

Biodiesel aditivado con nanopartículas metálicas para mejorar las prestaciones de un motor térmico.



DOI : 10.53358/ideas.v4i1.701

Alexander Peralvo Clavon¹, Tamia Quilumbango², Ignacio Benavides²

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Rumichaca y Moran Valverde s/n Quito, Ecuador

² Ingeniería Automotriz, Universidad Técnica del Norte Av. 17 de Julio, Ibarra, Ecuador

1mperalvo@ups.edu.ec, 2tdquilumbango@utn.edu.ec, 2ibbenavides@utn.edu.ec

RESUMEN

El presente estudio de investigación fue diseñado con el fin de dar a conocer las especificaciones generales de los aditivos en nano partícula, el mismo considerado útil para lograr determinar la eficiencia del motor y reducir las emisiones contaminantes gracias a estos compuestos químicos que se añadieron con una medida determinada en el combustible, además se pudo analizar cada uno de los problemas que ocasionan los combustibles al no quemarse de forma adecuada en el proceso de la combustión, por ejemplo: se ha evidenciado que generan un sin fin de problemas, especialmente en la salud humana, contaminación ambiental, causando lluvia acida, daños en el ecosistema. Muchos de los combustibles utilizados en el siglo XXI deben cumplir una normativa y presentar garantía de su veracidad en el momento de la combustión. De la misma manera en este estudio se examinó diferentes aditivos como son: Óxido de Cobre, Óxido de Zinc y Óxido de Aluminio+ Óxido de Cerio. Se ha demostrado que los aditivos brindan una mejor combustión gracias al elemento químico del cual está formado este, proporcionando una mejora en el combustible por las mezclas o fusión efectiva de las partículas de los aditivos con el del biocombustible, porque con la presencia de partículas en tamaño nano es más fácil de que ocurra una mezcla estereométrica más exacta, así ocasionar una mejor expansión de la mezcla y causar menos generación de partículas contaminantes como son: CO, HC, CO₂, HUMO, etc.

Palabras Clave: TES, potencia, energía, desfase, transformador.

Introducción

Una de las principales causas de la contaminación atmosférica de los centros urbanos se debe a las emisiones que generan los automotores en funcionamiento, esto debido a la combustión de combustibles fósiles que se produce en el interior de los motores térmicos.

El presente estudio muestra los resultados de torque y potencia de un vehículo al que se le ha añadido una mezcla de biodiésel y nano partículas. Los experimentos se llevaron a cabo con el fin de mejorar el desempeño del motor y reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

Por medio del uso de nanopartículas como aditivos se busca mejorar la calidad del combustible y a su vez mejorar las prestaciones y emisiones de un vehículo liviano, en especial en una región como el Ecuador donde los combustibles carecen de niveles de calidad acorde con los estándares establecidos por organizaciones y asociaciones reguladoras presentes en otros territorios.

Materiales y Métodos

Los aditivos son sustancias que se agregan intencionalmente en el biodiésel o en el diésel con el objetivo de modificar las características y conservar de mejor forma su estado. Este líquido contribuye a la estabilidad del producto y la homogeneidad, además mejoran la limpieza de las partes internas del motor y lubricación. Los aditivos permiten reducir las emisiones de gases.

“Según la Administración de Información de Energía de Estados Unidos, se espera que el consumo mundial de energía crezca un 56 por ciento en el año 2040 en comparación con el del año 2010”[1]

A medida que aumentan las preocupaciones por el agotamiento de los combustibles fósiles y sus contribuciones al calentamiento global, el biodiésel ha crecido en popularidad y la producción mundial está aumentando anualmente. La Junta Nacional de Biodiésel informa

que los Estados Unidos produjeron aproximadamente 1,8 mil millones de galones de biodiésel en 2013. De manera similar, la Unión Europea produjo algo más de 1.800 millones de galones en cada uno de los últimos años. Otros países, como Brasil, han implementado un mandato para incluir al menos un 7 por ciento en volumen[2]

El efecto de la adición de compuestos oxigenados al gasóleo ha sido ampliamente investigado. Aunque muchos compuestos oxigenados han sido introducidos, no todos pueden usarse en motores de combustión interna (IC) para algunos tales como éter butílico terciario (MTBE) han sido efectivamente prohibidos usarlos como un aditivo de gasolina, en muchos estados de América debido a su hallazgo en aguas subterráneas, aunque no hay pruebas humanas suficientes y la evidencia limitada de animales, para la carcinogenicidad de MTBE. Los principales compuestos oxigenados actualmente utilizados en combinación con el gasóleo son el metanol y etanol [3]

A diferencia del diésel de petróleo, la estructura química del biodiésel hace que sea propensa a la oxidación durante el almacenamiento a largo plazo, lo que implica un deterioro de la calidad del combustible. Por lo tanto, la adición de antioxidantes generalmente se requiere para cumplir con los estándares de calidad para la comercialización de biodiésel. Los fenoles estéricamente impedidos sintéticos se han empleado normalmente para este propósito como antioxidantes de barrido de radicales libres. Sin embargo, los fenoles naturales también están disponibles, por ejemplo, en el bio-aceite producido en el pirólisis de la biomasa lignocelulósica. Se pudo determinar que los autores en otros trabajos evaluaron el potencial antioxidante de las fracciones extraídas de bio-aceite lignocelulósico, además ensayaron diferentes disolventes orgánicos como agentes de extracción, siendo ésteres de acetato el mejor para incorporar compuestos bio oxidantes de bio-aceite, en el mejor de los casos, la la comercialización de biodiésel. Los fenoles estéricamente impedidos sintéticos se han empleado normalmente para este propósito como antioxidantes de barrido de radicales libres. Sin embargo, los fenoles naturales también están disponibles, por ejemplo, en el bio-aceite producido en el pirólisis de la biomasa lignocelulósica. Se pudo determinar que los autores en otros trabajos evaluaron el potencial antioxidante de las fracciones extraídas de bio-aceite lignocelulósico, además ensayaron diferentes disolventes orgánicos como agentes de extracción, siendo ésteres de acetato el mejor para incorporar compuestos bio oxidantes de bio-aceite, en el mejor de los casos, incorporación de una pequeña concentración de compuestos bio-aceite (b4 por ciento en peso) condujo a una mejora del biodiésel [4].

Biodiesel y diesel

El biocombustible se compone en gran parte de una mezcla de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga (FAME) y puede producirse comercialmente mediante la reacción de transesterificación de triglicéridos naturales con un alcohol de cadena corta. Aunque la tecnología para la conversión de aceites comestibles como aceite de girasol, palmoil, aceite de soja, aceite de coco o aceite de colza a biodiésel ha sido bien establecida, esta práctica está ganando serio interés mundial en la preservación de la seguridad alimentaria del planeta [4].

El biodiésel ha ganado espacio en el mercado de combustibles, el motivo por el cual tuvo más acogida es gracias a que su proceso de combustión emite menos contaminación ambiental que el diésel común, el biodiésel es una alternativa que permite movilizar a los vehículos, el biodiésel químicamente se refiere a los ésteres alquílicos de ácidos grasos

que se derivan de diferentes materias primas, como la palma, el maíz, la colza, micro algas, la soja y el aceite frito usado, etc., las propiedades de combustible del biodiésel son extremadamente similares a las del diésel de petróleo, podemos decir que el biodiésel tiene algunas ventajas tecnológicas sobre el diésel de petróleo[5]. Sin embargo, han surgido algunas preocupaciones con respecto a las propiedades del biodiésel y su efecto sobre la durabilidad del motor, con respecto a la sostenibilidad, la oxidación y el carácter corrosivo del biodiésel parecen ser las principales preocupaciones[6], [7], [8]. Las desventajas que tiene el biocombustible perjudican notoriamente el motor, razón por el cual se acude al uso de aditivos que contribuyen a tener eficiencia en el mismo. Con la oxidación que ocurre en el biodiésel llega a tener diferentes composiciones químicas que son perjudiciales para la función del motor diésel.

El Diésel es una mezcla compleja de cientos y miles de hidrocarburos, que generalmente contiene 50-60 por ciento alcanos, 20-30 por ciento ciclo alcanos y 10-30 por ciento aromáticos (C₁₂H₂₆).

Las simulaciones numéricas que incluyen el modelado del flujo en el cilindro, la atomización del combustible y el proceso de combustión juegan un papel esencial en el desarrollo de motores diésel, así como la exploración de nuevos tipos de modelos de combustión[9], [10]. La reacción de formación de biodiésel consiste en separar los ácidos grasos de la glicerina con ayuda de un catalizador que puede ser la Sosa cáustica (NaOH) o el Hidróxido de Potasio (KOH), proceso de saponificación y unir cada uno de ellos a una molécula de metanol o de etanol (formándose el metóxido de sodio: CH₃ONa). Esta reacción se llama transesterificación.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del biodiesel. [11]

Propiedad	Unidad	120valor aproximado
conversión	%(m/m)	96,50 a 97,50
Densidad a 15 C	Kg./m ²	860 a 900
Viscosidad a 40 C	mm ² /gr.	3,50 a 5,00
Punto Inflamación	°C	120
Contenido de Azufre	mg/Kg.	10
Índice de Cetanos	N°	51
Contenido máximo de agua	mgr/ Kg.	500
Contenido de metanol	%(m/m)	0,20
Contenido de monoglicéridos	%(m/m)	0,80
Contenido de diglicéridos	%(m/m)	0,80
Glicerol Libre	%(m/m)	0,02
Glicerol Total	%(m/m)	0,025
Metales del grupo I (Na – K)	mgr/Kg.	5,00

Metales del grupo II (Ca – Mg)		5,00
Contenido de fósforo	mgr/Kg.	10,00
Índice de Yodo (Para Soja)	gr.yodo/ 100grs.	120

Nanopartículas metálicas y biodiesel

Al ser utilizado en el gasóleo antes del año 2000, la aplicación de aditivos metálicos nano-dimensionados disminuyó desde entonces, sin embargo, la combustión asistida por metal ha recibido renovado interés en los últimos años. Las partículas metálicas de tamaño nano tienen características diferentes en comparación con materiales de mayor tamaño. El comportamiento súper paramagnético, la súper plasticidad, el menor punto de congelación, las temperaturas de sinterización más bajas, la mayor probabilidad de ignición, la alta actividad catalítica y las mayores densidades teóricas son algunas de las propiedades inusuales de estos materiales [3].

Los efectos de mejora de los aditivos basados en los metales sobre las propiedades de los combustibles y las emisiones de diésel (PM, CO y especialmente NOx) han sido frecuentemente reportados en la literatura. Estos aditivos ejercen sus efectos de dos maneras diferentes: 1) Los metales reaccionan con el agua para producir radicales hidroxilos, lo que aumenta la oxidación del hollín, o 2) reaccionan directamente con los átomos de carbono en el hollín, bajando así la temperatura de oxidación. Se han investigado diferentes aditivos metálicos en el combustible diésel por sus efectos sobre el rendimiento y las emisiones agotadas de los motores diésel tales como el manganeso, el cerio (Ce), el hierro (Fe), el cobre (Cu), el platino (Pt), el platino-cerio (Pt-Ce), el níquel (Ni), el titanio (Ti), el Zinc (Zn), zirconio (Zr) y aluminio (Al)[3].

Como se ha visto, la idea de los biocombustibles, surge por el motivo de reducción drástica de combustibles fósiles en el mundo, además es importante reducir las condiciones de contaminación en el planeta, con el uso de algunos tipos de aditivos se puede solucionar esta problemática, aquí podemos ver uno de los estudios realizados con las nanopartículas. La emisión de CO en un biodiésel-diésel con nanopartículas fue significativamente menor (25,17 por ciento) en comparación con el gasóleo puro. La emisión de UHC con combustible de nano--biodiésel mezclado con plata disminuyó (28,56 por ciento), mientras que con los combustibles que contienen nanopartículas de CNT se incrementó un máximo de 14,21 por ciento.

Con la adición de nano partículas a los combustibles mezclados, los NOx aumentaron un 25,32 por ciento en comparación con el combustible diésel neto. Este estudio también presenta un modelo basado en la programación genética (GP) para predecir los parámetros de desempeño y emisión de un motor de CI en términos de nano combustibles y velocidad del motor. Se observó que el modelo GP puede predecir el rendimiento del motor y los parámetros de emisión con coeficiente de correlación (R2) en el rango de 0.93-1 y RMSE se encontró que estaba cerca de cero. Los resultados de la simulación demostraron que el modelo GP es una buena herramienta para predecir los parámetros de rendimiento y emisión del motor de CI[12].



Aceite de semilla modificada genéticamente

La higuera, o también conocida como ricino es una planta oleaginosa, que ha sido de gran utilidad en los distintos campos de la industria ya que ha sido empleada para la fabricación de aceite industrial, elaboración de plásticos, fibras textiles, etc.

En Ecuador esta planta es cultivada principalmente en la provincia de Manabí y Guayas, aunque también hay producción en las provincia de Loja, se ha estimado que en promedio únicamente se alcanza los 900 kilogramos por hectárea, sin embargo esta producción resulta ser baja en comparación con otros países, esto se debe al desconocimiento de técnicas de cultivo, así como la diversidad de la planta, la época y la correcta utilización de las semillas [13].

Las condiciones en cuanto al nivel de agua que necesita oscilan entre los 500 a 700 mm anuales en precipitaciones, por lo tanto, hay que tener en cuenta que esta planta es sensible al exceso de humedad, puesto que puede causar deficiencias en el florecimiento y en el desarrollo de las semillas, por otra parte, la iluminación óptima que se debe otorgar en el proceso de crecimiento se basa en brindar abundante luz, un ambiente carente de luz retarda el crecimiento

Configuración del motor

La higuera, o también conocida como ricino es una planta oleaginosa, que ha sido de gran utilidad en los distintos campos de la industria ya que ha sido empleada para la fabricación de aceite industrial, elaboración de plásticos, fibras textiles, etc.

En Ecuador esta planta es cultivada principalmente en la provincia de Manabí y Guayas, aunque también hay producción en las provincia de Loja, se ha estimado que en promedio únicamente se alcanza los 900 kilogramos por hectárea, sin embargo esta producción resulta ser baja en comparación con otros países, esto se debe al desconocimiento de técnicas de cultivo, así como la diversidad de la planta, la época y la correcta utilización de las semillas [13].

P
a
g
e

Las condiciones en cuanto al nivel de agua que necesita oscilan entre los 500 a 700 mm anuales en precipitaciones, por lo tanto, hay que tener en cuenta que esta planta es sensible al exceso de humedad, puesto que puede causar deficiencias en el florecimiento y en el desarrollo de las semillas, por otra parte, la iluminación óptima que se debe otorgar en el proceso de crecimiento se basa en brindar abundante luz, un ambiente carente de luz retarda el crecimiento

Nº
92

Para el desarrollo del experimento se realizó la configuración adecuada del motor de 3.0 L DIÉSEL TURBO/FULL 4X4, el cual consta de 4 cilindros en línea, un volumen de desplazamiento de 2.999 centímetros cúbicos y con 8 válvulas, la potencia neta reportada por el fabricante es de 130 HP a 3800 revoluciones por minuto y torque de 28,5 a 2000 Kg/m, por otra parte relación de compresión es de 18.3:1 mientras que la alimentación es electrónica de bomba de inyección.

Resultados

3.1 Adquisición de nanopartículas

Los aditivos en tamaño nanopartículas para el experimento se adquirieron en US Research



Nanomaterials, Inc., los mismos que cuentan con ciertos requerimientos de tamaño, pureza, cantidad, etc. En la siguiente tabla se detalla información sobre cada uno de los compuestos utilizados:

Tabla 2. Nanopartículas adquiridas (US Research Nanomaterials).[14–17]

Nombre de compuesto	Formula Química	Tamaño (nm)	Pureza	Cantidad
Óxido de Zinc	ZnO	35 – 45	99%	25 g
Óxido de Cobre	CuO	40	99%	25g
Óxido de Aluminio (Alúmina)	Al ₂ O ₃	50	99%	5g
Óxido de Cerio	CeO ₂	50	99.97%	5g

Obtención de mezclas

Con una probeta de un litro se midió 1000 y 600 mililitros respectivamente de diésel en 4 ocasiones para obtener 3600 ml, posteriormente se midió 400 ml de biodiésel de higuera y se introdujo ambos compuestos en un mismo recipiente, luego se procedió a agitar la mezcla en el ultrasonido (20000 Hertz), colocando 1 litro B10 en la cavidad, usando el equipo de protección personal adecuado se añadió la cantidad de 0.5 gramos de Óxido de Zinc y se mantuvo el compuesto durante 60 minutos, se repitió este procedimiento 3 veces más para completar 1 galón.

Así mismo para realizar las mezclas de los otros aditivos (CuO y Al₂O₃+CeO₂) respectivamente, se repite todo el procedimiento anterior.

Pruebas de torque y potencia

Se realizaron 5 pruebas de torque y potencia para cada muestra y se obtiene un promedio de los datos obtenidos para el diesel y las mezclas B10 + Óxido de Zinc, B10 + Óxido de Cobre, y el B10 + Óxido de Aluminio + Óxido de Cerio.

En la Figura 1 se puede observar la comparativa de torque y potencia del diesel y de las distintas mezclas de B10 y nano partículas metálicas.

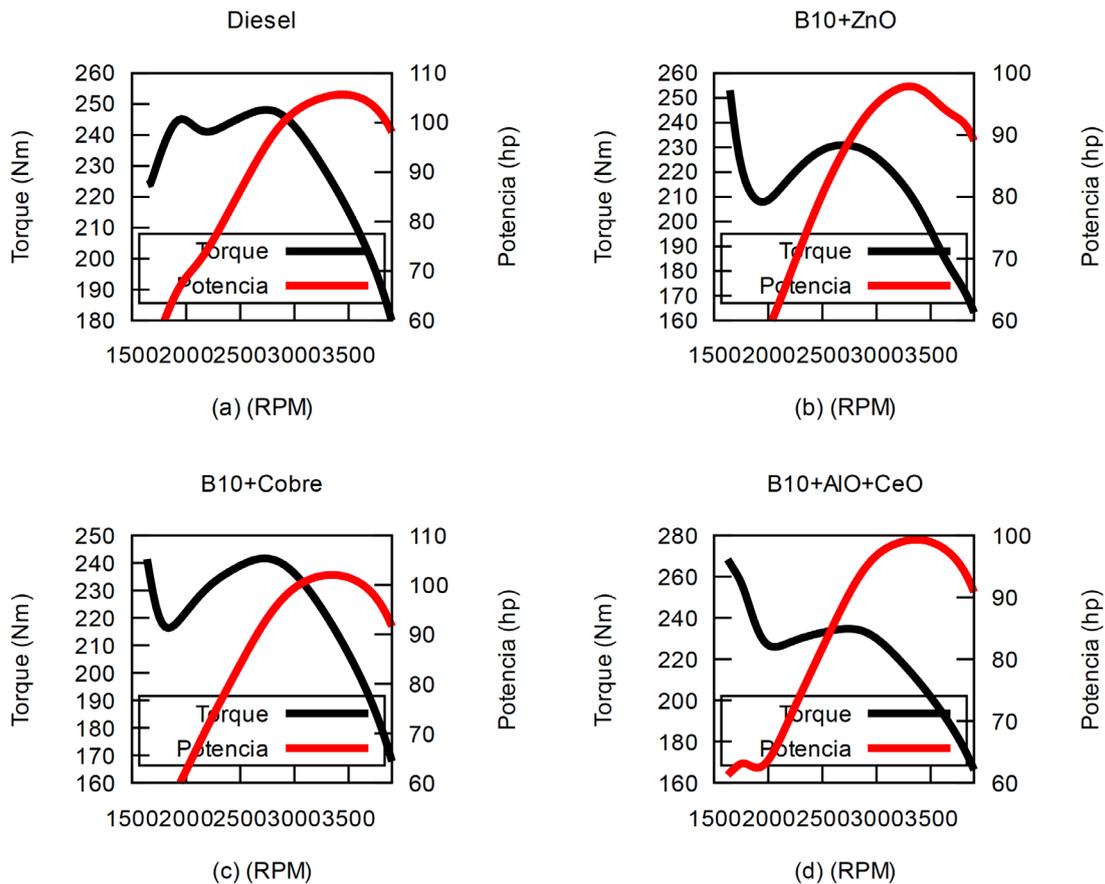


Fig. 1. Curvas de torque y potencia obtenidas en un banco dinamométrico.

Tabla 3. Resultados de pruebas de torque y potencia.

Valores Máximos				
Combustible	Velocidad	RPM	Potencia	Par motor
Fosil	140.5	4457.5	106.275	251.125
B5+ZnO	142	4505	99.12	253.12
B5+CuO	139	4399	102.66	243.66
B5+Al+Ce	137	4361	99.95	268.4

Medición de gases

Seguidamente para medir los gases de escape se conecta el sensor en la parte delantera del motor y se espera la temperatura adecuada, después se procede a medir en cuatro velocidades: ralentí , a 1500 rpm, a 2000 rpm y a 3000 rpm. Se coloca la Sonda en el tubo de escape y esté conectado al opacímetro, cuando el vehículo se encuentra en ralentí y se imprime los resultados obtenidos, se procede a acelerar hasta que alcance cada una de las revoluciones mencionadas anteriormente, imprimiendo los resultados correspondientes a cada una, cuando se termina de hacer la medida se retira la sonda, este procedimiento se repitió cuatro veces para asegurarse de los datos obtenidos y para cada mezcla y el Diésel común.



Tabla 4. Resultados de medición de gases, comparativa diesel común y mezcla de B10 y ZnO.

Aditivo de óxido de zinc(ZnO)				
Características	variación	DIESEL COMÚN	(%)	B10+Zno ZnO(-250ppm)
BTE	Disminuye	21	Disminuye	9
CO	Aumenta	62	Aumenta	92
NOX	Aumenta	35	Aumenta	16
HC	Aumenta	21	Aumenta	9
HUMO	Disminuye	54	Disminuye	82
HRR	Aumenta	118	Disminuye	129
Pmáx	Disminuye	8	Disminuye	13
BSFC	Disminuye	39	Disminuye	14

Tabla 5. Resultados de medición de gases, comparativa diesel común y mezcla de B10 y CuO.

Aditivo de Óxido de cobre(CuO)		
Características	20MEON(biodeisel)-CuO(50ppm)	(%)
BTE	Disminuye	2,19
CO	Disminuye	33
NOX	aumenta	3,2
HC	Disminuye	5,35
HUMO	Disminuye	12,5

Tabla 6. Resultados de medición de gases, comparativa diesel común y mezcla de B10 y ZnO.

Aditivos de Óxido de cerio (CeO) + alúmina (AlO)		
Características	CeO+AlO+JBD30A30	(%)
BTE	Aumenta	31
CO	disminuye	60
NO	Aumenta	13
HC	disminuye	33
HUMO	disminuye	32



Conclusiones y trabajos futuros

De acuerdo con los resultados que se describen en la sección anterior y teniendo en cuenta las nanopartículas utilizadas en los experimentos, se concluye que el elemento del cual se obtienen los mejores resultados en cuanto a eficiencia del motor es el Óxido de Zinc (45nm), porque tiene un mejor rendimiento en términos de potencia, a una velocidad de 107 km/h alcanza 108.8 hp, a diferencia de las otras mezclas de combustible con sus respectivos aditivos que no superaron los 104 hp, inclusive ésta mezcla de combustible que contiene la nanopartícula de óxido de Zinc, logró superar en potencia al diésel común que alcanza 108 hp. Por otra parte, para a los resultados del par motor, éste alcanzo el punto más alto en torsión a diferencia de las demás mezclas, a 51 km/h consiguió una torsión de 314 Nm, a un régimen de 1634 rpm, mientras que las demás no lograron superar los 290 Nm, a un régimen de 1767rpm.

Se concluye también que el óxido de zinc, tanto en este experimento de laboratorio como en estudios anteriores de artículos científicos mencionados en este trabajo, logró obtener los mejores resultados, en cuanto a la reducción de emisiones contaminantes a distintas rpm, ya que emitió menor cantidad de CO, CO₂, HC, NOX, el margen promedio de emisión de gases contaminantes para el Óxido de zinc permanece con un volumen de 5% menos para la mayoría de las cargas a diferencia del Oxido de Cobre, debido a que las pruebas experimentales con el Óxido de Aluminio (Al₂O₃) y Óxido de Cerio (CeO₂) no pudieron ser llevadas a cabo, la comparación de resultados solo es posible entre el ZnO y CuO, concluyendo que el óxido de Zinc aporta con mejores resultados.

Finalmente, se concluye que el tamaño de la nanopartícula de la cual se obtuvo los mejores resultados en cuanto a eficiencia del motor, al igual que, reducción de emisiones contaminantes es de 35 a 45 nm (nanómetros), con respecto a la composición química del biodiésel se encontró que este dado por los siguientes enlaces C₁₉H₃₆O₂.

Recomendaciones

Se recomienda dar a conocer la importancia del uso de los aditivos en el biocombustible para reducir la contaminación ambiental, así mismo los materiales que podrían aprovechar del medio en el que vivimos para fabricar el biodiésel, debido a que nuestro país es rico aceites vegetales, animales entre otros.

Se recomienda realizar experimentos con diferentes biodiésel y elementos químicos como aditivos para seguir empleando más combustibles alternativos que permitan brindar mayor torque y potencia del motor diésel, así como no causar mucho daño al ecosistema, pues biodiésel +aditivos producen menos CO, HC, NOx.

De los aditivos que se emplearon para el experimento, el más recomendable para usarse es de óxido de zinc, por los resultados que se pudo analizar, ya que, éste reduce las emisiones de NOx en 34 ppm a 3000 rpm, así mismo reduce el porcentaje de emisión de HC en un 1.85 ppm.



Referencias

1. International Energy Outlook 2013. 2013;312.
2. Bewley BR, Berkaliiev A, Henriksen H, Ball DB, Ott LS. Waste glycerol from biodiesel synthesis as a component in deep eutectic solvents. *Fuel Process Technol.* 2015;138:419-23.
3. Khalife E, Tabatabaei M, Demirbas A, Aghbashlo M. Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation. *Prog Energy Combust Sci.* 2017;59:32-78.
4. García M, Botella L, Gil-Lalaguna N, Arauzo J, Gonzalo A, Sánchez JL. Antioxidants for biodiesel: Additives prepared from extracted fractions of bio-oil. *Fuel Process Technol.* 2017;156:407-14.
5. Reza Miri SM, Mousavi Seyedi SR, Ghobadian B. Effects of biodiesel fuel synthesized from non-edible rapeseed oil on performance and emission variables of diesel engines. *J Clean Prod.* 2017;142:3798-808.
6. Zuleta EC, Baena L, Rios LA, Calderón JA. The oxidative stability of biodiesel and its impact on the deterioration of metallic and polymeric materials: a review. *J Braz Chem Soc. Brazilian Chemical Society;* 2012;23:2159-75.
7. Fazal MA, Jakeria MR, Haseeb ASMA, Rubaiee S. Effect of antioxidants on the stability and corrosiveness of palm biodiesel upon exposure of different metals. *Energy. Elsevier;* 2017;135:220-6.
8. Agarwal AK, Khurana D, Dhar A. Improving oxidation stability of biodiesels derived from Karanja, Neem and Jatropha: step forward in the direction of commercialisation. *J Clean Prod. Elsevier Ltd;* 2015;107:646-52.
9. Kokjohn S, Hanson R, Splitter D, Kaddatz J, Reitz RD. Fuel Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) Combustion in Light- and Heavy-Duty Engines. *SAE Int J Engines.* 2011;4:360-74.
10. Shah PR, Ganesh A. Study the influence of pre-heating on atomization of straight vegetable oil through Ohnesorge number and Sauter mean diameter. *J Energy Inst.* 2018;91:828-34.
11. Camús JMG, Laborda JÁG. Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol. :125.
12. Ghanbari M, Najafi G, Ghobadian B, Yusaf T, Carlucci AP, Kiani Deh Kiani M. Performance and emission characteristics of a CI engine using nano particles additives in biodiesel-diesel blends and modeling with GP approach. *Fuel.* 2017;202:699-716.



Industrial Engineering