

RESEÑA

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR MONO-CILÍNDRICO DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN USANDO COMBUSTIBLE EMULSIONADO

Ing. Eliezer Ahmed Melo-Espinosa

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

9 de Julio de 2013.

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE MÁSTER EN INGENIERÍA MECÁNICA

Actualmente, los problemas medioambientales y los precios cada vez más elevados de los combustibles fósiles en el mercado internacional, condicionan la búsqueda de alternativas para paliar esta situación. Muchos gobiernos destinan importantes recursos y flexibilizan sus decisiones políticas en torno a estos temas. Estudios relacionados con la disponibilidad actual de los combustibles fósiles demuestran la capacidad limitada de estos recursos y por tanto, la vulnerabilidad a la que están sometidos todos los países dependientes energéticamente de este recurso no renovable.

Los motores de combustión interna diesel son una de las fuentes responsables de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. En Cuba, la tecnología del parque automotor diesel presenta, en elevado porcentaje, un sistema de inyección directa de combustible, cuyas presiones de inyección son bajas. Los niveles de contaminación de estos motores debido a su año de fabricación y servicio son elevados, lo que los convierte en una fuente potencial de contaminación.

Teniendo en cuenta lo anteriormente explicado, es recomendable buscar soluciones que mejoren el proceso de combustión, las prestaciones y disminuyan las emisiones de gases contaminantes del motor. La introducción del agua en los motores diesel mediante la técnica de emulsificación, pudiera constituir una buena alternativa para lograr estos resultados. Las mejoras

que se pueden obtener sobre las prestaciones y emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) son atribuidas, según numerosos investigadores, a un fenómeno conocido como micro explosión.

El uso del combustible diesel emulsificado, así como las mejoras que se pueden obtener con su aplicación han sido reportados en diferentes estudios alrededor del mundo. En Cuba, los estudios vinculados a los sistemas coloidales se han limitado a las emulsiones, así como a algunas aplicaciones de estas en las industrias farmacéutica, agroalimentaria, de pinturas, entre otras. Sin embargo, existen intentos aislados para la obtención de combustibles emulsionados a partir de surfactantes nacionales y extranjeros, así como del uso de estas emulsiones en los motores diesel. Es por este motivo que se hace necesario, en las condiciones de Cuba, estudiar los combustibles emulsionados desde su formulación (ya que no son un producto disponible comercialmente) hasta sus prestaciones al ser usados como combustible para motores.

A partir de los preceptos e interrogantes antes expuestos es que se derivó la investigación cuyos resultados conforman esta tesis. Primeramente, se prepararon diferentes mezclas en una variedad de posibilidades para obtener emulsiones estables y microemulsiones, las cuales se acondicionaron como sistemas ternarios con el empleo de combustible diesel regular, agua y tres surfactantes diferentes con el fin de evaluar su capacidad de estabilización para la obtención de sistemas dispersos estables del tipo W/O. Los surfactantes usados para la estabilización fueron: di-nonilfenol, nonilfenol + 5 MOE, nonilfenol + 8 MOE. Es importante señalar que el autor de este trabajo no está sugiriendo el uso de surfactantes basados en nonilfenol con el objetivo de obtener combustibles emulsionados para su uso en motores de combustión interna. Esta familia de surfactantes fue seleccionada en función de su capacidad para estabilizar el agua en el combustible diesel de acuerdo con los resultados de pruebas preliminares realizadas.

Es válido aclarar que el uso de estos surfactantes comerciales puede causar problemas ambientales en función de su biodegradabilidad. En la tesis, se supuso que este problema se evitó, ya que la inyección del combustible emulsionado en la cámara de combustión del motor tiene lugar a elevada temperatura y presión, lo cual causa una rápida degradación del

surfactante en especies químicas de menor peso molecular, por lo tanto, la capacidad de degradación del surfactante no es tan importante para esta aplicación. Como información adicional se puede agregar que a 250 °C, en presencia de oxígeno, los surfactantes referidos se descomponen, lo que origina un acortamiento de la cadena etoxilada y generar productos (nonil fenol) junto al alcohol residual del surfactante. A temperaturas superiores a 300 °C, una importante cantidad de surfactante puede ser evaporada como surfactante puro, es por ello que para las condiciones de temperatura y presión establecidas en la cámara de combustión se produce la descomposición prolongada.

Como resultado, en la formulación de los sistemas dispersos se obtuvieron emulsiones y microemulsiones de agua en combustible diesel para probar diferentes composiciones de sus componentes en los sistemas dispersos. De los surfactantes antes mencionados, se prepararon sistemas ternarios para cada surfactante por separado, de forma que se pudiera establecer con cuáles de ellos se podían obtener emulsiones estables.

Basándose en el análisis visual y los ensayos de estabilidad, se pudo determinar que solo con el surfactante nonilfenol + 8 MOE se podían obtener emulsiones estables en diferentes porcentajes de los componentes. Algunas de sus mezclas mostraron inmiscibilidad y en otros porcentajes seleccionados dieron lugar a la formación de emulsiones o microemulsiones. Con estos resultados, se obtuvo un diagrama ternario que muestra las zonas de estabilidad para los sistemas dispersos obtenidos.

Las emulsiones identificadas fueron estables al menos un mes después de su preparación. El uso de ese surfactante dio buen resultado en la estabilización de las emulsiones, además, no fue necesario hacer uso de algún co-surfactante.

Para las microemulsiones obtenidas, el porcentaje de agua tenía que corresponder con el mismo porcentaje (o superior) de surfactante añadido. Este aspecto condujo a un aumento considerable de la viscosidad de estos sistemas dispersos, lo que alejó en la mayoría de los casos, de la viscosidad requerida según el fabricante del motor (en el cual se iban a evaluar sus prestaciones). Fue fundamentalmente por este motivo, que se rechazó el uso de las

microemulsiones para las pruebas en el motor. A partir de lo anteriormente planteado y dada la poca disposición de surfactante con que se contó, es que se decidió seleccionar solamente una emulsión para ser evaluada en el motor. La emulsión seleccionada contenía un 5 % de agua, 2 % de surfactante y combustible diesel. Además, fue una de las emulsiones que se mantuvieron fueron estables al menos un mes después de su preparación.

El comportamiento de las prestaciones fue evaluado en un motor diesel Petter mono-cilíndrico de inyección directa, el cual estaba equipado con un sensor piezoeléctrico Kistler (tipo 6067C) utilizado para medir la presión en la cámara de combustión, una plataforma acondicionadora de señal Kistler con un amplificador piezoeléctrico (tipo 5064) y una tarjeta de adquisición de datos de Addi-Data APCI-3016-16 para el registro de las mediciones de la presión. Además, para medir los ángulos de giro del cigüeñal, se utilizó un codificador mecánico acoplado al cigüeñal del motor, un codificador electrónico y un multiplicador de pulso. Este sistema fue utilizado para proporcionar la correlación exacta entre la señal de medición de presión y la posición del ángulo del cigüeñal ($^{\circ}ca$) con una resolución de $1^{\circ}ca$; lo cual define un error en la determinación del tiempo de retardo de la ignición entre 0,09-0,14 ms, en dependencia de la frecuencia de rotación del cigüeñal. El equipamiento utilizado para medir las emisiones de hidrocarburos y CO fue un analizador de emisiones Testo 350 XL con una resolución de 10 ppm. El intervalo de mediciones para HC y CO según el fabricante es para HC: de 0-40 000 ppm, y para CO: de 0-10 000 ppm. Los parámetros evaluados en el motor fueron el torque, la potencia efectiva, el consumo específico de combustible (g_e), retardo de la ignición, la velocidad de calor liberado (VCL), así como las emisiones de HC y CO. Los resultados obtenidos con la emulsión probada mostraron un ligero incremento en el torque y la potencia efectiva, así como un aumento del consumo específico de combustible y el retardo de la ignición. La velocidad del calor liberado por la emulsión destaca un retraso del inicio del proceso de liberación de calor en comparación con el combustible diesel. Respecto a las emisiones de gases de escape, los hidrocarburos no quemados y el CO para la emulsión aumentaron en comparación con los resultados obtenidos para el combustible diesel. En ambos casos, tales aumentos fueron una consecuencia del

incremento de la viscosidad de la emulsión de, la disminución de las temperaturas en el interior de la cámara de combustión, del aumento del retardo de la ignición y al enfriamiento de la llama en comparación con el combustible diesel de referencia.

La tesis además de la introducción, consta de tres capítulos. En ellos, se aporta un marco teórico en el que se describe el estado actual de las investigaciones en el campo de los combustibles diesel emulsionados desde su formulación hasta su explotación en motores de combustión interna (MCI). Los materiales y métodos empleados 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. En el capítulo dedicado a los resultados y discusiones, se realizan comparaciones de los combustibles evaluados en cuanto a densidad y viscosidad, así como en relación con el comportamiento de las prestaciones y emisiones al ser evaluados como combustible en MCI Petter. Todos los aspectos de la tesis, se desarrollaron en 93 páginas, en las que se incluyeron 80 referencias bibliográficas (el 43 % de las cuales corresponde al período 2007 a 2013), 13 tablas, 21 figuras y 9 fotos.

Resultados de la tesis fueron publicados en *Revista Ingeniería Energética*. Vol. XXXIV, no. 1, 2013, la cual está indizada en la biblioteca electrónica Scielo. Además, un artículo relacionado con los resultados de la formulación de los sistemas dispersos, así como el análisis de algunos parámetros de la combustión obtenidos se encuentra en evaluación por la revista *L.A.A.R.*, indizada en el *Science Citation Index*. Asimismo, los resultados de la tesis han sido presentados en eventos nacionales e internacionales, entre los que se destacan: *12th World Wind Energy Conference & Renewable Energy Exhibition*, *IX Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo*, específicamente, en el *I Coloquio Transporte y Medio Ambiente*.

El trabajo de investigación desarrollado en esta tesis se desarrolló con financiamiento de un proyecto de Cooperación para el Desarrollo de la Universidad del Consejo Flamenco Interuniversitario (VLIR), con cuyo apoyo gran parte de las instalaciones utilizadas en este trabajo fue adquirida bajo un proyecto titulado "Célula de conocimiento sobre los

biocombustibles (provenientes de cultivos no comestibles y productos residuales) para uso en motores de combustión interna”, entre el Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría y la Universidad de Gent, Bélgica.