



ALGORITMO DE PREDICCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA MEZCLA DE ETANOL ANHÍDRIDO EN CIUDADES DE ALTURA

PREDICTION ALGORITHM OF FUEL CONSUMPTION FOR ANHYDROUS ETHANOL MIXTURE IN HIGH-ALTITUDE CITIES

Fabricio Espinoza¹, Fredy Tacuri¹, Wilmer Contreras^{1,*}, Javier Vázquez¹

Recibido: 15-05-2020, Revisado: 05-08-2020, Aprobado tras revisión: 30-09-2020

Resumen

En la presente investigación se obtiene un modelo matemático de predicción del consumo específico de combustible en un motor ciclo Otto de 1,4 litros con inyección electrónica sin hacer modificaciones, al usar como combustible mezclas de gasolina con concentraciones a partir de 0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 % en volumen de etanol anhidro. Para el análisis de los resultados se realizó un diseño de experimento de mezcla reticular *simplex lattice*, el cual se sometió a un ciclo de conducción urbano de la ciudad de Cuenca a 2558 m s. n. m., en un banco de potencia de rodillos. La adquisición de datos y la obtención del algoritmo fueron a través de un análisis de métodos estadísticos descriptivos. La validación del algoritmo se realizó por medio del análisis de residuos. Como resultado principal se cuenta con un modelo matemático, el que permite predecir el consumo de combustible del motor, para rangos de concentración de etanol del 0 % al 100 % en la gasolina sin la necesidad de realizar pruebas reales.

Palabras clave: etanol anhídrido, modelo explicativo, consumo combustible

Abstract

In the present research work, a mathematical model is obtained for predicting specific fuel consumption in a 1.4-liter Otto cycle engine with electronic injection without making modifications, when using as fuel gasoline mixtures with concentrations in volume of 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of anhydrous ethanol. For the analysis of results, a simplex lattice reticular mixture experiment design was carried out, which was subject to an urban driving cycle in the city of Cuenca at 2558 m above sea level in a roller power bank. The data acquisition and the development of the algorithm were carried out through an analysis of descriptive statistical methods. The validation of the algorithm was performed through residual analysis. As a main result, there is a mathematical model that enables predicting the engine fuel consumption, for ranges of ethanol concentration from 0% to 100% in the gasoline without needing to conduct real tests.

Keywords: Ethanol anhydride; explanatory model; fuel consumption

^{1,*}Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador. Autor para correspondencia ✉: rcontreras@ups.edu.ec.

<http://orcid.org/0000-0003-4559-4474> <http://orcid.org/0000-0002-4160-2898>

<http://orcid.org/0000-0003-2300-9457> <http://orcid.org/0000-0001-9678-5364>

Forma sugerida de citación: Espinoza, F.; Tacuri, F.; Contreras, W. y Vázquez, J. (2021). «Algoritmo de predicción del consumo de combustible para mezcla de etanol anhídrido en ciudades de altura». INGENIUS. N.º 25, (enero-junio). pp. 41-49. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n25.2021.04>.

1. Introducción

La preocupación por la contaminación ambiental debido a los residuos de la combustión incompleta y el agotamiento de los combustibles de origen fósil motiva al estudio sobre la reformulación de mezclas con combustibles alternativos. Una opción viable es aplicar combinaciones de etanol y gasolina, la cual puede reducir la contaminación del aire y al mismo tiempo ofrecer una mejora en el rendimiento del motor en comparación con el combustible de petróleo sin mezclar.

Al evaluar el efecto de estas mezclas, se tiene una variación en el consumo total de combustible, en esta línea de estudio, según el trabajo de Al-Hasan, (2003) [1]. En un vehículo Toyota Tercel de cuatro cilindros y encendido por chispa de cuatro tiempos con una cilindrada de 1,4 litros, una relación de compresión de 9:1 y una potencia máxima de 52 kW a 5600 rpm, da como resultado el aumento del consumo de combustible en aproximadamente 8,3 %, 9,0 %, 7 % y 5,7 %.

Cuando se utilizan biocombustibles en motores de combustión interna, el consumo de estos aumenta [2]. Esto se debe a que si se disminuye la relación estequiométrica de aire-combustible para las mismas revoluciones por minuto, el mismo nivel de carga y la misma masa de aire, la masa de combustible que se necesita debe ser mayor [3].

Fernández, Mosquera y Mosquera [4] demuestran que la utilización de etanol mezclado con la gasolina aumenta el consumo linealmente a la mezcla utilizada.

La investigación realizada en un vehículo Lada 1.3 litros de cuatro tiempos, con un sistema de alimentación por carburación, el combustible utilizado es una mezcla de etanol anhidro en gasolina regular, 10, 20 y 30 %, de la cual Melo y colaboradores [5] concluyen que a medida que aumenta el porcentaje de etanol en la mezcla con gasolina, el consumo de combustible aumenta para todos los puntos experimentales evaluados.

El estudio realizado en un vehículo marca Ford de 1,4 litros respecto al consumo de combustible para mezclas de etanol y gasolina según Delión y Rojas [6], manifiesta que el «incremento del consumo de combustible es mayor ante el aumento de carga o par motor, conservando los rpm constantes y las emisiones contaminantes son menores que con gasolina pura».

Por su parte, estudios realizados en 1997, 1998 y 1999 por Kortum *et al.* [7], Apace [8] y Ragazzi y Nelson [9], respectivamente, coinciden con las investigaciones del 2003 por Al-Hassan [1], He *et al.* [10] y Patzek [11], del 2004 por Wu *et al.* [12], en 2005 por Coelho *et al.* [13], Hansen *et al.*, Niven [14] y American Coalition for Ethanol [15], del 2006 por Behrentz [16], Durbin *et al.* [17], Shapiro [18] y Yucesu *et al.* [19], del 2008 por Acevedo *et al.* [20], como de los trabajos más recientes del 2013 por Doe *et al.* [21], en que el con-

sumo de combustible aumenta del 1 al 6 % en motores sin modificar con mezclas de 0-25 % de etanol, ya que el consumo depende del sistema de control electrónico del motor.

Las investigaciones desarrolladas sobre el consumo de combustible para mezclas etanol anhidro y gasolina concluyen que aumenta según se incrementa el grado de concentración de etanol anhidro en la gasolina.

Estas investigaciones dentro de su metodología no consideran el desarrollo de un diseño experimental por mezclas en conjunto a la aplicación de un ciclo de conducción propio para las ciudades de altura.

Este trabajo se desarrolla con el objetivo de obtener un algoritmo matemático que permita calcular el consumo específico de combustible en un vehículo Hyundai Getz 1,4 litros para diferentes mezclas etanol anhidro y gasolina en condición de una altura alrededor de 2558 m s. n. m.

2. Materiales y métodos

La metodología aplicada consiste en un diseño experimental por mezclas *simplex* reticular (q, m), que considera q componentes y permite ajustar un modelo estadístico de orden (m); lo cual consiste en todas las posibles combinaciones de componentes o mezclas que se puedan formar al considerar que las proporciones puedan tomar los ($m + 1$) valores entre cero y uno, dados por la Ecuación 1 [22].

$$\mathbf{x}_i = \frac{0.1}{m}, \frac{0.2}{m}, \dots, \frac{m}{m} \quad (1)$$

La mezcla etanol anhidro-gasolina, se identifica con la nomenclatura (E) seguido de un número, la letra representa la mezcla y el número indica el porcentaje de etanol que se adiciona a la gasolina. Esta mezcla es caracterizada por su densidad la que se obtiene por el método del picnómetro; el octanaje mediante un octanómetro el que cumple con la norma ASTM 2699 – 86 y el poder calorífico superior e inferior ($H_{cs \text{ } Ex}$), ($H_{ci \text{ } Ex}$) según las Ecuaciones 2 y 3, que permite calcular esta propiedad [23].

$$H_{cs \text{ } Ex} = \%E \times H_{Cs \text{ } etanol} + \%G \times H_{Cs \text{ } gasolina} \quad (2)$$

$$H_{ci \text{ } Ex} = \%E \times H_{Ci \text{ } etanol} + \%G \times H_{Ci \text{ } gasolina} \quad (3)$$

Para obtener el modelo matemático los datos son validados estadísticamente mediante la prueba de valores atípicos, se ajusta a un modelo estadístico para investigar el efecto de los componentes sobre la respuesta. Una primera aproximación puede ser ajustada en un modelo de primer orden (Ecuación 4).

$$E(y) = \sum_{i=1}^{q-1} \beta_i \chi_i \quad (4)$$

Cuando se ajusta un modelo cuadrático también es necesario incorporar la restricción, $x_1+x_2+\dots+x_q = 1$; ya que esto le dará una característica especial al modelo. Para ilustrar la idea se supone que, se tienen tres componentes, x_1, x_2, x_3 por lo que el polinomio de segundo grado está dado por la Ecuación 5.

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i \chi_i + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^q \beta_{ij} \chi_i \chi_j \quad (5)$$

Si el modelo cuadrático no es suficiente para describir la respuesta, se puede recurrir al modelo cúbico especial (Ecuación 6).

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i \chi_i + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^q \beta_{ij} \chi_i \chi_j + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^q \delta_{ij} \chi_i \chi_j (\chi_i - \chi_j) + \sum_{i < j} \sum_{j < k} \sum_{j=3}^{fq} \beta_{ijk} \chi_i \chi_j \chi_k \quad (6)$$

Para la obtención del algoritmo matemático de consumo de combustible se establece la metodología indicada en la Figura 1.

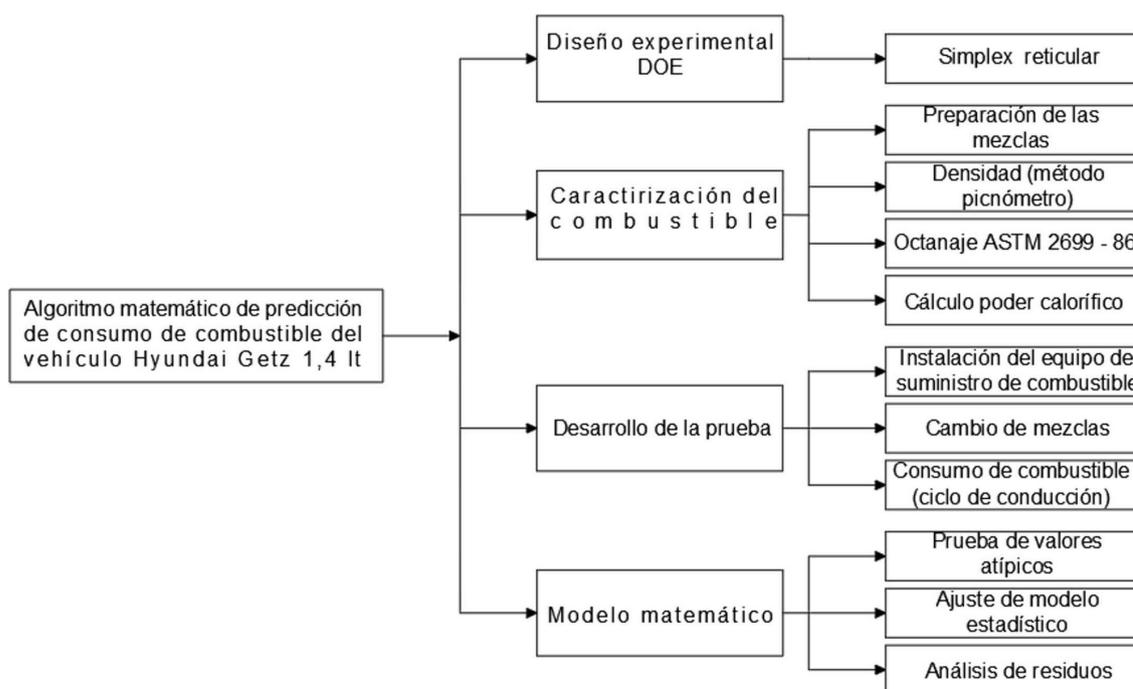


Figura 1. Metodología aplicada 1

2.1. Diseño de experimental

El diseño experimental utilizado es reticular *simplex lattice* de mezclas, mediante el software Minitab 17 Statistical, ver Tabla 1, en la que se indica el número de componentes que para el caso son el etanol anhidro y la gasolina, puntos de diseño, 21; grado del retículo utilizado, 4; además, el orden de corridas experimentales es aleatorizado.

2.2. Caracterización de las mezclas

El combustible utilizado es una mezcla de etanol anhidro con gasolina, los que cumplen las especificaciones de las normas NTE INEN 2 478:2009 [24] y NTE INEN 935:2010 [25], respectivamente. Las mezclas utilizadas son caracterizadas, ver Tabla 2, en la que se indica la densidad, el octanaje y el poder calorífico.

Tabla 1. Diseño experimental aleatorizado

Orden establecido	Orden corrida	Tipo Pt.	Bloques	ETANOL	GASOLINA
17	1	0	1	0,5	0,5
16	2	2	1	0,25	0,75
3	3	0	1	0,5	0,5
14	4	-1	1	0,75	0,25
9	5	2	1	0,25	0,75
19	6	1	1	1	0
2	7	2	1	0,25	0,75
13	8	-1	1	0,25	0,75
10	9	0	1	0,5	0,5
1	10	1	1	0	1
12	11	1	1	1	0
21	12	-1	1	0,75	0,25
7	13	-1	1	0,75	0,25
15	14	1	1	0	1
11	15	2	1	0,75	0,25
18	16	2	1	0,75	0,25
20	17	-1	1	0,25	0,75
8	18	1	1	0	1
5	19	1	1	1	0
6	20	-1	1	0,25	0,75
4	21	2	1	0,75	0,25

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de las mezclas

Combustible	Propiedades fisicoquímicas			
	Densidad (kg/m ³)	Octanaje (RON)	Poder calorífico superior (kJ/kg)	Poder calorífico inferior (kJ/kg)
E0	740	85,6	47 300	44 000
E25	760	90,95	42 900	39 725
E50	768,7	96,3	38 500	35 450
E75	782	101,65	34 100	31 175
E100	790,7	107	29 700	26 900

2.3. Medición de consumo de combustible

Esta investigación se desarrolla en la ciudad de Cuenca (Ecuador) ubicada a 2558 m s. n. m., las pruebas de consumo de combustible se realizan en un vehículo marca Hyundai Getz 1,4 litros con sistema de inyección electrónico y tratamiento de gases por convertidor catalítico de tres vías; la relación de compresión es de 9,5:1, sistema de distribución DOHC con cuatro válvulas por cilindro y de aspiración tipo atmosférico Hyundai Motor Company (2011) [26].

Se prescinde del sistema de alimentación de combustible original del vehículo y se instala un equipo alternativo de suministro cumpliendo las especificaciones técnicas del fabricante, para el desarrollo de las diferentes pruebas de esta investigación, todo esto con la finalidad de evitar alteraciones de las mezclas de combustible.

El equipo utilizado para la medición de consumo de combustible es flujómetro FLOW-MASTER MAHA

CH-4123. La Figura 2 indica la instalación del equipo en el vehículo; los datos obtenidos se indican en la Tabla 3 de acuerdo con el diseño de experimento.



Figura 2. Pruebas de funcionamiento 1

Tabla 3. Medición de consumo de combustible

Orden establecido	Orden corrida	ETANOL	GASOLINA	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (g/km)
17	1	0,5	0,5	0,0435
16	2	0,25	0,75	0,0405
3	3	0,5	0,5	0,0405
14	4	0,75	0,25	0,037
9	5	0,25	0,75	0,0475
19	6	1	0	0,0475
2	7	0,25	0,75	0,0495
13	8	0,25	0,75	0,05
10	9	0,5	0,5	0,04
1	10	0	1	0,043
12	11	1	0	0,0515
21	12	0,75	0,25	0,045
7	13	0,75	0,25	0,0465
15	14	0	1	0,036
11	15	0,75	0,25	0,0475
18	16	0,75	0,25	0,047
20	17	0,25	0,75	0,04
8	18	0	1	0,036
5	19	1	0	0,0515
6	20	0,25	0,75	0,0355
4	21	0,75	0,25	0,049

Para obtener el consumo de combustible específico se utilizó el ciclo de conducción representativo para la ciudad de Cuenca, el cual se identifica en la Figura 3, se aplica un microciclo con los cinco primeros minutos

ya que mediante un análisis preexperimental son los más distintivos. El ensayo se realiza sobre un banco de potencia Maha LPS 3000.

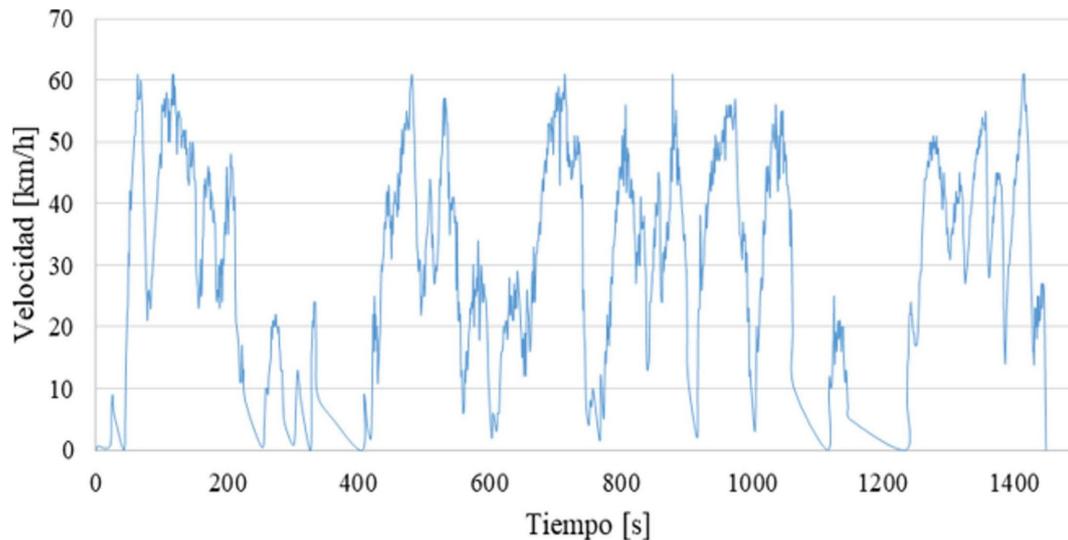


Figura 3. Ciclo de conducción representativo de la ciudad de Cuenca

2.4. Tratamiento de los datos para el modelo de respuesta

Con los datos del diseño experimental en función de las diferentes mezclas, conviene efectuar pruebas de validación de los resultados antes de proceder a obtener el modelo de respuesta. Para la validación de los

resultados se establece la prueba de valores atípicos (*outlier*) de R22 de Dixon [27]. Validados los datos se construye el modelo y se realiza el análisis de residuos con la finalidad de comprobar la hipótesis de normalidad, homocedasticidad, independencia y linealidad del modelo.

3. Resultados y discusión

Para determinar el modelo explicativo del consumo de combustible, se realiza una regresión lineal multivariable con los datos obtenidos del DOE y se ajusta a un orden superior del modelo según se indica en la Tabla 4, donde se observan los diferentes valores que toma «R²» y el «p-valor». Esta información permite seleccionar el modelo lineal, por cumplir con los supuestos, además en la columna de «p-valor» se observa que los

demás modelos de grado superior son mayores al nivel de significancia de 0,05, por lo tanto, a estos modelos no se los considera.

Una vez seleccionado el modelo lineal, se determinan los coeficientes de regresión estimados (Tabla 5), donde se obtiene la fórmula del modelo para la predicción del consumo, visto en la Ecuación 7.

$$2Y = 0.05100(\text{etanol}) + 0,03455(\text{gasolina}) \quad (7)$$

Tabla 4. Resumen ajustes de los modelos para consumo combustible

Modelo	P-valor	(%)	predicción (%)	ajustado (%)
Lineal	0	94,2	93,04	93,86
Cuadrático	0,274	94,6	92,66	93,94
Cúbico completo	0,784	94,6	91,92	93,62
Cuártico completo	0,126	95,3	91,59	94,17

Nota. Valor *p < 0,05

Tabla 5. Coeficientes de regresión estimados para consumo combustible

Término	Coef.	EE del coef.	T	P	VIF
ETANOL	0,051	0,000562	*	*	1,19
GASOLINA	0,03455	0,000562	*	*	1,19

Nota. Valor *p < 0,05

Al aplicar la Ecuación 7 se obtienen los resultados indicados en la Figura 4.

Además, en el análisis de varianza para el modelo lineal según se indica en la Tabla 6, el «p-valor» = 0,000, por lo tanto, el modelo es significativo y con un «R²» ajustado de 93,86 muy bueno.

Los demás modelos se excluyen por no cumplir con el supuesto del p-valor [28].

Una vez realizado el análisis de la varianza es-

tandarizado, se presentan a continuación los resultados gráficos que confirman la adecuación del modelo para el consumo de combustible.

Para evaluar el modelo explicativo del consumo de combustible, se utiliza la gráfica de residuos cuatro en uno, según se indica en la Figura 5. Este análisis gráfico, con respecto a los residuos estandarizados, permite la verificación de la adecuación del modelo experimental obtenido anteriormente.

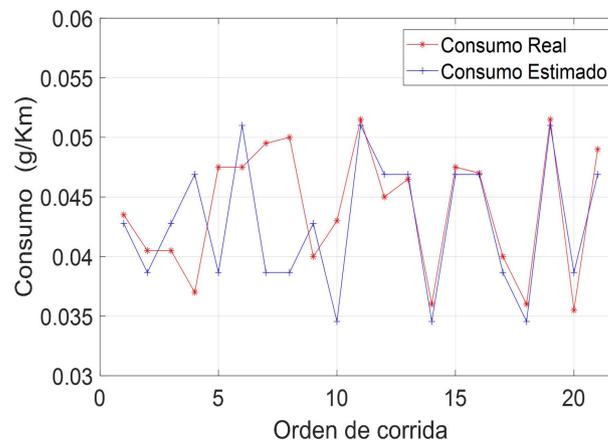


Figura 4. Resultado del algoritmo numérico

Tabla 6. Análisis de varianza para consumo combustible

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	1	0,00061	0,000609	0,000609	306,5	0
Lineal	1	0,00061	0,000609	0,000609	306,5	0
Error residual	19	3,8E-05	0,000038	0,000002		
Falta de ajuste	3	8E-06	0,000008	0,000003	1,34	0,3
Error puro	16	0,00003	0,00003	0,000002		
Total	20	0,00065				

Nota. Valor *p < 0,05

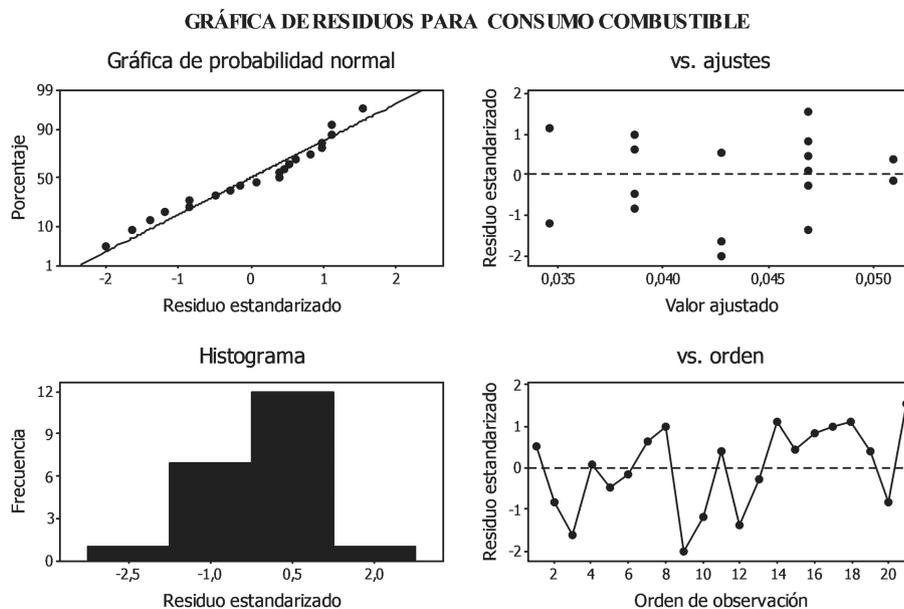


Figura 5. Gráfica de residuales para los datos del consumo combustible

Del análisis de la Figura 5, se tienen las siguientes conclusiones:

- a. La gráfica de probabilidad normal muestra que los residuales siguen una distribución normal por ajustarse a la línea de tendencia normal.
- b. La gráfica del histograma de residuales sigue la forma de una campana, apreciándose un valor para la observación número nueve de $-2,02$ fuera del rango permitido de $(-2,0)$ en residuo estándar, pero que no tiene mayor significancia en el modelo, por lo tanto, se acepta la normalidad de los datos.
- c. Por su parte, en la gráfica de residuos estandarizados versus valores ajustados no se observa una tendencia anormal que indique una mala adecuación del modelo, ya que los residuales se hallan distribuidos aleatoriamente alrededor de cero, por lo tanto, se considera que existe independencia.

- d. Finalmente, en la gráfica de residuos de estandarizados *versus* orden de las observaciones, se tiene un patrón aleatorio alrededor de la línea central, no existe una tendencia ascendente o descendente de las observaciones que hablen de una mala adecuación del modelo.

Con este análisis se concluye que, la varianza es correcta y que el modelo no presenta anomalías en los resultados de este y puede ser usado para predecir de mejor manera la variable consumo de combustible.

La gráfica de respuesta de mezcla (etanol-gasolina) en el consumo de combustible, se indica en la Figura 6. Esta permite evaluar cómo se relacionan los componentes con la respuesta utilizando un modelo ajustado.

La gráfica de rastreo de consumo de combustible indicada en la Figura 6, provee la siguiente información sobre los efectos de los componentes:

Se observa que el consumo de combustible tiene una tendencia a aumentar a partir del incremento del etanol hasta llegar a un máximo en E100, mientras decrece la concentración del segundo componente en este caso la gasolina extra.

Nótese también que la pendiente de la curva es más pronunciada en el tramo comprendido entre 0 a un 15 % de etanol y el otro tramo a partir de 40 %, por lo tanto, el rango entre 15 al 40 % es menor pendiente, correspondiendo a la zona en la que el consumo de combustible es menor.

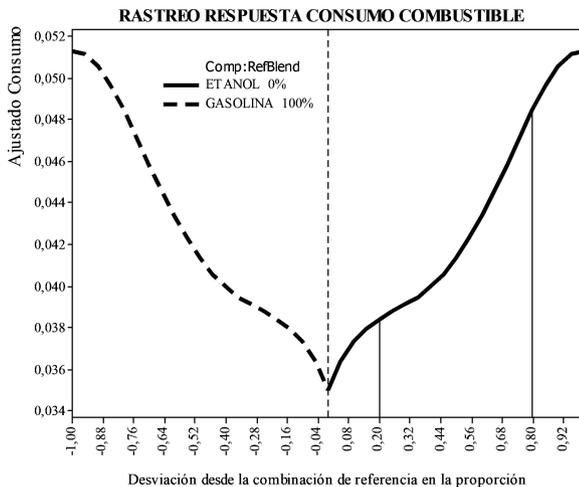


Figura 6. Gráfica de rastreo respuesta consumo de combustible

4. Conclusiones y recomendaciones

El consumo específico de combustible es directamente proporcional al porcentaje de etanol en la mezcla, en otras palabras, a mayor porcentaje de etanol en la mezcla mayor será el consumo específico del motor. Así con una mezcla E20 el aumento de consumo represente un 7 % y en una mezcla E 100 es de 31,3 % más con respecto a la gasolina de 86,5 octanos.

Se estableció un modelo matemático que permite determinar el consumo de combustible para diferentes porcentajes de etanol en la gasolina aplicable para el contraste de pruebas reales.

El incremento del consumo de combustible se explica debido a la disminución del poder calorífico de la mezcla según varíe la concentración de etanol.

Durante el desarrollo de las pruebas el vehículo funcionó correctamente sin presentar anomalías para concentraciones de etanol superiores al 30 %.

Referencias

[1] M. Al-Hasan, “Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission,” *Energy Conversion and Management*, vol. 44, no. 9, pp. 1547–1561, 2003. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(02\)00166-8](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(02)00166-8)

[2] H. L. MacLean and L. B. Lave, “Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies,” *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 29, no. 1, pp. 1–69, 2003. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(02\)00032-1](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(02)00032-1)

[3] CEPAL, “Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos,” in *División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos*, 2008.

[4] S. Fernández Henao, J. Mosquera A., and J. Mosquera M., “Análisis de emisiones de CO₂ para diferentes combustibles en la población de taxis en Pereira y Dosquebradas,” *Scientia et Technica*, vol. 2, no. 45, ago. 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.22517/23447214.385>

[5] E. A. Melo Espinosa, Y. Sánchez Borroto, N. Ferrer Frontela, and N. Ferrer Frontela, “Evaluación de un motor de encendido por chispa trabajando con mezclas etanol-gasolina,” *Ingeniería Energética*, vol. 33, pp. 94–102, 08 2012. [Online]. Available: <https://bit.ly/38kOxFW>

[6] J. Goñi Delión and M. Rojas-Delgado, “Combustibles alternativos en motores de combustión interna,” *Ingeniería Industrial*, 02 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2014.n032.122>

[7] J. Gibbons, *Interagency Assessment of Oxygenated Fuels*. National Science and Technology Council, 1997. [Online]. Available: <https://bit.ly/355W21N>

[8] Apace Research Ltd, “Intensive field trial of ethanol/petrol blend in vehicles,” ERDC Project No. 2511, Tech. Rep., 1998. [Online]. Available: <https://bit.ly/32iZaFK>

[9] R. Ragazzi and K. Nelson, “The impacts of a 10 % ethanol blended fuel on the exhaust emissions of tier 0 and tier 1 light duty gasoline vehicles at 35 f,” *Colorado Department of Public Health and Environment*, 1999.

[10] B.-Q. He, Jian-Xin Wang, J.-M. Hao, X.-G. Yan, and J.-H. Xiao, “A study on emission characteristics of an efi engine with ethanol blended gasoline fuels,” *Atmospheric Environment*, vol. 37, no. 7, pp. 949–957, 2003. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00973-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00973-1)

[11] T. W. Patzek, S.-M. Anti, R. Campos, K. W. ha, J. Lee, B. Li, J. Padnick, and S.-A. Yee, “Ethanol from corn: Clean renewable fuel for the future, or drain on our resources and pockets?” *Environment, Development and Sustainability*, vol. 7, no. 3, pp. 319–336, Sep. 2005. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10668-004-7317-4>

- [12] C.-W. Wu, R.-H. Chen, J.-Y. Pu, and T.-H. Lin, "The influence of air-fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an si engine using ethanol-gasoline-blended fuels," *Atmospheric Environment*, vol. 38, no. 40, pp. 7093–7100, 2004, 8th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (ASAAQ). [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.058>
- [13] S. T. Coelho, J. Goldemberg, O. Lucon, and P. Guardabassi, "Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned," *Energy for Sustainable Development*, vol. 10, no. 2, pp. 26–39, 2006. [Online]. Available: <https://bit.ly/2JJieBM>
- [14] R. K. Niven, "Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 9, no. 6, pp. 535–555, 2005. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.06.003>
- [15] American Coalition For Ethanol. (2005) Fuel economy study: comparing performance and costs of various ethanol blends and standard unleaded gasoline. [Online]. Available: <https://bit.ly/32mEmwP>
- [16] E. Behrentz, *Beneficios ambientales asociados con el uso de combustibles alternativos*. Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA) Universidad de los Andes, 2008. [Online]. Available: <https://bit.ly/38k6cOj>
- [17] T. Durbin, J. W. Miller, T. Huai, D. R. Cocker III, and Y. Younglove, "Effects of ethanol and volatility parameters on exhaust emissions of light-duty vehicles." in *UC Riverside: Center for Environmental Research and Technology*. [Online]. Available: <https://bit.ly/3oZFmkp>
- [18] E. Shapiro. (2006) Roundtable on ethanol fuel: automaker view.
- [19] H. S. Yücesu, T. Topgül, C. Çinar, and M. Okur, "Effect of ethanol-gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios," *Applied Thermal Engineering*, vol. 26, no. 17, 2006. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.03.006>
- [20] H. R. Acevedo G. and J. M. Mantilla G., "Viabilidad ambiental del uso de biocombustibles para motores a gasolina y diésel en Colombia," *Boletín del Observatorio Colombiano de Energía*, Bogotá. D. C., pp. 3–14, 2008. [Online]. Available: <https://bit.ly/38kSXg0>
- [21] U.S. Department of Energy, "Handbook for handling, storing, and dispensing e85 and other ethanol-gasoline blends," U.S. Department of Energy, Tech. Rep., 2013. [Online]. Available: <https://bit.ly/2U1zVmF>
- [22] H. Gutiérrez Pulido and R. de la Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill, 2003. [Online]. Available: <https://bit.ly/36gB7rU>
- [23] E. A. García, "Modelización termodinámica de un motor turboalimentado y propulsado por bioetanol," 2009. [Online]. Available: <https://bit.ly/3k85tBO>
- [24] INEN, "NTE INEN 2478: Etanol anhidro. requisitos," Instituto Ecuatoriano de Normalización, Tech. Rep., 2009. [Online]. Available: <https://bit.ly/354abwc>
- [25] —, "NTE INEN, Gasolina. Requisitos," Instituto Ecuatoriano de Normalización, Tech. Rep., 2012. [Online]. Available: <https://bit.ly/2JLGsQD>
- [26] Hyundai. (2011) Manual del taller. [Online]. Available: <https://bit.ly/356tPIc>
- [27] S. P. Verma and A. Quiroz-Ruiz, "Critical values for six Dixon tests for outliers in normal samples up to sizes 100, and applications in science and engineering," *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 23, pp. 133–161, 01 2006. [Online]. Available: <https://bit.ly/3eBoOKG>
- [28] W. Contreras, J. Ortega, and R. Japa, "Aplicación de una red neuronal feed-forward backpropagation para el diagnóstico de fallas mecánicas en motores de encendido provocado," *INGENIUS*, pp. 32–40, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17163/ings.n21.2019.03>