

## **Estudio de emisiones contaminantes producidas por un motor otto con el uso de gasolina y un combustible a base de 95% de gasolina y 5% de etanol**

### **Study of polluting emissions produced by an otto engine with the use of gasoline and a fuel based on 95% gasoline and 5% ethanol**

Mg. Juan Fernando Iñiguez Izquierdo  
*Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador*  
Mg. Guillermo Gorky Reyes Campaña  
*Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador*  
Cristian Andrés Rivera Rivera  
*Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador*  
Erik Saul Vera Orbe  
*Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador*

Autor para correspondencia: [jiniguez@uide.edu.ec](mailto:jiniguez@uide.edu.ec), [gureyesca@uide.edu.ec](mailto:gureyesca@uide.edu.ec),  
[cristianr\\_rivera@hotmail.com](mailto:cristianr_rivera@hotmail.com), [eriksvorbe@hotmail.com](mailto:eriksvorbe@hotmail.com), [djerez@uide.edu.ec](mailto:djerez@uide.edu.ec)

Fecha de recepción: 10 de octubre de 2017 -Fecha de aceptación: 30 de noviembre de 2017

**Resumen:** El presente estudio compara las emisiones contaminantes producidas por un motor de combustión interna de 4 tiempos con el uso de dos combustibles, el primero es la gasolina común, el segundo es un combustible a base de 95% de gasolina común y 5% de etanol, denominado E5, las pruebas de dichos combustibles se los realizo en un vehículo Ford F150 con sistema de alimentación Flex-Fuel, las mediciones de emisiones contaminantes se las realizo a diferentes regímenes del motor, se observa una clara reducción de las emisiones contaminantes producidas por la combustión y que son expulsadas por el motor a través del tubo de escape al medio ambiente con el combustible E5, mediante un análisis de varianza se determinó que los dos tipos de combustibles pueden ser sustitutos y que no se necesitan modificaciones al motor para el uso del combustible E5.

**Palabras clave:** Etanol; Ecopais; combustible; emisiones; gasolina; contaminación; factibilidad; análisis de varianza; desviación estándar

**Abstract:** The present study compares the pollutant emissions produced by a 4-stroke internal combustion engine with the use of two fuels, the first is common gasoline, the second is a fuel based on 95% common gasoline and 5% ethanol, called E5. The tests of these fuels were performed in a Ford F150 vehicle with a Flex-Fuel fuel injection system. The pollutant emissions were measured at different engine speeds. It was observed a clear reduction of the pollutant emissions produced by the E5 fuel combustion. Through an analysis of variance it was determined that the two types of fuels can be substitutes and that no modifications are needed to the engine for the use of the Fuel E5.

**Key Words:** Ethanol; Ecopais; fuel; emissions; gasoline; pollution; feasibility; analysis of variance; standard deviation

## Introducción

La alta contaminación medioambiental en el Ecuador, lleva a estudiar la factibilidad del uso de nuevos combustibles que produzcan prestaciones similares y reduzcan las emisiones contaminantes producidas por los automóviles que actualmente trabajan con gasolina. Actualmente existe un aumento de temperatura global de 2 °C debido a la contaminación medioambiental. (Yusri, 2017)

Nikhil Sharma y Avinash kumar Agarwal mencionan en su artículo de efectos de emisiones de partículas contaminantes del etanol-gasolina que las emisiones son una parte negativa muy importante en el tema de la salud, provocando enfermedades graves como el asma, taquicardia, tos severa e incluso ataques cardíacos (Sharma, 2017).

También se encuentra con el problema que la demanda de combustible alrededor del mundo en los últimos años ha ido en aumento generando una idea de futura escases. Actualmente el sector automotor cuenta con un incremento anual del 1.1% en el consumo de combustibles fósiles proyectándose a ser el responsable del 63% del consumo de combustible en las próximas tres décadas. (Iodice, 2016)

Según Rambir zinc profesor de la universidad Delhi, India, menciona en su artículo que una alternativa para reducir las emisiones contaminaste, es la mezcla de la gasolina con un alcohol (Singh, 2012). Estudios muestran una significativa reducción en las emisiones contaminantes de los combustibles mezclados con alcoholes comparados con los que trabajan netamente con gasolina. (Elfasakhany, 2016)

En los últimos años los combustibles a base de alcohol contienen metanol o etanol que son usados como una fuente de energía alternativa para motores de combustión interna (Dogan, 2016). Cuando se mezcla etanol con gasolina la tendencia del etanol a separarse es mucho menor que la del metanol, (Uzuneanu, 2016). Por tal motivo en este estudio consideraremos solamente la mezcla de etanol-gasolina. El etanol que es un recurso de energía renovable, puede ser fácilmente obtenido de la biomasa de productos como maíz y la caña de azúcar y es usando en los motores de combustión de interna mezclado con la gasolina. (Dogan, 2016)

En Estados Unidos y en sud América la mezcla de gasolina y 10% de etanol es llamada Gasohol E10, la cantidad de etanol máxima es de 10% para no tener que realizar modificación en la construcción del motor, el uso de etanol puro causa problemas en los componentes internos del mismo, por este motivo se considera que la mezcla no debe pasar el porcentaje antes mencionado. (Uzuneanu, 2016)

El presente estudio es importante realizarlo debido a que se requiere analizar el combustible que se comercializa en Ecuador denominado ecopaís el cual contiene 5% de etanol y 95 % de combustible de 82 octanos, para analizar la eficiencia del mismo en la reducción de emisiones contaminantes. Con la mezcla etanol-gasolina se obtiene una reducción en las emisiones de HC y CO mientras que las emisiones de NOx aumentan de una forma directamente proporcional al porcentaje de etanol en la mezcla. (Karavalakis, 2014)

La reducción de los productos de la combustión, cuando se usa etanol-gasolina indica que el futuro pertenece a los motores que sean capaces de operar con este tipo de combustibles mientras protegen al medio ambiente. (Uzuneanu, 2016)

El propósito de este estudio es cuantificar las emisiones producidas con la mezcla etanol y compararlas con las emisiones producidas por la gasolina extra, para esto analizaremos las emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, HC y NO<sub>x</sub> producidas tanto trabajando tanto con la gasolina extra y con etanol, para así determinar la viabilidad del uso de etanol dentro del país como una estrategia para reducir las emisiones contaminantes a 2800 metros sobre el nivel del mar (msnv).

### Materiales

Para este trabajo se consideró dos tipos de combustibles, un combustible comercial denominado Ecopaís que contiene 5% de etanol y 95% de gasolina común extra y otro combustible compuesto 100% por gasolina extra.

Se utilizó una camioneta Ford F150 Flex-fuel, 3.7L RWD (tracción posterior) de seis cilindros en V, transmisión automática, que no ha sido modificada en lo absoluto, las especificaciones técnicas del vehículo se las puede observar en la tabla 1.

Tabla 1 Especificaciones del motor Ford 150. Fuente: Manual de usuario Ford F150

Datos	Especificaciones
Combustible	Gasolina
Cilindrada	3700 cc
Potencia	302/6500 hp/rpm
Torque	278/4000 lbpie/rpm
Cilindros	6 en V
Válvulas	24
Alimentación	Inyección electrónica multipunto, Flex-Fuel.

Se usó un analizador de gases Brain-Bee AGS-688 para medir los gases emitidos por el tubo de escape, la inyección y régimen del motor fueron controladas por un módulo electrónico conectado al OBD2 del vehículo y un dinamómetro de rodillo de un eje.

### Métodos

#### *Parámetros de la prueba*

Con la ayuda del analizador de gases Brain-Bee AGS-688 se obtuvo los porcentajes de los gases contaminantes emitidos por el tubo de escape, la inyección y régimen del motor fueron controladas por un módulo electrónico conectado al OBD2 del vehículo, se realizaron dos tipos de pruebas a diferente régimen de motor, de forma estática y dinámica con cada tipo de combustible, para las pruebas dinámicas se usó un dinamómetro de chasis marca Dyno-Race; para la segunda parte de las pruebas se contó con la ayuda de un reservorio auxiliar construido por la Universidad Internacional del Ecuador que contaba con su propia bomba de combustible sumergible, que permitió el trabajo del motor con el combustible a base de 95% de gasolina y

5% de etanol, denominada E5, sin tener que realizar cambios o modificaciones del sistema de alimentación del vehículo.

Las pruebas se llevaron a cabo con el motor a ralentí y a diferentes regímenes del mismo. Los regímenes del motor que fueron analizados son: a ralentí para las pruebas estáticas y de 1000RPM a 4000RPM con una variación de 1000 RPM entre cada una para las pruebas estáticas y dinámicas. Se empezaron a tomar las mediciones cuando el refrigerante alcanzó la temperatura de 100°C y un tiempo de estabilización de funcionamiento de 15 minutos.

Las pruebas se realizaron a presión y temperatura ambiente, se obtuvo una presión referencial de 757 bares y una temperatura de 26.5 °C, estos datos fueron medidos mediante un barómetro y un termómetro digital. Las muestras de los gases (CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>) fueron tomadas a los diferentes regímenes del motor, tanto en funcionamiento estático como dinámico para cada combustible.

## Resultados

### *Emisiones del motor*

En las siguientes tablas podemos observar los resultados medidos en diferentes revoluciones del motor para cada uno de los gases contaminantes de la gasolina y el combustible E5, tanto en pruebas estáticas como dinámicas

#### *Pruebas Estáticas*

Tabla 2: Resultados de emisiones de CO pruebas estáticas

CO	Gasolina	COMB. E5
1000 rpm	0,09	0,09
2000 rpm	0,07	0,04
3000 rpm	0,03	0,02
4000 rpm	0,2	0,12

Tabla 3: Resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> pruebas estáticas

CO <sub>2</sub>	Gasolina	COMB. E5
1000 rpm	14,6	14,7
2000 rpm	14,8	15,1
3000 rpm	14,9	14,6
4000 rpm	14,8	15

Tabla 4: Resultados de emisiones de HC pruebas estáticas

HC (ppm)	Gasolina	COMB. E5
1000 rpm	95	13
2000 rpm	8	9
3000 rpm	18	6
4000 rpm	17	13

#### *Pruebas Dinámicas*

Tabla 5 Resultados de emisiones de CO pruebas estáticas

CO	Gasolina	COMB. E5
----	----------	----------

<b>1000 rpm</b>	0,28	0,22
<b>2000 rpm</b>	0,03	0,02
<b>3000 rpm</b>	0,15	0,01
<b>4000 rpm</b>	0,11	0,04

Tabla 6: Resultados de emisiones de CO2 pruebas estáticas

<b>CO2</b>	<b>Gasolina</b>	<b>COMB. E5</b>
<b>1000 rpm</b>	14,2	14,6
<b>2000 rpm</b>	14,6	15,3
<b>3000 rpm</b>	16,6	15,1
<b>4000 rpm</b>	14,8	15,1

Tabla 7: Resultados de emisiones de HC pruebas estáticas

<b>HC (ppm)</b>	<b>GASOLINA</b>	<b>COMB. E5</b>
<b>1000 rpm</b>	41	10
<b>2000 rpm</b>	6	6
<b>3000 rpm</b>	9	4
<b>4000 rpm</b>	20	6

### **Análisis de resultados**

Para el presente análisis de resultados, se realizó un análisis de varianza, el mismo que se realizó con ayuda del software Microsoft Excel, usando la función Analizador de datos.

#### ***Análisis de varianza en pruebas estáticas***

Este análisis tiene un 95% de confiabilidad, se tomó 4 muestras, el cual se sumó los resultados para obtener un promedio de cada tipo de combustible.

Se puede observar que la diferencia entre gasolina y el combustible E5 no es significativa, es por tal motivo que el estudio será fundamentado en el análisis de sus valores promedios y de su desviación estándar.

La desviación estándar muestra la estabilidad de cada una de las mezclas. Las mezclas se pueden comparar entre sí, siempre y cuando el valor F del análisis de varianza sea menor que valor F crítico, lo que significa precisamente que no existen diferencias significativas.

#### ***Emisiones de CO***

Tabla 8: Desviación Estándar CO

<b>COMB.</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>	<b>Std. desviación</b>
<b>Gasolina</b>	4	0,39	0,0975	0,005	0,073
<b>E5</b>	4	0,27	0,0675	0,002	0,046

Realizado el promedio de la tabla 9 se puede observar que las emisiones de CO, producidas por el combustible E5 son un 30, 77% menores comparadas con las emisiones de la

gasolina, también se puede observar en el valor de la desviación estándar que al trabajar con el combustible E5, las variaciones de las emisiones son mucho más estables que cuando se trabaja con gasolina.

### *Emisiones de CO2*

Tabla 9: Estándar de desviación CO2

COMB.	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Std. desviación
Gasolina	4	59,1	14,775	0,0158	0,125831
E5	4	59,4	14,86	0,05667	0,23048

Se puede observar que el promedio de contaminación del CO2 del combustible E5 es un 0,57% más elevado que la producida por la gasolina y de igual manera las variaciones de las emisiones del combustible E5 son mayores.

### *Emisiones de HC*

Tabla 10: Estándar de desviación HC

COMB.	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Std. desviación
Gasolina	4	138	34,5	1647	40,58325
E5	4	41	10,25	11,5833	3,40343

En este caso cuando se observa las emisiones de HC que genera el combustible E5 se puede observar una diferencia muy grande entre 10,25 ppm (partículas por millón) y los 34.5 ppm que se obtiene con la gasolina común, con lo que se puede observar una reducción de las emisiones de HC usando el combustible E5 de un 70,29%, además que el margen de variación de la gasolina extra en las emisiones de HC es muy elevado.

## **Análisis De Varianza En Pruebas Dinámicas**

### *Emisiones de CO*

Tabla 11: Estándar de desviación CO

COMB.	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Std. desviación
Gasolina	4	0,57	0,1425	0,01089	0,104363
E5	4	0,29	0,0725	0,00983	0,099121

Se observa que, en ambos casos, tanto de la gasolina común como del combustible E5, que si comparamos los resultados de los promedios de contaminación estos se elevan respecto a las pruebas estáticas en un 35%.

Pero se sigue teniendo un menor porcentaje de contaminación generada por el combustible E5, se reduce drásticamente de 0,14% al 0,07% las emisiones de CO.

### *Emisiones de CO2*

Tabla 12: Estándar de desviación CO2

COMB.	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Std. desviación
Gasolina	4	60,2	15,05	1,13	1,063
E5	4	60,1	15,025	0,08917	0,298608

A diferencia de las pruebas estáticas, se puede observar que las emisiones del combustible E5 son 0,17% menores que las de la gasolina común, de igual manera observamos que en este caso, el rango de la desviación estándar es menor.

### *Emisiones de HC*

Tabla 13: Estándar de desviación HC

COMB.	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Std. desviación
Gasolina	4	76	19	251,33	1,8535
E5	4	26	6,5	6,333	2,5166

Claramente se puede observar que en las pruebas dinámicas se reducen en gran medida las emisiones de HC, tanto para el combustible E5 como para la gasolina común, pero aun así la ppm producidas por la gasolina sigue siendo mucho mayor un 65,79% comparadas con las del combustible E5; sin embargo, el rango en la desviación estándar de la gasolina común extra es menor comparándola con el combustible eco país.

## **Conclusiones**

Según el análisis de varianza realizado, la desviación estándar nos permite establecer que los dos combustibles son sustitutos, es decir, se puede usar cualquiera de los dos combustibles en motores de combustión interna sin tener pérdidas significativas.

Por medio del análisis de varianza se puede deducir que el combustible E5 es más estable que la gasolina común. La desviación estándar es más baja con el combustible E5 comparado con la gasolina común comercializada en Ecuador.

Con el presente estudio se demuestra una clara reducción de emisiones contaminantes producidas por el motor de combustión interna con el uso del combustible E5, en pruebas dinámicas, en el CO hay una reducción del 100% con el uso de combustible E5, en los HC existe una reducción del 65% con el uso del combustible E5 comparado con la gasolina común, en los CO2 existe una reducción de 1% con el combustible E5, mientras tanto en pruebas estáticas

tenemos: en CO una reducción del 31% con el combustible E5, en los HC una reducción del 71% con el combustible E5, pero en los CO<sub>2</sub> se obtiene un incremento del 0,5% con el combustible E5.

El valor de incremento de los CO<sub>2</sub> en pruebas estáticas no es significativo, por tanto, se puede determinar que el combustible E5 es menos contaminante que la gasolina común comercializada en Ecuador, la reducción de emisiones contaminantes se debe a que, al tener un alcohol en su mezcla, los carbonos de su cadena química molecular se reducen, por lo tanto, las emisiones tienden a bajar.

Al realizar el presente estudio con el combustible E5 comercializado en el Ecuador, también denominado Ecopaís, se obtiene una clara reducción de emisiones contaminantes, sin tener que realizar modificaciones internas del motor de combustión interna de cada uno de los autos que se encuentran circulando actualmente en territorio nacional, ya que la E5 no requiere modificaciones internas del motor que permita el correcto funcionamiento.

### **Bibliografía**

- Dogan, B. (2016). The effect of ethanol-gas blends on performance and exhaust emissions of a spark ignition engine through exergy analysis. Kiri University, 1.
- Elfasakhany, A. (2016). Investigations on performance and pollutant emissions of spark-ignition engines fueled with butanol, isobutanol, ethanol and acetone gasoline blends: A company study. *Renewable and sustainable energy reviews*, 1.
- Iodice, P. (2016). Effect of ethanol- gasoline blends on CO and HC emissions in last generation SI within the cold- start transient: An experimental investigation. *Applied Energy*, 182.
- Karavalakis, G. (2014). Evaluating the regulated emission, air toxics, ultrafine particles, and black carbon from SI-PFI and SI-DI vehicles operating on different ethanol and iso-butanol blends. *Fuel*, 410.
- Sharma, N. (2017). Effect of the fuel injection pressure on particulate Emission from o Gasohol (E15 and M 15)- Fueled gasoline Direct Injection Engine. *Energy and Fuels*, 4155.
- Singh, R. (2012). Performance and exhaust gas emission analysis of direct injection CNG- diesel dual fuel engine. *International Journal on engines science and technology*, 833.
- Uzunianu, K. (2016). An assessment of combustion products of spark ignition engines supplied by ethanol- gasoline blends. 7th International conference on advanced concepts in mechanical engineering , 1.
- Yusri, I. (2017). Alcohol based automotive fuels from first four alcohol family in compression and spark ignition engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169.