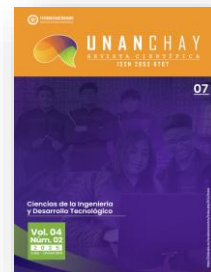


Análisis del comportamiento y emisiones de gases de un motor de encendido provocado utilizando etanol

Analysis of the behavior and gas emissions of a spark ignition engine using Ethanol



Abraham Mesías Jorque Rea: Instituto Superior Universitario Central Técnico, Magister en sistemas automotrices,
<https://orcid.org/0000-0003-4235-9604>

Klever Armando Tumbaco Casa: Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano, Magister en sistemas automotrices,
<https://orcid.org/0000-0003-4955-3856>

Autor de correspondencia: ajorque@istct.edu.ec

Recibido: 14 agosto 2025
Publicado: 25 septiembre 2025

DOI: <https://doi.org/10.64424/rcu42202582>

Resumen:

El presente estudio analizó el impacto del uso de mezclas de combustible con diferentes porcentajes de etanol (E10 a E60) en el rendimiento y las emisiones de un vehículo Chevrolet Luv Dmax 3.5 V6. Las pruebas realizadas en un dinamómetro automotriz mostraron que a medida que aumenta el contenido de etanol, la potencia y el torque del motor se incrementan en un 27,6% y 16,9%, alcanzando valores máximos en las mezclas E50 y E60 con 148 [cv] y 263.89 [Nm], respectivamente. Esto se debe al mayor índice de octanaje del etanol, que permite una mejor combustión y mayor eficiencia térmica. En cuanto a las emisiones, se observó que el uso de etanol reduce significativamente los niveles de hidrocarburos no quemados (HC) y monóxido de carbono (CO), especialmente a 2500 rpm, donde las mezclas E20 y E30 presentaron los mejores resultados. Sin embargo, en mezclas superiores a E50, se detectó un exceso de oxígeno residual, lo que sugiere la necesidad de ajustes en la relación aire-combustible para optimizar la eficiencia de la combustión. El análisis del consumo de combustible mostró que las mezclas E20 y E30 ofrecen el mejor equilibrio entre rendimiento y eficiencia, con un menor consumo en comparación con la gasolina extra (87 octanos). Estos hallazgos resaltan el potencial del etanol como combustible alternativo, considerando realizar los mantenimientos adecuados al motor para aprovechar sus beneficios y minimizar los posibles efectos negativos en vehículos con cierto grado de desgaste.

Palabras clave: Emisiones, etanol, octanaje, potencia, consumo

Abstract:

This study analyzed the impact of using fuel mixtures with different percentages of ethanol (E10 to E60) on the performance and emissions of a Chevrolet Luv Dmax 3.5 V6 vehicle. Tests conducted on an automotive dynamometer showed that as the ethanol content increases, the engine's power and torque increase by 27.6% and 16.9%, respectively, reaching maximum values in the E50 and E60 mixtures with 148 [hp] and 263.89 [Nm]. This is due to ethanol's higher-octane rating, which allows for better combustion and greater thermal efficiency. Regarding emissions, it was observed that the use of ethanol significantly reduces unburned hydrocarbon (HC) and carbon monoxide (CO) levels, especially at 2500 rpm, where the E20 and E30 mixtures showed the best results. However, in mixtures above E50, excess residual oxygen was detected, suggesting the need for adjustments in the air-fuel ratio to optimize combustion efficiency. The fuel consumption analysis revealed that the E20 and E30 mixtures offer the best balance between performance and efficiency, with lower consumption compared to regular gasoline (87 octane). These findings highlight the potential of ethanol as an alternative fuel, considering the need for proper engine maintenance to take advantage of its benefits and minimize possible negative effects on vehicles with a certain degree of wear.

Keywords: emissions, ethanol, octane, power, consumption



Introducción

Con la masificación del uso del automóvil apareció el problema de la contaminación atmosférica que ha controlado en gran medida el desarrollo de los MCI en los últimos años (Payri, 2011). Esto deriva en una problemática significativa en América Latina. Estos automóviles emiten contaminantes como CO (Monóxido de carbono), HC (Hidrocarburos) y NOx (Óxidos de nitrógeno), que contribuyen al deterioro de la calidad del aire y afectan la salud pública. La contaminación atmosférica en Ecuador, especialmente en áreas urbanas como el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), es una problemática creciente vinculada en gran medida al uso de combustibles fósiles en el transporte. Según datos de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), el parque automotor ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, contribuyendo significativamente a las emisiones contaminantes.

En el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), el transporte vehicular es la principal fuente de contaminación atmosférica, representando más del 90% de las emisiones contaminantes (Davalos, 2020). Aunque no se dispone de porcentajes específicos recientes para otras fuentes, se sabe que las industrias manufactureras y construcción, la generación de energía, la quema de residuos y la minería también contribuyen a la contaminación del aire en la ciudad. Un estudio realizado durante el confinamiento por la pandemia de COVID-19 mostró una reducción del 70% en los niveles de dióxido de nitrógeno (NO₂) en Quito, lo que refuerza la idea de que el transporte vehicular es la principal fuente de contaminación, ya que la disminución del tráfico llevó a una mejora significativa en la calidad del aire (Machado, 2023).

Desde el año 2010, Ecuador ha promovido el uso de combustibles alternativos para reducir la dependencia de los hidrocarburos y mitigar el impacto ambiental. En este contexto, se implementó el proyecto piloto de la gasolina Ecopaís en Guayaquil, provincia del Guayas, compuesto por un 5% de bioetanol y un 95% de gasolina base, con el objetivo de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar fuentes de energía más sostenibles (Universidad Politécnica Salesiana [UPS], 2017).

Tras el éxito del piloto en Guayaquil, el programa Ecopaís se extendió a otras provincias del país, incluyendo Los Ríos y Santa Elena, como parte de la política energética nacional para reducir emisiones y promover la sostenibilidad en el sector transporte (Escuela Politécnica Nacional [EPN], 2016).

El etanol ha ganado relevancia como aditivo y combustible alternativo debido a sus características favorables, incluyendo su baja emisión de contaminantes, su naturaleza biodegradable, y su origen renovable como biocombustible derivado de fuentes como la caña de azúcar. Con un alto índice de octanaje de 99 octanos (Rivera, 2007), el etanol mejora el rendimiento del motor.

En este contexto, se realizó un análisis del comportamiento del motor y sus emisiones utilizando diferentes mezclas de combustible con etanol en porcentajes volumétricos. Este estudio permitió evaluar la eficiencia de combustión y la reducción de emisiones de CO y HC, al mezclarse con gasolina extra. El etanol ha ganado relevancia como aditivo y combustible alternativo debido a sus características favorables, incluyendo su baja emisión de contaminantes, su naturaleza biodegradable y su origen renovable como biocombustible derivado de fuentes como la caña de azúcar. Con un alto índice de octanaje de 99 octanos (Rivera, 2007), el etanol mejora el rendimiento del motor. En este contexto, se realizaron diversos estudios sobre el comportamiento del motor y sus emisiones utilizando diferentes mezclas de combustible con etanol en porcentajes volumétricos. Por ejemplo, un estudio de Hernández Vidal (2023) reveló que aumentar la concentración de etanol en la mezcla redujo significativamente las emisiones de CO y HC, especialmente a un 30% de etanol. De manera similar, Espinoza Molina (2016) observó una disminución en las emisiones de hidrocarburos (HC) al aumentar el nivel de etanol, atribuido a una mezcla más homogénea. Además, un estudio de Velázquez Fernández (2021) indicó que la adición de etanol, con su alto número de octano, permite una reducción en los aromáticos de la gasolina comercial, lo que puede contribuir a una combustión más limpia y eficiente.

99

Materiales y Método

El vehículo a disposición para la investigación sobre el uso de combustibles y mezclas de etanol es un modelo Chevrolet Luv D-max 3.5lt. V6. El cual, es utilizado para realizar prácticas en diferentes áreas de estudio de la Institución, como electrónica, mecánica de patio, entre otros, relacionados con la formación especializada en el ámbito automotriz. El vehículo de prueba tiene casi 20 años de funcionamiento, con un recorrido de 265,129 kilómetros, un promedio de compresión de 95 psi y presenta posible quema de aceite durante su operación.

Tabla 1*Especificaciones del motor Luv D-max 3.5lt. V6*

Par máximo	197 CV @ 5800 rpm.
Torque máximo	285 Nm @ 3800 rpm.
Cilindrada	3510 cm ³
Número de cilindros	6
Distribución de los cilindros	En V
Relación de Compresión	9.8:1
Sistema de combustible	Multi-point indirect injection

Nota. Autodata, (2025)

El torque y potencia generadas en el proceso de funcionamiento del automotor será medido con la ayuda de un dinamómetro automotriz Sáez BPV 1800, el cual, es un banco de rodillos diseñado para pruebas de vehículos sin necesidad de desmontar el motor, permite medir la potencia directamente desde las ruedas y evaluando las pérdidas en la transmisión. (FABREEKA, 2022) se complementa con la lectura de datos bajo los estándares internacionales como la SAE J1349 y la ISO 1585:1992, que detallan métodos para medir la potencia neta de motores de combustión interna.

La prueba de análisis de gases se realizó utilizando el equipo el analizador de gases AGS-688, capaz de medir CO, HC, CO₂ y O₂, y de mostrar la relación aire-combustible. Esta unidad está provista con el software OMNIBUS-800 para la conexión con la PC, permitiendo almacenar y analizar los datos siguiendo la normativa NTE INEN 2204, al tomar muestras de las emisiones en el tubo de escape con la sonda suministrada, diseñada específicamente para este fin (Brain Bee S.p.A., s.f.; Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2017). (Perishable, s. f.)

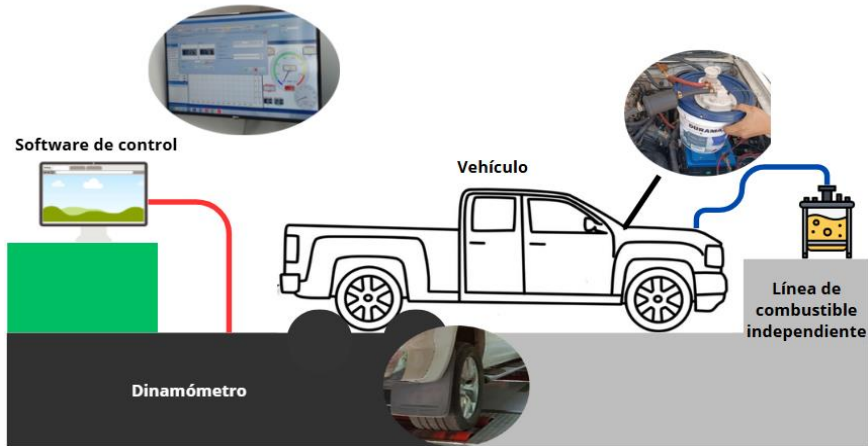
Previo al desarrollo de la investigación, se llevo a cabo las mezclas de combustible con etanol bajo el método experimental, con ayuda de una probeta para realizar las mediciones de manera volumétrica. Este proceso se enmarca en el método inductivo, el cual consiste en observar y analizar casos particulares para obtener conclusiones generales basadas en los resultados experimentales. En este caso, las mezclas de etanol-combustible se prepararon en proporciones del 10% hasta el 60%, designadas como E10, E20, E30, E40, E50 y E60 respectivamente.

La metodología comparativa fue fundamental para el análisis de las diversas mezclas de etanol. El método gravimétrico es una técnica precisa para medir el consumo de combustible al registrar la masa de las mezclas etanol-combustible E10, E20, E30, E40, E50 Y E60 antes y después de la prueba.

Se realizaron pruebas en un dinamómetro automotriz para evaluar el comportamiento del motor utilizando etanol como combustible de aporte en diferentes proporciones de volumen como se puede ver en la figura 1. Para registrar los parámetros de potencia y torque, lo que permitió analizar el impacto de las diferentes mezclas (E10-E60), en el rendimiento del motor.

Figura 1

Proceso de prueba del dinamómetro

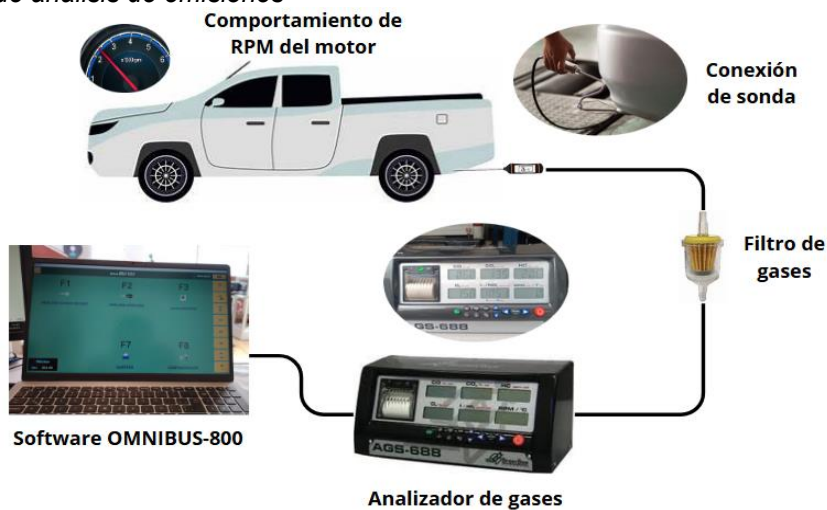


Nota. Estructura de montaje del vehículo en el dinamómetro automotriz junto con el depósito de combustible independiente para su funcionamiento y análisis con mezclas combustible-etanol. Autor, (2025)

Este proceso se llevó a cabo conectando un analizador de gases al tubo de escape del vehículo mientras el motor opera en distintas condiciones de carga y revoluciones, figura 2.

Figura 2

Proceso de análisis de emisiones

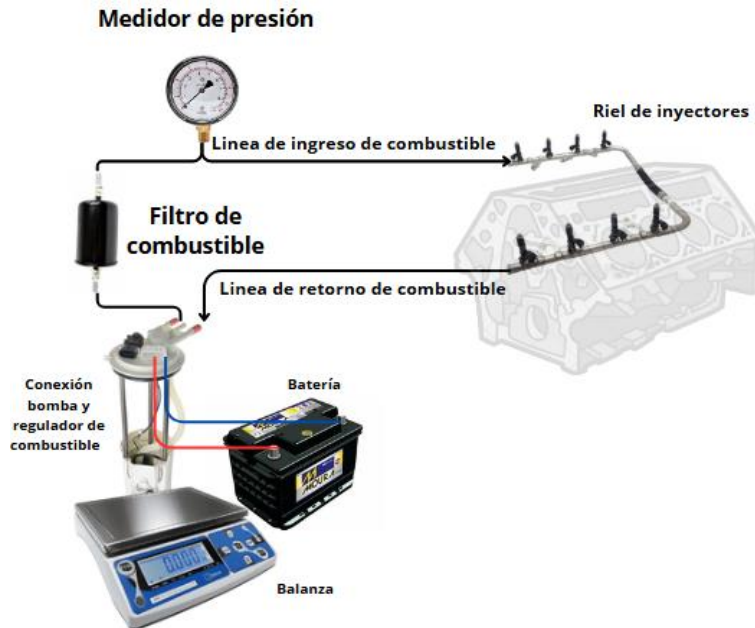


Nota. Diagrama de conexión del analizador de gases al vehículo. Autor, (2025)

Este procedimiento permitió determinar la cantidad de mezcla etanol-combustible consumida durante la prueba de funcionamiento del motor. La medición se realizó mediante el pesaje del combustible en ralentí y a 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 y 4000 rpm, tanto antes como después de operar el motor durante intervalos de 15 s por prueba. Esto permitió obtener datos precisos, como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Análisis del consumo de combustible



Nota. La figura muestra un sistema para analizar el consumo de combustible conectando una línea de ingreso y de retorno al motor, medido con sensor de presión y balanza electrónica. Se incluye un filtro y bomba regulada por una batería para mantener el flujo adecuado. Este método permite identificar con precisión el consumo a través del peso del combustible retornado. Autores, (2025)

Resultados

La potencia representa la cantidad de trabajo que un motor puede realizar en un tiempo determinado. Existen dos tipos principales de potencia medida en un dinamómetro: la potencia y potencia corregida en el motor (potencia de motor). La potencia en la rueda se obtiene directamente de las mediciones del dinamómetro, mientras que la potencia del motor se calcula compensando pérdidas mecánicas en la transmisión (potencia trans).

El torque es la fuerza de empuje que el motor puede transferir a las ruedas, mientras que la potencia indica cuán velozmente puede aplicar dicha fuerza. (Iriarte, 2023).

Las pruebas de torque y potencia realizadas en el dinamómetro arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 2

Variación de Potencia y Torque en Función de la Mezcla de Combustible

Mezcla	[rpm]	Potencia [cv]	[rpm]	Torque [Nm]
Extra (87 octanos)	3600	116	2600	225.63
E10	3600	118	2600	231.52
20	3800	131	2600	243.29
E30	3800	143	2600	256.04
E40	4000	138	3600	253.10
E50	4000	148	2600	260.95
E60	4000	148	2600	263.89

Nota. Los datos obtenidos proporcionan valores de la potencia y el torque de cómo las diferentes mezclas de combustible afectan el rendimiento del motor. Autores, (2025)

La tabla muestra la variación de la potencia y el torque del motor en función del tipo de mezcla de combustible. Se observa que, a medida que aumenta el contenido de etanol en la mezcla, también se incrementan los valores de potencia y torque. La potencia máxima que alcanza es de 148 [cv], con las mezclas E50 y E60 a 4000 [rpm], lo que muestra un incremento del 27,6% sobre la potencia estándar con la gasolina extra. Mientras que el torque muestra una tendencia creciente, alcanzando su valor más alto de 263,89 [Nm], con la mezcla E60 a 2600 [rpm], lo que da un incremento del 16,9% de torque adicional sobre el estándar del combustible extra.

Las pruebas de emisión de gases en la prueba estática (ralentí 850 rpm) realizadas en el analizador de gases, arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 3

Datos de gases de escape en ralentí con mezclas de combustible

Parámetro	Extra E0	E10	E20	E30	E40	E50	E60
CO (%vol)	0.38	1.20	0.52	0.44	0.61	0.65	0.68
CO2 (%vol)	13.6	12.8	13.3	13.4	13.7	11.2	10.6
HC (ppm)	288	236	245	223	250	263	279
O2 (%vol)	1.46	1.20	1.92	1.67	1.26	0.97	0.75

Nota. De los cuatro gases medidos, se puede constatar las mezclas en volumen y la variación existente en pruebas a ralentí. Autores, (2025)

Estos datos muestran la variación de los principales parámetros en función del porcentaje de etanol (E) en la mezcla. Se observa que a medida que aumenta el porcentaje de etanol, el nivel de CO₂ disminuye, del 13,6 a 10,6%, mientras que el nivel de CO aumenta de 0,38 a 0,68%, en cuanto a los HC, se aprecia un descenso significativo de 288 a 223 ppm en E0 a E30 respectivamente, posterior a ese porcentaje de mezcla se tiene una tendencia nuevamente creciente hasta 279 ppm en E60. Finalmente, el nivel de O₂ disminuye de forma progresiva de 1,46% en E0 a 0,75% en E60.

Considerando los antecedentes del vehículo de prueba, y específicamente su consumo de aceite, se observa que desde E0 los niveles de gases emitidos superan los límites máximos permitidos por la normativa NTE INEN 2204. El incremento del monóxido de carbono, así como la variabilidad en los hidrocarburos, resulta preocupante, ya que indica una combustión incompleta

Las pruebas de emisión de gases en la prueba dinámica (2500 [rpm]) realizadas en el analizador de gases, arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 4

Datos de gases de escape en 2500 con Mezclas de combustible

Parámetro	Extra	E10	E20	E30	E40	E50	E60
CO (%vol)	0.60	0.74	0.68	0.70	0.68	0.75	0.74
CO ₂ (%vol)	13.5	13.3	13.7	13.6	13.9	13.4	13.6
HC (ppm)	206	143	114	126	179	156	168
O ₂ (%vol)	1.58	1.50	1.26	1.34	1.14	1.60	1.44

Nota. De los cuatro gases medidos, se puede constatar las mezclas en volumen y la variación existente en pruebas acelerado a 2500 rpm. Autores, (2025)

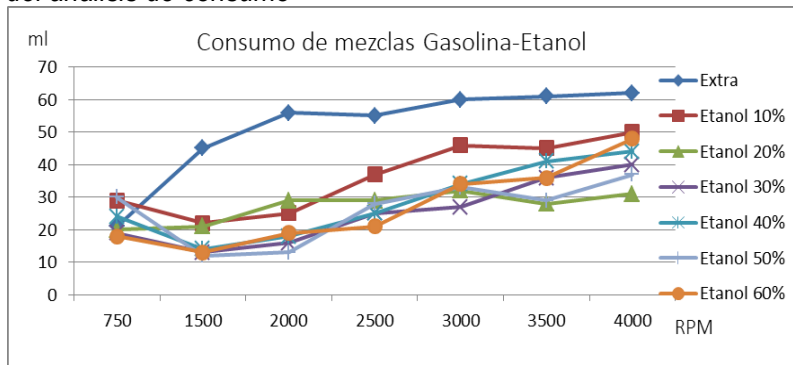
Los datos de gases de escape a 2500 rpm con mezclas de combustible muestran variaciones. El nivel de CO oscila entre 0,60% y 0,75%, mostrando una variación relativamente pequeña con las diferentes mezclas de etanol. El nivel de CO₂ se mantiene bastante estable, con valores que varían entre 13,3% y 13,9%. En cuanto a los HC, se observa una reducción significativa con la adición de etanol, especialmente con E20 (114 ppm), lo que indica una combustión más completa a mayores revoluciones. Sin embargo, los niveles de HC empiezan aumentar ligeramente con mezclas altas, pero se mantienen por debajo del valor de la gasolina Extra (206 ppm), alcanzando 179 ppm con E40 siendo la más alta de todas. Finalmente, el nivel de O₂ muestra una variación considerable, con una disminución general con el aumento de etanol, pero con fluctuaciones, lo que indica que la mezcla aire-combustible se ve afectada por el etanol de manera variable.

A 2500 [rpm], el uso de etanol en las mezclas de combustible muestra una reducción de emisiones contaminantes, principalmente en los HC. La notable disminución de HC sugiere que el etanol facilita una combustión más eficiente a mayores revoluciones, posiblemente debido a una mejor mezcla aire-combustible y a la mayor temperatura en la cámara de combustión. Aunque el CO presenta variaciones menores, indicando un efecto menos pronunciado del etanol a esta velocidad, los niveles de HC disminuyen significativamente, acercándose a los rangos permitidos. Este comportamiento sugiere que, en vehículos con desgaste, el etanol puede ofrecer beneficios en la reducción de HC a revoluciones más altas.

En la figura 4 hace referencia a las distintas variaciones que se obtuvo en el consumo en relación con las diferentes mezclas que se realizó con el etanol a las distintas proporciones en la camioneta.

Figura 4

Resultados del análisis de consumo



Nota. Autores, (2025)

La gráfica anterior representa el consumo de mezclas de gasolina-etanol a diferentes porcentajes de etanol (10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60%) y para la gasolina pura (Extra) a diferentes regímenes de revoluciones por minuto (RPM) del motor. El eje horizontal muestra los valores de RPM desde 750 hasta 4000, mientras que el eje vertical indica el consumo de combustible en mililitros (ml). Las diferentes líneas del gráfico representan el consumo de cada mezcla de gasolina-etanol a lo largo de los diferentes regímenes de RPM. Se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de etanol en la mezcla, el consumo de combustible tiende a ser mayor, especialmente a altos regímenes de RPM.

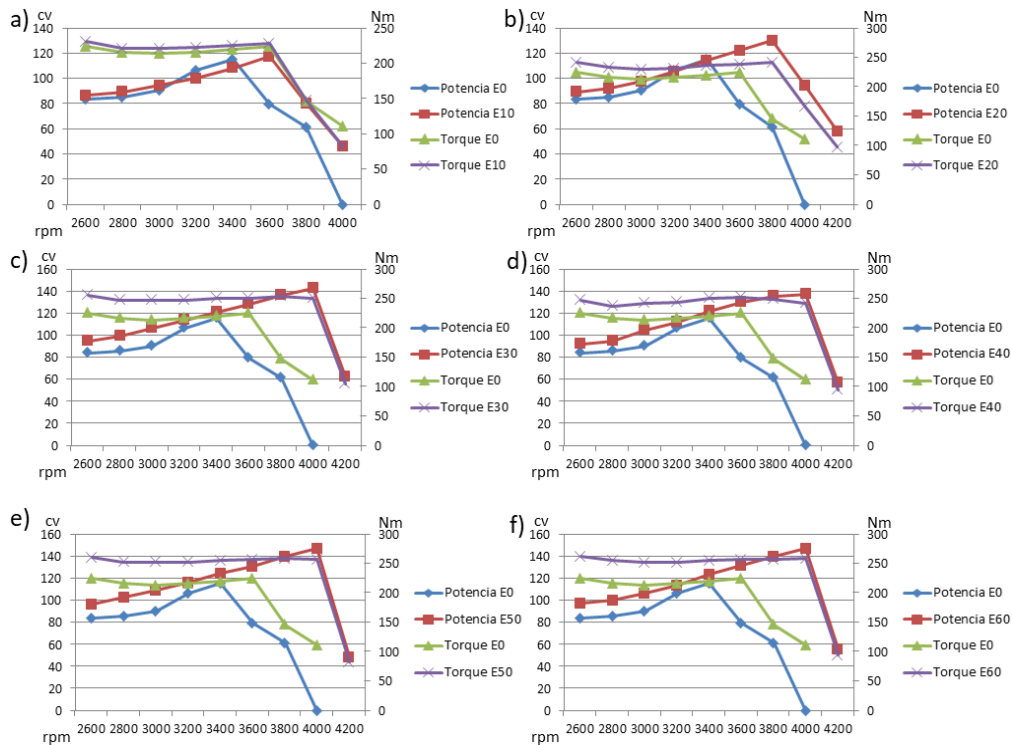
Las mezclas de etanol al 20%, 50% y 30% presentaron el menor consumo de combustible, destacándose desde los primeros registros con un rendimiento inferior al de las demás mezclas y manteniendo esta tendencia a lo largo de las mediciones. Estas combinaciones se caracterizan como las opciones más eficientes en cuanto a consumo.

Discusión

En la figura número 5, se muestra cómo la potencia [CV] y el torque [Nm] varían en función del tipo de combustible utilizado, desde gasolina Extra hasta mezclas con etanol (E10-E60).

Figura 5

Comparativa de potencia y torque máximo de cada mezcla.



Nota. Autores, (2025)

Este gráfico ilustra cómo varían la potencia (CV) y el torque (Nm) en función del tipo de combustible utilizado, desde gasolina Extra hasta mezclas con etanol (E10–E60). Se observa que, al aumentar el contenido de etanol en la mezcla, también incrementan la potencia y el torque. La potencia máxima se alcanza con las mezclas E50 y E60 a 4000 rpm, con 148 CV, lo que representa un incremento del 27,6% respecto a la potencia estándar obtenida con gasolina Extra.

Estos resultados son consistentes con los hallazgos reportados por Santos et al. (2025), quienes demostraron que la adición de etanol en mezclas superiores al 20% (E20 y más) mejora significativamente el desempeño del motor, aumentando tanto la potencia como la eficiencia térmica debido al mayor contenido de oxígeno del etanol. Sin embargo, mientras que en el presente estudio se observa un incremento máximo de 27,6% en potencia con E50–E60, Santos et al. reportan incrementos más moderados en condiciones de laboratorio controladas, lo que sugiere que

factores como la calibración del motor, la temperatura ambiente y las características del combustible pueden influir en la magnitud del aumento de potencia. Esta comparación evidencia que, aunque el etanol mejora el desempeño general, el efecto exacto depende de las condiciones específicas de operación del motor y de la mezcla de combustible utilizada.

Mientras que el torque muestra una tendencia creciente, alcanzando su valor más alto con E60 de 263,89 [Nm], lo que se traduce en un incremento del 16,9% de torque sobre el estándar del combustible Extra. En un estudio desarrollado por Mohammed et al. (2021) también observó mejoras en el torque con mezclas de etanol, aunque en menor medida, lo que refuerza la idea de que el efecto del etanol en el desempeño del motor puede variar según las condiciones específicas de operación

Se observa un incremento en la potencia a medida que aumenta el contenido de etanol en la mezcla de combustible.

- La gasolina Extra (87 octanos) produce 116 [cv] a 3600 RPM.
- La potencia aumenta progresivamente con el contenido de etanol, alcanzando 148 [cv] en E50 y E60 a 4000 [rpm].
- El mayor incremento ocurre entre E20 con 131 [cv] y E30 con 143 [cv], lo que sugiere que la mezcla E30 tiene un punto óptimo en la mejora del rendimiento del motor.
- Este comportamiento se debe a que el etanol tiene un mayor octanaje, lo que permite una mejor combustión y mayor eficiencia térmica, permitiendo aumentar la potencia sin riesgo de detonación. Unas investigaciones más recientes, como la de Rosdi et al. (2025), han evaluado el impacto de mezclas de etanol en el rendimiento del motor bajo diversas condiciones de velocidad del motor, proporcionando una visión más detallada de cómo las mezclas de etanol afectan el desempeño en diferentes escenarios operativos. En conjunto, estos estudios indican que el uso de mezclas de etanol puede mejorar el desempeño del motor, pero la magnitud de la mejora depende de diversos factores, incluyendo las condiciones de operación del motor y las características del combustible utilizado.

El torque también aumenta con el contenido de etanol, pero la tendencia no es lineal.

- La gasolina Extra produce 225.63 Nm, mientras que el E60 alcanza 263.89 [Nm]
- El mayor incremento ocurre entre E20 (243.29 [Nm]) y E30 256.04 [Nm].
- Sin embargo, entre E30 y E40, el torque disminuye levemente (256.04 a 253.10 [Nm]), lo que sugiere que en esta zona la ganancia en torque no es tan constante.
- A pesar de la mejora general en torque, este parámetro tiende a estabilizarse a partir de E40.

La presencia de etanol permite un mayor octanaje, lo que se traduce en mayor potencia disponible. Un mayor torque a las mismas RPM implica mejor capacidad de respuesta y fuerza en el motor, útil para cargas pesadas o aceleración.

Basado en las figuras 5, E30 parece ser el mejor punto de equilibrio entre potencia y torque, ya que maximiza ambas variables antes de que el torque comience a estabilizarse.

El uso de etanol en la mezcla de combustible mejora tanto la potencia como el torque del motor, siendo la mezcla E30 la que muestra un balance óptimo entre ambos parámetros. No obstante, en mezclas superiores a E40, el incremento en torque tiende a disminuir, lo que indica que un mayor contenido de etanol no siempre se traduce en un mejor desempeño del motor. Esto se debe, en parte, a que el etanol posee un menor contenido energético que la gasolina, lo que puede aumentar el consumo específico de combustible sin generar mejoras proporcionales en el rendimiento. En apoyo a esta observación, García Mariaca et al. (2025) encontraron que, aunque las mezclas E20 y E40 presentaron un desempeño destacado a 2700 rpm, la mezcla E40 mostró una disminución del rendimiento a 4300 rpm, evidenciando que el beneficio del etanol tiene un límite operativo y que su efecto depende de las condiciones de velocidad y carga del motor.

Comparación de CO

El uso de etanol en la mezcla de combustible mejora la combustión, reduciendo las emisiones de CO. Sin embargo, en mezclas superiores a E50, se observa un ligero aumento en las emisiones de CO, lo que sugiere una posible mezcla pobre. Este fenómeno puede atribuirse a la menor densidad energética del etanol, que requiere un mayor volumen de combustible para mantener la potencia, y a la calibración del motor, que puede no estar optimizada para altas concentraciones de etanol. Un estudio reciente de Gajewski et al. (2025) menciona que las mezclas E30 redujeron significativamente las emisiones de CO y HC, las mezclas con mayor contenido de etanol mostraron un aumento en las emisiones de CO, especialmente a bajas velocidades del motor, indicando la necesidad de ajustes en la calibración del motor para maximizar los beneficios ambientales

Comparación de CO₂

La diferencia en el comportamiento del CO entre ralentí y 2500 rpm es notable. En ralentí, el etanol tiende a aumentar ligeramente las emisiones de CO, especialmente con E10, lo que sugiere una combustión menos eficiente a bajas revoluciones. En cambio, a 2500 rpm, las variaciones en el CO son menores, indicando que la combustión es más estable y menos afectada por el etanol, probablemente debido a una mejor mezcla aire-combustible y a una combustión más completa a estas velocidades. Estos resultados coinciden con Gajewski et al. (2025), quienes observaron que las mezclas de etanol reducen las emisiones de CO y HC a velocidades medias y altas del motor, mientras que a bajas revoluciones los beneficios son menores si no se ajusta la calibración del motor.

Comparación de HC

El uso de etanol en la mezcla de combustible mejora la combustión, reduciendo las emisiones de hidrocarburos (HC). Sin embargo, en ralentí, las emisiones de HC son más altas debido a la menor turbulencia y temperatura en la cámara de combustión. Las mezclas E20 y E30 presentan los valores más bajos, indicando una combustión eficiente. A partir de E40, los niveles de HC se estabilizan o aumentan ligeramente, lo que sugiere una mezcla pobre. Este comportamiento puede atribuirse a la menor densidad energética del etanol, que requiere un mayor volumen de combustible para mantener la potencia, y a la calibración del motor, que puede no estar optimizada para altas concentraciones de etanol. Un estudio reciente de Gajewski et al. (2025) observó que, aunque las mezclas E30 redujeron significativamente las emisiones de HC a 2700 rpm, las mezclas con mayor contenido de etanol mostraron un aumento en las emisiones de HC a 4300 rpm, indicando la necesidad de ajustes en la calibración del motor para maximizar los beneficios ambientales.

Comparación de O₂

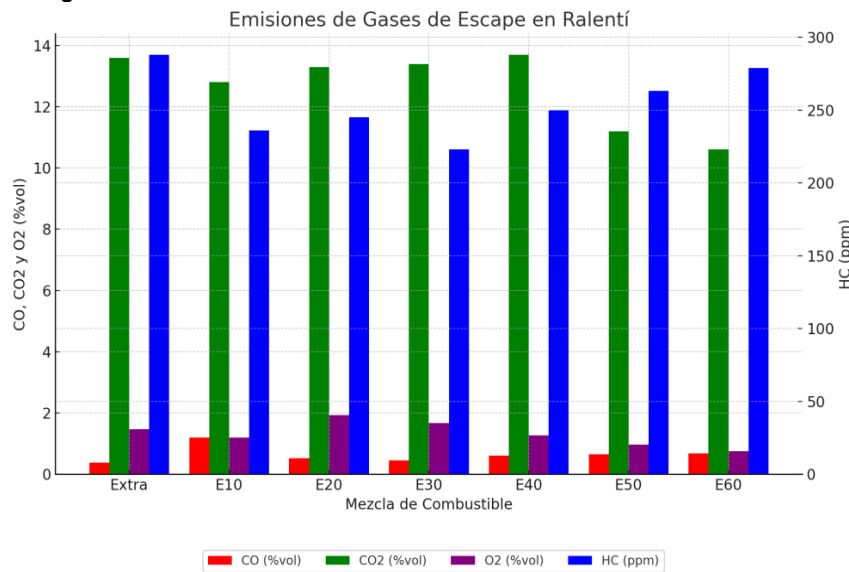
Los valores de O₂ aumentan con el etanol debido al oxígeno que aporta, siendo más altos a 2500 rpm por la mayor aspiración de aire. En mezclas altas de etanol (E50 y E60), el exceso de O₂ indica una mezcla pobre, mientras que E30 ofrece un equilibrio óptimo. La relación aire-combustible, la presión de inyección y el tiempo de encendido deben ajustarse para optimizar la combustión. Liu et al. (2023) reportan hallazgos similares, indicando que concentraciones moderadas de etanol mejoran la combustión y reducen emisiones, pero mezclas altas requieren ajustes en los parámetros del motor para mantener eficiencia y desempeño.

Los resultados muestran que el etanol tiene el potencial de reducir las emisiones y mejorar la combustión, especialmente a 2500 rpm, donde se observan menores emisiones de hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO).

Las mezclas entre E20 y E40 parecen ofrecer el mejor equilibrio entre reducción de contaminantes y eficiencia de combustión, mientras que mezclas con E50 o superiores pueden requerir ajustes en la relación aire-combustible para evitar efectos negativos en el desempeño del motor. Estos efectos se reflejan claramente en los gráficos de las figuras 6 y 7, que muestran el impacto de la proporción de etanol en la gasolina sobre las emisiones de HC, CO, CO₂ y O₂ en ralentí y a 2500 rpm, permitiendo visualizar cómo varía la eficiencia de combustión y el comportamiento ambiental del motor según la concentración de etanol.

Figura 6

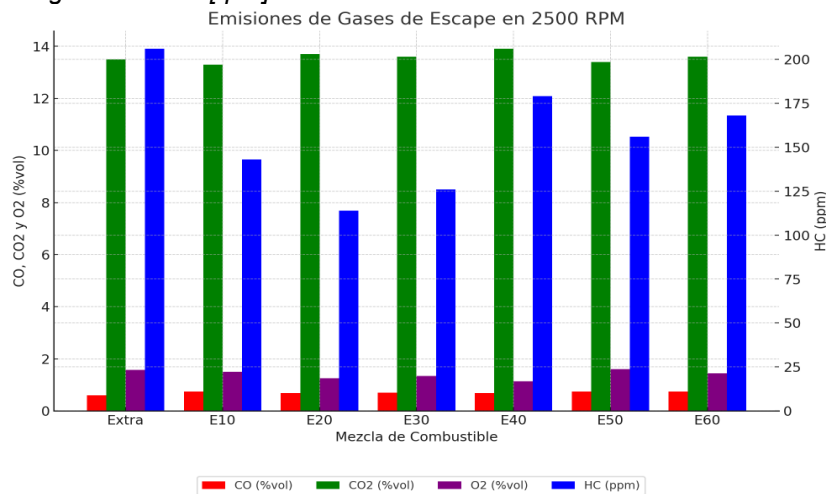
Emisiones de gases en ralentí



Nota. Autores, (2025)

Figura 7

Emisiones de gases a 2500[rpm]



Nota. Autores, (2025)

Como se puede evidenciar en la tabla 5, hace referencia a la variación del consumo que tuvo la camioneta en relación a las diferentes mezclas que se realizó con el etanol a las distintas proporciones.

Tabla 5

Datos obtenidos del consumo de combustible [ml] del régimen de funcionamiento del motor en [rpm] vs porcentajes de etanol.

rpm	Extra	E10	E20	E30	E40	E50	E60
750	21	29	20	19	24	30	18
1500	45	22	21	13	14	12	13
2000	56	25	29	16	18	13	19
2500	55	37	29	25	25	28	21
3000	60	46	32	27	34	33	34
3500	61	45	28	36	41	29	36
4000	62	50	31	40	44	37	48

Nota. Autores, (2025)

Los datos de la Tabla 5 muestran que el consumo de combustible varía según la mezcla de etanol y el régimen de rpm del motor, destacando que la mezcla E30 reduce el consumo en todos los regímenes. Esto se atribuye al aumento del octanaje proporcionado por el etanol, que permite una combustión más completa y estable, optimizando la relación aire-combustible y disminuyendo el ancho de pulso de inyección. A bajas rpm, como 750 y 1500, algunas mezclas presentan un aumento del consumo debido a la menor eficiencia de combustión y la necesidad de calibración específica.

Estos hallazgos coinciden con Ansari et al. (2025), quienes reportan que las mezclas de etanol mejoran la eficiencia térmica y reducen el consumo en motores de encendido por chispa, especialmente en concentraciones moderadas como E30. En general, las mezclas E20–E40 ofrecen un balance óptimo entre eficiencia y rendimiento del motor, mientras que concentraciones superiores pueden requerir ajustes en los parámetros de operación para evitar un aumento en el consumo

Conclusiones

Se evidenció que la mezcla E30 emerge como la óptima, maximizando tanto la potencia (143 CV a 4000 rpm) como el torque (256.04 Nm), representando un incremento significativo respecto a la gasolina Extra (116 CV y 225.63 Nm). Esta ofrece una mejora notable en el rendimiento del motor sin comprometer la eficiencia ni la estabilidad del torque.

Se observó una disminución de HC en las mezclas con menor concentración de etanol (114 ppm en E20), esto sugiere que el etanol facilita una combustión más eficiente a mayores revoluciones, posiblemente debido a una mejor mezcla aire-combustible y a la mayor temperatura en la cámara de combustión, un rango de uso de etanol-gasolina efectivo, la cual sería la mezcla E20.

El análisis de variación de consumo revela que las mejores mezclas son del 20%, 50% y 30% de etanol, que muestran un consumo relativamente bajo, destacándose desde los primeros registros con un rendimiento inferior al de las demás mezclas y manteniendo esta tendencia a lo largo de las mediciones. En la mezcla E20 hubo una disminución del consumo de combustible en todos los regímenes de funcionamiento, destacándose y siendo una de las mejores opciones.

Los resultados de esta investigación han demostrado que el uso de mezclas de etanol, aún con desgaste y pérdida de compresión, influye significativamente en el rendimiento del motor, el consumo de combustible y la eficiencia de la combustión. La mezcla E30 es la más viable en cuanto a las pruebas realizadas ya que tiene un equilibrio de torque y potencia adecuado, una reducción de gases notable y un consumo de combustible no tan elevado.

Recomendaciones

En la investigación de torque y potencia, las pruebas deben realizarse en un vehículo sin desgaste significativo, ya que los residuos de carbonilla y hollín acumulados en los pistones pueden sellar fugas de compresión. Las mezclas con etanol, al limpiar estos residuos, pueden provocar pérdidas de torque y potencia por la reducción de estanqueidad. Es importante considerar este efecto para evitar interpretaciones erróneas en los análisis.

Antes de medir los gases emitidos por mezclas de combustible, es esencial dejar operar el sistema un tiempo superior que en nuestra investigación. Esto permite que el etanol, que actúa como limpiador, expulse residuos acumulados en el escape, evitando mediciones alteradas o inconsistentes. Este procedimiento garantiza mayor precisión en los resultados.

Es recomendable que los equipos utilizados (dinamómetro automotriz, analizador de gases), sean de centros que estén alineados con las normativas y estándares técnicos establecidos por las autoridades competentes, cumpliendo con las especificaciones vigentes en el país. Esto no solo asegura la precisión de los datos generados y minimizando posibles riesgos y garantizando la seguridad y el rendimiento óptimo de los vehículos.

Referencias

- Ansari, F., et al. (2025). Performance and emission characteristics of ethanol-gasoline blends in spark-ignition engines. *Fuel*, 377, 128142. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.128142>
- Brain Bee S.p.A. (s.f.). AGS-688: Analizador de gases de escape para motores de encendido por chispa. Recuperado de <https://hanindogroup.com/our-products-automotive/gas-analyzer/item/83-ags-688>
- Escuela Politécnica Nacional. (2016). *Estudio sobre la implementación de combustibles alternativos en el transporte urbano en Ecuador* (Tesis de grado). <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17381/1/CD-7881.pdf>
- Espinoza Molina, F. E. (2016). Estudio del comportamiento de un motor ciclo Otto de inyección electrónica respecto al grado de concentración del etanol en la gasolina. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16487>
- FABREEKA. (31 de 10 de 2022). Obtenido de <https://blog.fabreeka.com/what-is-dyno-testing>
- García Mariaca, A., Villalba, J., Morillo Castaño, R., & Bailera, M. (2025). Performance and emissions of spark-ignition internal combustion engine operating with bioethanol–gasoline blends at high altitudes under low- and high-speed conditions. *Energies*, 18(6), 1401. <https://doi.org/10.3390/en18061401>
- Gajewski, M., et al. (2025). Effects of Ethanol–Gasoline Blends on the Performance and Emissions of Spark-Ignition Engines. *Energies*, 18(13), 3466. <https://doi.org/10.3390/en18133466>
- Hernández Vidal, J. M. (2023). Análisis de emisiones producidas por el uso de mezclas etanol-gasolina en vehículos del área metropolitana de Monterrey. *Tecnológico de Monterrey*. Recuperado de <https://repositorio.tec.mx/items/a1e571d3-4107-43a4-bf22-f8a099d59aa6>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2017). NTE INEN 2204:2017 - Emisiones gaseosas de vehículos automotores. Recuperado de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2204-2.pdf
- Iriarte. (22 de 03 de 2023). Obtenido de <https://www.karvi.com.ar/blog/cuales-la-diferencia-entre-el-torque-y-la-potencia-del-motor/>
- Liu, S., Lin, Z., Zhang, H., Fan, Q., Lei, N., & Wang, Z. (2023). *Experimental study on combustion and emission characteristics of ethanol-gasoline blends in a high compression ratio SI engine*. *Energy*, 274, 127398. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127398>

- Machado, J. (2023, April 21). El aire de Quito está contaminado 239 días al año, según estudio. Primicias. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/contaminacion-aire-quito-gasolina-oms/>
- Mohammed, M. K., Balla, H. H., Al-Dulaimi, Z. M. H., Kareem, Z. S., & Al-Zuhairy, M. S. (2021). Effect of ethanol-gasoline blends on SI engine performance and emissions. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25, 100891. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100891>
- Payri, M. M.-F. (2011). Motores de combustión interna alternativos. En P. F. Payri, Motores de combustión interna alternativos (págs. 21-22). <file:///C:/Users/equipo/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/7YDTL88C/Motores-de-Combustion-Interna-Alternativos-Payri.pdf>.
- Perishable. (s. f.). Analizador de gases BrainBee AGS688 básico. Copyright WordPress - All Rights Reserved. Obtenido de: <https://cartoolsperu.com/producto/ags688-basico/>
- Rivera, A. (3 de 09 de 2007). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/837/83711303.pdf
- Rosdi, S. M., Bakar, R. A., & Yusoff, M. Z. (2025). Evaluation of engine performance and emissions using ethanol-gasoline blends under varying engine speeds. *Journal of Cleaner Production*, 300, 126987. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126987>
- Santos, J., Pérez, L., & Gómez, R. (2025). Estado del arte sobre la influencia de mezclas etanol-gasolina en el desempeño de motores de combustión interna. ResearchGate. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/373232735_ESTADO_DEL_ARTE_SOBRE_LA_INFLUENCIA_DE_MEZCLAS_ETANOL-GASOLINA_EN_EL_DESEMPEÑO_DE_MOTORES_DE_COMBUSTION_INTERNA
- Universidad Politécnica Salesiana. (2017). *Análisis del impacto ambiental de la gasolina Ecopaís en la ciudad de Guayaquil* (Tesis de maestría). <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15324/1/UPS-CT007539.pdf>
- Velázquez Fernández, B. I. (2021). Evaluación del impacto de diferentes mezclas de etanol en el rendimiento y emisiones de vehículos ligeros. Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de <https://www.repositorio.usac.edu.gt/15468/1/Boris%20Ivan%20Vel%C3%A1zquez%20Fern%C3%A1ndez.pdf>