

## RESEÑA

## DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE BIODIÉSEL EN EL FUNCIONAMIENTO DE MOTORES DIÉSEL

**M.C. Lic. Ramón Piloto Rodríguez, Profesor Asistente.**

Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables, Facultad de Ingeniería Mecánica,  
Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de La Habana, Cuba.

20 de enero de 2010.

TRABAJO PRESENTADO EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE DOCTOR EN CIENCIAS TÉCNICAS.

La mayor parte de la energía que consumen los motores de combustión interna en todo el mundo proviene del petróleo. Con el agotamiento de este recurso, el cual no es renovable, se hace necesario la búsqueda de combustibles alternativos que sustituyan a los tradicionales en los motores de combustión interna (MCI), tanto en el transporte automotor como en motores estacionarios.

En el caso de los combustibles alternativos para transporte automotor, son el biodiésel (BD) y el etanol los que más atención reciben en el mundo en cuanto al desarrollo de su tecnología de producción y uso en MCI. El primer reporte de uso de biocombustibles provenientes de plantas oleaginosas data de 1900, cuando Rudolf Diesel (1858-1913), inventor del motor diésel, utilizó aceite vegetal para demostrar su invención. En la década de los treinta del pasado siglo, los aceites vegetales fueron usados como alternativa energética ante determinadas situaciones.

El uso de biodiésel en motores diésel en Cuba, puede contribuir en parte a la reducción de su dependencia energética y llegar a ser una variante muy económica en flotas locales o directamente en la explotación de vehículos vinculados a la producción agrícola.

La utilización del biodiésel tiene algunas ventajas medioambientales respecto al combustible diésel, en cuanto a la reducción de la carga contaminante emitida por el motor. Se reportan resultados de pruebas con biodiésel en los que se observa reducción de emisiones de compuestos de azufre hasta en un 20 % respecto al combustible diésel, 10 % de monóxido de carbono (CO), 14 % de hidrocarburos (HC) y 26 % de partículas sólidas. En cuanto a las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), no hay un criterio unánime, algunos trabajos reportan aumento de las emisiones de NOx y otros su disminución.

En Cuba, se desarrolló un proyecto financiado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, en el cual se revitalizaron cultivos en la provincia de Guantánamo mediante el cultivo de *Jatropha Curcas*, la cual es una planta oleaginosa productora de biodiésel. Otros trabajos y proyectos de investigación relacionados con el tema del biodiésel, se han estado desarrollando por algunas instituciones de investigación importantes en el país, los que se han centrado más bien, en la parte de su producción y optimización del proceso de obtención de BD, no así, en su explotación y uso en motores.

En este trabajo, se evaluó el comportamiento de dos tipos de motores diésel, cuando se cambia su combustible de diésel a biodiésel. Se realizó un estudio de la cinética química del proceso de descomposición térmica del biodiésel mediante termogravimetría (TG) y se caracterizaron los combustibles utilizados en los motores mediante la determinación de su densidad y su viscosidad dinámica, así como por cromatografía de gases y espectrometría de masas. Los equipos utilizados para los análisis físico químicos fueron en ese orden: termobalanza Shimadzu con velocidades de calentamiento entre 2 y 30 °C/min en atmósfera de aire; picnómetro estándar de 25 mL; viscosímetro RION VT 03-F; cromatógrafo de gases con detector de ionización por llama GC 8165 (Carlo Erba), columna: OV1 30 m x 0,32 mm, 2 mL/min de helio, programa de temperatura: 30 °C/min; Espectrometría de Masas (MS), GC 8065 (Carlo Erba) con MD 800 (Fisons). Los motores utilizados fueron uno diésel de cuatro tiempos y seis cilindros (turbocargado) Volvo TD 60 B y otro Yuchai YC61108Q de aspiración natural. Las pruebas realizadas en los motores incluyeron una característica exterior de velocidad, así como pruebas con variación de la carga externa.

Uno de los laboratorios de pruebas de motores estaba equipado con sensores para la medición de la presión en el interior de la cámara de combustión para evaluar la calidad del proceso de combustión de los diferentes combustible empleados. Se utilizaron dos tipos de diésel estándar, así como biodiésel producido a partir de tres plantas oleaginosas (colza, palma y soya).

Como parte de los resultados del análisis físico químico aplicado, se comprobó que las muestras de biodiésel tienen mayor viscosidad y densidad que el combustible diésel de referencia, lo cual ejerce influencia en las prestaciones obtenidas en un motor de combustión interna cuando se les emplea como combustible.

La aplicación de TG evidenció un mecanismo de descomposición térmica muy similar para las muestras de diésel y biodiésel en cuanto a energía de activación ( $E_a$ ), factor pre-exponencial de Arrhenius y orden de reacción. Este último,

en todos los casos, con valores cercanos a la unidad. La energía de activación para el biodiésel es aproximadamente tres veces superior a la del diésel de referencia, lo cual también influye significativamente en las prestaciones de un motor. El modelo aplicado para el análisis cinético químico fue el de Coats-Redfern. En todos los análisis aplicados, se obtuvieron coeficientes de correlación superiores al 99 % y un adecuado efecto de compensación cinética obtenido para la correlación entre el factor pre-exponencial y la energía de activación.

La cromatografía de gases mostró variaciones en la composición de etilésteres entre las muestras de BD. En el caso del BD proveniente de aceite de soya, su composición en compuestos poliinsaturados fue cercana al 80 %, en colza fue 69 % y en palma fue 40 %.

Los resultados más importantes obtenidos en los laboratorios de pruebas de motores evidenciaron que la variación en el tipo de combustible y por ende, en su composición química no afecta significativamente la presión en el instante de comienzo de la inyección de combustible ni la máxima que se obtiene en el proceso de combustión, pero sí afecta significativamente el tiempo de retardo de la ignición. Cuando se emplea el biodiésel, el comienzo de la combustión ocurre más rápidamente que con el combustible diésel. Esto fue corroborado en más de 60 experimentos.

Debido fundamentalmente al menor calor específico del biodiésel, se observó una reducción en la potencia efectiva y el torque, así como un incremento en el consumo específico de combustible. La reducción del calor específico es debido al contenido de oxígeno en la estructura de los alquilésteres que componen el biodiésel y por tanto, el porcentaje de carbono en las moléculas de BD es menor que en el combustible diésel.

Se obtuvo un modelo matemático para la estimación del exceso de aire en la combustión a partir del análisis de los gases de escape ( $O_2$  y  $CO_2$ ). Para todos los combustibles empleados, el valor predicho difirió del experimental no más de un 10 %. La importancia de estos modelos radica en poder determinar el exceso de aire a partir solamente del análisis de la composición química de los gases de escape, lo cual permite reducir los costos de las instalaciones dado lo costoso que resulta adquirir instrumentos para medir flujo de aire.

En el presente trabajo, también se desarrolló y aplicó una metodología para la determinación de la temperatura en el interior de la cámara de combustión. A partir de su determinación, la presión y la relación de equivalencia, se realizaron análisis de regresión múltiple en los que se correlacionaron estas variables con el retardo de la ignición, tomada esta última como variable dependiente. De esta forma, se obtuvieron modelos para la predicción del retardo de la ignición, el cual es el parámetro fundamental que caracteriza el proceso de combustión en un MCI. Los residuos fueron menores de un 12 % en todos los casos, lo cual resultó adecuado dada la complejidad del sistema analizado. La validación de los modelos obtenidos fue realizada mediante su comparación con otros dos ampliamente referenciados.

La tesis doctoral además de la introducción consta de cuatro capítulos. En ellos se aporta un marco teórico en el que se describe el estado actual de las investigaciones en el campo de los biocombustibles, tanto en su obtención, caracterización físico química, así como su explotación en MCI; los materiales y métodos empleados en los que se describen detalladamente las técnicas empleadas, los sistemas de medición y adquisición de datos, así como los programas de computación utilizados para el procesamiento de los datos experimentales, las herramientas estadísticas y los diseños de experimentos factoriales; se realizan comparaciones de los combustibles en cuanto a densidad, viscosidad dinámica, perfil termogravimétrico, composición en etilésteres derivados de los ácidos grasos, comportamiento de los combustibles en los MCI, análisis de las emisiones de gases contaminantes, así como la modelación matemática del tiempo de retardo de la ignición. La tesis tiene 20 páginas de anexos en los que se presentan tablas, gráficos, fotos, procedimientos de cálculo y metodologías. Todos los aspectos de la tesis se desarrollan en 131 páginas, en las que se incluyen 89 referencias bibliográficas, 35 tablas, 40 figuras y tres fotos. El 38 % de la bibliografía corresponde al período 2005 a 2009; el 30 % al quinquenio 2000 a 2004 y el 16 %, al período 1995 a 1999. En la tesis se presentan seis publicaciones del autor relacionadas con los resultados presentados, entre ellas, una internacional (*Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*), indizada en el *Science Citation Index*. Asimismo, los resultados de la tesis han sido presentados en eventos nacionales e internacionales desde el 2007, entre los que se destaca la V Conferencia Internacional de Energía Renovable. Un artículo relacionado con los modelos obtenidos para la predicción del retardo de la ignición se encuentra en estos momentos en evaluación por una revista (*Fuel*) de alto factor de impacto en el tema.

La novedad científica de la tesis radica en la obtención de modelos para estimar el retardo de la ignición para un biocombustible, además de la aplicación de la TG para la caracterización de los procesos de descomposición térmica de biodiésel aplicando el método de Coats-Redfern. Estos modelos permiten ampliar las herramientas de modelación matemática que se utilizan en el diseño de motores y procesos de combustión, aún no reportados para biodiésel. Además, constituye una novedad tecnológica muy importante haber obtenido los primeros resultados de evaluación de motores con biocombustible de producción nacional. Esta tesis contribuye a la ampliación del conocimiento sobre el biodiésel y su potencial uso en el país. El trabajo es útil y aplicable a los tipos de biodiésel y los motores empleados en el trabajo, los cuales se encuentran generalizados en Cuba.

A nivel internacional, su aplicación es de vital importancia y de actualidad. Principalmente en Europa, India y Brasil, se está invirtiendo mucho en desarrollo y aplicación de la tecnología del uso de biocombustibles para la sustitución de los combustibles fósiles en MCI.

El trabajo de investigación desarrollado forma parte de un programa de doctorados conjuntos entre el Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría" y la Universidad de Gante, Bélgica. Esta última aporta el financiamiento y una parte importante de las instalaciones experimentales.