

Bioaceite pirolítico a partir de biomasa residual como combustible alternativo para motores a reacción, diésel y quemadores

Gutiérrez Bravo, Javier ^{1,*}, González González, Juan Félix ², Galán González, Carlos Alberto ², García Pérez, Ana Isabel ³, Gonzalo de Grado, Jesús ³ y Suárez Mejías, Rocío ²

¹ Academia Básica del Aire. Ejército del Aire. La Virgen del Camino, 24198-León. Email: jgutbra@ea.mde.es (J.G.B.)

² Departamento de Física Aplicada. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Extremadura. 06071-Badajoz. Emails: jfelixgg@unex.es (J.F.G.G.), cgalango@unex.es (C.A.G.G.)

³ Departamento de Química y Física Aplicadas. Escuela de Ingenierías Industrial e Informática. Universidad de León. 24071-León. Emails: ana.garcia@unileon.es (A.I.G.P.), jesus.gonzalo@unileon.es (J.G.G.)

* Autor Principal y responsable del trabajo: jgutbra@ea.mde.es (J.G.B.)

Abstract: Los procesos utilizados habitualmente para transformar biomasa en combustibles líquidos comienzan con un proceso de pirólisis seguido de craqueo catalítico para mejorar los bioaceites líquidos resultantes. Pocos estudios se han enfocado sobre el uso de los bioaceites generados en el proceso de pirólisis, que involucran menores tasas de polución que otras alternativas energéticas. En este trabajo se presenta un Proyecto de Tesis Doctoral registrado en el Programa de Doctorado de Ciencia y Tecnologías del Medio Ambiente y Procesos de la Universidad de León que involucra, además de a ésta, a las Universidades de Extremadura y de Calgary (Canadá), así como a la Academia Básica del Aire. Se centra en el aprovechamiento de bioaceites pirolíticos obtenidos a partir de diferentes biomásas para el estudio de mezclas con queroseno en motores a reacción, incluyendo resultados de pruebas sobre motor a reacción a escala del mencionado Proyecto previas a la optimización del biocombustible extraído. Se valorará el uso análogo del biocombustible en turbinas de gas para co-generación, así como también en otros dispositivos térmicos que utilicen queroseno o gasóleo como combustible principal como pueden ser motores diésel y calderas. Se contemplará además un estudio sobre la viabilidad de incluir un proceso de extracción con CO₂ supercrítico como método alternativo, habida cuenta de su nulo impacto medioambiental, de la conservación de las propiedades del extracto y de la posibilidad de maximizar el rendimiento total del proceso de extracción de bioaceite.

Keywords: biocombustible; propulsión; sostenibilidad; energías renovables; cogeneración.

1. Introducción

El elevado coste de los combustibles fósiles y sus efectos en la contaminación ambiental han llevado a algunos países a intensificar la búsqueda de combustibles y fuentes de energía alternativos, de modo que sean más baratos, que permitan reducir las emisiones de gases contaminantes y que sean energéticamente rentables. La biomasa es, precisamente, uno de los recursos renovables que permite la obtención de biocombustibles.

Además de la considerable autonomía en cuanto al consumo energético que aportaría a España el uso de biocombustibles de fabricación propia, la posible implicación del Ministerio de Defensa en el desarrollo de biocombustibles para autoabastecimiento y desempeño de sus funciones de una manera sostenible demostraría públicamente su compromiso indiscutible con el medio ambiente.

La mayoría de los procesos de transformación de biomasa en combustibles líquidos comienzan con la pirólisis (descomposición térmica de un material en atmósfera inerte resultando tres fracciones: sólida, líquida y gaseosa), seguida por craqueo catalítico para mejorar los bioaceites líquidos resultantes. Pocos estudios se han enfocado sobre el uso de catalizadores para el craqueo de biomasa para generar productos químicos de interés, así como sobre el uso de los bioaceites generados en el proceso de pirólisis. Además, la industria conservante de la madera en los países desarrollados está interesada en encontrar productos derivados de los residuos a bajo coste y medioambientalmente aceptables, que puedan ser sustitutos de los combustibles actuales o sean sustancias químicas de interés industrial [1]. La descomposición pirolítica de madera produce un gran número de productos químicos, algunos de los cuales pueden ser usados como sustitutos de los combustibles convencionales.

El bioaceite pirolítico, como combustible limpio, tiene varias ventajas medioambientales sobre los combustibles fósiles. Los bioaceites son CO₂/GHG neutros. Por tanto, pueden generar créditos de CO₂. No producen prácticamente emisiones de SO_x ya que las plantas de biomasa contienen insignificantes cantidades de azufre. El bioaceite, por tanto, no está sujeto a tasas de SO_x. Los bioaceites generan menos del 50% de las emisiones de NO_x que el gasóleo en una turbina de gas.

Por otra parte, el bioaceite producido localmente puede ser generado en países con grandes volúmenes de residuos orgánicos. Así, los biocombustibles son más limpios y son causa de menores tasas de polución [2, 3]. La conversión termoquímica de biomasa (pirólisis, gasificación, combustión) se presenta como una prometedora forma de energía no nuclear en un futuro próximo [4].

Los resultados obtenidos de los análisis del bioaceite producido nos dan una idea en línea con lo esperado, por lo que proseguimos con la prueba en una aplicación práctica como es un motor a reacción para ensayos, una caldera doméstica y un motor diésel ligero. Todo esto nos valdrá para poder comparar los datos obtenidos usando diferentes mezclas de bioaceite con combustible fósil habitual (al 5%, 10% y 20%) con el patrón de medida que será el rendimiento obtenido utilizando 100% el combustible fósil original (queroseno JP8 / JET-A1, queroseno de calefacción, gasóleo A). Debido a la modesta disponibilidad de recursos y la fabricación artesanal del motor a reacción para ensayos, se espera poder adquirir un banco de pruebas y una microturbina de flujo axial para realizar las pruebas en sustitución de queroseno JP8/Jet-A1 con la mayor exactitud posible.

Después de haber obtenido resultados satisfactorios en las pruebas realizadas sobre el motor a reacción de ciclo Brayton [5], se ha estudiado el desempeño del bioaceite en mecanismos que requieren muchas menos exigencias en cuanto al combustible a utilizar, como son las calderas de calefacción y ACS (mayores tolerancias de los mecanismos y condiciones de funcionamiento menos hostiles) [6].

Asimismo se realizaron pruebas en motores de ciclo diésel para confirmar la polivalencia del biocombustible [7] y poder así reducir el total de emisiones contaminantes de otros aprovechamientos.

Además del estudio en cuestión, en el supuesto de que las pruebas de extracción con CO₂ supercrítico fuesen satisfactorias, ello daría lugar a una futura línea de investigación para obtener el biocombustible de un modo más limpio y eficiente.

2. Materiales y Métodos. Sección Experimental

El objetivo principal de este estudio es la prueba del bioaceite en diferentes máquinas térmicas como son un motor a reacción, una caldera de combustible líquido y un motor alternativo de ciclo diésel. Una vez obtenido el bioaceite pirolítico, se realiza la extracción de la fracción que nos es de interés con disolventes orgánicos (éter etílico y acetato de etilo), y se procede a realizar una valoración previa a las pruebas experimentales en las tres máquinas. Ver procedimiento global en la Figura 1.

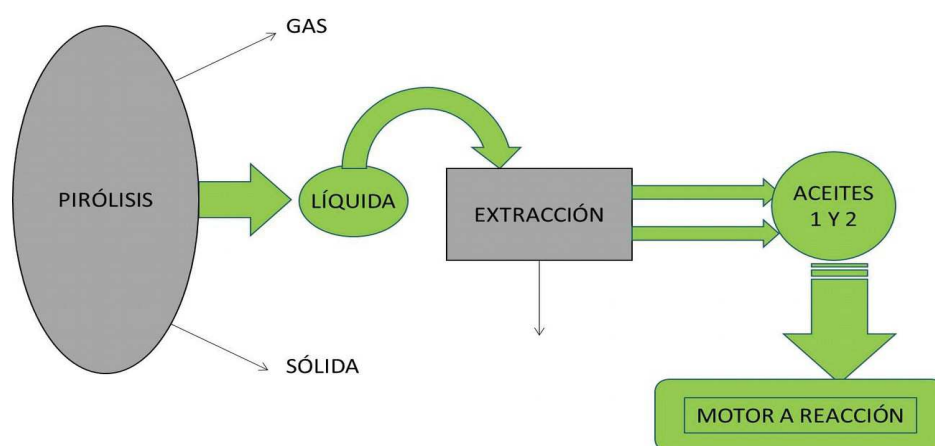


Figura 1. Procedimiento experimental de la extracción con disolventes orgánicos

En cuanto a los ensayos en el motor a reacción a escala, éstos se realizan en el mismo día para que no influyan las posibles variaciones atmosféricas. Se disponen de cuatro recipientes con 4 litros cada uno de combustible, el primero de ellos es queroseno al 100%, el resto son mezclas de queroseno y bioaceite al 5%, 10% y 20%. Una vez arrancado y a su temperatura de funcionamiento, se pone a máximo régimen (máxima presión de combustible) y se mide la presión del compresor, el empuje y la temperatura de los gases de escape como outputs. Estas mismas mediciones se hacen con cada una de las mezclas restantes, para poder analizar las diferencias de rendimiento resultantes.

En la caldera de combustible líquido (queroseno de calefacción, también llamado “parafina líquida”) se utilizó la mezcla con mayor proporción de biocombustible (20%), considerando parámetros como facilidad de arranque y durabilidad de los componentes al no disponer de más medios para poder considerar otras magnitudes.

En cuanto al motor diésel, se realizaron pruebas con hasta un 20% de biocombustible para asemejarlo al valor máximo de las pruebas anteriormente realizadas. Se hizo un data-logging de los principales parámetros que podrían verse afectados, principalmente rendimiento del motor, temperatura y suavidad de funcionamiento comprobando las compensaciones de los inyectores para redondear el motor, verificando así que la posible diferencia en la inflamabilidad entre los combustibles no afecten al funcionamiento del motor. Una vez obtenidos los resultados y tras la previsible pérdida mínima de rendimiento debido a las diferencias de en torno a un 4% de poder calorífico, se ajustaron parámetros de la gestión electrónica del motor para adecuarlo al uso de este biocombustible con un rendimiento

equiparable sin diferencias prácticas de funcionamiento, actuando principalmente sobre la cantidad inyectada para compensar las diferencias en poder calorífico sin tener que ajustar más parámetros.

3. Resultados y discusión

3.1. Obtención de biocombustible y análisis previo.

Como resultado de la pirólisis de cardo y hueso de aceituna a 700 °C durante una hora se obtiene más de una tercera parte en masa de bioaceites del total pirolizado. Esta fracción líquida obtenida se somete a un proceso de extracción con disolventes orgánicos para separar la fase oleosa (bioaceite, fase de interés) de la fase acuosa, la cual se encuentra en elevada proporción en dicha fracción líquida. Se obtiene un rendimiento del 34.72%. Se estudiará la posibilidad de realizar la extracción con CO₂ supercrítico para mejorar el rendimiento de extracción global a la vez de minimizar la presencia de disolventes en el producto.

3.2. Ensayos en motor a reacción.

Se han realizado ensayos en un motor a reacción de fabricación propia para comparar diferentes parámetros del funcionamiento, en condiciones estandarizadas, utilizando queroseno JP8 en comparación con mezclas de un 5%, 10% y hasta 20% de biocombustible pirolítico con los siguientes resultados:

- No quedan residuos carbonosos en la parte caliente del motor.
- La bujía sale limpia y color café, indicando una correcta combustión de la mezcla.
- El filtro de la bomba de combustible contiene impurezas debido a la poca miscibilidad del bioaceite.
- Los resultados a priori son satisfactorios, con un rendimiento similar al obtenido con queroseno puro, incluso con la mezcla con un porcentaje de bioaceite del 20% sobre el total.

3.3. Ensayos en caldera de queroseno.

Se utilizó una caldera de parafina líquida Kero SRE 300 de 3000W y de combustión por evaporación (sin malla) para que se asemejase lo máximo posible a los quemadores de dispositivos mayores. El funcionamiento de la caldera no varió al utilizar mezcla con hasta un 20% de biocombustible en comparación con el queroseno de uso habitual. Sí que se percibe un olor característico, al ser una caldera de uso en interiores afecta a su practicidad, aunque en calderas con salida al exterior (todas las de potencia considerable) este factor es despreciable.

Resultado: arranque y funcionamiento totalmente equiparable, olor perceptible (despreciable para instalaciones mayores por tener salida de humos exterior).

3.4. Ensayos en motor diésel.

Se realizaron ensayos en motor diésel de automoción de inyección directa por inyector-bomba. Cabe destacar que las exigencias en cuanto al combustible para grandes motores diésel son sensiblemente menores que para motores diésel ligeros [8] por lo que los resultados se pueden extrapolar con seguridad para el uso del biocombustible en motores diésel pesados. En comparación con el rendimiento utilizando gasóleo habitual, el par (y con ello la potencia) se ha visto afectado como era previsible por el menor poder calorífico de la mezcla. Para compensarlo, se han ajustado los mapas de inyección aumentando mínimamente los miligramos de combustible inyectados por ciclo [9]. Para esa mínima diferencia los inyectores tienen margen suficiente sin comprometer la duración y momento de inyección no afectando así ni a la combustión ni a los humos producidos [10, 11]. De este modo el

desempeño del motor no difiere prácticamente entre su uso con gasóleo habitual y gasóleo con hasta un 20% de biocombustible proveniente de pirólisis de biomasa residual (Figura 2).

Resultado: diferencia mínima de rendimiento debido a la variación del poder calorífico (Figura 2), fácilmente subsanable ajustando parámetro de la gestión electrónica resultando en un rendimiento totalmente equiparable (Figura 3). Los valores máximos de potencia y par se pueden ver en la Tabla 1.



Figura 2. Comparativa rendimiento en motor diésel ligero sin ajustar la electrónica



Figura 3. Comparativa rendimiento en motor diésel ligero con electrónica ajustada a medida.

	Potencia máxima (cv)	Par máximo (Nm)
Gasóleo A 100%	213,3	468,5
Gasóleo A 80% + 20% bioaceite	208,7	461,1
Gasóleo A 80% + 20% bioaceite (gestión electrónica ajustada)	212,1	466,4

Tabla 1. Comparativa rendimiento en motor diésel ligero con electrónica ajustada a medida.

3.5. Futuras líneas de investigación.

Analizados los resultados, el siguiente paso que se llevará a cabo en la investigación será con la finalidad de mejorar la miscibilidad del bioaceite mediante el uso de tensioactivos. Además se realizará un estudio para llevar a cabo la extracción de la fracción de interés con CO₂ supercrítico (Figura 3) para optimizar el proceso lo que presenta una serie de ventajas añadidas:

- Es seguro para el medio ambiente y no es tóxico para el ser humano.
- Disponible fácilmente en una pureza >99,9% y de forma barata.
- No son necesarias condiciones extremas de trabajo para conseguir el estado supercrítico.
- No genera líquidos residuales y es eliminable fácilmente por evaporación (100% de sequedad).
- No interfiere con el agua de la fracción líquida, pues es relativamente inerte y no oxidable.
- Es un disolvente débil para moléculas de elevado peso molecular, pudiendo usar esta característica a nuestro favor si se requiere la separación de distintas sustancias por pesos.
- Los hidrocarburos pueden ser separados de otros según la longitud de cadena modificando las condiciones de P y T

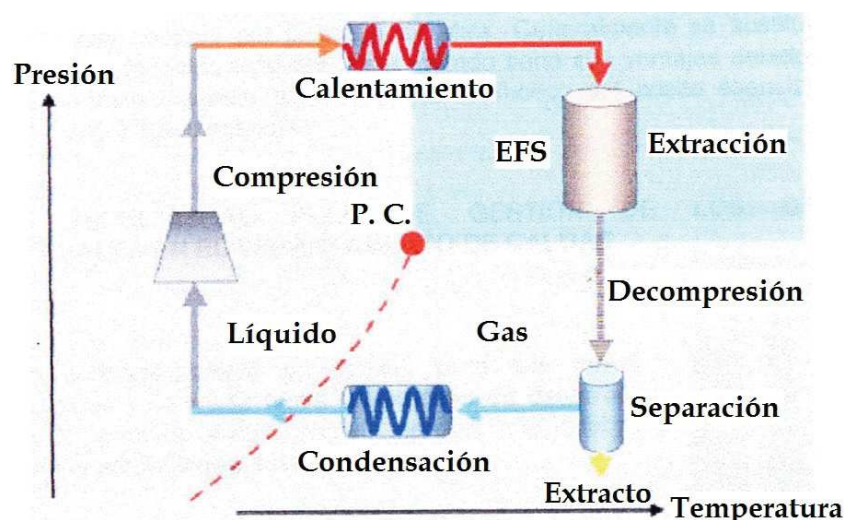


Figura 3. Proceso de extracción con fluidos supercríticos (sena.edu.co).

Finalmente se realizará un craqueo catalítico a la fracción restante más pesada para obtener así mayor cantidad de bioaceite dentro del rango de puntos de destilación que nos son de interés del total de la masa pirolizada [12], lo que mejorará el rendimiento global de la extracción, tomando como referencia estudios actuales similares [13].

4. Conclusiones

-La biomasa residual es susceptible de ser transformada en biocombustible líquido mediante pirólisis seguido de un proceso de extracción con disolventes orgánicos .

-El biocombustible extraído ha dado resultados satisfactorios en motores de ciclo brayton, diésel y calderas lo que supone un amplio abanico de posibilidades para implantar dicho bioaceite en diferentes aprovechamientos.

-Es necesario mejorar la miscibilidad de la fracción más pesada del biocombustible, lo cual se podría conseguir mediante el uso de tensioactivos sumado al proceso de craqueo catalítico que además mejoraría el aprovechamiento total de la extracción.

-El uso de CO₂ supercrítico para la extracción de la fracción de interés presenta importantes ventajas, lo que lo convierte en una interesante futura línea de investigación.

Agradecimientos

Los autores desean hacer constar su agradecimiento a la Academia Básica del Aire del Ejército del Aire por su predisposición y colaboración efectiva para facilitar la planificación y el desarrollo de este Proyecto.

Referencias

1. Mohan, D.; Pittman, C.U. Jr; Steele, P.H. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy and Fuels* **2006**, *20*, 848-889.
2. Churin, E.; Delmon, B. What can we do with pyrolysis oils? *Pyrolysis and Gasification*; Ferrero G.L., Maniatis K., Buekens A, Bridgwater A.V., Eds.; Elsevier Applied Science: Londres, Reino Unido, 1989; pp. 326-333.
3. Putun, E. *Energy Sources* **2002**, *24(3)*, 275-285.
4. Demirbas, A. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **2004**, *72*, 243-248
5. Gutiérrez Bravo, J.; Galán González, C. A.; González González, J. F.; García Pérez, A. I.; Gonzalo, J.; Extracción y análisis de bioaceite pirolítico a partir de biomasa: una fuente de energía alternativa para motores a reacción, diésel y quemadores; *Congreso en DESE I+D, Marín*, **2015**.
6. Matthias Lamping, Thomas Körfer, Thorsten Schnorbus, Stefan Pischinger, Yunji Chen; *Tomorrows Diesel Fuel Diversity – Challenges and Solutions*, SAE 2008-01—1731
7. Gerhard Lepperhoff, Thomas Körfer, Stefan Pischinger, H Busch, Stefan Keppeler, Paul W Schaberg, Mark Schnell; *Potential of Synthetic Fuels in Future Combustion Systems for HSDI Diesel Engines*, SAE 2006-01-0232
8. John B Heywood; *Internal Combustion Engine Fundamentals*; McGraw Hill International Edition-Automotive technology series
9. Bosch, R.; *Diesel-Engine Management, 4th Edition*; ISBN: 978-0-470-02689-2, 2006
10. Tatur, M.; Nanjundaswamy, H.; Tomazic, D.; Thornton, M.; *Effects of Biodiesel Operation on Light-Duty Tier 2 Engine and Emission Control Systems*; SAE 2008-01-0080.
11. Nanjundaswamy, H.; Tatur, M.; *Light-Duty Diesel Engine – Impact of Fuel Properties on Emissions and Performance*
12. Huber, G.W.; Chheda, J.N.; Barrett, C.J.; Dumestic J.A. *Science* **2005**, *308*, 1446-1450.
13. Fonts Amador, I.; Ábrego Garrués, J.; Atienza-Martínez, M.; Azuara Medel, M.; Gea Galindo, G.; Gil-Lalaguna, N. *Pirólisis de materia orgánica residual para la obtención de combustibles líquidos*; III Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad. **2015**. Marín.