

MECANIZACIÓN AGRÍCOLA

ARTÍCULO ORIGINAL

DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.11283.68647>

Efecto económico-ambiental del empleo de mezclas etanol-gasolina en motores de encendido por chispa

Economic-environmental effect of ethanol-gasoline blends in spark-ignition engines

Marelys de la Torre-Guilarte, Dr.C. Yanoy Morejón-Mesa

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. La presente investigación se desarrolló en el Laboratorio de Motores de la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Agraria de la Habana (UNAH). Para su desarrollo se utilizó un motor Jacto, instalado en una moto-mochila PL 50-2500. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto económico-ambiental del empleo de mezclas etanol-gasolina, considerándose para ello la calidad de la combustión en motores de encendido por chispa. Para lograr el objetivo planteado, se añadieron diferentes porcentajes de etanol a la gasolina (E-10 %; E-15 %; E-20 %; E-25 %), realizándose una combustión rica (Coeficiente de exceso de aire $\alpha=0,85$) y una combustión estequiométrica (Coeficiente de exceso de aire $\alpha=1,00$) para los distintos porcentajes de etanol. Entre los principales resultados obtenidos se evidenció que al realizar una combustión rica, con un coeficiente de exceso de aire ($\alpha=0,85$) la reducción de las emisiones de dióxido de carbono al medio ambiente respecto a la combustión con gasolina oscila entre 0,304 kg y 0,69 kg, mientras que las emisiones de monóxido de carbono para mezclas de etanol-gasolina E-10 %; E-20 %; E-25 %, se incrementan en 0,0044 kg, 0,1144 kg y 0,1408 kg, respectivamente, en tanto para E-15 % se reduce en 0,022 kg. Por otro lado, para una combustión estequiométrica, las emisiones de gases contaminantes (CO_2) se reduce entre 0,20 kg y 0,684 kg. En cuanto al análisis económico se obtuvo que el uso de estas mezclas resulta factible económicamente, dado que se logra un efecto económico positivo con un beneficio económico que oscila entre 0,305 y 0,382 peso/L, al compararse con la combustión al emplearse gasolina.

Palabras clave: combustión, gases de efecto invernadero, coeficiente de exceso de aire.

ABSTRACT. This research was developed at the Laboratory of Engines in the Faculty of Technical Sciences of the Agrarian University of Havana (UNAH). To developed the experiment was used an engine of the make Jacto, attached to a backpack sprayer PL 50-2500. The objective of this research was to determine the economic and environmental impact of the use of ethanol-gasoline blends, considering the quality of combustion in spark ignition engines. To achieve the stated objective, different percentages of ethanol added to gasoline (E-10 %; E-15 %; E-20 %; E-25 %), performing a rich combustion (Coefficient of air excess $\alpha = 0.85$) and stoichiometric combustion (excess air coefficient $\alpha = 1$) for various percentages of ethanol. Among the main results was evident that performing a rich combustion with a coefficient of air excess $\alpha = 0.85$ the reduction of the emissions of carbon dioxide to the environment compared to gasoline combustion is between 0.304 kg and 0.69 kg, but the emissions of carbon monoxide of ethanol-gasoline blends E-10 %; E-20 %; E-25 %, increased in 0.0044 kg, 0.1144 kg and 0.1408 kg, respectively, and for E-15 % is reduced in 0,022 kg. On the other hand, for stoichiometric combustion, emissions of greenhouse gases (CO_2) are reduced from 0.20 kg to 0,684 kg. The economic analysis show that the use of these blends is economically feasible, because the achieved effect is positive with an economic benefit of 0.305 and 0.382 peso/L, when it's compared to gasoline combustion.

Keywords: combustion, greenhouse gases, air excess coefficient.

INTRODUCCIÓN

La amenaza del agotamiento de los hidrocarburos fósiles ha sido advertida desde hace más de cuatro décadas por muchas organizaciones en todo el mundo. Por esta razón, se han establecido normas y técnicas para evitar la dependencia de este tipo de portador energético con vista a reducir su consu-

mo, fomentándose paulatinamente el empleo de combustibles alternativos (Domínguez, 2011).

En investigaciones desarrolladas por varios autores como: Al-Hasan (2003); Cruz *et al.* (2005); Agarwal (2007); Chen *et al.* (2010); Eyidogan *et al.* (2010); Xu *et al.* (2011), se validan

las ventajas técnicas, económicas y ambientales del empleo de las mezclas de etanol-hidrocarburos, al determinarse el comportamiento de los principales parámetros de funcionamiento de los motores de combustión interna.

El etanol es un biocombustible que ha sido empleado en mezclas (etanol-gasolina), obteniéndose una combustión limpia. Este se produce a partir de la fermentación de medios azucarados hasta lograr un grado alcohólico determinado y en la actualidad es ampliamente utilizado por países como Estados Unidos, Brasil, Japón, Colombia, India y la Unión Europea para mejorar el rendimiento de los vehículos y reducir la contaminación ambiental (Aguilar, 2007). El empleo del etanol en motores de encendido por chispa, posibilita aumentar el octanaje de la gasolina y mejorar la calidad de sus emisiones; proporcionando ventajas socio-económicas y ambientales según los resultados de las investigaciones realizadas sobre este tema por Stachett *et al.* (2007); Gorter *et al.* (2010); Mosquera *et al.* (2011) y Serna *et al.* (2011).

En particular Ahmed-Melo *et al.* (2012), realizaron investigaciones sobre el rendimiento de un motor Lada 1300 de encendido por chispa, empleando mezclas de etanol-gasolina en proporciones de 10%, 20% y 30% y evaluaron el comportamiento de los siguientes parámetros: torque efectivo, potencia efectiva, consumo específico de combustible y las emisiones de monóxido de carbono. Estos resultados posibilitaron establecer satisfactoriamente dos porcentos adecuados de la mezcla etanol-gasolina para ser utilizado en motores de encendido por chispa en las condiciones de Cuba, sin necesidad de hacer modificaciones en el motor.

Por otro lado Daniel *et al.* (2012) y Daniel *et al.* (2011), demostraron que al emplearse mezclas de butanol o 2,5-dimethylfuran (DMF) en motores de encendido por chispa, el

comportamiento de los principales parámetros que determinan la calidad del proceso de combustión, es similar a los obtenidos cuando se emplean mezclas de etanol, aunque se reducen considerablemente las emisiones de hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

En la actualidad varios son los países que emplean mezclas combustibles con etanol, no solo en el transporte automotor, sino en otras fuentes energéticas de pequeño porte, tales como moto-mochilas, cortadoras de césped, motosierras, entre otras.

Debido al elevado grado de utilización de las moto-mochilas en el control de plagas y malezas, resulta de suma importancia conocer el efecto económico-ambiental que se podría obtener al emplearse este tipo de mezclas, por lo antes planteado es que se desarrolla la presente investigación.

MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron en el Laboratorio de Motores de la Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de la Habana (UNAH). Utilizándose un motor Jacto, instalado en una moto-mochila PL 50-2500.

El análisis del proceso de combustión en función de las mezclas etanol-gasolina, fue realizado en mayo del 2016. Antes de realizar las combustiones, se definió el porcentaje de etanol a añadir (10%; 15%; 20% y 25%) y el tipo de mezcla. Realizándose el experimento para mezclas estequiométricas y ricas; empleándose etanol anhidro con un 95% de pureza y gasolina regular B-85.

Materiales utilizados en los experimentos:

- Cronometro digital con precisión de $\pm 0,01s$;
- Analizador de gases portátil PCA3 con precisión de $\pm 5\%$;
- Moto-mochila PL 50-2500 (motor Jacto).



Modelo	Jacto
Potencia efectiva, kW	1,2
Frecuencia de rotación, rpm	9 000
Cilindrada, cm^3	34
Número de cilindros	1

FIGURA 1. Moto-mochila PL 50-2500 empleada en la investigación.

Bases teórico- metodológicas para la determinación de los gases de escape productos de la combustión

Para determinar el efecto económico-ambiental de las mezclas etanol-gasolina durante el proceso de combustión de los motores de combustión interna, se deben considerar los siguientes pasos:

- Establecer previamente la cantidad de combustible a emplear por experimentos, así como las proporciones de etanol a añadir en las mezclas;

- Evaluar el comportamiento de los parámetros fundamentales del motor, a partir de una frecuencia de rotación del cigüeñal predeterminada para las diferentes mezclas de etanol-gasolina;
- Determinar los gases contaminantes emitidos por las diferentes mezclas de etanol-gasolina;
- Realizar un análisis económico a partir del comportamiento del consumo horario de combustible, para las diferentes mezclas de etanol-gasolina.

Para la determinación gases emitidos producto de la combustión o gases de escape se pueden emplear los fundamentos teórico-metodológicos planteados por Faires y Simmang (1978) y/o un analizador de gases portátil con el objetivo de determinar la cantidad de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono

(CO₂) expulsados a la atmósfera durante el proceso de combustión para mezclas ricas (con aire insuficiente) y estequiométrica (con cantidad ideal de aire). Posteriormente se realizó el análisis económico para cada una de las mezclas, con el objetivo de determinar la variante de mayor factibilidad desde el punto de vista económico.

Para la comprobación de los resultados obtenidos por ambos métodos se pueden emplear dos sistemas informáticos (Figuras 2a y 2b), el primero posibilita determinar las cantidades de gases de efecto invernadero emitidos por los motores de combustión interna (GEI) y el segundo (Super-CONTAMICAL) permite obtener la cantidad de gases emitidos para varias fuentes energéticas durante el proceso de combustión.

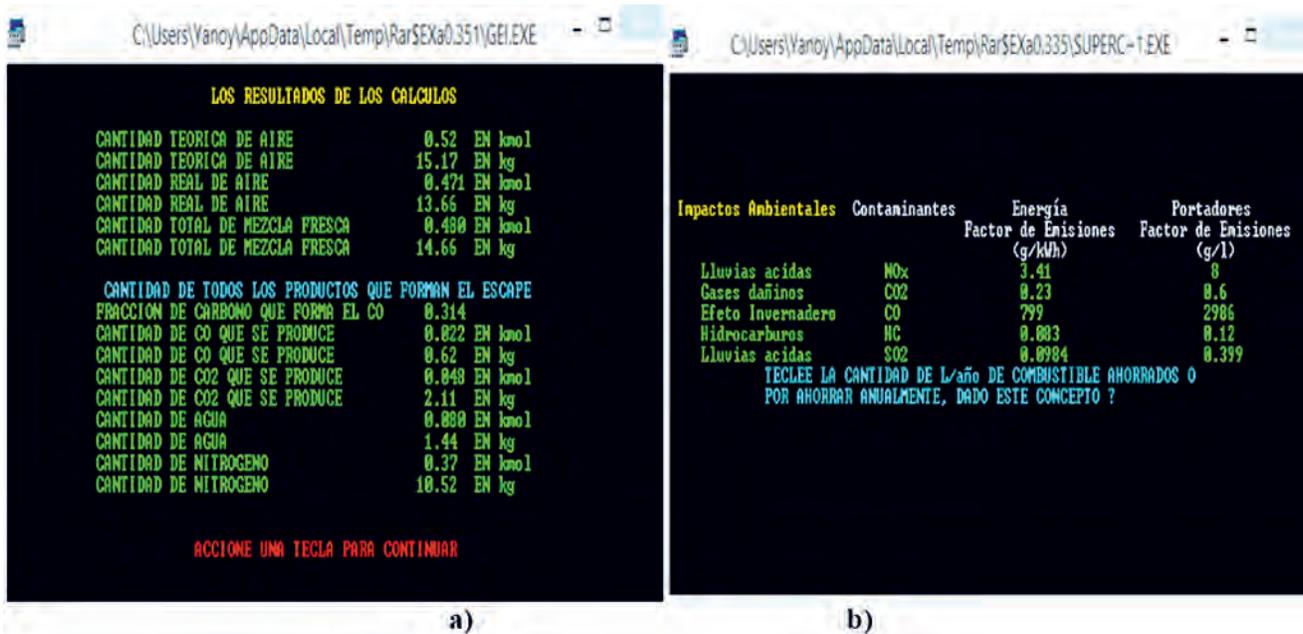


FIGURA 2. Sistemas informáticos para determinar las cantidades de gases de efecto invernadero emitidos por los motores de combustión interna y otras fuentes energéticas. a) Sistema GEI b) Sistema Super-CONTAMICAL.

Metodología para el análisis económico

Para la realización del análisis económico se considera fundamentalmente el costo del combustible consumido, el cual se determina en función del consumo horario de combustible (G_h) durante el periodo de experimentación, considerando además su precio actualizado. Para su determinación se utiliza la expresión siguiente:

$$C_c = G_h \cdot P_c \cdot \frac{peso}{h}$$

donde:

G_c - consumo horario de combustible, L/h;

P_c - precio del combustible, peso/ L.

A su vez, para determinar la variante de mayor factibilidad económica de las mezclas etanol-gasolina empleadas, se utiliza la expresión (2) la cual tiene en cuenta el costo por concepto de consumo de gasolina y el porcentaje de etanol añadido a la mezcla.

$$Ec = C_g - C_{cve} \cdot \frac{peso}{L}$$

donde:

C_g - Costo horario de gasolina, peso/ L;

C_{cve} - Costo horario por porcentaje de etanol añadido a la mezcla, peso/ L.

Si el valor obtenido mediante la expresión anterior es positivo (mayor que la unidad), la propuesta es factible. En caso contrario, no resulta factible la propuesta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gases emitidos durante el proceso de combustión para las diferentes mezclas de etanol-gasolina y su impacto económico

Para la determinación de los gases emitidos producto de la combustión, se emplearon los fundamentos teórico-metodológico anteriormente planteados y se consideró el consumo horario de combustible mostrado en la tabla 3.

Partiendo de lo antes expuesto se determinó mediante cálculos teóricos, las cantidades de gases emitidos durante el proceso de combustión para mezclas con aire deficiente y con aire ideal (cantidad exacta de aire necesario para lograr una combustión completa), obteniéndose los resultados mostrados en la Figuras 1 y 2.

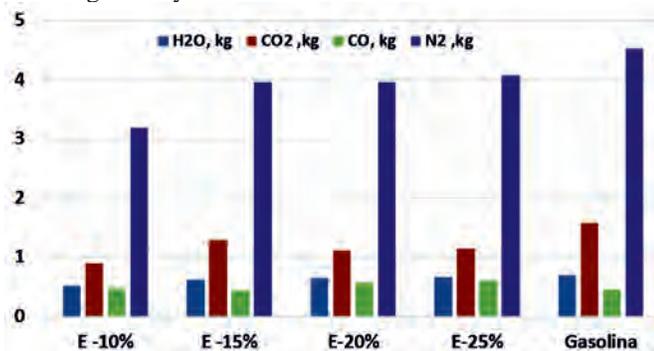


FIGURA 1. Gases emitidos durante el proceso de combustión para mezclas ricas (aire deficiente para).

Como se evidencia en la Figura 1 al realizarse una combustión rica, con un coeficiente de exceso de aire (λ) ocurre una reducción de las emisiones de dióxido de carbono al medio ambiente respecto a la combustión con gasolina, oscilando esta entre 0,304 kg y 0,69 kg, mientras que las emisiones de monóxido de carbono para mezclas de etanol-gasolina (E-10%; E-20%; E-25%), se incrementan en 0,0044 kg, 0,1144 kg y 0,1408 kg, respectivamente, en tanto para E-15% se reduce en 0,022 kg.

En la Figura 2 se observa que al realizarse una combus-

ión estequiométrica, las emisiones de gases contaminantes, específicamente de dióxido de carbono (CO_2), se reducen entre 0,20 kg y 0,684 kg.

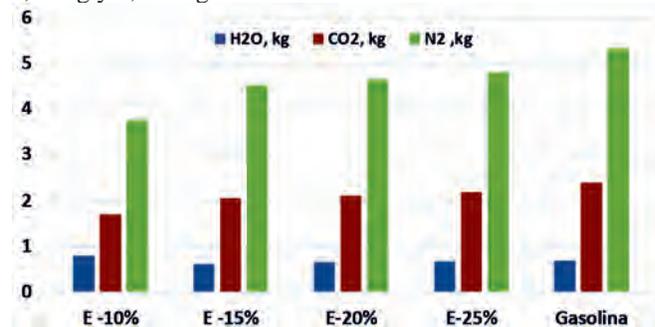


FIGURA 2. Gases emitidos durante el proceso de combustión para mezcla estequiométrica (aire ideal para).

Después de realizadas las combustiones, se evidenció que para una combustión rica ($\lambda < 1$) con mezclas etanol-gasolina, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono al medio ambiente son inferiores a las expulsadas en una mezcla estequiométrica. Mientras que las emisiones de monóxido de carbono se incrementan considerablemente, para todos los porcentajes de etanol añadido, respecto a la combustión con gasolina, excepto cuando se emplea la variante de E-15%.

Posteriormente se realizó un análisis económico, considerando para ello el costo del combustible consumido, que se determina en función del consumo horario de combustible (G_h) durante el periodo de experimentación, y su precio actualizado. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

TABLA 3. Resultados del análisis económico

Combustible	Consumo horario (G_h); L/h	Costo del consumo combustible (C_c); peso/h	Efecto económico (E_c); peso/L
E -10%	0,586	0,305	0,336
E -15%	0,694	0,361	0,280
E-20%	0,714	0,371	0,270
E-25%	0,735	0,382	0,259
Gasolina	0,675	0,641	0,641

Como se muestra en la Tabla 3 se constata que el uso de estas mezclas resulta factible económicamente, dado que se logra un efecto económico positivo, reflejándose que los mayores valores se obtienen para mezclas con E-10% y E-15%, sin considerarse la combustión con gasolina o E-0%, que al no tener etanol añadido coincide con el costo del consumo horario de este combustible.

CONCLUSIONES

- Al realizar una combustión rica ($\lambda < 1$) con mezclas etanol-gasolina, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono al medio ambiente respecto a la combustión con gasolina,

oscila entre el 0,304 kg y 0,69 kg.

- Al emplearse mezclas de etanol-gasolina (E-10%; E-20%; E-25%) con un coeficiente de exceso de aire (λ), las emisiones de monóxido de carbono se incrementan en 0,0044 kg, 0,1144 kg y 0,1408 kg, respectivamente, mientras que para E-15% se reduce en 0,022 kg.
- Con el empleo de las mezclas etanol-gasolina desarrollándose una combustión estequiométrica, las emisiones de gases contaminantes (CO_2) se reducen entre 0,20 kg y 0,684 kg.
- El uso de estas mezclas resulta factible económicamente, dado que se logra un efecto económico positivo, con un beneficio que oscila entre 0,305 y 0,382 peso/L, al compararse con la combustión con gasolina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, N.: "Bioetanol de la caña de azúcar", *Revista Avances en Investigación Agropecuaria*, ISSN 0188789-0, 11(3): 25-39, 2007.

- AHMED-MELO, E.; SÁNCHEZ, Y.; FERRER, N.; FERRER, N.: "Evaluación de un motor de encendido por chispa trabajando con mezclas etanol-gasolina". *Revista Ingeniería Energética*, ISSN: 1815-5901. 33(2): 94-102, 2012.
- AGARWAL, A.K.: "Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines", *Journal Progress in Energy and Combustion Science*, ISSN 0360-1285, 33(3): 233-271, 2007.
- AL-HASAN, M.: "Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission", *Journal Energy Conversion and Management*, ISSN: 0196-8904, 44(9): 1547-1561, 2003.
- CHEN, L., BRAISHER, M., CROSSLEY, A., STONE, R.: "The Influence of Ethanol Blends on Particulate Matter Emissions from Gasoline Direct Injection Engines", *SAE Technical Paper*, DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2010-01-0793>, 2010.
- CRUZ, J.; LLOVERA J.; PILOTO, R.: "Determinación de la estabilidad en mezclas de gasolina y alcohol", *Revista Ecosolar*. ISSN 1028-6004, 14(4): 2-, 2005.
- DANIEL, R., WANG, C., XU, H. & TIAN, G.: "Effects of Combustion Phasing, Injection Timing, Relative Air-Fuel Ratio and Variable Valve Timing on SI Engine Performance and Emissions using 2,5-Dimethylfuran", *SAE Int. J. Fuels Lubr.* DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2012-01-1285>, 5(2): 855-867, 2012.
- DANIEL, R., TIAN, G., XU, H., WYSZYNSKI, M.L., WU, X. & HUANG, Z.: "Effect of Spark Timing and Load on a DISI Engine Fuelled with 2,5-Dimethylfuran", *Journal Fuel*, ISSN: 0016-2361, 90(2): 449-458, 2011.
- DOMÍNGUEZ, F.: "La agroindustria de la caña de azúcar en Cuba: retos y amenazas en el nuevo siglo", *Revista ATAC*, ISSN: 0138-7553, No. 2: 2011.
- Eyidogan, M.; Ozsezen, A. N.; Canakci, M.; Turkcan, A.: "Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine", *Journal Fuel*, ISSN: 0016-2361, 89(10): 2713-2720, 2010.
- FAIRES, V.M.; SIMMANG, C.M.: *Thermodynamics*, 647pp., Editorial Macmillan. ISBN: 002-33-5530-1. USA, 1978.
- GORTER, G.; JUST, D.: "The Social Costs and Benefits of Biofuels: The Intersection of Environmental, Energy and Agricultural Policy" *Applied Economic Perspectives and Polic*, ISSN 2040-5804, 32(1) 4-32, 2010.
- MOSQUERA J.D.; ORTIZ, C.D.; FERNÁNDEZ, S.A.; MOSQUERA, J.C.: "Viabilidad económica y mecánica para la conversión de motores de combustión interna a sistemas flex fuel", *Producción + Limpia*, ISSN: 1909-0455, 6(1): 85-95, 2011.
- SERNA, F.; BARRERA, L.; MONTIEL, H.: "Impacto social y económico en el uso de biocombustibles", *Journal of Technology Management and Innovation*, ISSN: 0718-2724, 6(1): 100-114, 2011.
- STACHETT, G., RODRIGUES, APARECIDA, I., BUSCHINELLI, C., & LIGO, M.: "Socio-environmental impact of biodiesel production in Brazil", *Journal of Technology Management and Innovation*. ISSN: 0718-2724, 2(2), 46-66. 2007.
- WU, X., DANIEL, R., TIAN, G., XU, H., HUANG, Z. & RICHARDSON, D.: "Dual-injection: The flexible, Bi-Fuel Concept for Spark-Ignition Engines Fuelled with Various Gasoline and Biofuel Blends". *Applied Energy*, ISSN: 0306-2619, 88(7): 2305-2314, 2011.

Recibido: 15/01/2016.

Aprobado: 21/09/2016.

Marelys de la Torre Guilarte, Estudiante de Ingeniería Agrícola, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Correo electrónico: marelys@unah.edu.cu

Dr.C. Yanoy Morejón Mesa, Correo electrónico: yymm@unah.edu.cu

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.