



IV Conferencia Internacional de Desarrollo Energético Sostenible CIDES 2025

Generación de biodiesel para pruebas de emisiones gaseosas en motor diésel

Biodiesel generation for diesel engine gas emissions testing

- 1- Efrén Yair García Velázquez. Universidad Autónoma de Zacatecas, México. E-mail: yairoslayer5@gmail.com
- 2- Francisco Eneldo López Monteagudo. Universidad Autónoma de Zacatecas, México. Email: eneldolm@yahoo.com
- 3- Jorge De La Torre y Ramos. Universidad Autónoma de Zacatecas, México. Email: jorgetorre@uaz.edu.mx
- 6- Emilio Álvarez García. Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), México. Email: alvarezgarciaemi@gmail.com
- 5- Cristóbal Patiño Carachure. Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), México. Email: cpatino@pampano.unacar.mx
- 6- Francisco Ismael Celis Rodríguez. Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), México. Email: 001478@mail.unacar.mx

Resumen: El presente artículo tiene como objetivo generar biodiesel para realizar pruebas de emisiones gaseosas en un motor diésel. El biodiesel es una opción interesante para abordar el problema de la disminución de la disponibilidad de combustibles fósiles convencionales, así como para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos, así como para reducir las emisiones de CO₂ de los motores de combustión interna. El presente trabajo describe un análisis experimental realizado en un motor diésel que funciona con combustible diésel estándar y el proceso de producción de biodiesel para la obtención de este, enfocándose completamente en el método de transterificación, donde se tomó en cuenta el uso entre catalizadores para el desarrollo de la transterificación. El biodiesel obtenido se llevó a pruebas de emisiones de gases en el motor diésel, con el objetivo de conocer la diferencia de gases liberados entre estos dos combustibles, dando a entender que, aunque los gases emitidos muestran una reducción, estos aún están presentes, ya que



se observó el aumento de gases NO_x y la reducción de gases tipo HC y CO. Esto plantea una visión diferente al camino recorrido del biodiesel, dando a conocer sus alcances y limitaciones dentro del campo de las energías renovables. También se planteó una metodología para la obtención de aceite de higuera como una futura propuesta para su uso en el proceso de la transesterificación, además de su utilización para que sea llevado a prueba en los motores diésel.

Abstract: The purpose of this article is to generate biodiesel to perform gaseous emissions tests in a diesel engine. Biodiesel is an interesting option to address the problem of the declining availability of conventional fossil fuels, as well as to reduce CO₂ emissions from vehicles, as well as to reduce CO₂ emissions from internal combustion engines. This work describes an experimental analysis performed on a diesel engine running on standard diesel fuel and the biodiesel production process for obtaining it, focusing entirely on the transesterification method, where the use of catalysts was taken into account for the development of transesterification. The obtained biodiesel was subjected to gas emission tests in the diesel engine, with the aim of knowing the difference in gases released between these two fuels. It is understood that, although the gases emitted show a reduction, they are still present, since an increase in NO_x gases and a reduction in HC and CO gases were observed. This raises a different view of the path taken by biodiesel, revealing its scope and limitations within the field of renewable energies. A methodology for obtaining castor oil was also proposed as a future proposal for use in the transesterification process, in addition to its use for testing in diesel engines.

Palabras Clave: Biocombustible; Reducción de contaminantes; Efecto del cambio climático; Generación biodiesel.

Keywords: Biofuel; Pollutant reduction; Effects of climate change; Biodiesel generation.

1. Introducción

La principal problemática ambiental que se deriva del uso de combustibles fósiles consiste en que la combustión de éstos genera contaminación atmosférica, del agua y suelo (por el desecho de aceites quemados), y el fenómeno del calentamiento global. La



contaminación atmosférica es un gran problema ambiental ya que es ocasionado por el mismo hombre, habiendo diferentes causas que ocasionan este problema, pero las más importantes son por las actividades industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias. El sector automovilístico es de los principales sectores que causa la contaminación ambiental y el cambio climático. La pronunciación de la prensa No 980 de la Organización Meteorológica Mundial expone que la concentración de CO₂ aumento desde 1970 hasta el 2014 un 41%. El dióxido de carbono es el resultado de la combustión de combustibles fósiles, junto está el monóxido de carbono concentrándose en la capa atmosférica. Estos gases son tóxicos para la salud humana. (Zambrano y Rossi, 2014).

Debido al crecimiento de la población en el mundo se ha venido dando el aumento de vehículos diésel conociendo que el uso de combustibles fósiles es perjudicial para el medio ambiente más la salud de los seres vivos, como el cáncer, durante este tiempo se han regulado nuevas normativas tratando de reducir los números y recuperar el ecosistema. Por eso es importante saber qué está ocurriendo en el interior del motor, ayudando a identificar velozmente inconvenientes de desgaste de los elementos del motor, así como la contaminación y degradación del aceite lubricante. (Reşitoğlu, 2015)

Un motor DIESEL funciona mediante la ignición (encendido) del combustible al ser inyectado muy pulverizado y con alta presión en una cámara (o precámara, en el caso de inyección indirecta) de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de auto-combustión, sin necesidad de chispa como en los motores de gasolina, esta es la llamada auto-inflamación. Los cuatro tiempos en su orden son: admisión, compresión, expansión y escape. (Morales y Guzmán, 2014).

El motor diésel es el tipo de motor más utilizado en el mundo, las emisiones del diésel generan una gran contaminación debido al aumento en el uso de este tipo de motores en la industria, transporte terrestre y marítimo. Además, las emisiones del diésel contribuyen al deterioro de la salud y el uso de este combustible tiene efectos indirectos sobre el suelo y el agua.

Según (Lloyd y Cackette, 2008) los impactos ambientales por emisiones de motores diésel son la reducción de visibilidad y el deterioro de infraestructuras.

El biodiesel es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, nuevos o usados. El prefijo bio hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible diésel



tradicional derivado del petróleo, mientras que diésel se refiere a su uso en motores de este tipo. Como combustible, el biodiesel puede ser usado en forma pura o mezclado con diésel de petróleo (Demirbas, 2007).

El concepto de biocombustible se conoce hace más de 100 años, gracias al ingeniero alemán Rudolph Diesel, el ingeniero Diesel usó aceite de maní (Ahmmed y Hikmat, 2009). Sin embargo, la viscosidad causante del mal comportamiento de los aceites vegetales especialmente en los motores diésel de inyección directa fue limitante en su utilización. A pesar de esto, los aceites empezaron a usarse en ese tiempo, resultando ser tan importante como el petróleo y el carbón. (Meher, 2006). No obstante, el petróleo irrumpió en el mercado porque era barato, razonablemente eficiente y fácilmente disponible. Uno de sus derivados, el gasóleo, rápidamente se convirtió en el combustible más utilizado en el motor diésel, ya que desde que el ingeniero Diesel murió en 1913, su motor ha sido modificado para correr con el contaminante combustible petrolero, conocido como "diésel".

El biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética, y al elevado costo del petróleo. Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero solo hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora de RME (Rapeseed Methyl Ester-metil éster aceite de semilla de colza), (Jáuregui, 2006).

Los aceites y grasas pueden ser caracterizados según sus propiedades físicas (densidad, viscosidad, punto de fusión, índice de refracción) o químicas (índice de acidez, índice de yodo, índice de peróxido, índice de saponificación, índice de éster). (Castro y Col., 2007). La obtención del biodiesel consiste en una reacción de transterificación, este tipo de reacción es el proceso de intercambiar el grupo alcoxilo (grupo alquilo unido a un átomo de oxígeno, es decir, RO) de un éster por otro alcohol, son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base.

Cuando el glicerol se sustituye por el alcohol obtenemos tres moléculas de metiléster (biodiesel) y una molécula de glicerina. Cuando se utilizan aceites nuevos, es posible la mezcla con etanol, R_1 , R_2 y R_3 que son cadenas generalmente largas de ácidos grasos (Gerpen, 2005).

La transterificación es una reacción reversible, por lo cual es importante adicionar un exceso de alcohol para favorecer la producción de biodiesel, la relación molar



estequiométrica aceite-alcohol es de 1:3, pero la relación comprobada experimentalmente es de 1:6, ya que en esta relación se encontró un valor aceptable para la viscosidad (Meher, 2006).

La ventaja del hidróxido de potasio es que la glicerina que queda del proceso es mucho menos tóxica que cuando se utiliza hidróxido de sodio. En este caso, es posible procesar la glicerina para producir un fertilizante artificial. El KOH tiene también la ventaja de que se disuelve mucho mejor en metanol.

Cuanto menor sea el consumo específico de un motor, mejor es su rendimiento (Ortmann, 2003). Una manera de apreciar el desempeño ambiental de un combustible es mediante el concepto de opacidad. La opacidad es la capacidad que tienen las emisiones de gases de oponerse al paso de un haz de luz a una frecuencia determinada. Se mide en porcentaje y corresponde al nivel de obscuridad de las emisiones de un vehículo diésel (Agudelo, 2005).

2. Metodología

Como parte del proyecto, de principio se realizó una investigación sobre los procesos de obtención de biodiesel, de donde se puede obtener y las áreas en las que se trabajará. La obtención del biodiesel se llevará a cabo mediante la transterificación, la cual consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (triglicérido) con un alcohol para formar alquil ésteres y glicerol. El metanol y el etanol son los alcoholes usados con mayor frecuencia, especialmente el metanol debido a su bajo costo y a sus ventajas físicas y químicas (es polar y es un alcohol de cadena corta); además, el metanol reacciona rápidamente con los triacilglicéridos y se disuelve fácilmente en álcalis.

Se puede obtener biodiesel a partir de una semilla conocida como "higuerilla", la cual tiene numerosas aplicaciones industriales para la producción de plástico y fibras sintéticas, con este aceite se pueden elaborar tintas, esmaltes, lubricantes, productos para la cosmetología, fertilizantes y pesticidas, teniendo uso importante en los sectores médicos, aeronáuticos y energéticos.

El aceite de la semilla de higuerilla es utilizado en operaciones de trabajo en frío y en caliente. (Barba Muñoz y Reyes Terán, 2011).

El proceso de obtención de biodiesel se realizó mediante la transterificación, puesto que es el método que presenta mayores facilidades y ventajas, además de ser de los más



utilizado. En la actualidad, este proceso antes mencionado es una reacción en la cual consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (triglicérido) con un alcohol para formar alquil ésteres y glicerol. Este proceso está basado en la Tabla 1, donde se muestra la relación de reactivos a utilizar según la cantidad de aceite que se quiere procesar.

Aceite (ml)	Metanol(ml)	NaOH/KOH (gr)
100	200	4

Fuente Manual de Biodiesel

En base a la relación de reactivos a utilizar para la obtención de biodiesel, se empezará a utilizar aceite vegetal convencional, el cual tiene que ser medido en una probeta para obtener una cantidad exacta de aceite, está siendo una medida de 500 ml. El aceite es previamente calentado a una temperatura de 40° a 50° en una plancha termo-agitadora, se debe de tener cuidado de que la temperatura no suba más de lo establecido. Durante el anterior proceso, se pesa la cantidad de catalizador a utilizar en una báscula (se recomienda el uso de guantes para prevenir el contacto con la piel), también se medirá la cantidad de metanol a utilizar para que sea mezclado en la plancha termo-agitadora junto al catalizador hasta alcanzar una mezcla homogénea.

Cuando el aceite alcance la temperatura deseada, se añadirá el metanol y el catalizador, este tiene que ser agitado constantemente durante 40 minutos, siendo recomendable hacerlo en la plancha termo-agitadora para la obtención de un mejor resultado. Una vez pasado este tiempo, la mezcla es llevada al matraz de separación, el cual ayudará para que la glicerina sea separada de nuestro biodiesel por medio de una diferencia de densidades entre estos, esta separación se hace evidente casi al instante, pero es recomendable que repose entre 30 a 40 minutos para separar la mayor parte de la glicerina. Una vez separado, la glicerina deberá ser almacenada en un recipiente para ser llevado a los residuos adecuados o bien, puede ser usado en otros proyectos.

El siguiente paso a seguir es el lavado de biodiesel, en donde es necesario el uso de agua fresca, ya que esta contiene una menor cantidad de minerales que puedan alterar el producto deseado. Con esto en mente, se medirá 10% de agua según la cantidad de biodiesel que se quiere lavar, los dos componentes serán mezclados y agitados en la plancha termo-agitadora durante 30 minutos para una agitación constante. Una vez pasado el tiempo establecido, la mezcla es depositada en el matraz de separación, como

es mostrada en la Figura 1, cabe aclarar que para el primer lavado el tiempo de reposo para la separación de compuestos es más tardado, por lo que será necesario dejarlo reposar el tiempo que sea necesario hasta que sea apreciable una separación marcada. Los lavados de biodiesel se realizarán de la misma manera hasta que el biodiesel en el matraz de separación sea de un color cristalino y los residuos del fondo del matraz sean agua, ya que así se sabe que ya no cuenta con impurezas, como es mostrado en la Figura 2. Una vez llegado a este paso, el producto obtenido será almacenado para su futuro uso.



Figura 1. Primer lavado de biodiesel. Fuente Manual de biodiesel



Figura 2 Biodiesel en su último lavado sin impurezas. Fuente Manual de biodiesel

El proceso de obtención de aceite de higuera será realizado mecánicamente y en frío con una prensa hidráulica, en donde se pesarán 50 gr de semilla de higuera (mostrada en la Figura 3) con ayuda de una báscula, éstas se deberán colocar dentro de 4 capas de tela de malla, de aproximadamente de 12x12 cm, para así ser presionados por la prensa hidráulica. Con este método, en teoría se obtienen 20 ml de aceite de higuera por cada carga de 50 gr.



Figura 3 Semilla de higuera. Fuente: <http://surl.li/fmuvv>

Este aceite es filtrado con filtros para café, con el objetivo de eliminar las impurezas que este aceite pueda adquirir durante el proceso de obtención. Los filtros serán cambiados constantemente ya que las impurezas tapan estos filtros. El aceite obtenido será almacenado para luego llevarse a procesar por medio de transesterificación y así se obtendrá biodiesel a partir de aceite de higuera.

3. Resultados y discusión

Dentro de los resultados que se obtuvieron, se remarcaron en 3 resultados importantes, estos siendo la obtención de biodiesel con aceite de cocina comercial, extracción de aceite de higuera y la prueba del motor diésel. En el caso de la extracción del aceite de higuera, el proceso de obtención de biodiesel no formará parte de los resultados de este proyecto ya que formará parte de otro proyecto del laboratorio de investigación.



Como se mencionó antes, el proceso de obtención de biodiesel fue mediante la transterificación, usando un alcohol, en este caso metanol, y un catalizador. La relación molar alcohol-aceite es una de las variables más importantes que afectan el rendimiento de la reacción. Según su estequiometría, la reacción de transterificación requiere 3 moles de un alcohol y 1 mol de triglicéridos para dar 3 moles de éster monoalquílico de ácido graso y 1 mol de glicerina. Cuando se utiliza un 100% de exceso de alcohol, la reacción transcurre a una alta velocidad llegándose también a altos rendimientos de ésteres metílicos. Existe otro aspecto que es necesario considerar a la hora de fijar la cantidad de alcohol a utilizar, el alcohol no se solubiliza en los triglicéridos en proporciones molares mayores de 3:1, lo que provoca, al principio de la reacción, la existencia de tres fases, en el caso de la utilización de un catalizador sólido. La existencia de tres fases en el momento inicial de la reacción dificulta el contacto entre ambos reactivos y el catalizador. En cambio, el exceso de alcohol favorece la obtención de biodiesel. Por estos motivos, la concentración inicial de alcohol debe fijarse manteniéndose una situación de compromiso entre la velocidad de difusión por la formación de dos fases de fluido y el desplazamiento de la reacción hacia la formación de biodiesel.

Como se mencionó antes, en este proyecto se utilizó un catalizador sólido (este siendo hidróxido de sodio) algo que, si provocó una dificultad de contacto entre todos los reactivos, pero esto fue resuelto utilizando la agitación previa del metanol y el NaOH, por lo que no se presentó mayor dificultad en este aspecto. Al igual de que la relación entre aceite a utilizar y alcoholes era la adecuada según el método que se estaba utilizando, ya que la investigación previa ayudó a buscar la relación correcta para llevar a cabo la transterificación, ya que la relación molar alcohol-aceite no afecta el índice de acidez y de saponificación ésteres alquílicos. Pero valores elevados de la relación molar alcohol-aceite pueden interferir en la separación de la glicerina debido a un aumento en la solubilidad.

La temperatura influye claramente en la reacción de transterificación y en el rendimiento del producto biodiesel. Una temperatura elevada puede disminuir la viscosidad del aceite, dando lugar a un aumento de la velocidad de reacción y a una disminución del tiempo de reacción, por lo que se utilizó una temperatura menor a la de la ebullición del alcohol (74°-76°), esto para que no se vea afectado el resultado final. Esto es un acierto ya que algunos autores mostraron que cuando la temperatura de reacción aumenta por encima



del nivel óptimo, la conversión en biodiesel disminuye porque elevadas temperaturas de reacción aceleran la reacción de saponificación de los triglicéridos. La temperatura de reacción debe ser menor que el punto de ebullición del alcohol para asegurar que este no se pierde por vaporización. (Leung y Col. 2010).

El biodiesel obtenido fue comparado en diferentes propiedades con el combustible diésel convencional, estas propiedades y su comparativa es mostrada en la Tabla 2.

Tabla 3 Principales propiedades del biodiesel frente al diésel estándar.

Propiedades	Biodiesel	Combustible diésel
Densidad [kg/m ³]	882	820-860
Viscosidad [mm ² /s @ 40°C]	4.6	2.0-4.5
Valor mínimo de calentamiento [MJ/KG]	37.5	42.5
Valor máximo de calentamiento [MJ/L]	33.0	35.7
Composición de gases	77% C 12% H 11% O	87% C 13% H

Fuente: Combustion Analysis of a Diesel Engine

En cuanto al análisis de emisiones, no se realizó satisfactoriamente el análisis de gases, ya que se presentaron retrasos en cuanto a la entrega del motor diésel que se pretendía usar por lo que se optó por analizar diferentes resultados relacionados a este tema, ya que es un tema que se lleva investigando desde hace muchos años. En uno de los proyectos se estudiaron fue Performance and emission analysis of high purity biodiesel blends in diesel engine (2020) se obtuvo que las emisiones de NO_x aumentan a medida que la temperatura empieza a aumentar en la cámara de combustión, dando como resultado un aumento de Nox, además de que el aumento porcentaje de biodiesel aumenta el contenido de oxígeno del combustible y, por tanto, se liberan más NO_x. Otro hecho que aumentaría la emisión de NO_x es la presencia de aminos en el biodiesel ya que este produce a partir de aceite vegetal que contiene vitaminas de forma natural a su vez que estas vitaminas contienen nitrógeno enlazado (Mrad y Col.). Comparando el anterior artículo con el artículo "Performance and Emissions of Diesel Engine Using Bio-Fuel Derived From Waste Fish Oil (2021), podemos observar que el aumento de NO_x común y evidente cuando es usado en los motores diésel, en donde Nadia Mrad y sus colaboradores comentan que los óxidos de nitrógeno en las emisiones de escape aumentan del 20% al

80%, esto tomando en cuenta el tipo de biodiesel que fue utilizado. Las emisiones de NOx con el funcionamiento con biodiesel puro son de 857 ppm a plena carga (Figura 4), lo que es máximo, en comparación con el diésel.

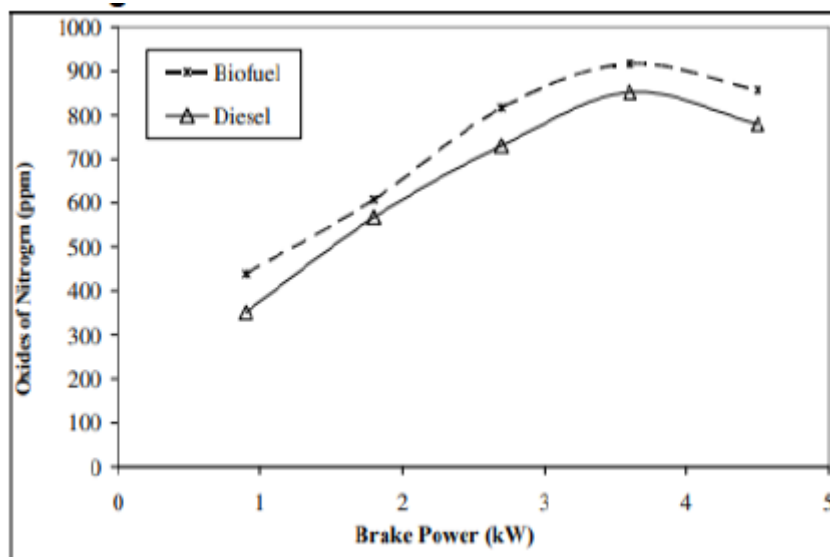


Figura 4 Variación de las emisiones de NOx. Fuente: Performance and Emissions of Diesel Engine Using Bio-Fuel Derived From Waste Fish Oil

En cuanto a los hidrocarburos no quemados, se observó un descenso significativo de las emisiones de HC en el primer artículo, en velocidades bajas se observó un descenso del 58.1% en 1400 rpm, esto también se debe al mayor contenido de oxígeno en el biodiesel, y cuanto mayor sea la cantidad de biodiesel en la mezcla, mejor será la combustión y, por lo tanto, se reducirá significativamente la cantidad de HC no quemados emitidos. Una simple adición del 5% de biodiesel produce un descenso significativo. Comparando estos resultados con el trabajo antes mencionado, también se observa una reducción significativa de HC no quemado, este es comparado en la Figura 5 donde se aprecia la variación entre el diésel y biodiesel utilizado, la diferencia entre el biodiesel utilizado es que este es de un aceite ya utilizado, pero se observa que en ambos casos el HC.

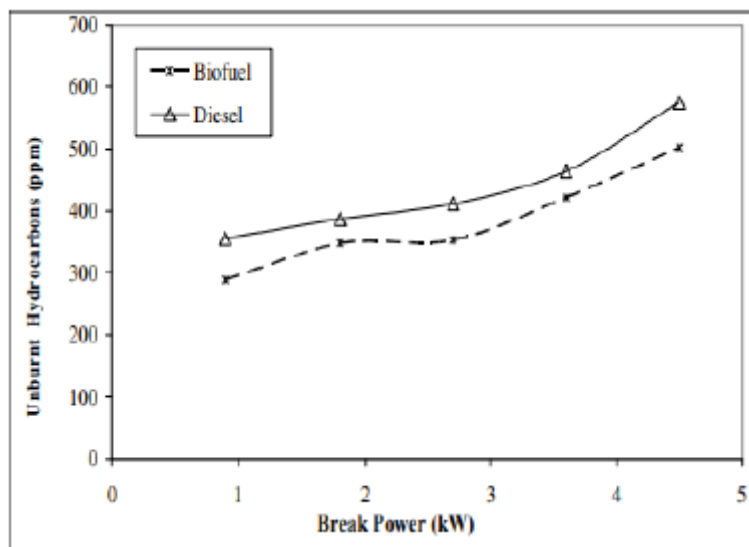


Figura 5 Variación de hidrocarburos no quemados. Fuente: Performance and Emissions of Diesel Engine Using Bio-Fuel Derived From Waste Fish Oil

El biodiesel en su estado más puro produce emisiones de CO ligeramente inferiores a las del diésel. Ya que, a plena carga, la emisión de CO con diésel es del 0,59% y con biodiesel es del 0,39%, esto a 1200 rpm (Mrad y Col.). Debido a las buenas características de pulverización como resultado de la baja viscosidad del biocombustible, todas las gotas de combustible se mezclan con el aire en la parte final de la carrera de compresión, en donde se produce la reacción de oxidación del combustible resultando en una combustión completa. Dai Liu nos dice que, el propio biodiesel tiene un mayor contenido de oxígeno que tiende a aumentar el proceso de oxidación.

4. Conclusiones

Con el presente proyecto, se entiende que los procesos de obtención y desarrollo de biodiesel varían en cuanto al método que utilizará, ya que las variables que se utilizan para cada uno de estos métodos incluso varían en el cómo se llevan a cabo. Tomando en cuenta esto, el método de transterificación entra dentro de los métodos más sencillo a utilizar, ya que el nivel de investigación del biodiesel y del método de transterificación es bastante amplio. Respecto a las emisiones de los motores, el biodiesel tiene mayor densidad y valores de viscosidad más elevada con respecto al combustible diésel que se usa comúnmente en los motores. De acuerdo a diferentes pruebas de motores en diferentes estudios, se llega a una reducción de CO, HC y aumento de NOx dentro de sus emisiones,



esto siendo confirmado con otros trabajos de la misma naturaleza. También se encontró que el uso de biodiesel en los motores diésel, redujo la eficiencia térmica cuando este llega a velocidades más altas, como en el caso de llegar a 1200 rpm, en este caso, varios estudios sugieren mejorar esta eficiencia añadiendo más componentes al motor con el biodiesel, un ejemplo de estos componentes es el queroseno.

Si bien, el estudio de la obtención y practicidad del biodiesel ha sido estudiado durante mucho tiempo, es poco probable que este sustituya totalmente a los combustibles convencionales, ya que a pesar de que estos muestren ventajas en relación a la disminución de emisiones de gases nocivos, las materias primas para desarrollar este combustible son, en su mayoría, semillas que son utilizadas para consumo humano, por lo que aún se cuestiona el costo-beneficio en el desarrollo de estos proyectos, lo que provoca que la mayoría de estudios solo alcancen la parte teórica y no lleve más allá, este siendo un ámbito industrial o en el uso cotidiano.

5. Referencias bibliográficas

1. Zambrano, G., Rossi Sosa, C., & Hernández Gaitán, J. A. (2014). Emisión de gases en vehículo experimental diésel-biodiésel. (Zambrano y Rossi, 2014).
2. Reşitoğlu, İ. A., Altinişik, K., & Keskin, A. (2015). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17, 15-27.
3. Rafael Morales, M. Y., & Hernández Guzmán, A. (2014). Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible. *PUBLICACION TECNICA*, (417).
4. Lloyd, A. C., & Cackette, T. A. (2001). Diesel engines: environmental impact and control. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 51(6), 809-847.
5. Demirbas, A. (2007). Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy policy*, 35(9), 4661-4670.
6. Ahmmed, S. I., & Hikmat, S. (2009). Advanced Mathematical Model to Describe the Production of Bio-diesel Process. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 4(2), 37-42.



7. Meher, L. C., Sagar, D. V., & Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 10(3), 248-268.
8. Jáuregui, J. (2006). Producción de biodiesel a partir de grasas de desecho. *Universidad Autónoma de Aguascalientes. Departamento de ingeniería bioquímica. Centro de ciencias básicas. Aguascalientes (México).*
9. Castro, P., Coello, J., & Castillo, L. (2007). *Opciones para la producción y uso de Biodiesel en el Perú* (pp. 1-176). Lima, Perú: Soluciones Prácticas-ITDG.
10. Van Gerpen, J. (2005). Biodiesel processing and production. *Fuel processing technology*, 86(10), 1097-1107.
11. Ortmann, R. (2005). *Técnica de los gases de escape para motores de gasolina*. Reverte.
12. Agudelo, J. R., Bedoya, I. D., & Agudelo, A. F. (2005). Emisiones gaseosas y opacidad del humo de un motor operando con bajas concentraciones de biodiesel de palma. *Ingeniería y desarrollo*, (18), 1-22.
13. Barba Muñoz, L. F., & Reyes Teran, O. (2011). Calculo y diseño de una prensa hidraulica tipo " C" con capacidad de 20 toneladas. *Ciudad de México: instituto politécnico nacional*.
14. Leung, D. Y., Wu, X., & Leung, M. K. H. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied energy*, 87(4), 1083-1095.