existen diferencias significativas entre las muestras analizadas.

La Prueba t-Student realizada en el STATGRAPHICS CENTURION XV sin suponer varianzas iguales, arrojaron un valor $t = 9,97$ y un valor-P calculado menor que 0,05; por lo que se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna, lo que significa que existen diferencias significativas entre las dos muestras de concentraciones con nivel de confianza de un 95%.

Calculando la diferencia porcentual entre las medias de las muestras se puede afirmar que con el tratamiento magnético del combustible diesel se logra reducir aproximadamente un 21,3% la concentración de CO en las emisiones de gases de escape del grupo electrógeno de prueba Lister Petter LPWS2.

Estos resultados se deben a cambios que ocurren con los combustibles cuando estos atraviesan los campos magnéticos. Según (Nufus y col., 2017) la fuerza de atracción molecular entre los hidrocarburos disminuye después de que estos se tratan magnéticamente. Esta es la razón por la cual algunas propiedades de los hidrocarburos, tales como la viscosidad y la tensión superficial que son influenciados por la fuerza de atracción molecular, disminuyan después de que los hidrocarburos atraviesan el campo magnético. Este fenómeno provoca que se produzcan partículas y gotas más pequeñas durante la atomización o inyección del combustible dentro del MCI.

Pequeñas partículas o gotas provocan el aumento de las tasas de evaporación, lo que mejora la mezcla de combustible y oxidante (O_2) provocando un mejor desarrollo de la oxidación. El aumento de la oxidación del combustible causa varios efectos. Una oxidación más rápida y completa crea una fuerza motriz más concentrada y más contundente en los pistones de un MCI, aunque con una duración de tiempo más corto. Normalmente, el resultado provocado es un aumento de las revoluciones del motor por minuto (rpm) para la misma cantidad de combustible quemado. El efecto neto es un aumento en la velocidad de la combustión, un incremento de potencia en el motor y/o una disminución correspondiente en el consumo de combustible para una potencia de salida dada, y por último la reducción de las emisiones de algunos contaminantes gaseosos, lo que concuerda con lo planteado por (Faris y col., 2012).

Hasta el momento estas son las teorías que tratan de explicar el efecto de los campos magnéticos en los combustibles, en la actualidad se sigue investigando el mecanismo de acción de los campos magnéticos en los líquidos, sobre todo en los combustibles.

Es importante explicar que la reducción del CO en los gases de escape indica que está ocurriendo un proceso de combustión más eficiente lo que significa que se disminuyen las pérdidas por combustión incompleta lo que incide en un menor consumo de combustible y en menores emisiones de gases contaminantes como los HC.

Además estos resultados significan un aporte considerable al cuidado y conservación del medio ambiente. Garantizan una reducción considerable de las emisiones de los gases productos de la combustión, específicamente del CO que es considerado uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre. Sus principales fuentes productoras y responsables de aproximadamente 80% de las emisiones son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diesel (Téllez y col., 2006) y los procesos industriales que utilizan compuestos del carbono.

4. CONCLUSIONES

1. Se le aplicó un tratamiento magnético al diesel antes de introducirlo en los depósitos del motor, utilizando acondicionadores magnéticos de 0,4T de inducción magnética y con un tiempo de exposición al campo magnético de 0,025 s.
2. Se obtuvo una disminución promedio de un 21,3% de las emisiones de CO generadas por el grupo electrógeno Lister Petter LPWS2 cuando se utiliza diesel cubano tratado magnéticamente.
3. Se corroboró que el tratamiento magnético a los combustibles provoca un proceso de combustión más eficiente, disminuyendo las pérdidas por combustión incompleta (presencia de CO en los gases de escape) lo que incide en un menor consumo de combustible y en menores emisiones de gases contaminantes.

REFERENCIAS

- Arias, R., Berenguer, M., Vázquez, J., Silveira, Y., y Alfaro, C., Disminución de las emisiones de monóxido de carbono con el tratamiento magnético del combustible., Cuba: Medio Ambiente y Desarrollo, Vol. 16, No. 30, 2016, pp. 1-7.
- Ávila, J., y Pardo, C., Consumo de energía y emisiones de CO₂ del autotransporte en México y escenarios de mitigación., Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Vol. 32, No. 1, 2016, pp. 7-23.
- El Fatih, A., and Saber, G., Effect of fuel magnetism on engine performance and emissions., Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 4, No. 2, 2010, pp. 6354-6358.
- Faris, S., Al-Naseri , K., Jamal, N., Isse, R., Abed, M., Fouad, Z., y Mohammad, H., Effects of Magnetic Field on Fuel Consumption and Exhaust Emissions in Two-Stroke Engine., Energy Procedia, Vol. 18, 2012, pp. 327-338.
- Govindasamy, P., Experimental investigations of Magnetically activated fuel on lean Burn combustion in a two stroke Spark ignition engine, Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Mecánica, ANNA, University en la India, 2007.

- Jain, S., and Deshmukh, S., Experimental Investigation of Magnetic Fuel Conditioner (MFC) in IC Engine., *Journal of Engineering (IOSRJEN)*, Vol. 2, No. 7, 2012, pp. 27-31.
- Kumar, P., Patro, S., y Pudi, V., Experimental study of a novel magnetic fuel ionization method in four stroke diesel engines., *IJMERR*, Vol. 3, No. 1, 2014, pp. 150-160.
- Kushal, C., and Basavaraj, M., Effect of Fuel Magnetism by Varying Intensity on Performance and Emission of Single Cylinder Four Stroke Diesel Engine., *IRJET*, Vol. 2, No. 7, 2015, pp. 1121-1126.
- Nufus, H., Setiawan, A., Hermawan, W., y Tambunan, H., Characterization of biodiesel fuel and its blend after electromagnetic exposure., *Cogent Engineering*, Vol. 4, No. 1, 2017, pp. 1-12.
- Patel, M., Rathod, P., y Patel-T, M., Effect of magnetic field on performance and emission of single cylinder four stroke diesel engine. *IOSRJEN*, Vol. 4, No. 5, 2014, pp. 28-34.
- Pivovarova, A., Naturaleza de la influencia de un campo magnético constante sobre los sistemas dispersos petrolíferos., *Refinación de petróleo y petroquímica. Logros científicos, tecnológicos y mejores prácticas (en ruso)*, Vol. 10, No. 1, 2004, pp. 20-26.
- Sofia, M., Hernández, J., y Martínez, A., Efecto del tratamiento magnético en emulsiones de petróleo Mesa 30 con diferentes emulgentes., *Tecnología Química*, Vol. 29, No. 3, 2010, pp. 48-54.
- Téllez, J., Rodríguez, A., y Fajardo, Á., Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental., *Revista de salud pública*, Vol. 8, No. 1, 2006, pp. 108-117.
- Uguru-Okorie, D., y Dare, A., Combustion Enhancers in Diesel Engines: Magnetic Field Option., *IOSR-JMCE*, Vol. 5, No. 5, 2013, pp. 21-24.
- Varona, M., Arocha, A., Esquivel, E., y Roche, R., Grupos electrógenos y su impacto ambiental., *Hig. Sanid. Ambient*, Vol. 9, No. 7, 2007, pp. 217-221.