

Análisis del desempeño de motores Diesel operados con Biodiesel

Dr. Adrián Vidal Santo¹, Ing. José Alberto Rodríguez Toledo², M.I. Álvaro G. Vega de la Garza³ y M.I.A. Estela Del C. Rodríguez Fernández⁴

Resumen—Ante el creciente interés de producir combustibles alternos que ayuden a disminuir la dependencia de los hidrocarburos y reduzcan la contaminación ambiental, se han realizado investigaciones en todo el mundo para producir biocombustibles, entre ellos el Biodiesel; el cual puede ser obtenido por la transesterificación de aceites derivados de semillas como la *jatropha* (principalmente) o de aceites vegetales reciclados. En este trabajo, el principal interés fue analizar el desempeño termomecánico de motores Diesel, usando Diesel común y Biodiesel. Las pruebas realizadas muestran un mejor desempeño del motor con el Diesel, pero sólo en un 5% respecto al Biodiesel.

Palabras clave: Biocombustibles, Motores de combustión interna, CO₂, bioenergéticos, gases efecto invernadero.

Introducción

En los últimos años ha crecido el interés por la producción de biocombustibles, principalmente el biodiesel, no sólo por la comunidad científica, sino también por empresarios y políticos que lo acogen como estandarte en sus campañas, para decirse que están a favor de las “políticas verdes”. Este interés ha tenido ventajas y desventajas, como ventaja se puede decir, que los reflectores están puestos en los grupos de investigación que desarrollan proyectos de este tipo y puede ser benéfico, si se logran apoyar estas iniciativas. La desventaja radica en el costo creciente de los insumos, ya que la materia prima para la producción de biodiesel, que en muchos casos es el aceite vegetal comestible reciclado, está siendo acaparado por grupos bien organizados en la compra y recolección a lo largo de la República Mexicana. De esta manera el biosiesel producido resulta más caro que el precio del Diesel convencional (derivado del petróleo). Cuando se inició esta investigación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, se pretendió, desde un inicio, que el biodiesel producido tuviera las características necesarias para operar maquinaria agrícola, principalmente tractores y se mandó a analizar el biodiesel antes de probarlo en un tractor. Los detalles de la composición y calidad del biodiesel producido fueron aceptables para iniciar las pruebas mecánicas (Vidal et al, 2011). Sin embargo, la medida del desempeño se realizó de manera heurística, por lo que hubo que buscar un equipo que nos permitiera medir el par del motor y las emisiones usando diesel y biodiesel. Las pruebas se realizaron con el motor *General Motor Detroit Diesel Engine modelo 2150*, ubicado en las instalaciones del laboratorio de máquinas térmicas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Se presentan aquí los resultados de esta investigación, los cuales nos muestran que el desempeño del motor fue muy similar, resultando en una leve disminución del trabajo realizado por el motor cuando trabajó 100% con biodiesel. Respecto a las emisiones también hubo una disminución en los gases de efecto invernadero al trabajar el motor con 100% de biodiesel.

Antecedentes

Los motores de combustión interna alternativos son unas de las máquinas térmicas más empleadas en la actualidad, y es difícil concebir un avance tecnológico si no se hiciera el uso de ellos. Sin embargo, son máquinas que necesitan un combustible, ya sea gaseoso o líquido como la gasolina o el diesel, en ambos casos queman el combustible para generar trabajo. En la combustión es donde se genera la energía calorífica, a costa de la emanación de gases que son productos de la combustión. Estos gases son aceleradores del efecto invernadero, y es por eso, el gran interés en la producción de los biocombustibles, para mitigar este efecto.

El primer motor Diesel, modelo de Rudolf Diesel, un mono cilíndrico de hierro de 3 metros con un volante en la base funcionó por vez primera en Augusta en Alemania, el 10 de agosto de 1893. Diesel presentó su motor en la Exposición Mundial de París de 1900. Este motor es un ejemplo de la visión de Diesel, ya que era

¹Dr. Adrián Vidal Santo es profesor Investigador de la Universidad Veracruzana en la Facultad de Ingeniería, Ing. Mecánica Eléctrica, Región Veracruz. avidal@uv.mx. (Autor correspondiente)

²Ing. José Alberto Rodríguez Toledo es Académico de la Facultad de Ingeniería, Ing. Mecánica Eléctrica, Región Coatzacoalcos-Minatitlán de la Universidad Veracruzana. albrodriguez@uv.mx

³M.I. Álvaro Vega de la Garza es profesor Investigador de la Universidad Veracruzana en la Facultad de Ingeniería, Ing. Mecánica Eléctrica, Región Veracruz. avega@uv.mx

⁴M.I.A Estela Fernández Rodríguez es profesora Investigadora de la Universidad Veracruzana en la Facultad de Ingeniería, Ing. Mecánica Eléctrica, Región Veracruz. esfernandez@uv.mx

alimentado por aceite de cacahuete -un biocombustible-, Diesel quería que el uso de un combustible obtenido de la biomasa fuese el verdadero futuro de su motor. Los biocombustibles son combustibles de origen biológico obtenido de manera renovable a partir de restos orgánicos. Estos restos orgánicos proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas. Todos ellos reducen el volumen total de CO₂ que se emite en la atmósfera, ya que lo absorben a medida que crecen y emiten prácticamente la misma cantidad que los combustibles convencionales cuando se queman, por lo que se produce un proceso de ciclo cerrado sustentable (Camps y Marcos, 2008).

El Biodiesel sustituye como combustible limpio y renovable a los derivados del petróleo, concretamente al Diesel y lo hace con ventaja ecológica ya que reduce las emisiones de gases que provocan el efecto de invernadero. Así, por ejemplo, el uso de una tonelada de Biodiesel, evita la producción de 2.5 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) y sobre todo elimina, si se usa el Biodiesel solo en los motores, las emisiones de azufre (SO₂), evitando las lluvias ácidas; además, lo que es fundamental: es un combustible renovable y no limitado como los hidrocarburos.

La producción mundial de Biodiesel en el lapso de 1993-2003 creció a una impresionante tasa del 28.5% anual, de 38 a 467 millones de galones, mientras la producción de Bioetanol (otro biocombustible en sustitución a la gasolina) creció a una tasa del 6.7% anual en el mismo periodo de tiempo, alcanzando en el año de 2003, los 5mil 770 millones de galones (p.web-SENER, 2006).

En México, los estados con mayor avance en la producción de biodiesel son Chiapas, Puebla y Veracruz. Todos alentados por contribuir con la innovación y el desarrollo tecnológico como se manifestó en los trabajos presentados en el Congreso Internacional sobre biocombustibles (García Pérez et al. 2011). El desarrollo del biodiesel, va enfocado principalmente al producido con jatropha, y aceites derivados de palmas, debido principalmente a que el aceite vegetal reciclado se ha convertido en el botín de acaparadores y revendedores, no porque sus propiedades lo pongan en desventaja con otros aceites. Como se muestra en la siguiente sección, las pruebas que se realizaron fueron con biodiesel producido con aceite vegetal reciclado, ya que no fue posible obtener biodiesel producido con otros insumos.

Metodología

Las muestras de biodiesel con que se realizaron las pruebas en el motor General Motor Detroit Diesel Engine modelo 2150, fueron producidas por el proceso de transesterificación, una de las muestras del biodiesel fue producida y donada por el Centro de Investigación y Tecnología en producción de Biocombustibles de Tapachula, Chiapas, y la otra fue producida y donada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, campus Veracruz. El motor donde se realizaron las pruebas se encuentra en el laboratorio de máquinas térmicas en la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México ubicado en Ciudad Universitaria. El motor esta acoplado a un generador y éste está unido a un freno hidráulico tipo Froude. La fuerza de reacción depende del trabajo o potencia desarrollada por el motor. Conociendo esta fuerza, midiendo el par que origina, se puede calcular la potencia que el motor está desarrollando. Para ello se coloca en la carcasa un brazo de palanca y se equilibra la fuerza de reacción colocando pesos en sus extremos. Como el brazo de palanca L es conocido y se conoce el peso que hay colocado, basta medir el número de revoluciones a que gira el motor y aplicar la fórmula siguiente:

$$potencia\ efectiva = \frac{2\pi * L * F * 9.81 * n}{1000 * 60} \text{ (kW)} \quad (ec. 1)$$

donde:

L es la distancia del eje del freno al centro de los pesos (m)

F es la fuerza medida por los pesos que se agregan al freno hidráulico (kgf)

n son las revoluciones del motor (rpm)

Energía liberada por el combustible.

La mayor parte de la combustión procesa la energía de liberación, o el calor, para la producción de potencia. La energía liberada por la combustión causa una subida de temperatura de los productos de combustión, la temperatura lograda depende de la liberación y la disipación de la energía y la cantidad de productos de combustión.

Para el cálculo de la energía liberada por el combustible se utilizó la siguiente fórmula

$$Ee = Pc * \dot{m} \text{ (kW)} \quad (ec. 2)$$

donde:

Pc es el poder calorífico del combustible (biodiesel o diesel) kJ/kg

\dot{m} es el flujo másico del combustible (kg/s)

Energía aprovechada

La energía aprovechada del grupo motor diesel-generator de corriente alterna, se puede medir directamente con la ayuda del voltímetro, el amperímetro y el medidor del factor de potencia, instalados en el tablero del generador. La fórmula utilizada es la siguiente

$$Ea = (\sqrt{3} * Vf * A * fp) / 1000 \text{ (kW)} \tag{ec. 3}$$

donde:

Vf es el voltaje entre fases (220 Volts)

A es el amperaje (Amp)

fp es el factor de potencia promedio (0.9)

Eficiencia del motor.

La eficiencia del motor es la relación entre la energía aprovechada y la energía liberada por el combustible

$$= \left(\frac{Ea}{Ee} \right) * 100 \tag{ec. 4}$$

Las pruebas se realizaron el día 1 de diciembre del 2011 en el laboratorio de maquinas térmicas de la Facultad de ingeniería de la U.N.A.M. se desarrollaron 5 mediciones de cada combustible, esto con la finalidad de obtener los datos más reales.

Resultados

Tal como se esperaba y como se había comprobado heurísticamente con anterioridad (**Vidal et al. 2011**) la potencia efectiva fue muy parecida obtenida por la combustión de las muestras del biodiesel vs diesel, tal como se aprecia en la Fig. 1, donde se muestra la potencia efectiva con respecto a la fuerza aplicada.

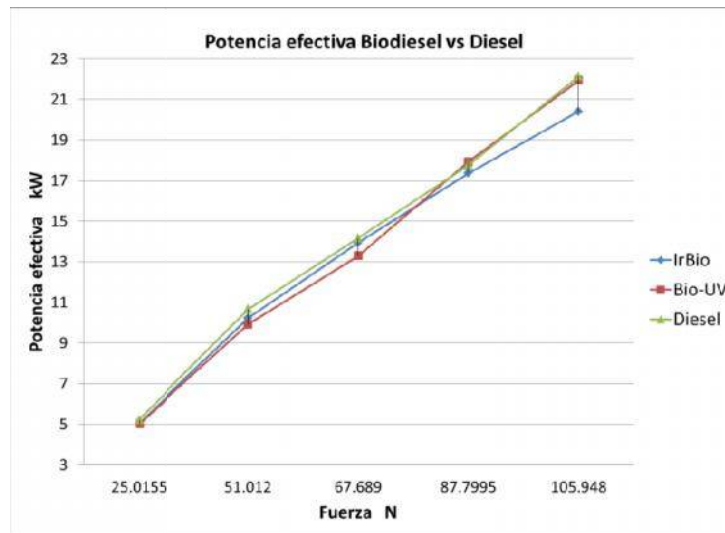


Figura 1. Potencia efectiva de las muestras de biodiesel vs diesel.

La energía liberada por los combustibles se calculó con la ec. 2, para la cual se asignaron valores promedios del poder calorífico de 43,000 y 42,000 kJ/kg para el diesel y el biodiesel, respectivamente. El flujo másico se calculó midiendo el volumen consumido por un determinado tiempo y asignado un valor promedio de densidad de 870 y 880 kg/m³ para el diesel y el biodiesel, respectivamente. Los resultados de la energía liberada por los combustibles se muestran en la Figura 2. En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la energía aprovechada.

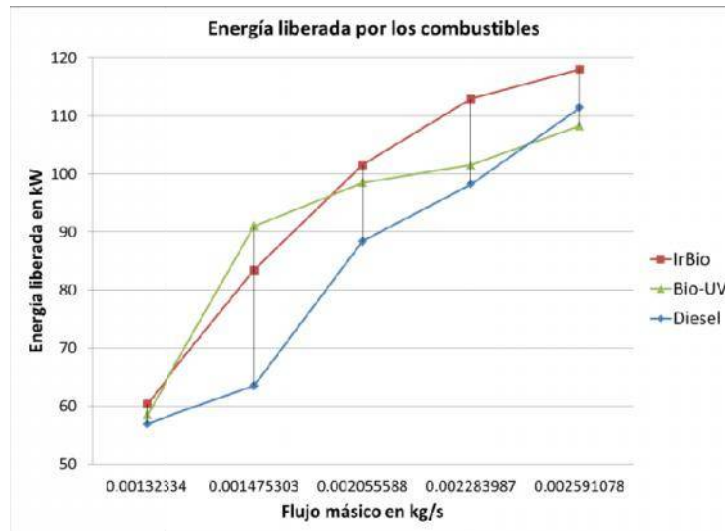


Figura 2. Energía liberada por las muestras de Diesel y biodiesel.

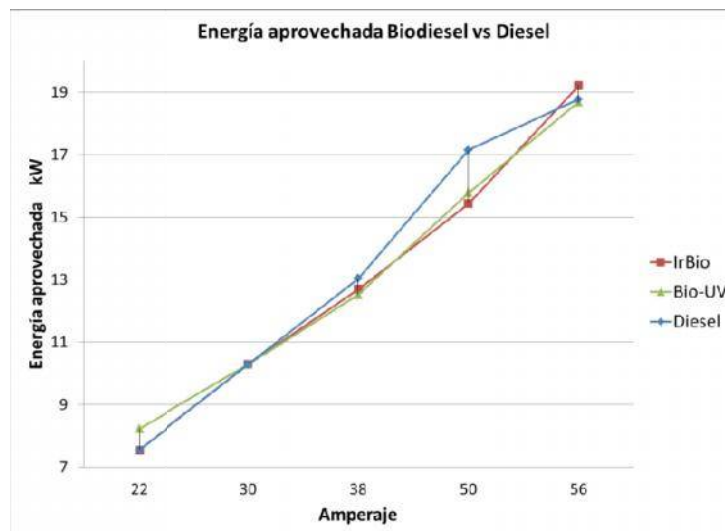


Figura 3. Energía aprovechada de la combustión del Diesel y biodiesel.

La eficiencia térmica, nos indica el desempeño del motor. En la Figura 4 se muestran los resultados de las pruebas realizadas, se aprecia un comportamiento un poco errático; sin embargo, al principio y al final los valores de la eficiencia se ajustan y se mantiene el mismo orden de magnitud, por lo que es importante tomar estos resultados con reserva. Los valores de la eficiencia se incrementan con la carga, es decir, se alcanzaría una máxima eficiencia cuando el motor trabaje a su máxima carga, ya que al operarlo a carga parcial la eficiencia tiende a disminuir a valores tan bajos que provocarían un incremento en los costos de operación. Se midieron también las emisiones de los gases de escape usando un medidor de Orsat y en la Tabla 1, se puede observar que existe una disminución del bióxido de carbono del 8.3% en los gases de combustión de ambos biodiesel con respecto a los gases de combustión del Diesel. Se observa también que la emisión de oxígeno sólo tiene una disminución del 11.5% en los gases de combustión del Biodiesel producido en la Universidad Veracruzana (Bio-UV) y en las emisiones del monóxido de carbono no hubo variación en ninguno de los combustibles quemados.

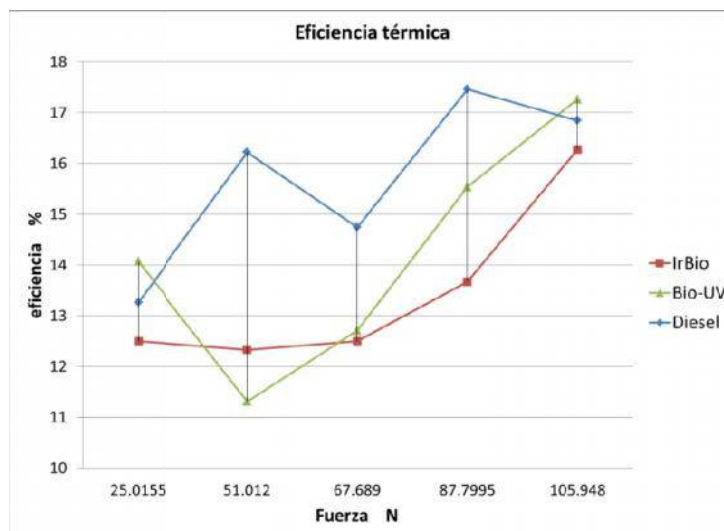


Figura 4. Eficiencia térmica del motor al ser operado con los distintos combustibles.

Compuesto	IrBio	Bio-UV	Diesel
CO ₂ %	5.5	5.5	6.0
O ₂ %	13.0	11.5	13.0
CO%	1.0	1.0	1.0

Tabla 1. Porcentaje de los componentes emitidos en los gases de combustión.

Conclusiones

Algunas de las preguntas frecuentes a cerca del desempeño del biodiesel en los motores fueron aclaradas, con base en los resultados experimentales obtenidos y presentados en este trabajo. Se sabe que aún hay muchas preguntas por resolver, mucha investigación que realizar, pero se seguirá trabajando en ello para poder brindar respuestas a la comunidad científica y a los empresarios quienes cada vez más se interesan en usar el biodiesel en sus procesos productivos. Se espera lograr mayor vinculación con las universidades y centros de investigación, quienes poseen laboratorios y equipos para poder realizar las demás pruebas que serán de gran importancia para el verdadero crecimiento de la industria del biodiesel. Se ha leído en la literatura que hay que hacer ajustes en los motores que usarán biodiesel, pero hasta no realizar las pruebas de los materiales que no son afines a los componentes del biodiesel, no se podrán hacer las recomendaciones pertinentes, por lo que se enfatiza en seguir investigando, desde los componentes utilizados en la producción, hasta la pruebas térmicas y de resistencia de materiales.

Agradecimientos

Los autores agradecemos al Dr. Alexandro Castellanos Mier, al Ing. Raul Yépez Serna de la Facultad de Ingeniería de la UV, por las muestras de diesel brindadas para este análisis, al Ing. Eder Caballero, Investigador de IrBio, por las muestras de Biodiesel proporcionadas y al M.C. Vicente López de la UNAM, por las facilidades brindadas en el laboratorio de Máquinas Térmicas, para realizar la pruebas que dieron forma a este trabajo de investigación.

Referencias

- Camps Manuel y Marcos Francisco.** Los biocombustibles, 2ª edición, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid 2008.
- García Eliseo, Pérez Arturo, Valdés Ofelia, Zavala Iván y Ramírez Estela.** Congreso Internacional sobre los Biocombustibles 2011. Editores de las memorias técnicas del congreso celebrado del 12 al 14 de octubre del 2011 en Boca del Río, México.
- Vidal Adrián, Yépez Raúl, Mendoza-López, Ma. Remedios, García-Barradas, Oscar.** Fabricación de Biodiesel para uso en Maquinaria Agrícola. En JuarezAcademiaJournals.com. 13 al 15 de abril de 2011, Cd. Juárez, Chihuahua, México.

Página Web

Sener/ BID/ GTZ (Edit.): Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México, México, D.F., México, Noviembre 2006.

Notas Biográficas

El **Dr. Adrián Vidal Santo** es Profesor Investigador de la sección de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, realizó estudios de posgrado en la UNAM en el área de Termofluidos (maestría) y Energía (Doctorado). Ha publicado artículos en las revistas Energy, Energy Research y Applied Thermal Engineering y actualmente trabaja en proyectos de ahorro de energía y aprovechamiento de las energías renovables.

El **Ing. José Alberto Rodríguez Toledo** es técnico académico en el Laboratorio de Sistemas Energéticos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, trabaja en la realización de pruebas mecánicas a motores y apoya en la realización de prototipos experimentales.

El **M.I. Álvaro Vega de la Garza**, es Profesor Investigador de la sección de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, realizó estudios de posgrado en el Instituto de Ingeniería de la misma institución y actualmente trabaja en proyectos de ahorro de energía mediante la implementación de sensores.

La **M.I.A. Estela del C. Rodríguez Fernández**, es Profesora Investigadora de la sección de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, realizó estudios de posgrado en el área de administración de la Energía. Actualmente dirige su investigación al área de Termofluidos y energía.