

Modelo matemático para la predicción del consumo de mezclas de biocombustible en un grupo electrógeno



Mathematical Model to Predict Biofuel Mixture Consumption in a Generator

<http://opn.to/a/JphAc>

MSc. Manuel Saltos-Giler ^{I*}, Mg. Gilberto Jarre-Cedeño ^I, Dr.C. Omar González-Cueto ^{II}, Dr.C. Elvis Lopéz-Bravo ^{II}, Dr.C. Mario Ignacio Herrera-Prat ^{III}

^IUniversidad Técnica de Manabí (UTM), Facultad de Ingeniería Agrícola, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

^{II}Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

^{III}Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: La necesidad de lograr sustituir los combustibles fósiles constituye actualmente una prioridad en el mundo. El biodiésel a partir de cultivos no comestibles, es una línea de trabajo para aplicar en comunidades agrícolas fundamentalmente. En el trabajo se estudia el uso de mezclas de diesel-biodiésel de aceite de higuera en un grupo electrógeno de 7.46 kW con un motor diesel. Se estudió el comportamiento de diferentes mezclas de diesel-biodiésel y diesel puro a diferentes cargas del grupo electrógeno y se midió el consumo de combustible como variable respuesta. Los datos fueron elaborados por un modelo de regresión lineal múltiple en el programa estadístico SSP. Se obtuvo un modelo matemático con un ajuste R^2 , capaz de predecir el consumo para diferentes mezclas y a diferentes cargas. En condiciones de campo se puede determinar el desempeño energético del mismo a partir de las variables estudiadas y determinar así el consumo necesario en cada caso.

Palabras clave: combustibles alternativos, índices de consumo.

ABSTRACT: The need to replace fossil fuels is now a priority in the world. The biodiesel from non-edible crops is a line of work to apply in agricultural communities fundamentally. In this work the use of mixtures of diesel-biodiesel of castor oil in a 7.46 kW generator set with a diesel engine was studied. The behavior of different mixtures of diesel-biodiesel and pure diesel was studied at different loads of the generator set and the fuel consumption was measured as a response variable. A multiple linear regression model in the statistical program SSP was used to process the data. A mathematical model with an adjustment R^2 , able to predict the consumption for different mixtures and at different loads was obtained. In field conditions, its energy performance can be determined from the variables studied and thus, determine the consumption required in each case.

Keywords: alternative fuels, consumption indices.

INTRODUCCIÓN

El uso de los biocombustibles constituye una de las vías actuales para la sustitución de combustibles fósiles en el mundo. Investigadores de diversas latitudes lo ven como un recurso renovable y ecológico para el combustible y dedican su esfuerzo en tal sentido y se han pronunciado al respecto (Nahar y Dupont, 2012;

Xuan et al., 2009). En el mundo se producen 30 mil millones de litros por año, lo que representa 19 % de la producción mundial de biocombustibles (Diop et al., 2013). Otros autores se han pronunciado por la utilización del biodiésel en el motor diésel (Graboski y McCormick, 1998; Canakci y Van Gerpen, 2001; Lin et al., 2006; Rakopoulos et al., 2006a; Altn et al., 2001; İşcan y Aydın, 2012).

*Autor para correspondencia: Manuel Saltos-Giler, e-mail: manuelsaltos172@gmail.com

Recibido: 18/06/2018

Aceptado: 10/12/2018

El uso de los biocombustibles en las comunidades agrícolas constituye una fuente con vista a disminuir los costos y el daño al medio ambiente. Los grupos electrógenos de pequeño formato constituyen una opción para las comunidades agrícolas aisladas del servicio eléctrico, para complementar sus servicios a partir de biocombustibles obtenidos de los cultivos del entorno. En la investigación se propone evaluar el uso del biodiesel a partir del aceite de higuera en diferentes proporciones de mezcla y cargas del grupo electrógeno, con el objetivo de establecer un modelo de consumo de combustible en las diferentes variables de trabajo. Los estudios se realizaron utilizando como maqueta experimental un Grupo Electrónico de 7,46 kW de potencia con un motor diésel de un cilindro, los trabajos se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Técnica de Manabí situados en Lodana. Se establecieron 32 corridas y el análisis de los datos se realizó empleando el método de *regresión múltiple para obtener* así el modelo matemático. Este método se desarrolla mediante el programa estadístico de computación SSP. Se obtiene un modelo matemático que representa al modelo físico y permite determinar las relaciones entre el uso de mezclas de biodiesel, la carga eléctrica y el consumo de combustible y así poder predecir el consumo dentro del rango estudiado.

MÉTODOS

La investigación se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Técnica de Manabí. En el trabajo se utilizó como maqueta experimental un grupo electrógeno de 7,46 kW de potencia que utiliza

un motor diésel de un cilindro. En la [Figura 1](#) se muestra la maqueta y su instalación y en la [Tabla 1](#) se muestran las principales características del motor.



FIGURA 1. Maqueta experimental utilizada.

Diseño de experimento

En el diseño de experimento se consideraron tres variables a evaluar, el combustible, la carga eléctrica del grupo y las horas de trabajo. En el caso del combustible se usó diésel puro para las mezclas de B0, B5, B10, B15, B20, B40, B60 y B100; en la carga eléctrica se utilizaron bombillas con valores entre 0 y 500 W. Para garantizar la fiabilidad de los resultados, los datos se tomaron considerando cada una hora hasta 40 horas de trabajo. Se evaluaron un total de 32 variantes a partir de los valores de los distintos factores. Los factores fueron codificados para su identificación en la ecuación, a

TABLA 1. Datos técnicos del motor diesel

País de origen o procedencia:	Corea
Marca:	JING DONG (JD)
Motor nº :	DG6500
Potencia:	10 Hp.
Regimen de trabajo:	3000 rpm 6 KW Y 3600 rpm 6.7 KW
Modelo:	186 FA
Cilindraje:	418 C.C.
Año modelo:	2010
Capacidad:	1.65 L.
Voltaje:	110 V. 220 V.

continuación en la [Tabla 2](#) se muestra el factor y el código.

TABLA 2. Codificación de los factores

Factores de estudio	Código
Mezcla de Biodiesel	X ₁
Carga Eléctrica al generador	X ₂
Horas de trabajo	X ₃
Consumo de combustible	Y

Para la medición del consumo de combustibles se utilizaron probetas graduadas de 500 cm³. Como se observa en la [Figura 2](#) se montaron en la maqueta 8 probetas conectadas al motor mediante manguera flexible y con una válvula de cierre rápido para controlar el uso de cada mezcla. En el cambio de una mezcla a otra se limpió el sistema de alimentación y se procedió hacer funcionar el motor con 300 cm³ de la variante a utilizar y a partir de este se comenzó la medición.



FIGURA 2. Probetas utilizadas en la investigación.

Para la instalación de la energía eléctrica a consumir se utilizaron bombillas de 10 W, colocadas como se muestra en la [Figura 3](#), teniendo en cuenta que la carga es conocida solo se controló mediante el vatímetro o multímetro del grupo electrógeno, para tener en cuenta las pérdidas en el circuito.



FIGURA 3. Sistema de carga eléctrica empleado.

Metodología estadística

El análisis de los datos se realizó empleando el método de *regresión múltiple para obtener* así el modelo matemático. Este método se desarrolla mediante el programa de computación SSP.

Por este método es posible tener diferentes variables que tomadas conjuntamente pueden servir como base satisfactoria de la estimación de la variable que se desea, realizado mediante funciones lineales. Con este fin se representan por Y, X₁, X₂,.....X_k, las variables disponibles y se considera el problema de estimar Y por medio de una función lineal de las variables restantes. Si se designa Y como la variable, su estimación se obtiene mediante la expresión:

$$Y = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 +C_kX_k \quad (1)$$

Coefficiente de determinación de la regresión

Determina el grado de ajuste del modelo, aceptándose como resultados, valores mayores de 0,9 ([Hoel y Yuste, 1976](#)).

Evaluación matemática de la docima de Fischer: se realiza mediante la *docima de Fischer* a partir de la comparación de los dos tipos de errores “el error puro” y “el error por falta de ajuste”; si el coeficiente de Fischer calculado para el modelo es menor que el tabulado, se acepta la hipótesis de que el modelo matemático determinado presenta un buen ajuste al modelo físico. El criterio de Fischer se basa en la comparación de la varianza de los dos tipos de errores citados anteriormente.

Independencia de las variables

La independencia se determina por la matriz de correlación, si es cero hay incorrelación entre las variables, lo que demuestra que cada variable aporta al modelo un efecto diferente y que no existe efecto de interacción entre ellas, quedando demostrado la independencia. De existir algún valor, se debe estudiar la interacción en el modelo y decidir su incorporación a éste. La F tabulada se busca en la tabla con 0,95 percentil, según los grados de libertad del numerador (K-1) y del denominador (n-K). Si la F calculada es menor que la F de la tabla se acepta la hipótesis de que las varianzas son iguales y por tanto el modelo matemático determinado representa adecuadamente al modelo experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo que representa el consumo de combustible en función de las mezclas de diesel-biodiesel y la carga del generador del grupo electrógeno se representa por la ecuación:

$$y = 844,238 + 3,44x_1 + 0,162x_2 + 0,078x_3$$

El coeficiente de determinación de la regresión, R^2 del modelo, es de 0,945. Este valor demuestra el alto grado de ajuste obtenido, aceptándose que el modelo describe adecuadamente el fenómeno representado. Por lo que se puede decir que el modelo matemático representa al modelo físico estudiado con un nivel de confianza de 95%.

La independencia de los factores se determinó por la matriz de correlación, en la [Tabla 3](#) se muestra los coeficientes de correlación entre los factores estudiados, la correlación entre los factores es cero, lo que demuestra que cada factor aporta al modelo un efecto diferente y que no existe efecto de interacción entre ellas, quedando demostrado la independencia.

TABLA 3. Correlación entre los factores

Factores	X_1	X_2	X_3
X_1	1	0	0
X_2	0	1	0
X_3	0	0	1

Evaluación de la docima de Fischer

La F tabulada se determinó en la tabla de la F de Fischer con 0,95 percentil, según los grados de libertad del numerador y del denominador, el valor es de 161,146 y la F calculada es de 77,84, la F calculada es menor que la F de la tabla, por lo que se acepta la hipótesis de que las varianzas son iguales y por tanto el modelo matemático determinado representa adecuadamente al modelo experimental.

Al analizar los factores en el modelo se tiene que x_1 que representa la proporción de las mezclas de diesel-biodiesel, se presenta con signo positivo y con un coeficiente de 3,44, lo que indica que con el aumento del porcentaje de biodiesel en la mezcla aumenta el consumo de combustible, siendo este el factor más fuerte en el modelo en aporte a la respuesta con un 91,8%. Este resultado coincide con Pérez-Sánchez et al (2015), fundamentalmente condicionado al bajar

el valor calórico de la mezcla al agregar el biodiesel de aceite de higuerilla que es de 8 553 kcal/kg (medido en los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede de Ibarra), aunque [Armando et al., \(2015\)](#) reporta en California valores de 8 964 kcal/kg, en los dos casos menores que el diésel que es de 10 552 kcal/kg. En cuanto al poder calorífico, [Altm et al., \(2001\)](#), y [İşcan y Aydın, \(2012\)](#) se han referido que el biodiesel producido a partir de otras fuentes como, algodón, soya, palma, girasol, no se presentan cambios significativos en este valor. Otros factores físicos influyen en el consumo, como la viscosidad y la densidad, en el caso del biodiésel es de 52,2 cp y 0,950 g/cm³ (viscosidad cinemática 5,5 cSt) respectivamente y el diésel la viscosidad cinemática es de 3,2 cSt y la densidad de 0,850 g/cm³. La viscosidad es mayor en el biodiesel que en el diésel, lo que influye en el movimiento del fluido a través de la bomba y el inyector, investigadores se han pronunciado que las propiedades que presentan la mayor variación entre biodiesel y diesel son: la densidad, el número de cetano, el poder calorífico y, en mayor proporción, la viscosidad del combustible ([Rakopoulos et al., 2006a](#); [Lin et al., 2006](#)). El modelo tiene una naturaleza lineal, al respecto se pronunció [Abdalla, \(2018\)](#), que planteó que los resultados para las propiedades de densidad y viscosidad en las mezclas, indican fuertemente un aumento lineal al aumentar el porcentaje de B100 en la mezcla.

El factor x_2 que representa la carga de potencia al sistema eléctrico del generador, se presenta con valor positivo con un coeficiente de 0,162, lo que indica que un aumento en la carga al generador trae consigo un aumento en el consumo de combustible, lo que era de esperar al requerir mayor energía el sistema. Aunque el peso de este factor es menor en su influencia en el consumo en proporción a x_1 , si se considera fundamental en el consumo para el rango estudiado. El factor tiene un peso en la respuesta de un 7,2% mucho menor que el 91,8% del factor de las mezclas de diesel-biodiesel.

El factor x_3 representa la cantidad de horas trabajadas en cada corrida se tomaron dos niveles a las 20 horas de trabajo y a las 40 horas. En el modelo resultante este factor es el que menos

influye en el consumo con un coeficiente de 0,078 y con signo positivo, lo que quiere decir que con el aumento de horas de trabajo demuestra un incremento en el consumo de combustible. El aumento en el consumo de combustible por este factor es de un 1 %, lo que se considera no representativo como factor de estudio.

En general con el modelo obtenido se puede planificar la cantidad de combustible necesaria para una potencia dada y una mezcla de biodiesel seleccionada, utilizando el grupo electrógeno de la maqueta experimental dentro de los rangos estudiados.

CONCLUSIONES

Se obtuvo el modelo en función de las variables estudiadas, el cual permite determinar el consumo a partir de la carga eléctrica y la mezcla de diesel-biodiesel utilizada.

$$y = 844,238 + 3,44x_1 + 0,162x_2 + 0,078x_3$$

El factor x_1 que representa el porciento de mezclas de biodiesel es el que tiene mayor influencia en el consumo de combustible con un 91,8 % de peso en el consumo de combustible del motor.

El factor x_2 que representa la carga de potencia eléctrica a la que está sometida el generador, tiene un peso en el consumo de combustible de un 7,2 %.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLA, I.E.: "Experimental studies for the thermo-physiochemical properties of Biodiesel and its blends and the performance of such fuels in a Compression Ignition Engine", *Fuel*, 212: 638-655, 2018, ISSN: 0016-2361.
- ALTIN, R.; CETINKAYA, S.; YÜCESU, H.S.: "The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines", *Energy conversion and management*, 42(5): 529-538, 2001, ISSN: 0196-8904.
- ARMANDO, P.-S.; GISELA, M.-A.; RAMÓN, A.-B.; ALBERTO, C.-O.M.; ENRIQUE, C.-R.H.; CONRADO, G.-G.: "Simulación en Aspen de la combustión de mezclas diesel-biodiesel", *Ingeniería, investigación y tecnología*, 16(1): 83-92, 2015.
- CANAKCI, M.; VAN GERPEN, J.: "Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids", *Transactions of the ASAE*, 44(6): 1429, 2001, 2151-0032, E-ISSN: 2151-0040.
- DIOP, D.; BLANCO, M.; FLAMMINI, A.; SCHLAIFER, M.; KROPIWNICKA, M.A.; MARKHOF, M.M.: "Assessing the impact of biofuels production on developing countries from the point of view of policy coherence for development", *Tanzania Field Mission. Draft Version*, 2013.
- GRABOSKI, M.S.; MCCORMICK, R.L.: "Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines", *Progress in energy and combustion science*, 24(2): 125-164, 1998, ISSN: 0360-1285.
- HOEL, P.G.; YUSTE, H.: *Introducción a la estadística matemática*, USA, 1976, ISBN-84-344-0131-2.
- İŞCAN, B.; AYDIN, H.: "Improving the usability of vegetable oils as a fuel in a low heat rejection diesel engine", *Fuel processing technology*, 98: 59-64, 2012, ISSN: 0378-3820.
- LIN, Y.-C.; LEE, W.-J.; HOU, H.-C.: "PAH emissions and energy efficiency of palm-biodiesel blends fueled on diesel generator", *Atmospheric Environment*, 40(21): 3930-3940, 2006, ISSN: 1352-2310, E-ISSN: 1873-2844.
- NAHAR, G.; DUPONT, V.: "Hydrogen via steam reforming of liquid biofeedstock", *Biofuels*, 3(2): 167-191, 2012.
- RAKOPOULOS, C.D.; ANTONOPOULOS, K.A.; RAKOPOULOS, D.C.; HOUNTALAS, D.T.; GIAKOUMIS, E.G.: "Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins", *Energy conversion and management*, 47(18-19): 3272-3287, 2006a, ISSN: 0196-8904.
- RAKOPOULOS, C.D.; ANTONOPOULOS, K.A.; RAKOPOULOS, D.C.; HOUNTALAS, D.T.; GIAKOUMIS, E.G.: "Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins", *Energy conversion and*

management , 47(18-19): 3272-3287, 2006b, ISSN: 0196-8904.

SCARPA, A.; GUERCI, A.: "Various uses of the castor oil plant (*Ricinus communis* L.) a review", *Journal of ethnopharmacology*, 5(2): 117-137, 1982, ISSN: 0378-8741.

XUAN, J.; LEUNG, M.K.; LEUNG, D.Y.; NI, M.: "A review of biomass-derived fuel processors for fuel cell systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7): 1301-1313, 2009, ISSN: 1364-0321.

Manuel Saltos-Giler, professor, Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Técnica de Manabí (UTM), Portoviejo, Manabí, Ecuador, e-mail: manuelsaltos172@gmail.com

Gilberto Jarre-Cedeño, e-mail: manuelsaltos172@gmail.com

Omar González-Cueto, e-mail: omar@uclv.edu.cu

Elvis López-Bravo, e-mail: elvislb@uclv.edu.cu

Mario Ignacio Herrera-Prat, e-mail: herrera@mes.gob.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

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.