

Comparación de la producción de hollín con B5 a base de aceite de ricino con diésel fósil en motores de compresión

Comparison of soot production with B5 based on castor oil with fossil diesel in compression engines

Carlos Mafla Yépez

Ignacio Benavides Cevallos

Paúl Hernández Rueda

Universidad Técnica del Norte, Ecuador

Autor por Correspondencia: cmafla@utn.edu.ec, ibbenavides@utn.edu.ec, ephernandez@utn.edu.ec

Fecha de recepción: 22 de Febrero de 2017 - Fecha de aceptación: 5 de Junio de 2017

Resumen: La presencia de hollín en el ambiente ha ido aumentando considerablemente en los últimos tiempos según la Organización Mundial de la Salud (OMG). Uno de los causantes de esta problemática son los motores diésel. El objetivo del presente estudio es evaluar la presencia de hollín en un motor a diésel utilizando biodiésel de Higuierilla y diésel fósil. Las pruebas se realizaron en un banco de motores diésel Mazda BT 50 con sistema CRDi. Para realizar las mediciones se utilizó el opacímetro de marca Braen Bee (modelo opa 100) del laboratorio de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte (UTN). El opacímetro está conectado a una sonda que se coloca en el tubo de escape, la cual transporta los gases al equipo. La prueba consiste en someter al motor a varias aceleraciones como son 1200, 1500, 2000, 2500 y 3000 [RPM] con el biodiésel de Higuierilla y con el diésel fósil. Una vez completado todas las aceleraciones, se obtiene la diferencia de opacidad, que básicamente sirve para realizar un análisis comparativo de la opacidad mayor con la menor, resultando un promedio porcentual de opacidad, que es el que se debe regular según las normas establecidas. Se ha notado la reducción del 60% en la opacidad de motores diésel con el uso de biodiésel a partir de aceite de Higuierilla en relación al diésel fósil.

Palabras claves: Biodiésel, motor diésel, ricino, hollín.

Abstract: The presence of soot in the environment has been considerably increasing lately according to the World Health Organization (WHO). One the cause of this issue is due to the diesel engines. The study focuses on evaluating the presence of soot on a engine by using to fuels such as Higuierilla biodiesel and fossil diesel. The test was carried out on a diesel engine test bench Mazda BT 50 with CRDi system. In order to run the tests a Braid Bee opacimeter is used (model opa 100) from the Automotive Engineering Lab in Universidad Técnica del Norte. The opacimeter is connected to a probe, which is placed at the end of the car exhaust pipe. The test consists of testing the engine into be several accelerations such as 1200, 1500, 2000, 2500 and 3000 [RPM] using Higuierilla biodiesel and fossil diesel. Once all the accelerations are completed, the opacity difference is obtained which is used to make a comparative analysis from the highest to the lowest opacity, resulting as the average percentage of opacity, which is the one that should be followed according to the established norms. It was observed a 60% reduction in diesel engine opacity with the use of Higuierilla biodiesel in relation to fossil diesel.

Key Words: Biodiesel, diesel engine, ricino, soot.

Introducción

El hollín, o carbono negro, es un material particulado que se origina en la combustión incompleta e ineficiente de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa; el cual se concentra en la atmósfera.

El hollín es un componente del PM 2,5 capaz de impedir el paso de la luz y transformarla en calor, corroborando en el calentamiento climático; este material particulado puede mantenerse suspendido en la atmósfera por días o semanas (Forster, Ramaswamy, & Artaxo, 2009). Análisis recientes demuestran que la disminución del hollín podría ser la forma más rápida de atenuar el calentamiento global; en la actualidad los países en vías de desarrollo, como es el caso de nuestro país, son los principales contribuyentes en la generación de carbono negro; ya que las grandes potencias ya optaron años atrás por tecnologías de control para reducir significativamente sus emisiones.

Como se mencionó anteriormente, el exceso de hollín se origina en combustiones incompletas e ineficientes; el parque automotor coadyuva con esta premisa, ya que en las quemas abiertas y en la combustión de biodiésel, la dispersión de otros aerosoles enfriantes que transmite la radiación del sol en dirección opuesta a la superficie de la tierra, como es el caso del carbono orgánico, es mayor, compensando parte de su efecto de calentamiento (Bond, 2004).

Recientemente el hollín ha sido argumentado como el segundo agente de cambio climático más potente, con un equivalente a 55% del potencial imputado al bióxido de carbono (CO₂). Los procesos para la disminución del carbono negro son poco costosos y se encuentran disponibles, lo que contribuirá con la reducción de las emisiones, además, se traduciría en beneficios no únicamente climáticos, sino también para la salud humana, la productividad agrícola y el ambiente. (Ramanathan & Carmichael, 2008).

La presente investigación pretende afianzar la utilización de biodiésel a base de aceite de ricino en motores de ciclo diésel, analizando y comparando sus emisiones de hollín, con respecto al diésel de origen fósil, y así, contribuir a la conservación del ambiente.

Producción de Biodiesel

Actualmente, a diario se inventan nuevas máquinas y métodos para la elaboración de biocombustibles; los aceites extraídos de la biomasa poseen propiedades, en donde su densidad y viscosidad son fácilmente manipulables, siendo estos bastante idóneos para la producción de biodiésel (Aalam, G, & M, 2015).

El biodiésel se origina debido a una reacción química, como es la transesterificación, donde el glicerol presente en los aceites es suplido por un alcohol, como es el metanol, generalmente empleado en la elaboración con aceites vegetales reciclados, y en mezclas con etanol en aceites nuevos; ante la presencia de un catalizador.

Se puede utilizar como catalizador, hidróxido de potasio (KOH) o hidróxido de sodio (NaOH), al utilizar KOH, la glicerina resultante del proceso es mucho menos tóxica que al

emplear NaOH, además el hidróxido de potasio se disuelve mucho mejor en metanol. Para que el proceso sea lo más eficiente posible los catalizadores deben tener una pureza de por lo menos 96% para el NaOH y alrededor de 92-85% en el KOH, este último bastante difícil de encontrar con una pureza superior (Saba, y otros, 2016).

La transesterificación consiste en la reacción entre un triglicérido (compuesto por una molécula de glicerol esterificada por tres moléculas de ácidos grasos) contenido en el aceite de ricino y el alcohol (metanol o etanol), originando glicerina y ésteres derivados de los ácidos grasos; al utilizar metanol, el biodiésel estará compuesto por ésteres metílicos. El catalizador se disuelve en alcohol ligero (metanol), para luego ingresar al reactor, junto con el aceite crudo extraído del ricino, donde permanecerán a una temperatura mínima de 45°C y máxima de 55°C, a un régimen de 3000 rpm, alrededor de 3 horas, dando lugar al proceso de transesterificación, posteriormente se separará la glicerina, la cual pasará por un proceso de lavado, el cual radica en agregar el 26% de agua en volumen de aceite.

Finalmente se realiza el proceso de evaporación del agua, a temperaturas de alrededor 100 °C, para luego mezclarlo con diésel fósil en proporción B5 y emplearlo en motores de compresión. Al emplear biodiésel se logra reducir las emisiones de monóxido y dióxido de carbono presentes en la combustión, ya que una molécula de biodiésel contiene entre 12 y 18 carbonos, y, una molécula de diésel de origen fósil puede contener hasta 20 carbonos (Amaris, 2015).

Metodología

En el proceso de análisis de opacidad de gases de escape se utilizó un banco de pruebas experimentales de motores diésel marca Kia Sorento año 2012 de 4 cilindros en línea, el cual tiene una potencia de 172 hp a un régimen de 3500 rpm, con sistema de inyección directa electrónica CRDi, manteniendo sus características estándar para la realización del proyecto.

Una mezcla de biodiésel de ricino y diésel fósil fue utilizada en las pruebas en concentraciones de B5 (5% de biodiésel y 95% de diésel fósil). Se analizó su opacidad y se comparó con la opacidad al utilizar diésel fósil puro, utilizando para este fin el opacímetro graduado con la normativa vigente.

Los procesos de pruebas se desarrollaron utilizando el mismo motor, tomando las precauciones de limpieza en el sistema de inyección al momento de realizar las diferentes pruebas y que las condiciones sean las mismas para obtener resultados óptimos.

La unidad de medición de opacidad se da de una manera porcentual y determina el grado de opacidad de las emisiones de escape de una fuente móvil a diésel. El Instituto Ecuatoriano de Normalización en la norma técnica NTE INEN 2 202:2000, manifiesta que el límite máximo de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel en función de su año de fabricación es; a partir del año 2000 en adelante, del 50% de opacidad y los modelos anteriores al año 2000 es el 60% de opacidad (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2000).

El instrumento de medición de opacidad de los gases de escape utilizado fue el opacímetro marca Brain Bee, modelo Opa 100, cuyas características se encuentran anexas en la tabla 1. Para realizar las mediciones el motor llegó a la temperatura de 80°C, siendo la temperatura óptima de funcionamiento. Al alcanzar dicha condición se procede al precalentamiento del opacímetro que es una función automática con la que cuenta, seguido a esto se realiza una prueba para comprobar que la sonda no tenga fugas, la cual se denominada auto cero. Ya con estos requisitos y procedimientos cumplidos se introduce la sonda al tubo de escape y se realiza las pruebas a diferentes regímenes del motor.

Tabla 1. Rangos de Opacidad

	VALOR	TOLERANCIA (+ -)
OPACIDAD	0-99.9%	1
OPACIDAD	0-9.99 m-1	0.1
TEMP.HUMO	20-400°C	1

Fuente. (Globaltech, 2016)

Los regímenes del motor para las pruebas fueron de 1200 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm y 3000 rpm; una vez obtenido los datos de opacidad en cada régimen, se calcula la diferencia de opacidad, la cual se fundamenta en la comparación de la unidad mayor con la menor, finalmente se computa el promedio para obtener el porcentaje de opacidad.

Resultados

La figura 1 indica el porcentaje de opacidad usando B5, el cual se incrementa, al elevar el régimen del motor, debido al aumento en el consumo de combustible, originando así una mayor producción de carbono negro.

Basado en la norma NTE INEN 2 202:2000, que rige para este tipo de automotor, el límite de opacidad es del 60%, en base a los datos obtenidos se concluye que, con el uso de biodiesel de aceite de ricino se disminuye considerablemente la opacidad. Se realizaron 7 pruebas a un régimen de 1200, 1500, 2000, 2500 y 3000 rpm, a una temperatura promedio del motor de 90°C. Con la curva de tendencia así formada, se obtuvo la ecuación para calcular la opacidad según el régimen del motor, la cual, a 1000 rpm es de 0.7 y a 3500 rpm de 5,2.

$$OPA_{B5} = [0,3176^{0,0008rpm}]$$

Ecuación 1. Opacidad B5.

Donde:

OPA: Opacidad

B5: Mezcla biodiésel

Rpm: Revoluciones por minuto del motor

Calculando en el abanico de rpm comprendido entre 1200 y 3000 se obtiene 14% de margen de error, dando lugar a la siguiente curva:

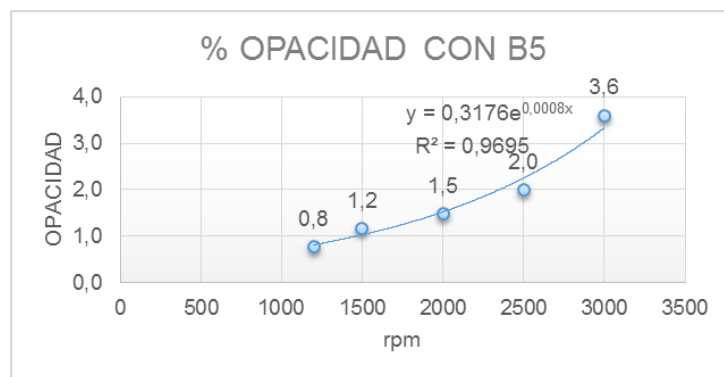


Figura 1. Porcentaje de opacidad B5

La figura 2 representa los valores de la opacidad en los mismos regímenes del motor, donde se empleó diésel fósil, en la cual se puede apreciar el aumento de la opacidad en rangos considerables.

La línea de tendencia, así formada, es lineal, por lo tanto la opacidad es proporcional a los regímenes del motor ya preestablecidos, obteniendo la siguiente fórmula:

$$OPA_{DF} = [0,0018(rpm) + 7,4619]$$

Ecuación 2. Opacidad diésel fósil

Donde:

DF: Diésel fósil.

Rpm: Revoluciones por minute

Aplicando la ecuación se puede conocer el porcentaje de opacidad en motores de las mismas condiciones en el cual se ejecutó el proyecto.

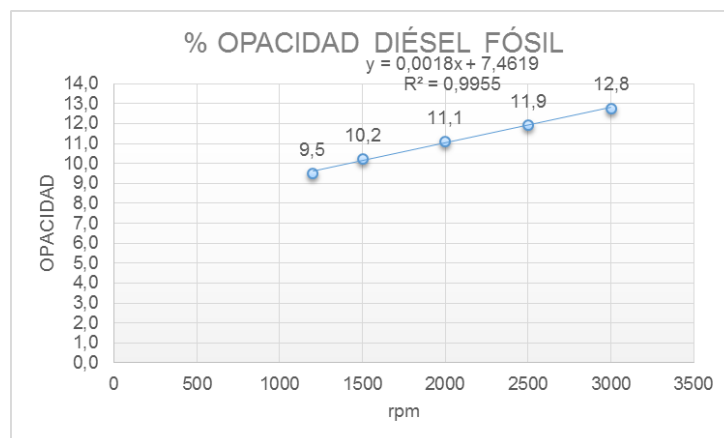


Figura 2. Porcentaje de Opacidad Diésel Fósil

Analizando la línea de tendencia resultante de ejecutar las pruebas con diésel fósil, se observa que, conforme aumenta el régimen del motor, se incrementa proporcionalmente el porcentaje de opacidad emitido, mientras que al usar B5, la formación de hollín disminuye,

evidenciando una amplia diferencia en el porcentaje de opacidad o cantidad de carbono negro emanado por el motor diésel empleado.

De las gráficas resultantes, se puede considerar que al incrementar el régimen del motor en 500 rpm, usando diésel fósil, existe una adición del 9% de opacidad en cada ensayo realizado, mientras que con B5 la opacidad disminuye en un 92% a un régimen de 1000 rpm, y en un 72 % a 3000 revoluciones por minuto.

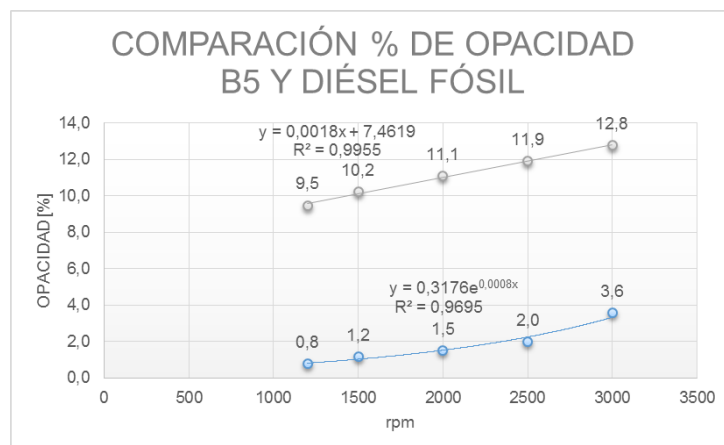


Figura 3. Comparación del porcentaje de Opacidad B5 y diésel fósil.

Conclusiones

Con los datos obtenidos se corrobora que al usar B5 se disminuye en promedio de 82% la opacidad a un régimen entre 1000 y 3000 rpm, gracias al menor porcentaje de carbón en el biodiésel, a su mayor índice de cetano y lubricidad, lo que se traduce en menor desgaste en la bomba de inyección y en las toberas, aumentando la vida útil de los motores, mientras el consumo de combustible además de la auto-ignición, la potencia y el torque del motor permanecen inalterados.

No es necesario realizar modificación alguna en los motores para poder emplear biocombustible, sobre todo en proporción B5, ya que este colabora a aumentar la vida útil del mismo. Se observó el trabajo de los inyectores los cuales no tuvieron ningún inconveniente en su funcionamiento.

El margen de erros con el uso de B5 es del 14%, tomando en cuenta los porcentajes de opacidad este valor es mínimo, por lo cual es viable la utilización de esta ecuación para el cálculo de la opacidad en motores de las mismas características.

El índice de correlación en la curva de B5 está cercana a 1 por lo cual es un dato positivo y viable para la aplicación de la ecuación. La ley obtenida para B5 se cumple con motores de las mismas características.

Bibliografía

- Aalam, C., G, S., & M, K. (2015). Experimental investigations on a CRDI system assisted diesel engine fuelled with aluminium oxide nanoparticles blended biodiesel. *El Seiver*, 351-358.
- Amaris, J. M., Manrique, D. A., & Jaramillo, J. E. (2015). Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. *El Reventón Energético*, 23-34.
- Azjargal, J. (2014). The Comparison of Combustion Characteristic and Performances of Diesel Engine Fueled with Biodiesel and Diesel Blends. *IEEE*, 313-316.
- Bond, T. (2004). A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion . *109 Journal of Geophysical Research*.
- Deepakkumar, S., Arvind, M., Aravinth, G., Mohan, M., Vijayadhasan, M., & Loganathan, M. (2016). Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Advances in Natural and Applied Sciences*. , 221.
- Engineers, S. o. (2010). *Diesel and Emission*. EEUU: SAE.
- Forster, P., Ramaswamy, P., & Artaxo, P. (2009). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *The Physical Science Basis*.
- Globaltech. (2016). *Opacimetro Brain Bee Opa100*. Obtenido de <http://globaltechla.com/equipos-de-taller/34-opacimetro-opa-100.html#.WHk9mFN97IU>
- Honig, V., Strouhal, J., & Linhart, Z. (2016). Biodiesel from waste animal fat: efficient fuel of the future? *International Advances in Economic Research*, 465-477.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2000). *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación De La Opacidad De Emisiones De Escape De Motores De Diesel Mediante La Prueba Estática. Método De Aceleración Libre*. Quito: Inen.
- Karlsson, H., Ahlgren, S., Sandgren, M., Passoth, V., Wallberg, O., & Hansson, P.-A. (2016). A systems analysis of biodiesel production from wheat straw using oleaginous yeast: process design, mass and energy balances. *Biotechnology for Biofuels*.
- Knothe, G., & Krahel, J. (2012). The biodiesel handbook. *OCS*, 30-28.
- Lalvani, J., Kirubhakaran, K., Parthasarathy, M., & Sabarish, R. (2013). Performance Characteristic and Emission Analysis of a Single Cylinder Diesel Engine Operated on Blends of Diesel and Easte Cooking Oil. *IEEE*, 781-785.
- Lobo, B., da Costa, A., Klimeck Gouvêa, C., Andreazza, J., & Al- Rubaie, K. (2016). Optimización de la producción de biodiesel con etanol y aceite residual de freír con un alto contenido de ester. *Revista Facultad de Ingenieria. Universidad de Antioquia.*, 185.
- Maksimuk, Y., Buglak, A., Kruk, V., & Antonova, Z. (2013). Rheological properties of residual fuel oil containing fuel blends with bioadditives. Part 1. Rapeseed oil based bioadditives. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 108-115.
- Morellos Gómez, J. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina . *El Seiver*, 120-126.
- Normalización, I. E. (2002). *Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres diésel*. Quito: INEN.
- Ramanathan, V., & Carmichael, G. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. *NATURE GEOSCIENCE*, 221-222.
- Saba, T., Estephane, J., Khoury, B., Khoury, M., Khazma, M., Zakhem, H., & Aouad, S. (2016). Biodiesel production from refined sunflower vegetable oil over KOH/ZSM5 catalysts. *Renewable Energy*.

- Senila, L., Miclean, M., Cadar, O., Senila, M., Kovacs, M., & Hoaghia, M.-A. (2016). Validation of a method for determination of free glycerol in biodiesel. *Studia Universitatis Babes-Bolyai. Chemia.* , 345.
- Tan, P., Hu, Z., & Lou, D. (2013). Transient Particle Number Emissions from Diesel Engines with Biodiesel Fuel. *IEEE*, 240-243.
- Vinothkumar, Nadanakumar, V., & Alagumurthi, N. (2016). Performance, combustion and emission characteristics of diengine by using fish oil biodiesel. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 342.
- Xu, B., Liu, Y., Wu, J., Li, C., Shang , W., & Ma, Z. (2015). Performance and Exhaust Emissions of a Turbocharged Common Rail DI Diesel Engine Fueled with Alcohol. *IEEE*, 5-9.
- Zambrano Ruano, G., Rossi Sosa, C., & Hernandez Gaitan, J. (2014). Emisión de gases en vehículos experimentales diesel-biodiesel. *Universidad del Valle Guatemala*, 64-67.
- Zhen Yu, Z., & Jing, L. (2011). Effects of Exhaust Post-treatment Technology on Diesel Engine Emissions. *IEEE*, 1804-1807.