

Factibilidad del uso de mezclas de alcoholes como sustitutos de gasolina

GÓMEZ, Fernando†, VILLEGAS, José, JUÁREZ, Lorena, CARRERA, Marcelino

Recibido 30 de Enero, 2016; Aceptado 06 de Junio, 2016

Resumen

En este trabajo se realizaron pruebas en un motor con el fin de determinar si el uso de mezclas de n-butanol y etanol cambia de manera considerable el desempeño del mismo. Se han llevado a cabo pruebas en un módulo de combustión interna CT 159 con un motor CT 150. Se ha empleado gasolina Magna para generar un caso de comparación. En las pruebas con alcoholes se ha empleado n-butanol puro y mezclas con etanol. Se midió la potencia, el par y el consumo de combustibles a distintos valores de RPM. Se ha encontrado que el uso de mezclas de alcoholes en un motor no ocasiona diferencias importantes en la potencia efectiva. En el caso del par, se observó una ligera reducción al operar el motor con mezclas de alcoholes, sobre todo a altas revoluciones. Si se toma en cuenta el consumo de combustible, para todos los casos el motor requirió un consumo mayor de gasolina que de alcoholes. Esta investigación es importante debido a que este tipo de mezclas se encuentran en la producción de bio-butanol, por lo cual la posibilidad de emplear los alcoholes en mezcla reduciría etapas de purificación en el proceso.

Biocombustibles, desempeño en motor, mezclas de alcoholes.

Abstract

In this work, tests were performed in an engine to determinate if using n-butanol/ethanol mixtures to power it changes the performance of the engine. Tests have take place in an internal combustion module CT 159 with a CT 150 engine. Magna gasoline has been used as base-line case. In the test with alcohols neat n-butanol and mixtures with ethanol have been used. The effective power, torque and fuel consumption were measured for different RPM. It has been found that the use of alcohols does not cause important differences in the effective power of the engine. For the torque, a small reduction was observed when the engine is powered with mixtures of alcohols, particularly at high revolutions. If the fuel consumption is taken into account, in all the cases the engine required higher consumption of gasoline than alcohols. This research is important because those alcohol mixtures are obtained in the production process of biobutanol, thus the possibility of using the alcohols as a mixture would reduce purification steps in the process.

Biofuels, engine performance, alcohol mixtures.

Citación: GÓMEZ, Fernando, VILLEGAS, José, JUÁREZ, Lorena, CARRERA, Marcelino Factibilidad del uso de mezclas de alcoholes como sustitutos de gasolina. Revista de Simulación y Laboratorio 2016, 3-8:15-21

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

En la actualidad, la búsqueda de nuevas fuentes energéticas se ha incrementado debido a las variaciones en el costo de los combustibles fósiles y del alto impacto ambiental debido a su uso para producir energía. Las variaciones en el precio del petróleo se deben principalmente a cuestiones geopolíticas, mientras que el impacto ambiental de los combustibles fósiles responde, principalmente, a las emisiones de gases de efecto invernadero generadas durante su quema. En el caso del sector transporte, el uso de biocombustibles líquidos ha mostrado ser una alternativa viable con respecto a los combustibles fósiles (EC, 2003). Los biocombustibles han ganado popularidad debido a que tienen menores emisiones de gases de efecto invernadero (Doku y Di Falco, 2012). El biocombustible que más se ha empleado es el bioetanol mezclado con gasolina (5-85% vol.); sin embargo, presenta la desventaja de ser corrosivo y tóxico, particularmente a altas concentraciones (Kiss y Suszwalak, 2012; Balat et al., 2008). Por otro lado, cuando la proporción de bioetanol en una mezcla para separar es incrementada la cantidad de calor empleada en el proceso de purificación decrece. Algunas propuestas que permiten el uso de bioetanol con altas composiciones incluyen la modificación de los motores lo que permite el uso de una proporción alta de bioetanol (Yüksel y Yüksel, 2004; Karupiah y col., 2008). En los últimos años, el uso de n-butanol renovable (también conocido como bio-butanol) ha sido propuesto como un segundo combustible sustituto potencial, reemplazando al etanol para dicho propósito. Las ventajas de este biocombustible (bio-butanol) con respecto al bioetanol son: tiene una densidad de energía similar a la gasolina, es menos soluble en agua que el bioetanol y puede ser usado en cualquier proporción mezclado con gasolina sin necesidad de hacer modificaciones en el motor (Qureshi y Ezeji, 2008).

No obstante, la desventaja del bio-butanol con respecto al bioetanol es el octanaje (n-butanol 96, etanol 130) y su alta viscosidad (Festel, 2007). Además, la capacidad actual para la producción de etanol necesita solamente pequeñas modificaciones para hacer posible la producción de bio-butanol (Jin y col., 2011).

Uno de los métodos más empleados para la producción de biobutanol es la fermentación ABE (acetona-butanol-etanol), ésta se lleva usualmente a cabo a través de la acción de diferentes bacterias del género *Clostridium*, por ejemplo, *C. acetobutylicum* y *C. beijerinckii* (García y col., 2011). En las etapas finales del proceso, los productos deben ser separados por diferentes operaciones unitarias. Ha sido establecido que el rendimiento energético del n-butanol representa aproximadamente 50% de la del etanol con las tecnologías actuales (Pfromm y col., 2010). Sánchez-Ramírez y col. (2014) propusieron diferentes estrategias para la separación de todos los productos del proceso de fermentación ABE, involucrando principalmente columnas de destilación y de extracción líquido-líquido. Sin embargo, en dichas propuestas de purificación, n-butanol y etanol son obtenidos como productos separados, pero la mezcla de estos dos componentes podría ser usada como un solo combustible y la separación no sería necesaria. Debido a que la destilación es uno de los procesos de purificación con una alta demanda de energía, si se evitara la separación n-butanol/etanol se reducirían los requerimientos energéticos y por lo tanto el costo anual total del proceso así como el impacto ambiental. Sánchez-Ramírez y col. (2014) encontraron un proceso híbrido como la mejor opción en términos del costo de operación anual total de la purificación ABE.

Adicionalmente, con respecto al costo del capital gastado en la columna de destilación para la separación entre etanol y n-butanol, esta columna contribuye con 30,008 dólares de un costo total de 136,827 dólares; por lo tanto, esta columna representa un 22% del costo anual total. Este costo anual se podría ahorrar si la mezcla etanol/n-butanol proporciona energía suficiente en un motor típico. Para probar el impacto de la adición de etanol en el funcionamiento de n-butanol como combustible, en este trabajo la operación de un motor será analizada para mezclas de n-butanol y etanol. Estudios similares con mezclas de n-butanol/gasolina y n-butanol/diésel han presentado resultados favorables (Festel, 2007). Las ventajas más probables sobre el uso de gasolina son encontradas cuando se usan mezclas de alcoholes para echar a andar el motor y algunas desventajas son también establecidas.

Material y reactivos

Para desarrollar las pruebas, se usaron n-butanol y etanol grado reactivo, proporcionados por PROQUIM (México). De acuerdo a los resultados reportados por Sánchez-Ramírez y col. (2014), la mezcla de etanol/n-butanol en la última etapa de separación del proceso contiene menos del 3 % mol de etanol. Sin embargo, para analizar el impacto de la presencia de etanol sobre la operación del motor, las proporciones evaluadas etanol/n-butanol son mayores a aquellas reportadas. Las composiciones de las mezclas usadas en este estudio son presentadas en la Tabla 1. Con la finalidad de comparar, un caso con gasolina baja en azufre es también analizado, la cual se encuentra en la Tabla 1 como GAS. El primer caso (B100) se refiere al uso n-butanol puro. Como se puede observar en la Tabla 1 hay otros dos casos de estudio que son B90 y B80, los números indican el porcentaje en volumen de n-butanol en la mezcla n-butanol/etanol.

Para la operación del motor, se realizaron tres pruebas para cada uno de los componentes presentados en la Tabla 1 con el fin de obtener resultados confiables. El equipo completo para las pruebas incluye: Módulo Básico de Motor de Combustión Interna CT 159 (G.U.N.T., 2001), al menos un motor (por ejemplo, CT 150) y la Unidad Universal de Freno y Manejo HM 365. El experimento experimental es instalado de acuerdo a la Figura 1, la cual permite obtener las curvas de funcionamiento del motor. El motor de combustión debe estar conectado al motor DC en la HM 365 que funciona como un dinamómetro. El motor CT 159 es un motor de gasolina de 4 tiempos, un cilindro y enfriado con aire.

Caso	% volumen		
	n-butanol	etanol	gasolina
B100	100	0	0
B90	90	10	0
B80	80	20	0
GAS	0	0	100

Tabla 1 Composiciones de las mezclas de estudio

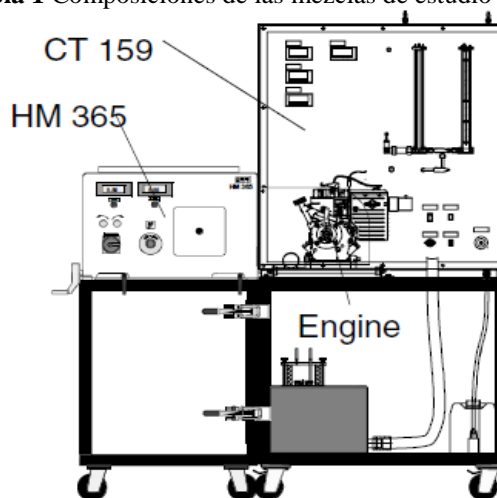


Figura 1 Dispositivo experimental

La gasolina empleada en los estudios es la Magna mexicana con un octanaje de 87.9. En este estudio, el combustible Magna (GAS) fue usado como un combustible base para la comparación. El n-butanol (B100) y dos tipos de combustibles mezclados (n-butanol/etanol) fueron preparados en proporción volumen como se indica en la Tabla 1.

La Tabla 2 muestra las propiedades de las mezclas empleadas para las pruebas. Los datos para la gasolina y el etanol han sido obtenidos del trabajo de Castillo-Hernández y col. (2012), mientras que el dato para n-butanol es del trabajo de Yang y col. (2016). Los poderes caloríficos y las densidades para las mezclas han sido estimados tomando como base los datos de los componentes puros.

Propiedad	AS	100	90	80
Relación estequiométrica aire/combustible	4.6	1.1		
Poder calorífico inferior (MJ/kg)	3.3	2.6	2.04	1.48
Densidad (g/ml)	.74	.81	.808	.806
Número de octano de investigación	1.5	6.0		
Contenido de oxígeno (%)	.9	1.5		

Tabla 2 Propiedades de las mezclas de estudio

Metodología

El motor de combustión interna empleado para realizar las pruebas es un CT 159, el cual fue operado con ayuda de un motor eléctrico Briggs & Stratton 1036 B1, con par máximo de 4.50 N·m, velocidad máxima de 3,200 rpm, salida de 1.5 kW, capacidad de compresión 7:1 y capacidad volumétrica de 0.6 l de combustible. La metodología empleada para realizar cada una de las pruebas es la siguiente:

1. El arranque y operación del CT 159 se lleva a cabo con ayuda del motor eléctrico para tener mejor control de las condiciones de operación.
2. En una primera instancia, el motor se opera bajo condiciones de carga total durante algunos minutos con el fin de calentarlo. Esta condición se mantiene hasta que se ha alcanzado una temperatura de gas exhausto estable.

3. Las pruebas se realizaron con diferentes velocidades que van desde 3000 rpm hasta 1000 rpm con intervalos de 500 rpm para cada uno de los componentes.

4. Durante las pruebas se miden la potencia efectiva, el torque y la cantidad de combustible consumido. Dichas mediciones se realizan una vez que las revoluciones por minuto se estabilizan, con una desviación máxima de 10 rpm. Para cada prueba, el motor se opera durante 3 minutos, mientras que los parámetros de interés se miden cada 30 segundos, finalmente calculando el promedio de cada parámetro.

5. Al finalizar, se reducen las revoluciones por minuto a menos de 500, apagando posteriormente el equipo.

6. Las pruebas se realizaron 3 veces para cada mezcla de estudio, con el fin de reducir la incertidumbre de los resultados obtenidos.

Resultados

En la Figura 2 se observa la potencia efectiva obtenida para cada compuesto con respecto a las diferentes velocidades. Se observa que n-butanol puro y la mezcla con 10% de etanol presentan valores de potencia efectiva menores que los de la gasolina, particularmente a altos valores de rpm. Al incrementarse la composición de etanol en la mezcla de alcoholes (caso B80) se observa un considerable incremento en la potencia efectiva con respecto a los otros casos de estudio.

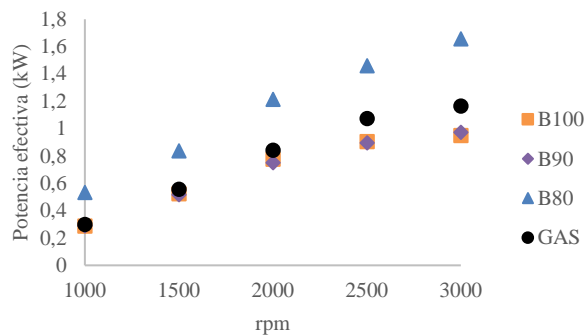


Figura 2 Potencia efectiva de los casos de estudio

La variación del par efectivo se presenta en la Figura 3. Nuevamente se observa que n-butanol puro, así como la mezcla B90, presenta valores de par menores a los obtenidos empleando gasolina. Esto se hace particularmente evidente a velocidades mayores a 2500 rpm. Sin embargo, la mezcla B80 presenta mayores valores de par efectivo que todos los demás casos de estudio e incluso con respecto a la gasolina, independientemente de la velocidad a la cuál se realizaron las pruebas.

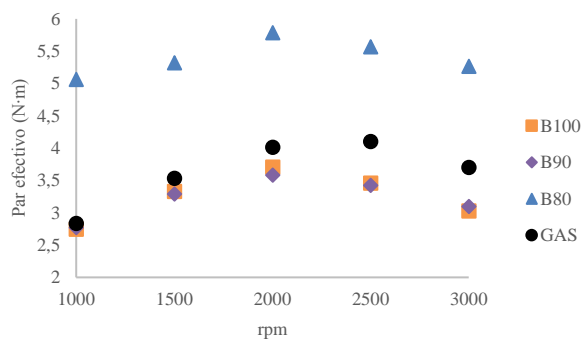


Figura 3 Par efectivo para los casos de estudio.

La Figura 4 muestra el consumo del combustible como función de la velocidad.

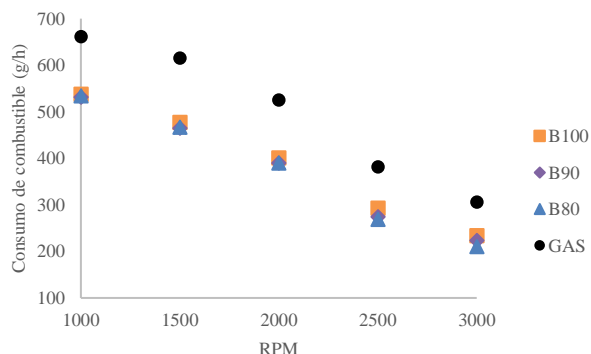


Figura 4 Consumo de combustible en los casos de estudio

En la Figura 4 se puede observar como la gasolina es el combustible con el mayor consumo independientemente de la velocidad. Por otro lado, no se observan diferencias importantes en cuanto a consumo de combustible para las mezclas de alcoholes. Sin embargo, el n-butanol puro presenta valores de consumo de combustible ligeramente mayores que las mezclas con etanol.

A manera de resumen, se ha observado que es factible emplear mezclas de alcoholes como combustible para motores de combustión interna. El uso de mezclas con nulo o bajo contenido de etanol ofrece potencia y par efectivos menores que al emplear gasolina. Sin embargo, al emplear 20% de etanol mezclado con n-butanol, se ha observado un desempeño superior del motor. Por otra parte, el consumo de combustible es menor al emplear alcoholes, posiblemente debido a su mayor contenido de oxígeno. En base a los resultados obtenidos, se establece que la mezcla n-butanol/etanol obtenida en la etapa de purificación del proceso de fermentación ABE puede ser usada como combustible, debido a que no hay variaciones importantes en el funcionamiento del motor.

En particular, la composición de etanol obtenida en dicho proceso es lo suficientemente baja para obtener un rendimiento en el motor prácticamente igual a aquel que se obtendría usando n-butanol puro. Por otra parte, se ha observado que el agregar etanol adicional a dicha mezcla puede mejorar la respuesta del motor.

Conclusiones

En el presente estudio se analiza el comportamiento de un motor de combustión interna al ser alimentado con mezclas n-butanol/etanol. Dicho análisis se realiza con la finalidad de saber si estas mezclas de alcoholes podrían ser candidatas para usarlas como combustibles en dicho tipo de motores, reemplazando la gasolina fósil. Se observa que la potencia efectiva y el par son similares en las mezclas de alcoholes y en la gasolina, lográndose incluso mejoras al agregar una mayor cantidad de etanol a la mezcla con n-butanol. Todas las mezclas de alcoholes analizadas presentan una menor cantidad de consumo con respecto a la gasolina.

Agradecimiento

Los autores agradecen el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), la Universidad de Guanajuato y el Instituto Politécnico Nacional.

Referencias

Balat, M., Balat, H., & Öz, C. (2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 551-573. doi: 10.1016/j.peccs.2007.11.001.

Castillo-Hernández, P., Mendoza-Dominguez, A., & Caballero-Mata, P. (2012). Analysis of physicochemical properties of Mexican gasolina and diésel reformulated with etanol. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 13, 293-306.

Doku, A., & Di Falco, S. (2012). Biofuels in developing countries: Are comparative advantages enough? *Energy Policy*, 44, 101-117. doi: 10.1016/j.enpol.2012.01.022.

European Commission. (2003). *Directive 2003/30/EC of the European Parliament and the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport*. Retrieved from https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/draft_vision_report_en.pdf.

Festel, G. (2007). Biofuels – Economic aspects. *Chemical Engineering & Technology*, 31, 715-720. doi: 10.1002/ceat.200700335.

García, V., Pääkkilä, J., Ojamo, H., Muurinen, E., & Keiksi, R. L. (2011). Challenges in biobutanol production: How to improve the efficiency? *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 15, 964-980. doi: 10.1016/j.rser.2010.11.008.

G.U.N.T. Hamburg. (2001). *CT 150 Four Stroke Petrol Engine Module: Experimental Instruction*. Germany.

Jin, C., Yao, M., Liu, H., & Ji, J. (2011). Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 15, 4080-4106. doi: 10.1016/j.rser.2011.06.001.

Karuppiah, R., Peschel, A., Grossmann, I. E., Martín, M., Martinson, W., & Zullo, L. (2008). Energy optimization for the design of corn-based ethanol plants. *AIChE Journal*, *54*, 1499-1525. doi: 10.1002/aic.11480.

Kiss, A. A., & Suszwalak, DJ-PC. (2012). Enhanced bioethanol dehydration by extractive and azeotropic distillation in dividing Wall columns. *Separation and Purification Technology*, *86*, 70-78. doi: 10.1016/j.seppur.2011.10.022.

Pfromm, P. H., Amanor-Boadu, V., Nelson, R., Vadlani, P., & Madl, R. (2010). Bio-butanol vs bioethanol: A technical and economic assessment for corn and switchgrass fermented by yeast or *Clorstridium acetobutylicum*. *Biomass Bioenerg*, *34*, 515-524. doi: 10.1016/j.biombioe.2009.12.017.

Qureshi, N., & Ezeji, T. C. (2008). Butanol, 'a superior biofuel' production from agricultural residues (renewable biomass): recent progress in technology. *Biofuels Bioproducts and Biorefining*, *2*, 319-330. doi: 10.1002/bbb.85.

Sánchez-Ramírez, E., Quiroz-Ramírez, J. J., Segovia-Hernández, J. G., Hernández, S., & Bonilla-Petriciolet, A. (2014). Process alternatives for biobutanol purification: Design and optimization. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *54*, 351-358. doi: 10.1021/ie50397g.

Yang, P-M., Lin, K. C., Lin, Y-C., Jhang, S-R., & Chen, S-C. (2016). Emission evaluation of a diesel engine generator operating with a proportion of isobutanol as a fuel additive in biodiesel blends. *Applied Thermal Engineering*, *100*, 628-635. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.01.118.

Yüksel, F., & Yüksel, B. (2004). The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an SI engine. *Renewable Energy*, *29*, 1181-1191. doi: 10.1016/j.renene.2003.11.012.