

Comprobación del Comportamiento de un Motor de Combustión Interna Electrónico Ciclo Otto Usando Bioetanol con Mezcla E5

Checking the Behavior of an Otto Cycle Electronic Internal Combustion Engine Using Bioethanol With E5 Mixtures

Edison Fabricio Lema Parra 1

Resumen

Actualmente la principal fuente de contaminación proviene de las emisiones de gases contaminantes expuestas por motores de combustión interna, por lo tanto, en el presente trabajo se comprobó el comportamiento de un motor de combustión interna usando bioetanol con mezclas E5, el cual es una alternativa viable al uso de combustibles fósiles. Cabe destacar que el uso de biocombustibles reduce hasta en un 30 a 40 % el nivel de gases nocivos hacia el medio ambiente. La cantidad de combustible empleada para esta investigación fue; cuatro galones de combustible extra y cuatro galones de mezcla E5. Las pruebas de análisis de emisiones se realizaron en el taller de la Universidad en la ciudad de Ibarra a una altura de 2 225 metros sobre el nivel del mar y una presión atmosférica de 101 700 Pa. Con la ayuda del analizador de gases se procedió a analizar y determinar las concentraciones presentes en los gases de escape mediante un horario establecido a diferente régimen de giro. Con la mezcla E5 para el análisis de gases contaminantes se obtuvo como resultado una disminución del 44,3 % a ralentí y 39,1 % a un promedio de 2 500 rpm del nivel de monóxido de carbono (CO). Para hidrocarburos (HC) se redujo 8,1 % a ralentí y 32,3 % a un promedio de 2 500 rpm. Así también el nivel de oxígeno (O₂) disminuyó un 49,8 % a ralentí y 26,9 % a un promedio de 2 500 rpm.

Palabras claves: Etanol, combustión, emisiones, motor, fuentes de contaminación.

Abstract

Currently the main source of pollution comes from the emissions of polluting gases exposed by internal combustion engines, therefore, in the present work the behavior of an internal combustion engine using bioethanol with E5 mixtures, which is an alternative, was proved. viable to the use of fossil fuels. It should be noted that the use of biofuels reduces the level of harmful gases to the environment by up to 30 to 40 %. The amount of fuel used for this investigation was; four gallons of extra fuel and four gallons of E5 mixture. The emission analysis tests were carried out in the workshop of the University in the city of Ibarra at an altitude of 2,225 meters above sea level and an atmospheric pressure of 101,700 Pa. With the help of the gas analyzer, the analyze and determine the concentrations present in the exhaust gases by means of a schedule established at different speeds. The E5 mixture for the analysis of polluting gases resulted in a 44.3% decrease at idle and 39.1 % at an average of 2500 rpm of the level of carbon monoxide (CO). For hydrocarbons (HC) it was reduced 8.1 % at idle and 32.3 % at an average of 2500 rpm. So also the oxygen level (O₂) decreased 49.8 % at idle and 26.9 % at an average of 2500 rpm.

Keywords: Ethanol, combustion, emissions, engine, pollution sources.ion.

1 Ingeniero en Mantenimiento Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Proyecto 2000, edison.lema@proyecto2000.edu.ec, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0009-3161-2441>.

INTRODUCCIÓN

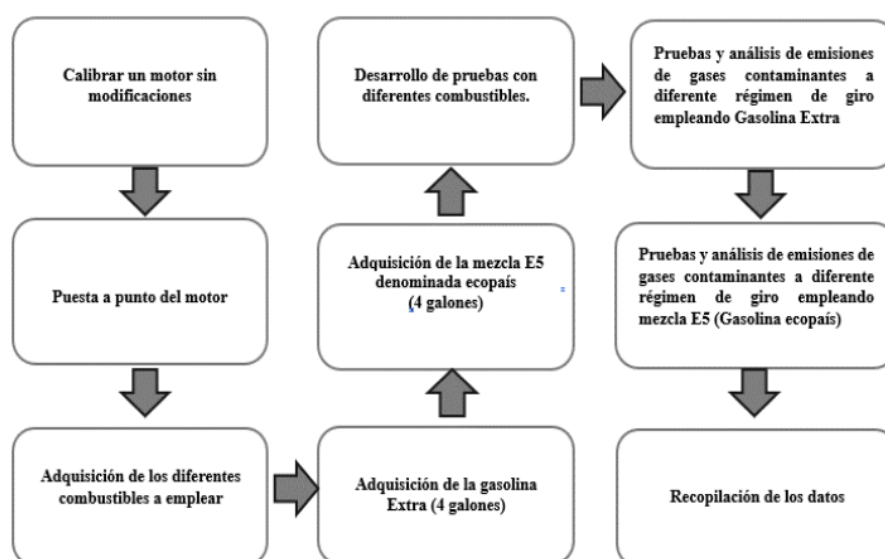
La mayoría de los vehículos hoy utilizan combustibles fósiles debido a su alto potencial energético, lo que aumenta la demanda de energía en relación con el crecimiento poblacional. Este consumo excesivo contribuye al cambio climático, provocando fenómenos meteorológicos extremos y resaltando la necesidad urgente de buscar alternativas sostenibles para mitigar sus impactos ambientales. Los combustibles fósiles son recursos limitados que se utilizan para obtener y generar energía, este uso indiscriminado provoca contaminación atmosférica, gases generadores del efecto invernadero, lluvia ácida y enfermedades respiratorias producto de los gases de combustión. El tetraetilo de plomo aún es usado en la gasolina super y extra para aumentar el octanaje, se considera este componente químico como un aditivo pesado que es expulsado por los gases de escape, transformándose en un gas venenoso para la salud humana capaz de afectar el sistema nervioso de los seres vivos. Debido a la abundante presencia de motores de combustión interna las ciudades se han visto afectadas por la contaminación exponiendo a sus habitantes a inhalar estas toxinas. Por otro lado, el ambiente a escala mundial tiene un nivel de contaminación promedio de 15% especialmente por el uso de carburantes de origen fósil y sus derivados no renovables como la gasolina y el diésel, que son utilizados por la industria de la automoción. Ecuador también considera importante el uso de estos combustibles, es así que en el año 2010 generan un plan para producir mezclas E5 e introducirlas al mercado nacional al mismo precio que la gasolina extra. En el territorio ecuatoriano es necesario buscar nuevas fuentes de energía limpia y renovable, debido a que los recursos cada vez se van agotando a pasos agigantados.

MÉTODO

Desarrollo de la propuesta investigativa

La presente investigación consta de la comprobación del comportamiento de un motor de combustión interna electrónico ciclo Otto usando bioetanol con mezclas E5; para lo cual se empleó una serie de etapas con base a los objetivos.

Figura 1
Etapas de desarrollo.



La primera etapa consistió en calibrar un motor de combustión interna y verificar que el motor se encontraba en perfectas condiciones tanto mecánicas como eléctricas y electrónicas, para obtener datos reales. Mientras que en la segunda etapa se realizó la adquisición de diferentes combustibles a emplear especificando los porcentajes suministrados de gasolina extra y el etanol con su respectivo nivel de concentración. Para finalizar la tercera etapa se realizaron pruebas con diferentes combustibles; extra, mezcla E5 o denominada ecopaís como lo muestra la Figura 1.

Banco motor

El uso de un motor de combustión interna fue indispensable para realizar el análisis de gases contaminantes, este banco motor debe estar en óptimas condiciones para obtener resultados satisfactorios.

Tabla 1
Especificaciones técnicas del Motor

Características	Especificaciones
Potencia	103 HP @ 6 000 RPM
Cilindrada	1 598 cm ³
Torque	14,7 Nm @ 3 600 RPM
Sistema de combustible	Inyección multipunto
Distribución	DOCH
Posición de cilindros	Lineal
Número de cilindros	4
Diámetro de cilindros	79 mm
Carrera del cilindro	81,5 mm
Número de válvulas por cilindro	4

El motor utilizado para esta investigación fue un motor de la marca Chevrolet, modelo Aveo con especificaciones técnicas mostradas en la Tabla 1.

Analizador de gases Brain Bee

El analizador de gases de escape Brain Bee AGS-688 tiene como objetivo analizar y determinar las concentraciones presentes de los gases contaminantes producidos por los motores de combustión interna que utilicen como combustible gasolina.

Figura 2
Analizador de Gases Brain Bee AGS-688



La Figura 2. es la representación del analizador utilizado para las pruebas de medición de gases de escape, este analizador cuenta con la opción de medir 5 gases; CO, CO₂, HC, O₂, NO_x.

Puesta a punto del motor

La puesta a punto del motor consistió en efectuar una serie de procedimientos capaces de ajustar a un motor para trabajar en condiciones normales de funcionamiento; estos procedimientos garantizaron que el sistema de inyección, el sistema de encendido y el reglaje de la distribución sean los correctos. Todos estos procedimientos se los realizaron con la finalidad de garantizar resultados reales necesarios para la investigación.

Pruebas con diferentes combustibles

Para el desarrollo de las pruebas de emisiones de gases fue necesario poner a punto el motor de combustión interna, instalar un convertidor catalítico acorde a la marca del banco motor que en este caso fue de la marca Chevrolet. Posteriormente, se adquirió 4 galones de cada combustible (extra y ecopaís) almacenados en envases individuales ya que se utilizó un galón de cada combustible por día.

Figura 3

Combustibles empleados en la investigación



En la Figura 3. se muestra los dos combustibles almacenados individualmente para posteriormente ser expuestos al análisis de emisiones.

La Tabla 2. representa las condiciones climáticas de la ciudad de Ibarra, donde fue realizada las pruebas de emisiones de gases contaminantes con diferentes combustibles. Ibarra presenta unas condiciones climáticas que corresponden al denominado clima templado seco-mediterráneo con temperaturas promedio de 19 °C a una presión atmosférica de 101 700 Pascales con un porcentaje de humedad del 63 % a una altura de 2 225 metros sobre el nivel del mar. Así también presenta vientos promedio de 7 kilómetros por hora.

Tabla 2

Condiciones atmosféricas aplicadas para la investigación.

Ciudad		Condiciones atmosféricas			
Ibarra	Presión atm. 101700 Pa	Temperatura 19 C	Humedad 63%	Altura 224 msnm	Viento 7 km/h

Tabla 3

Horario establecido para la toma de datos de emisiones.

Horario	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
11:00 - 12:00 am	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm
14:00 - 15:00 pm	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm
16:00 - 17:00 pm	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm	- 3 datos de ralenti y 3 datos a 2 500 rpm

Para cada tipo de combustible se ejecutaron tres pruebas diarias durante 4 días. Empezando el martes 20 de noviembre de 2018 utilizando gasolina extra hasta el viernes 23 de septiembre de 2018. Para las pruebas con gasolina ecopaís de igual manera se realizó tres pruebas diarias durante 4 días, empezando así el martes 27 de noviembre de 2018 y culminando las pruebas el viernes 30 de noviembre de 2018. Para la realización de las pruebas se estableció un horario fijo para tomar cada dato, este horario aseguró igualdad de condiciones al momento de realizar las pruebas como lo establece la Tabla 3.

Para tomar las medidas tanto en ralenti como a 2 500 rpm aproximadamente, se procedió a dejar el motor encendido por un lapso de 10 minutos hasta que se estabilice, todo esto relacionado con la temperatura del motor. Una vez establecido el régimen de giro ralenti se procedió a tomar los datos correspondientes a la hora indicada anteriormente. Para las pruebas de aproximadamente 2 500 rpm se aceleró progresivamente elevando el número de revoluciones y manteniéndolas estables durante 45 a 60 segundos, debido a que los valores de los gases debían estabilizarse para ser tomados como datos. Una vez culminada la prueba se apagó el motor y se repitió el procedimiento el número de veces requerido durante los horarios y días establecidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los datos obtenidos utilizando gasolina extra a ralenti

Realizadas las pruebas de emisiones de gases contaminantes con gasolina extra a ralenti se obtuvo los datos necesarios para conseguir resultados de la presente investigación.

Figura 4

Valores promedio de CO, CO₂, HC Y O₂.



La Figura 4 representa los valores adquiridos con gasolina extra a ralentí durante el horario establecido, presenta valores de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos y oxígeno.

Análisis de los datos obtenidos utilizando mezcla E5 a ralentí

La Figura 5 representa los valores adquiridos con mezcla E5 a ralentí durante el horario establecido, presenta valores de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos y oxígeno.

Figura 5

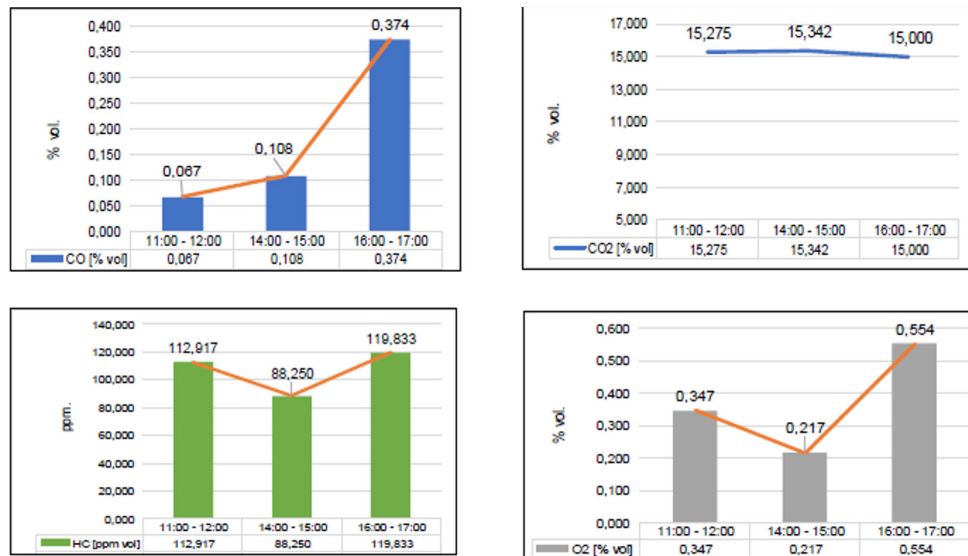
Valores promedio de CO, CO₂, HC Y O₂.



Análisis de los datos obtenidos utilizando gasolina extra en un promedio de 2 500 RPM

Figura 6

Valores promedio de CO, CO₂, HC Y O₂.



La Figura 6 representa los valores adquiridos con gasolina extra aproximadamente 2500 rpm durante el horario establecido, presenta valores de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos y oxígeno.

Análisis de los datos obtenidos utilizando la mezcla E5 en un promedio de 2 500 RPM

Figura 7

Valores promedio de CO, CO₂, HC Y O₂.



La Figura 7 representa los valores adquiridos con mezcla E5 a aproximadamente 2 500 rpm durante el horario establecido, presenta valores de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos y oxígeno.

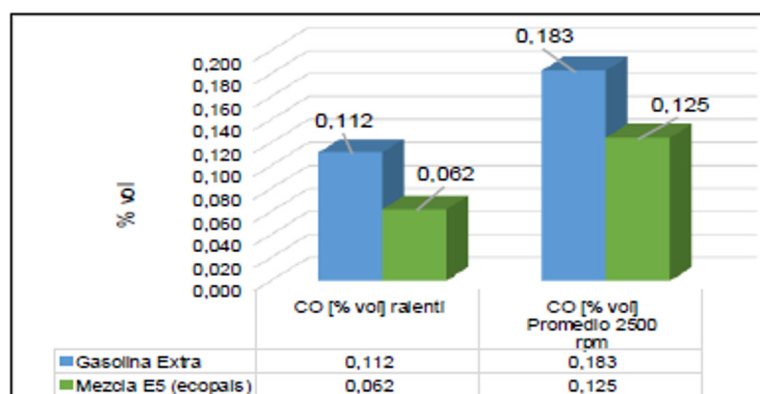
Análisis de todo el comportamiento de las emisiones de gases contaminantes

Análisis de Monóxido de Carbono (CO)

La Figura 8. muestra los datos obtenidos de monóxido de carbono utilizando gasolina extra y mezcla E5 a diferente régimen de giro. En el gráfico de la izquierda, para ralentí utilizando gasolina extra se obtuvo como resultado 0,112 % vol de CO y para el mismo régimen de giro utilizando mezcla E5 se obtuvo como resultado 0,062 % vol de CO, al final se tuvo como resultado una disminución del 44,64 % del nivel total de CO utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra a ralentí. De la misma manera en el gráfico de la derecha, para un régimen promedio de 2 500 rpm se obtuvo 0,183 % vol de CO utilizando gasolina extra y 0,125 % vol de CO utilizando mezcla E5, como resultado se alcanzó a disminuir un 31,69 % del nivel total de CO utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra al régimen de giro antes mencionado.

Figura 8

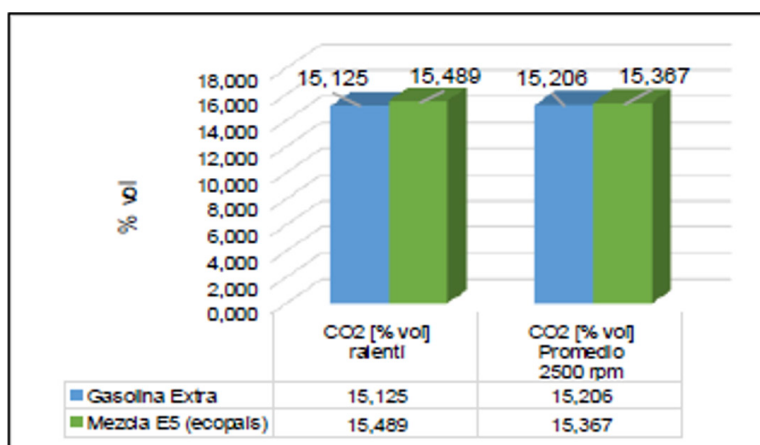
Datos obtenidos de monóxido de carbono CO.



Análisis de Dióxido de Carbono (co2)

Figura 9

Datos obtenidos de dióxido de carbono CO2.

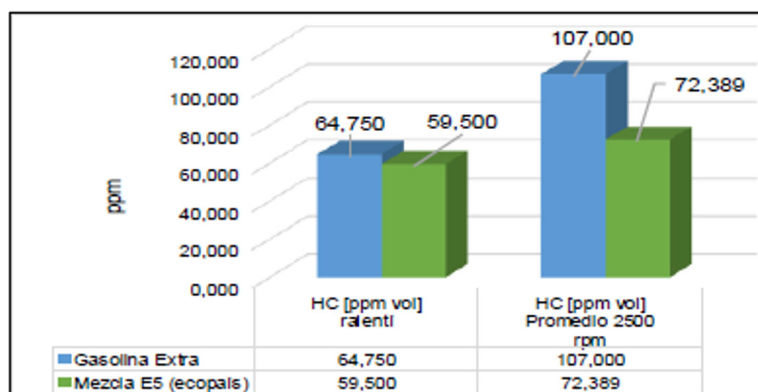


La Figura 9 muestra los datos obtenidos de dióxido de carbono (CO₂) utilizando gasolina extra y mezcla E5 a diferente régimen de giro. En el gráfico de la izquierda, correspondiente a ralentí utilizando gasolina extra se obtuvo como resultado 15,125 % vol de CO₂ y para el mismo régimen de giro utilizando mezcla E5 se obtuvo como resultado 15,489 % vol de CO₂, al final se tuvo como resultado un aumento del 2,41 % del nivel total de CO₂ utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra a ralentí. De la misma manera en el gráfico de la derecha, correspondiente a un régimen promedio de 2 500 rpm se obtuvo 15,206 % vol de CO₂ utilizando gasolina extra y 15,367 % vol de CO₂ utilizando mezcla E5, como resultado aumentó un 1,06 % del nivel total de CO₂ utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra al régimen promedio de 2 500 rpm. El aumento del porcentaje de CO₂ utilizando gasolina ecopaís se debe a que el CO₂ presente en la combustión está vinculada precisamente con la cantidad de oxígeno en la mezcla, lo que se puede considerar un factor despreciable para la investigación.

Análisis de Hidrocarburos (HC)

Figura 10

Datos obtenidos de hidrocarburos HC.



Los datos presentes a continuación son de hidrocarburos (HC) utilizando gasolina extra y mezcla E5 obtenidos a diferente régimen de giro. En el gráfico de la izquierda, correspondiente a ralentí utilizando gasolina extra se obtuvo como resultado 64,750 partículas por millón (ppm) de HC y para el mismo régimen de giro utilizando mezcla E5 se obtuvo como resultado 59,500 partículas por millón (ppm) de HC, al final se tuvo una disminución del 8,11 % del nivel total de hidrocarburos (HC) utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra a ralentí. De la misma manera en el gráfico de la derecha, correspondiente a un régimen promedio de 2 500 rpm se obtuvo 107,00 partículas por millón (ppm) de HC utilizando gasolina extra y 72,389 ppm de HC utilizando mezcla E5, como resultado se alcanzó a disminuir un 32,35 % del nivel total de hidrocarburos (HC) utilizando gasolina ecopaís con respecto a la gasolina extra al régimen de giro antes mencionado como se muestra en la Figura 10.

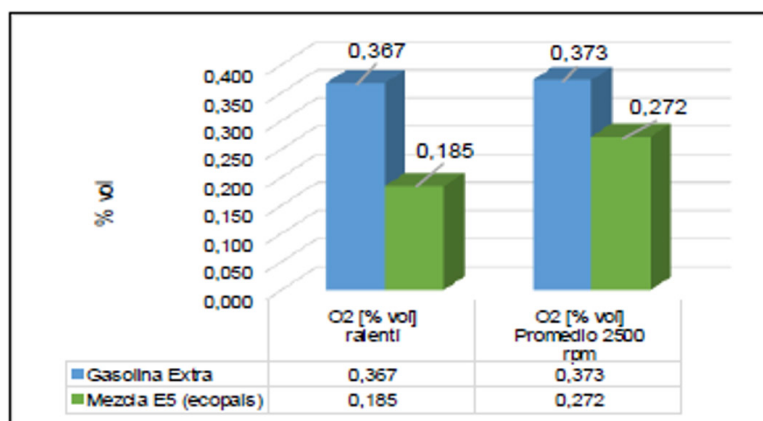
Análisis de Oxígeno (O₂) presente en los gases de escape

La Figura 11 muestra los datos obtenidos de oxígeno utilizando gasolina extra y mezcla E5 a diferente régimen de giro. En el diagrama de barras de el lado izquierdo, correspondiente a ralentí utilizando gasolina extra se obtuvo como resultado 0,367 % vol de O₂ y para el mismo régimen de giro utilizando mezcla E5 se obtuvo como resultado 0,185 % vol de O₂, al final se tuvo como resultado una

disminución del 49,59 % del nivel total de O₂ utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra a ralentí. De la misma manera en el diagrama de barras de el lado derecho, correspondiente a un régimen promedio de 2 500 rpm se obtuvo 0,373 % vol de O₂ utilizando gasolina extra y 0,272 % vol de O₂ utilizando mezcla E5, como resultado se alcanzó a disminuir un 27,08 % del nivel total de O₂ utilizando mezcla E5 con respecto a la gasolina extra al régimen de giro antes mencionado.

Figura 11

Datos obtenidos de oxígeno O₂.



En la Figura 12 se aprecia todos los datos obtenidos por medio de la prueba estática de emisiones correspondiente a la gasolina extra de 87 octanos y la gasolina con mezcla E5 denominada ecopaís a diferente régimen de giro recopilando toda la información y presentándola de la siguiente manera.

Figura 12

Factores de emisiones con gasolina extra y mezcla E5.

Gasolina	Régimen de Giro	CO [% vol]	CO ₂ [% vol]	HC [ppm]	O ₂ [% vol]	λ [-]
Extra	Ralentí	0,112	15,125	64,750	0,367	1,008
Mezcla E5 (ecopaís)	Ralentí	0,062	15,489	59,500	0,185	1,004
Extra	Promedio de 2500 rpm	0,183	15,206	107,000	0,373	1,009
Mezcla E5 (ecopaís)	Promedio de 2500 rpm	0,125	15,367	72,389	0,272	1,007

CONCLUSIONES

La investigación revela que el uso de la mezcla E5 (gasolina ecopaís) tiene un impacto positivo en la reducción de emisiones contaminantes comparado con la gasolina extra. La mezcla E5 reduce significativamente el monóxido de carbono (CO), disminuyendo los niveles en un 44,64 % a ralentí y un 31,69 % a 2.500 rpm. Esta reducción se atribuye a la relación directa entre el CO y el oxígeno disponible en la mezcla. Sin embargo, el dióxido de carbono (CO₂) muestra un aumento del 2,41 % a ralentí y del 1,06 % a 2.500 rpm con la mezcla E5. Este incremento se debe a una menor cantidad de oxígeno en los gases de escape, lo que eleva los niveles de CO₂.

En términos de hidrocarburos (HC), la mezcla E5 resulta en menores concentraciones, con valores de 54.000 ppm a ralentí y 61.833 ppm a 2.500 rpm en comparación con la gasolina extra. Esto sugiere que la mezcla E5 puede ser más efectiva para reducir la saturación del aire en las horas de la tarde. En resumen, la mezcla E5 no solo disminuye el CO en un 44,64 % y el HC en un 8,1 % a ralentí, sino que también reduce los niveles de contaminación en un 49,59 % para el oxígeno (O₂) y un 32,3 % de HC a 2.500 rpm. Estos resultados indican que la mezcla E5, gracias a su contenido de alcohol, contribuye a una reducción general de los gases contaminantes, mejorando así la calidad del aire.

REFERENCIAS

- Abascal, R. (2017). Estudio de la obtención de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica [Tesis doctoral, Universidad de Cantabria]. Repositorio Universidad de Cantabria
- Alcalá, D., Cujilema, M., León, G., Baryolo, L., & Ramos, L. (2018). Producción enzimática lignocelulósica de biodiesel con biomasa. *Revista Tecnología Química*, 38(1), 208.
- Alonso, J. (2014). *Sistemas auxiliares del motor*. Ediciones Paraninfo.
- Barrera Puigdollers, C., Betoret Valls, N., Castelló Gómez, M., & Pérez Esteve, E. (2018). *Principios básicos de la combustión*. Universidad de València.
- Becerra, M., & Rodríguez, R. (2017). Selección de alternativas para el suministro de gas natural en Colombia empleando el proceso analítico jerárquico. *Ingeniería*, 23, 210.
- Bellido Díez, C. (2014). Obtención de bioetanol 2G a partir de hidrolizados de paja de trigo: Fermentación conjunta de los penta y hexa carbohidratos con *Pichia stipitis* [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid]. Escuela de Ingenierías Industriales.
- Cabezas, W., & Moyano, M. (2016). Análisis de torque, potencias, consumo de combustible y emisiones contaminantes a diferentes concentraciones de gasolina/etanol en un banco de pruebas motor corsa 1.6 Lt [Informe técnico, Escuela Politécnica del Chimborazo].
- Camarillo Montero, J. A. (2011). Estudio de la combustión de un motor mono cilíndrico de ignición alimentada con mezclas gasolina-etanol anhidro e hidratado a distintas concentraciones [Tesis doctoral, Universidad Veracruzana].
- Coviello, M. F., Gómez, J. J., Razo, C., & Rodríguez, A. (2008). *Biocombustibles líquidos para transporte en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile.
- Fernández, R. D. (2006). *El inicio del fin de la era de los combustibles fósiles*. [Editorial].
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2013). *Calderas industriales eficientes*. Editorial Fundación de la Energía.
- García, A., Cendales, E., & Eslava, A. (2016). Internal combustion engines (ICE) fuelled using ethanol-gasoline blends: Review. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(1), 75-96. <https://doi.org/10.18359/rcin.1626>
- INEN. (2002, abril 17). NTE INEN 2204: Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina. <https://ia601901.us.archive.org/7/items/ec.nte.2204.2002/ec.nte.2204.2002.pdf>
- INEN. (2016). *Productos derivados de petróleo. Gasolina*.
- Jarauta, L. (2015). *Las energías renovables*. Editorial UOC