



**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero
Automotriz**

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autor: Anthony Emanuele Fornell Bajaña

Tutor: Ing. Fernando Gómez Berrezueta

Título del Proyecto:

**Evaluación de las Emisiones Contaminantes de un Motor de
Combustión Interna en Guayaquil-Ecuador según la Variación
del Porcentaje de Etanol en la Mezcla de Combustible**

Guayaquil-Ecuador |2025

Certificado de Autoría

Yo, Anthony Emanuele Fornell Bajaña, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Anthony Emanuele Fornell Bajaña

CI: 094143020-9

Aprobación del Tutor

Yo, Fernando Gómez Berrezueta certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

C.I.: 0103441846

Director de Proyecto

Dedicatoria

Dedico este trabajo con profunda gratitud y cariño, a mi familia, por ser mi pilar incondicional y brindarme su apoyo en cada etapa de este camino.

A mis amigos, por su compañía, ayuda y enseñanza a lo largo de la carrera.

A mis docentes, por compartir su conocimiento y guiarme con paciencia y compromiso.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, contribuyeron con su apoyo, consejo o ejemplo a la realización de este proyecto.

Anthony Fornell

Agradecimiento

A mi madre, quien ha sido mi mayor inspiración y fortaleza. Sin su amor, sacrificio y apoyo incondicional, nada de esto habría sido posible. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mi familia, por motivarme a continuar con perseverancia y por estar siempre presentes con su respaldo y palabras de aliento a lo largo de esta carrera.

A la Universidad Internacional del Ecuador y a la carrera de Ingeniería Automotriz, por brindarme los conocimientos, herramientas y espacios que hicieron posible mi formación profesional.

Al Ing. Fernando Gómez Berrezueta, mi tutor, por su guía, dedicación y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo de titulación.

Y a mis amigos, por su apoyo constante, por compartir conmigo este camino y por estar ahí cuando más los necesité. Su ayuda ha sido fundamental en este proceso.

Anthony Fornell

Índice General

Certificado de Autoría.....	iii
Aprobación del Tutor.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tablas.....	xi
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
Capítulo I.....	1
Antecedentes.....	1
1.1. Tema de Investigación.....	1
1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema.....	1
1.3. Objetivos de la Investigación.....	3
<i>1.3.1 Objetivo General</i>	3
<i>1.3.2 Objetivos Específicos</i>	3
1.4. Justificación y Delimitación de la Investigación.....	4
<i>1.4.1 Justificación Teórica</i>	4
<i>1.4.2 Justificación Metodológica</i>	4
<i>1.4.3 Justificación Práctica</i>	4
<i>1.4.4 Delimitación Temporal</i>	5
<i>1.4.5 Delimitación Geográfica</i>	5
<i>1.4.6 Delimitación del Contenido</i>	5

Capítulo II	7
Marco Referencial.....	7
2.1 Marco Teórico.....	7
2.1.1 <i>Conceptos Preliminares</i>	7
2.1.2 <i>Importancia del Etanol en el Sector Automotriz</i>	8
2.1.3 <i>Impacto Ambiental y Normativo</i>	9
2.1.4 <i>Desafíos Técnicos y Experimentales</i>	10
2.1.5 <i>Factores en el que Influye el Etanol en las Emisiones</i>	10
2.1.6 <i>Antecedentes sobre el Uso de Etanol en Motores Flex Fuel</i>	11
2.1.7 <i>Uso del Etanol en Combustible Ecuatoriano</i>	12
2.2. Marco Conceptual.....	13
2.2.1 <i>Sistema Flex Fuel</i>	13
2.2.2 <i>Etanol</i>	15
2.2.3 <i>Emisiones de Gases Contaminantes</i>	16
2.2.4 <i>Combustibles Alternativos</i>	17
2.2.5 <i>Especificaciones del Etanol Anhidro</i>	20
2.2.6 <i>Datos del Etanol Anhidro</i>	21
2.2.7 <i>Legislación y Normas</i>	23
Capítulo III.....	24
Metodología de Comprobación de Emisiones	24
3.1 Enfoque y Tipo de Investigación	24
3.2 Variables del Estudio	25
3.3 Población y Muestra	25

3.3.1 Equipos Utilizados.....	25
3.4 Descripción del Vehículo en Estudio.....	27
3.5 Condiciones de la Prueba.....	28
3.6 Procedimiento Experimental.....	28
3.7 Datos Obtenidos.....	33
Capítulo IV.....	34
Análisis de Resultados de Gases Contaminantes.....	34
4.1 Interpretación de Resultados.....	34
4.1.1 Emisiones de Monóxido de Carbono (CO)	34
4.1.2 Emisiones de Dióxido de Carbono (CO ₂).....	34
4.1.3 Emisiones de Hidrocarburos no Quemados (HC).....	35
4.2 Análisis Estadístico.....	36
4.2.1 Resultados del ANOVA.....	36
4.3 Implicaciones Ambientales.....	36
4.4 Limitaciones del Estudio	37
Conclusiones	38
Recomendaciones	39
Bibliografía	40

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Emisiones de CO₂ por Sector</i>	2
Figura 2 <i>Proceso de Producción de Etanol</i>	3
Figura 3 <i>Comparación de Emisiones de CO₂ en Vehículos Híbridos</i>	9
Figura 4 <i>Implementación del Etanol en Estaciones de Servicio</i>	12
Figura 5 <i>Sensor Flex Fuel Haltech</i>	15
Figura 6 <i>Producción del Etanol con la Caña de Azúcar</i>	16
Figura 7 <i>Tipos de Combustibles Alternativos</i>	18
Figura 8 <i>Ciclo del Uso del Etanol</i>	19
Figura 9 <i>Datos del Etanol Anhidro</i>	20
Figura 10 <i>Emblema Flex Fuel</i>	25
Figura 11 <i>Analizador de Gases</i>	26
Figura 12 <i>Software de Diagnóstico</i>	26
Figura 13 <i>Equipos Utilizados</i>	27
Figura 14 <i>Toma de Mediciones con las Mezclas</i>	29
Figura 15 <i>Etanol Anhidro con Recipiente de Seguridad</i>	30
Figura 16 <i>Opción del Software</i>	31
Figura 17 <i>Datos en Vivo después de Borrar las Adaptaciones</i>	31
Figura 18 <i>Fin de la Medición de Etanol</i>	32
Figura 19 <i>Gráfico de Diferencias de CO</i>	34
Figura 20 <i>Gráfico de Diferencias de CO₂</i>	35
Figura 21 <i>Gráfico de Diferencias de HC</i>	35

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Resultados de Emisiones</i>	33
Tabla 2 <i>Resultados ANOVA</i>	36

Resumen

El presente trabajo evalúa la influencia de uso del etanol como combustible alternativo en las emisiones de gases contaminantes generadas por motores de combustión interna tipo Flex Fuel. Para ello, se diseñó y ejecutó una serie de pruebas controladas utilizando un vehículo Ford Explorer 2014, equipado con el motor Duratec 35, compatible con mezclas variables de gasolina y etanol. Se prepararon mezclas con diferentes proporciones de etanol (E10 y E85) a partir de la gasolina súper y etanol anhidro, empleando métodos de medición para garantizar una correcta composición final. Durante las pruebas, se mantuvieron constantes las condiciones experimentales y se realizó un seguimiento estricto de la calidad de los combustibles y del estado mecánico del vehículo. Se cuantificaron las emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos no quemados para cada tipo de mezcla, utilizando las herramientas correctas y procedimientos estandarizados. El análisis estadístico mediante ANOVA reveló que las diferencias observadas son estadísticamente significativas y se atribuyen a la variación en la proporción del etanol. Los resultados muestran que el uso del etanol en las mezclas reduce de manera notable las emisiones de CO y de HC mientras que el CO₂ presenta un ligero aumento, coherente con una combustión más eficiente. Estos hallazgos evidencian el potencial de etanol como biocombustible para la mitigación de contaminantes atmosféricos y la transición hacia una movilidad más sostenible en el contexto ecuatoriano.

Palabras Clave: combustible alternativo, Flex Fuel, emisiones contaminantes, etanol anhidro, biocombustible, E10 y E85.

Abstract

This study evaluates the influence of using ethanol as an alternative fuel on pollutant gas emissions generated by Flex Fuel internal combustion engines. To this end, a series of controlled tests was designed and conducted using a 2014 Ford Explorer vehicle equipped with a Duratec 35 engine, which is compatible with variable gasoline-ethanol blends. Mixtures with different ethanol proportions (E10 and E85) were prepared using premium gasoline and anhydrous ethanol, employing measurement methods to ensure proper final composition. During the tests, experimental conditions were kept constant, and strict monitoring of fuel quality and the mechanical condition of the vehicle was conducted. Emissions of carbon monoxide, carbon dioxide, and unburned hydrocarbons were quantified for each type of blend, using the appropriate tools and standardized procedures. Statistical analysis using ANOVA revealed that the observed differences are statistically significant and are attributed to variations in the ethanol proportion. The results show that the use of ethanol in the blends notably reduces CO and HC emissions, while CO₂ shows a slight increase, consistent with more efficient combustion. These findings highlight the potential of ethanol as a biofuel for mitigating atmospheric pollutants and contributing to the transition toward more sustainable mobility in the Ecuadorian context.

Keywords: Alternative fuel, Flex Fuel, pollutant emissions, anhydrous ethanol, biofuel, E10 and E85.

Capítulo I

Antecedentes

1.1. Tema de Investigación

Evaluación de las emisiones contaminantes de un motor de combustión interna en Guayaquil-Ecuador según la variación del porcentaje de Etanol en la mezcla de combustible.

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

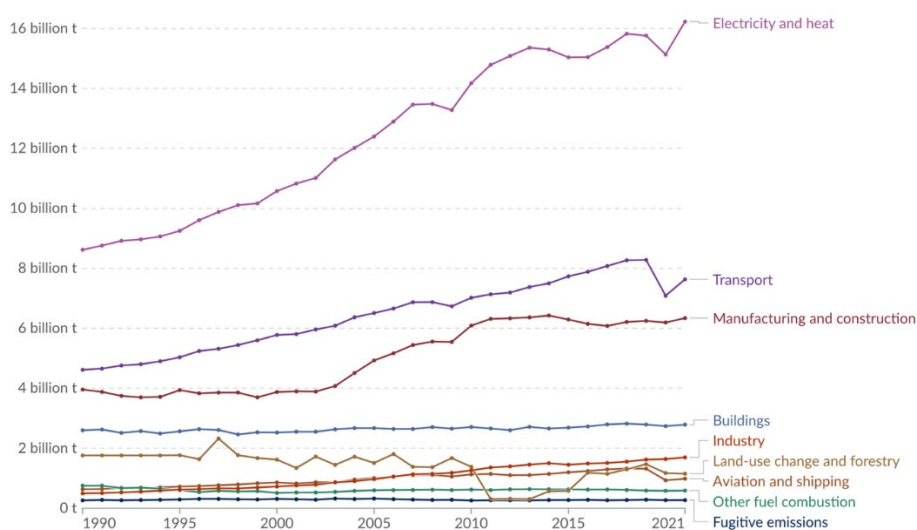
En la actualidad, la calidad el aire en zonas urbanas se ha visto mayormente afectada por las emisiones que provienen de los motores de combustión interna o MCI, lo que ha motivado el desarrollo e implementación de alternativas más limpias en los combustibles utilizados. El uso de diferentes fuentes de energía o combustibles alternativos y renovables es necesario, porque además del daño que los combustibles fósiles causan al medio ambiente, los depósitos de estos recursos se están viendo disminuidos por su extracción continua e indiscriminada (Estrella-Guayasamín, Vivar Quiroz, Delgado Quinto, & Gomez Berrezueta, 2025). Una de estas alternativas es el etanol que se presenta como un combustible renovable y que es capaz de reducir ciertos contaminantes atmosféricos cuando se llega a mezclar en diferentes proporciones con la gasolina tradicional (US DEPARTMENT OF ENERGY). Por ejemplo, la unión europea está introduciendo nuevos objetivos de emisiones de CO₂ que tiene como objetivo disminuir lo que son las emisiones nocivas para el medio ambiente (Boza & Zambrano, 2025).

No obstante, el impacto real de la variación del porcentaje de etanol en las emisiones contaminantes no ha sido completamente esclarecido, especialmente bajo las condiciones propias de operación de vehículos en países en vías de desarrollo. Factores como la composición química en los combustibles, la tecnología de los motores y los patrones de uso pueden modificar de manera significativa la generación de los gases como el monóxido de carbono, el dióxido de carbono como también los hidrocarburos no quemados (FLORES,

FABELA, BLAKE, VÁZQUEZ, & HERNÁNDEZ, 2014). Así como se puede apreciar en la figura 1 desde los años 1990 hay un incremento de emisiones de CO₂ en el transporte por factores como, el aumento de la población y del sector automotriz. Permiten que se implementen nuevos métodos para disminuir esta problemática.

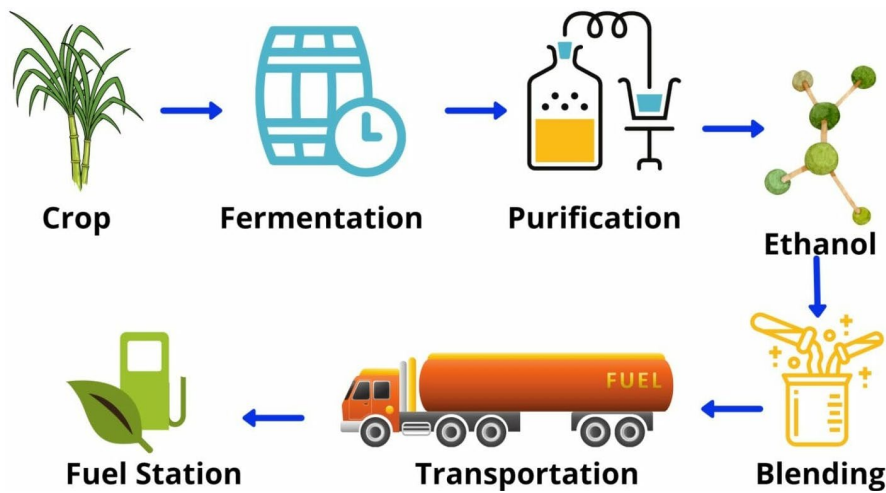
Figura 1

Emisiones de CO₂ por Sector



Tomado de: <https://ourworldindata.org/grapher/co-emissions-by-sector>

La falta de estudios experimentales locales y la necesidad de establecer lineamientos que orienten la adopción de mezclas más eficientes desde un punto de vista ambiental plantea un desafío tanto para las autoridades locales como la industria automotriz. Determinar la proporción óptima de etanol en la mezcla de combustible podría contribuir no solo a la reducción de emisiones, sino también a la formulación de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad, por ejemplo, en Estados Unidos la mayoría de los combustibles comercializados en ese país contienen la mezcla E10 que 10% es etanol, y en ciertos combustibles puede llegar hasta E15 para reducir las emisiones. A parte de eso también existe la comercialización de E85 para vehículos equipados con sistema Flex Fuel (US Energy Information Administration, 2024).

Figura 2*Proceso de Producción de Etanol*

Tomado de: <https://www.motoroids.com/wp-content/uploads/2021/06/Ethanol-Blending.jpg>

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1 *Objetivo General*

Evaluar el impacto de la variación del porcentaje de etanol en la mezcla de combustible sobre las emisiones contaminantes de un motor de combustión interna en Guayaquil-Ecuador.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Identificar la influencia en la emisión de gases contaminantes del uso del etanol como combustible alternativo en los motores de combustión interna.
- Cuantificar las emisiones contaminantes (CO, CO₂ y HC) generadas por el motor operando con diferentes proporciones de etanol (E10 y E85) en la mezcla de combustible.
- Analizar estadísticamente los datos compilados en función de las correlaciones entre el uso de las diferentes mezclas de etanol utilizadas en las pruebas.

1.4. Justificación y Delimitación de la Investigación

1.4.1 Justificación Teórica

La reducción de emisiones contaminantes y la búsqueda de combustibles alternativos más sostenibles son problemas ampliamente discutidos en la literatura científica actual, especialmente en el contexto de los efectos de cambio climático y la degradación de la calidad del aire. El uso de biocombustibles, como el etanol, ha sido propuesto como una solución viable debido a sus propiedades renovables y su capacidad para reducir emisiones de GEI, en particular el CO₂. Teóricamente, el etanol tiene un mayor contenido de oxígeno que los combustibles fósiles, lo que favorece una combustión más completa, reduciendo la cantidad de contaminantes emitidos.

1.4.2 Justificación Metodológica

Desde una perspectiva metodológica, este estudio se justifica por la necesidad de aplicar técnicas rigurosas y estandarizadas en la evaluación del impacto del etanol sobre las emisiones y el rendimiento de los motores. A través de experimentos controlados y simulaciones en diferentes tipos de motores y bajo distintas condiciones de operación, se podrán obtener datos comparativos sobre las posibles ventajas y desventajas del etanol. La combinación de enfoques experimentales con análisis cuantitativos permite generar resultados fiables y replicables, contribuyendo así al desarrollo de metodologías robustas para la evaluación de biocombustibles.

1.4.3 Justificación Práctica

El uso de etanol en motores de combustión interna tiene el potencial de ser una solución práctica inmediata en la transición hacia un transporte más limpio. Países con una fuerte producción de biomasa, como Brasil y Estados Unidos, ya han implementado el etanol como aditivo o sustituto parcial de la gasolina.

Sin embargo, para que su adopción sea generalizada a nivel global, es necesario comprender de manera precisa cómo las diferentes proporciones de etanol afectan tanto las emisiones como el rendimiento del motor bajo condiciones reales de uso. Esta investigación permitirá a ingenieros, reguladores y fabricantes de vehículos tomar decisiones informadas sobre la viabilidad del etanol, además de guiar políticas públicas en torno a la regulación de biocombustibles y el control de emisiones.

1.4.4 Delimitación Temporal

La delimitación temporal de esta investigación abarca un periodo específico de mayo a septiembre 2025, durante el cual se lleva a cabo el análisis y la evaluación del impacto del etanol en la reducción de emisiones contaminantes de MCI.

1.4.5 Delimitación Geográfica

La investigación se lleva a cabo en un entorno controlado, utilizando instalaciones especializadas de ingeniería automotriz.

1.4.6 Delimitación del Contenido

La delimitación de contenido para este proyecto experimental abarca los siguientes aspectos:

- Rango de mezclas; el estudio va a estar enfocado en evaluar tres proporciones específicas de etanol en la mezcla de combustible: E10 (10% etanol, 90% gasolina), E85 (85% etanol, 15% gasolina) y como referencia E0 que no tiene etanol presente.
- Tipo de motor; las pruebas se realizan solo en motor de combustión interna de encendido por chispa es decir a gasolina perteneciente a vehículos livianos.
- Condiciones Experimentales; las emisiones serán medidas bajo condiciones controladas en un banco dinamométrico, utilizando regímenes de operación estandarizados para asegurar la repetibilidad de los resultados.

- Variables de análisis; se cuantifican las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), Monóxido de carbono (CO) e Hidrocarburos no quemados (HC) para cada mezcla de combustible.
- Ubicación; todos los experimentos se llevan a cabo en el laboratorio de la Universidad Internacional del Ecuador ubicado en Guayaquil, Ecuador.
- Limitaciones; no se considera el desempeño ni desgaste a largo plazo del motor, ni el consumo de combustible por usar otro tipo de mezcla.

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

Los combustibles alternativos, como las mezclas de gasolina con etanol cada vez están ganando más relevancia en el sector automotriz, ya que existe una presión al nivel mundial para reducir las emisiones contaminantes y que exista una dependencia total de los combustibles fósiles que son recursos energéticos no renovables.

En los últimos años ha habido una implementación de vehículos Flex Fuel al mercado y junto con diferentes políticas gubernamentales se ha podido implementar el etanol que proviene de recursos renovables para disminuir el impacto ambiental que genera el parque automotor.

Diversos países han podido implementar diferentes normativas que permiten incentivar el uso del etanol en diferentes proporciones, entre E10 que significa 10% etanol y 90% combustible, E20 que son las proporciones más comunes utilizadas al nivel mundial hasta el E85, que ya requiere de vehículos con sistemas de Flex Fuel para que no tenga problemas el vehículo.

La implementación de estas mezclas en el mercado permite disminuir la huella de carbono como también promover el desarrollo agrícola. No obstante, el efecto real de la implementación del etanol en las emisiones contaminantes como lo que es Hidrocarburos no combustionados (HC), dióxido de carbono (CO_2) y monóxido de carbono (CO), depende de diferentes factores entre los que se destacan la variación de la proporción utilizada, las condiciones de operación y las características del motor.

2.1.1 Conceptos Preliminares

El etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) es un alcohol que se produce a partir de la fermentación de la biomasa vegetal, como el maíz o la caña de azúcar. Su uso como combustible o aditivo en la

gasolina se debe a su alto índice de octanaje y la capacidad de reducir ciertas emisiones contaminantes cuando se mezcla en porcentajes adecuados.

Las mezclas de gasolina con etanol se clasifican según su porcentaje de etanol presente:

- E10 que contiene 10% etanol.
- E20 contiene 20% etanol.
- E85 que contiene 85% de etanol.

Los motores con sistema Flex Fuel están diseñados para que pueda operar con cualquiera de estas mezclas, adaptando diferentes parámetros como retardo o avance de chispa y variar los tiempos de apertura y cierre de las válvulas, depende de la proporción que detecte el sensor de combustible y con eso trabajan los diferentes parámetros en el motor.

2.1.2 Importancia del Etanol en el Sector Automotriz

La introducción del etanol como un componente en los combustibles automotrices representa un avance significativo en la búsqueda de alternativas energéticas menos contaminantes y más sostenibles.

Uno de los factores que resalta la importancia del etanol es su versatilidad ya que, puede emplearse como un aditivo en pequeñas proporciones para mejorar el octanaje de la gasolina como en mezclas de mayor concentración en vehículos diseñados para operar con altos contenidos de etanol, conocidos como Flex Fuel (US DEPARTMENT OF ENERGY). Esta flexibilidad ha permitido que el etanol se adapte a diferentes contextos tecnológicos y económicos facilitando su adopción al nivel mundial.

A nivel técnico, el etanol también contiene una alta capacidad antidetonante, lo que significa que puede evitar la predetonación que ocurre en motores de alta relación de compresión y utiliza combustibles de menor octanaje al requerido por el fabricante. Al usar este aditivo, permite que el motor pueda tener un funcionamiento más eficiente y prolongar su vida útil (Illinois Corn Marketing Board, 2018). Esto es especialmente en motores modernos

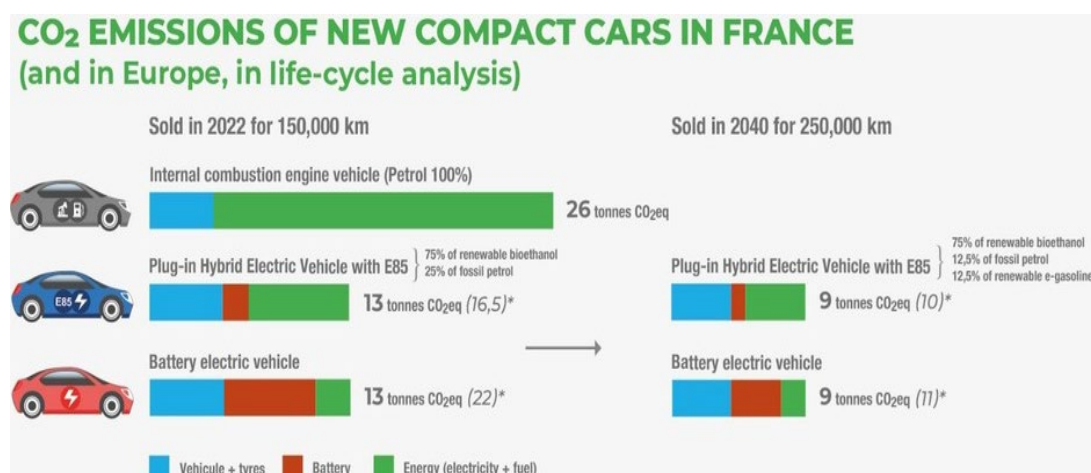
que su relación de compresión es mayor debido a la implementación de la inducción forzada o sobrealimentación a los vehículos.

Además, se mezcla fácilmente con el combustible tradicional por lo que no requiere de procesos complejos para que incorpore en el combustible.

El etanol también se utiliza bastante en mezclas de alta proporción para uso competitivo o de alto rendimiento, ya que contiene un alto octanaje comparado con los combustibles tradicionales, lo cual permite exigir más al motor ya sea con inducción forzada, incrementando la presión o un vehículo naturalmente aspirado, aumentando el avance de la chispa (Minnesota Bio-Fuels Association).

Figura 3

Comparación de Emisiones de CO₂ en Vehículos Híbridos



Tomado de: <https://ethanolproducer.com/articles/epure-new-research-confirms-ethanol-reduces-car-emissions-19571>

2.1.3 Impacto Ambiental y Normativo

El uso de etanol reduce de manera significativa las emisiones de HC y de CO, especialmente en mezclas de menor proporción como las E10 o las E20, pero puede incrementar ligeramente el consumo de combustible y las emisiones de aldehídos (Wei-Dong Hsieh, 2002).

2.1.4 Desafíos Técnicos y Experimentales

Uno de los principales retos en la adopción del etanol en la compatibilidad de los materiales del sistema de combustible como la bomba, las líneas o los inyectores, y la variabilidad en las emisiones bajo diferentes condiciones de manejo.

También para poder medir el porcentaje y el efecto en los diferentes contaminantes requiere de una implementación de metodologías experimentales de mayor rigurosidad, que requiere del uso de sensores automotrices como también de equipos de laboratorio que mide las emisiones.

2.1.5 Factores en el que Influye el Etanol en las Emisiones

Oxigenación de la mezcla: El etanol es una molécula oxigenada. Al mezclarse con la gasolina, aporta oxígeno adicional a la combustión, lo que favorece la oxidación completa de los hidrocarburos y reduce las emisiones de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos no quemados (HC).

Temperatura y eficiencia de combustión: El etanol posee un mayor calor de vaporización y un mayor índice de octano que la gasolina, lo que contribuye a una combustión más eficiente y a una menor temperatura en la cámara de combustión, ayudando a disminuir las emisiones de NO_x.

Relación aire-combustible; la proporción estequiométrica de etanol (alrededor de 9:1) es diferente a la de la gasolina (14.7:1). Al variar el porcentaje de etanol, el sistema de gestión del motor debe ajustar la mezcla aire-combustible, lo que impacta en la formación de distintos gases contaminantes.

Formación de subproductos; aunque el etanol reduce CO y HC, puede incrementar la formación de ciertos subproductos, como aldehídos (acetaldehído), especialmente en mezclas con alto contenido de etanol.

Reducción de emisiones de carbono neto; el etanol derivado de biomasa puede considerarse un combustible renovable. Si la producción es sostenible, el carbono emitido por su combustión puede ser parcialmente compensado por el carbono capturado durante el crecimiento de los cultivos.

Condiciones de operación y ajuste del motor; el efecto del etanol en las emisiones depende del ajuste de la ECU, del estado del sistema de inyección y encendido, y de las condiciones de operación del motor (carga, temperatura, régimen).

2.1.6 Antecedentes sobre el Uso de Etanol en Motores Flex Fuel

En un estudio que fue publicado por el Environmental Science & Technology, analizaron el impacto de la adaptación en los vehículos que contienen el sistema Flex Fuel en las emisiones contaminantes cuando son alimentados en este caso con E40. Los autores del artículo pudieron evaluar 9 vehículos bajo diferentes ciclos y observaron que después de la adaptación de combustible se redujeron significativamente las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos y óxidos de nitrógeno.

El uso de etanol como combustible en motores de combustión interna no es un desarrollo reciente. Su aplicación comenzó a considerarse masivamente en el sector transporte debido a las crisis energéticas del siglo XX, especialmente en Brasil, donde el Programa Nacional del Alcohol (Proálcool) iniciado en 1975 promovió el etanol como sustituto parcial o total de la gasolina (Goldemberg, 2008). El etanol, al ser un biocombustible renovable, contribuye a la disminución de emisiones de CO y HC debido a su mayor contenido de oxígeno y su capacidad para favorecer una combustión más completa.

Se destaca la importancia de que el vehículo pueda adaptarse al diferente contenido de etanol en el tanque de combustible así mejorando la mezcla y poder reducir la contaminación ambiental (Yanowitz, Knoll, Kemper, Luecke, & McCormick, 2013).

Figura 4*Implementación del Etanol en Estaciones de Servicio*

Tomado de: <https://nebraskacorn.gov/cornstalk/fuel/ethanol-gas-guide-for-drivers/>

Diversos estudios han demostrado que:

- El uso de mezclas bajas (E10-E20) reduce significativamente las emisiones de CO y HC sin comprometer el rendimiento.
- En mezclas altas (E85-E100), el rendimiento energético disminuye debido al menor poder calorífico del etanol comparado con la gasolina, aunque las emisiones netas de CO₂ son menores al considerar el ciclo de vida del biocombustible.
- Las emisiones de NOx tienden a incrementarse con mezclas elevadas debido al aumento de temperatura en la cámara de combustión.

El desarrollo de los motores Flex Fuel ha permitido que el etanol se integre sin necesidad de cambios estructurales mayores en el sistema de propulsión, haciendo del etanol una solución transitoria viable hacia un transporte más sostenible, especialmente en países con capacidad de producción agroindustrial de biocombustibles.

2.1.7 Uso del Etanol en Combustible Ecuatoriano

En el año 2010 se implementó el combustible “ECOPAIS” con el objetivo de implementar etanol en el combustible más utilizado al nivel nacional para disminuir las

emisiones, también fomenta la producción nacional de la caña de azúcar. Su composición es de 5% de etanol es decir E5 según la normativa INEN NTE 935.

Este biocombustible cumple funciones oxigenantes dentro del combustible, lo que favorece una combustión más eficiente, con menores emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC), sin requerir modificaciones en los motores convencionales a gasolina (Ministerio de Energía y Minas, 2023).

Sin embargo, la penetración del etanol en el mercado nacional aún es limitada en comparación con países como Brasil o Estados Unidos. En Ecuador, el porcentaje de mezcla se ha mantenido en niveles bajos (E5), y no se ha implementado de forma masiva el uso de mezclas medias o altas (E10, E20, E85), debido principalmente a factores como:

- Limitada infraestructura de producción y distribución.
- Falta de incentivos económicos sostenidos.
- Desconocimiento del consumidor respecto a los beneficios ambientales del biocombustible.

El potencial de expansión del uso de etanol en Ecuador es alto, considerando la capacidad agrícola del país y la viabilidad de adaptación de los motores Flex Fuel al parque automotor existente. La implementación progresiva de mezclas superiores podría contribuir significativamente a la reducción de emisiones contaminantes y al desarrollo de un sector bioenergético nacional.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1 *Sistema Flex Fuel*

El sistema Flex Fuel quiere indicar que un vehículo puede utilizar combustibles alternativos para su funcionamiento por lo que cada vez que se haga un repostaje de la flexibilidad de escoger el tipo de combustible (Bastian-Pinto, Brandão, & de Lemos Alves, 2009). Desde los comienzos del mundo automotriz se implementó un tipo de sistema en los

carburadores de los Ford Modelo T debido a que existían crisis de combustible a lo largo de los años se utilizaba estos combustibles alternativos, también se podía utilizar el metanol.

A lo largo de los años, se fueron implementando tecnologías para utilizar el etanol, pero se perdía el interés, ya que el combustible era muy económico. En 1996 se implementó un Ford Taurus que pueda funcionar hasta con mezclas de E85 y poco a poco las otras empresas automotrices lo empezaron a implementar también y así fue incrementando para los vehículos normalmente aspirados (Markus, 2020).

Este sistema funciona en los vehículos teniendo diferentes componentes para que no tenga daños y funcione correctamente:

- Sensores de composición del combustible; hay ciertos modelos que contienen un sensor en la línea de combustible para poder detectar el porcentaje de etanol en la mezcla y así mandar a la computadora del motor para que pueda cambiar los diferentes parámetros en la combustión. Hay ciertos vehículos que no disponen de este sensor físicamente por lo que utilizan otros métodos para poder sacar un porcentaje aproximado del contenido de etanol. En este caso del vehículo trabajado no contiene este sensor, pero saca un aproximado del contenido de etanol cuando entra en un modo de aprendizaje. Al momento de repostar el carro completamente, este entra en un modo de aprendizaje para poder estimar el porcentaje inferido.
- Para sacar el porcentaje se debe de manejar el vehículo alguno kilómetros, hasta ciclo de encendido, estando en ralentí y ahí en un momento a otro modifica el porcentaje. Con eso varía los parámetros del motor para un mejor funcionamiento, también modifica el recorrido restante para terminarse el tanque de combustible el cual es menor que si se utiliza combustible tradicional.

Figura 5*Sensor Flex Fuel Haltech*

Tomado de: <https://support.haltech.com/portal/en/kb/articles/flex-fuel-composition-temperature-sensor>

- Unidad de control del motor (ECU); la ECU puede recibir información del sensor de composición de combustible para poder cambiar los parámetros de inyección ya que el etanol contiene menor poder calorífico entonces se debe inyectar más combustible que con gasolina tradicional para tener la misma potencia, no obstante, debido a su alto octanaje se puede modificar lo que es el avance de encendido a un número mayor. Pero
- Componentes resistentes al alcohol; el sistema de combustible (inyectores, bomba, líneas, sellos, etc.) está fabricado con materiales resistentes a la corrosión y al efecto disolvente del etanol.

2.2.2 Etanol

El etanol o también conocido como alcohol etílico (C_2H_5OH) es un compuesto químico de forma líquida, inflamable e incoloro, que es ampliamente utilizado como biocombustible. Se obtiene principalmente mediante la fermentación de la caña de azúcar, la remolacha o el maíz. Es utilizado en el sector automotriz como aditivo para aumentar el octanaje del combustible por ejemplo en mezclas E10, E20 hasta E85. El etanol es considerado un

combustible renovable, ya que su producción es desde una planta y su uso puede contribuir a la disminución de gases de efecto invernadero (Illinois Corn Marketing Board, 2018).

Figura 6

Producción del Etanol con la Caña de Azúcar



Tomado de: <https://mohansugar.com/ethanol>

2.2.3 Emisiones de Gases Contaminantes

Las emisiones de gases contaminantes son sustancias en estado gaseoso que son liberadas en la atmósfera como resultado de procesos naturales, industriales o automotrices, y que pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud de las personas. En el contexto automotriz, las emisiones vienen directamente de los MCI o motores de combustión interna (INCINEROX, 2023).

Entre los gases contaminantes más relevantes emitidos por los vehículos se encuentran:

- Dióxido de carbono (CO_2); es un gas inodoro, incoloro y no inflamable que se encuentra de manera natural en la atmósfera. Es el resultado de una combustión completa de compuestos que contiene carbono como lo que es el etanol y la gasolina. Es uno de los principales productos emitidos por los motores de combustión interna durante la quema de combustibles fósiles o biocombustibles.

- Monóxido de carbono (CO); gas inoloro e incoloro que se produce a partir de la combustión incompleta de combustibles. Es tóxico y ocasiona daños en el sistema cardiovascular y nervioso. También ocasiona dificultad al transportar oxígeno en la sangre.
- Óxido de nitrógeno (NO_x); es una familia de gases que se forma por la reacción del nitrógeno y el oxígeno durante la combustión a altas temperaturas, más está presente en vehículos a diésel, ocasiona la lluvia ácida y contribuye a la formación del smog y del ozono troposférico
- Hidrocarburos no quemados (HC); son compuestos orgánicos que se producen a partir de una combustión incompleta del combustible. Algunos hidrocarburos pueden ser cancerígenos y también es parte de la formación del ozono troposférico.
- Material particulado (PM); estas pequeñas partículas que pueden ser sólidas o líquidas se quedan suspendidas en el aire también por una combustión incompleta y el desgaste de componentes. Esto puede ocasionar daños en los pulmones y causar daños respiratorios en los humanos.

2.2.4 Combustibles Alternativos

Los Combustibles alternativos son aquellos carburantes distintos a sus derivados convencionales del petróleo, estos pueden emplearse en motores de combustión interna o en tecnologías de propulsión que son más avanzadas, que son las celdas de combustible en el caso del hidrogeno como también en sistemas eléctricos.

Los combustibles alternativos incluyen combustibles gaseosos como el hidrógeno, el gas natural y el propano; alcoholes como el etanol, el metanol y el butanol; aceites vegetales y derivados de residuos; y electricidad. Estos combustibles pueden utilizarse en un sistema dedicado que quema un solo combustible o en un sistema mixto con otros combustibles, como

la gasolina o el diésel tradicionales, como en vehículos híbridos-eléctricos o de combustible flexible (EPA, 2025).

Debido a la problemática de utilizar masivamente los combustibles fósiles se empieza a desarrollar y a utilizar estos combustibles alternativos ya que se quiere disminuir lo que es el calentamiento global, y la dependencia energética de los recursos no renovables.

Existen combustibles alternativos que son utilizados masivamente en forma de biocombustibles líquidos son el etanol y el biodiesel, los combustibles que son gaseosos, son el gas natural comprimido y el GLP o gas licuado con petróleo, el hidrógeno y la electricidad.

Figura 7

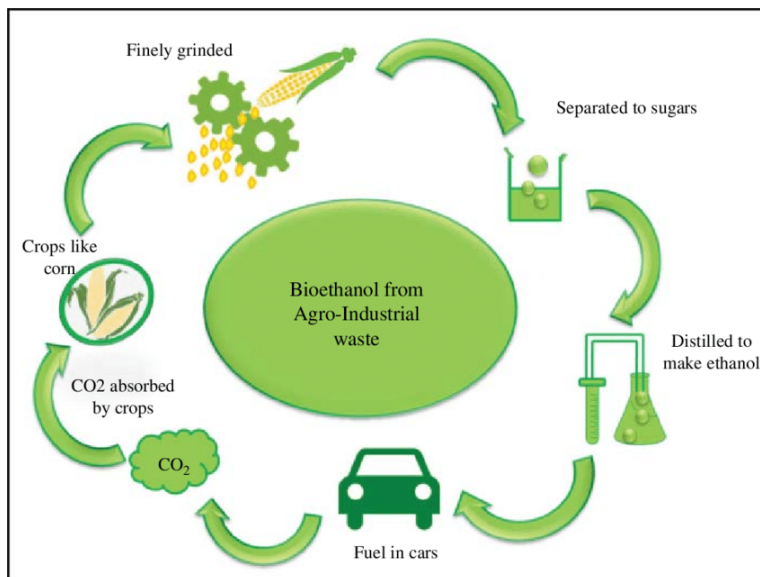
Tipos de Combustibles Alternativos



Tomado de: <https://wicleancities.org/event/october-11-2018-webinar-introduction-to-the-alternative-fuels-data-center/>

Los tipos de combustibles alternativos son:

- Etanol; es alcohol que se produce a través de la fermentación de biomasa vegetal como la caña de azúcar o el maíz. Utilizado como aditivo o como combustible alternativo para sistemas Flex Fuel.

Figura 8*Ciclo del Uso del Etanol*

Tomado de: https://www.researchgate.net/figure/Sustainable-production-of-bio-ethanol-from-agroindustrial-waste_fig5_351438126

- Biodiésel; es obtenido a través de aceites vegetales o grasas animales, es compatible con el diésel convencional.
- Electricidad; se utiliza en vehículos eléctricos puros, representa una de las alternativas más utilizadas actualmente.
- Gas natural, GLP; son combustibles gaseosos que presentan menos emisiones y su uso es popular en zonas urbanas.
- Hidrógeno; utiliza celdas de combustible que genera electricidad para la propulsión de vehículos y emite vapor de agua.

El integrar combustibles alternativos conlleva a un mismo objetivo, que es disminuir la contaminación producida en todas sus presentaciones, por lo que su uso ha permitido mejorar lo que es la calidad de aire en ciertas zonas con mayor contaminación.

La evolución tecnológica derivó en el desarrollo de motores Flex Fuel, capaces de operar con cualquier proporción de mezcla etanol-gasolina (de E0 hasta E100), mediante sensores de composición de combustible y ajustes automáticos en el sistema de inyección

electrónica (Dutra & Teixeira, 2021). Esta tecnología ha sido adoptada masivamente en Brasil, donde actualmente más del 85% del parque vehicular corresponde a este tipo de motorización.

2.2.5 Especificaciones del Etanol Anhidro

El etanol anhidro es uno de los biocombustibles producidos hoy en día y es un subconjunto de la energía renovable. Se considera una excelente alternativa de combustible de combustión limpia a la gasolina. El etanol anhidro se produce comercialmente por hidratación catalítica de etileno o fermentación de biomasa. Cualquier material biológico que tenga azúcar, almidón o celulosa puede usarse como biomasa para producir etanol anhidro.

Figura 9

Datos del Etanol Anhidro

FECHA: 2025-04-11



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

CERTIFICADO DE CALIDAD

CCN° OH A 2025-007

ETANOL ANHÍDRO

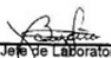
Guía #: 000022208

REQUISITOS	Alcohol desodorizado		Resultados
	Mínimo	Máximo	
Grado Alcohólico a 20°C	99.8		99.79
Densidad a 20°C		0.7915	0.7904
Acidez total, como ácido acético (*)		3.00	0.93
Esteres, como acetato de etilo (*)		75.00	11.11
Furfural (*)		0.00	0.00
ALCOHOLES SUPERIORES(iso-propanol + n-propanol + iso-butanol + iso-amílico + amílico)		250.00	92.91
CONGENERES		335.00	104.95
Metanol (*)		10.00	2.14
HUMEDAD %		0.40	0.21
Aspecto (Color)	Transparente/incoloro		Transparente/incoloro
Olor	No extraño		No extraño
Miscible en agua	SI		SI

* mg /100 cm³ de alcohol absoluto

FECHA DE FABRICACIÓN: FEBRERO - MARZO/ 2025
FECHA DE VENCIMIENTO: Este producto no expira.

Observación: NO APTO PARA CONSUMO HUMANO.


 Jefe de Laboratorio

Tomado de: <https://labcevallos.com/alcohol-etanol-anhidro-industrial-lt/16980>

Dado que la solución de etanol-agua forma un azeótropo de punto de ebullición mínimo con una composición de 89,4 mol% de etanol y 10,6 mol% de agua a 78,2 °C y presión atmosférica estándar, las soluciones diluidas de etanol-agua producidas por el proceso de fermentación pueden rectificarse continuamente para obtener, en el mejor de los casos, soluciones que contengan 89,4 mol% de etanol a presión atmosférica estándar.

El etanol anhidro, también conocido como etanol absoluto, es un líquido transparente, incoloro y homogéneo, libre de materia en suspensión, que contiene al menos un 99,5 % de etanol en volumen a 15,6 °C (Kumar, 2010).

El etanol anhidro quiere decir que es puro, sería catalogado como un E100, es decir 100% etanol y 0% gasolina. Este componente se mezcla con la gasolina tradicional para lograr las mezclas de etanol deseadas.

2.2.6 Datos del Etanol Anhidro

El etanol anhidro se considera una excelente alternativa limpia a la gasolina. En sistemas automotrices bien diseñados, el etanol tiene el potencial de alcanzar niveles de emisiones muy bajos. Además, muchos consideran que los productos de combustión de combustibles renovables como el etanol son ambientalmente seguros desde el punto de vista del efecto invernadero. Se informa que el contenido de etanol en la solución para mezclar con gasolina debe ser del 99,35 % en volumen para eliminar los problemas de separación de fases durante la distribución, el almacenamiento y el uso (Gomis, 2006).

Para un uso eficaz del etanol como combustible sustituto, la energía consumida para producir etanol anhidro debe ser menor que la obtenida a partir del etanol. Se ha promovido el uso de etanol anhidro como combustible para el transporte en países como Brasil, Estados Unidos e India. Si bien la principal consideración en Brasil e India ha sido reducir la dependencia de las importaciones de petróleo, Estados Unidos ha promovido el etanol para fomentar la agricultura y también por consideraciones ambientales. En Brasil se mezcla etanol

anhidro con gasolina hasta en un 20 %. En algunas zonas de Estados Unidos, el etanol se mezcla con gasolina para formar una mezcla E10 (10 % de etanol y 90 % de gasolina), pero puede utilizarse en concentraciones más altas, como E85 o E95.

Los fabricantes de equipos originales producen vehículos de combustible flexible que pueden funcionar con E85 o cualquier otra combinación de etanol y gasolina. Recientemente, el Gobierno de la India ha decidido imponer la mezcla de 5 % de etanol anhidro en la gasolina. Esta decisión se traducirá en: una reducción en la factura de importación de petróleo y la conservación de las reservas petroleras autóctonas (Vilar,2003)

La producción de etanol anhidro requiere energía para la preparación de materia prima de fermentación utilizable, la fermentación de la materia prima preparada y la destilación/deshidratación de mezclas diluidas de etanol y agua. Las diferentes fuentes de biomasa se han comparado con base en el valor energético neto (VNE) del etanol, determinado al restar la energía necesaria para producir un litro de etanol durante todo su ciclo de vida de la energía contenida en un litro de etanol (Lanzer, 2005).

Brasil es el mayor productor de etanol, seguido de Estados Unidos, China, India, Francia, Rusia, Sudáfrica y el Reino Unido. El 60 % de la producción mundial de etanol proviene de cultivos azucareros. India es el mayor productor de azúcar del mundo y tiene un gran potencial para la producción de etanol. La principal fuente de producción de etanol en Brasil, India y otros países productores de azúcar es la ruta de la melaza. En los países europeos, se prefiere la remolacha azucarera. El sorgo dulce puede cultivarse en regiones templadas y tropicales, lo que aumenta sus beneficios potenciales. Otros cultivos que pueden producir oligosacáridos (papas, cereales, uvas, etc.) generalmente no se utilizan mucho para la producción de bioetanol, con la excepción del maíz en Estados Unidos. Se afirma que se ha desarrollado una variedad de sorgo dulce con potencial para producir de 2 a 4 kL/ha/año de etanol (Kumar, 2010).

2.2.7 Legislación y Normas

El etanol es un compuesto monomolecular con un estrecho intervalo de ebullición. No contiene aromáticos, olefinas ni azufre. Por lo tanto, el etanol puede mejorar la composición de la gasolina por dilución. El contenido de oxígeno del etanol es del 35 %. Aproximadamente un 10 % vol. de etanol representa un 3,7 % en peso de oxígeno en la gasolina. La mayoría de los automóviles modernos equipados con un sistema de control de circuito cerrado pueden compensar el efecto de empobrecimiento de la gasolina con baja concentración de etanol. La relación hidrógeno-carbono del etanol es de 3,0, mientras que en la gasolina es de 1,85.

En EE. UU., la norma ASTM D 4814 es una especificación para gasolina con un contenido máximo de 10 % de etanol (se acepta la exención E15 para vehículos del año 2001 en adelante). Las regulaciones de la EPA de EE. UU. permiten una presión de vapor 1 psi mayor para mezclas con un contenido de 9 a 10 % vol. de etanol.

En Europa, la Directiva 2009/30/CE sobre la calidad del combustible permite un máximo del 10 % vol. de etanol en la gasolina a partir del 1 de enero de 2011. La gasolina que contiene hasta un 5 % vol. de etanol está disponible en los mercados europeos al menos hasta 2013 para los automóviles que no toleran el E10.

El Comité Europeo de Normalización (CEN) ha definido los requisitos para el etanol combustible sin desnaturalizar utilizado en mezclas de etanol y gasolina de baja concentración (EN 15376). En EE. UU., la norma ASTM 4806 define los requisitos para el etanol combustible desnaturalizado utilizado en la mezcla de gasolina. Los fabricantes de automóviles han definido recomendaciones para el etanol combustible en las "Directrices sobre etanol de la WWFC" 'Worldwide Fuel Charter' (IEA. 2025).

Capítulo III

Metodología de Comprobación de Emisiones

3.1 Enfoque y Tipo de Investigación

Este estudio es de tipo cuantitativo ya que, se fundamenta en la obtención de datos numéricos sobre la composición de mezclas de etanol-gasolina y las emisiones que genera bajo diferentes regímenes del motor.

También es experimental debido a que existe una manipulación intencionalmente de las proporciones de etanol en el combustible para poder observar y medir los efectos que estas variaciones producen en las emisiones de gases contaminantes de un motor con sistema Flex Fuel.

Asimismo, el estudio puede considerarse de carácter aplicado, debido a que, busca generar conocimientos útiles para la reducción de las emisiones en el sector automotriz. se plantea una metodología experimental que permita medir y comparar de forma directa los contaminantes generados bajo diferentes proporciones de mezcla etanol-gasolina.

El proceso metodológico se basa en la realización de pruebas controladas con un motor de encendido por chispa adaptable a combustibles Flex Fuel, sometido a condiciones estandarizadas de operación. Se evalúan distintas mezclas de combustible (E0, E10, E85), lo que permitirá establecer el comportamiento de las emisiones conforme varía el contenido de etanol.

Para la obtención de datos precisos, se utiliza un analizador de gases de escape portátil, debidamente calibrado, que registra concentraciones de gases como:

- Monóxido de carbono (CO),
- Hidrocarburos no quemados (HC),
- Dióxido de carbono (CO₂).

3.2 Variables del Estudio

- Variable Independiente: Porcentaje de etanol
- Variable Dependiente: Emisiones de gases contaminantes
- Variable Controlada: Tipo del motor, tipo de combustible, condiciones ambientales

3.3 Población y Muestra

Para efectos del presente estudio, la población está compuesta por todos los vehículos Flex Fuel comercializados en Ecuador. La muestra experimental se limita a un solo vehículo en el que se realizan las pruebas en condiciones controladas.

Figura 10

Emblema Flex Fuel



Tomado de: <https://www.kochfordlincoln.com/blogs/blog/what-is-ford-flex-fuel?srsltid=AfmBOopLTeJG6QpiUd1umbiSlo8yGNFMSc80YFMeGzbzn7aRlGmhaP0>

3.3.1 Equipos Utilizados

- Analizador de gases: El analizador de gases se va a utilizar para poder medir las emisiones contaminantes que produce el vehículo a comprobar. En este caso se va a utilizar un analizador modelo ZV-5QC que utiliza un método no disperso con absorción infrarroja para analizar las emisiones (Figura 11).

Figura 11*Analizador de Gases*

- Software de diagnóstico avanzado FORScan; el software utilizado es el más completo para diagnosticar específicamente vehículos Ford y Mazda, se debe de descargar en la página oficial y tener un cable específico OBD2 que se llama OBD Link EX, este cable tiene integrado para leer CANBUS H y L lo cual permite leer toda la información a través del software.

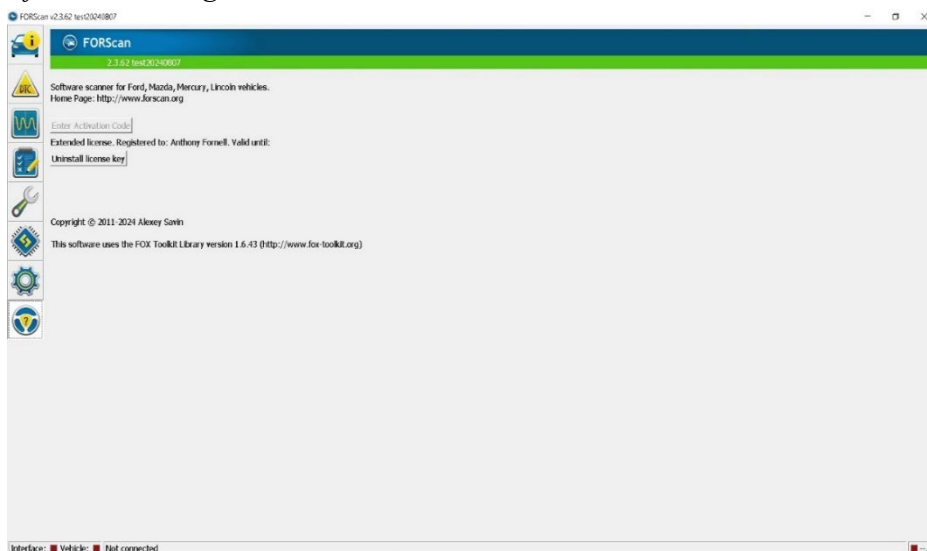
Figura 12*Software de Diagnóstico*

Figura 13

Equipos Utilizados



3.4 Descripción del Vehículo en Estudio

Las pruebas se realizaron en un vehículo Ford Explorer, cuyas características técnicas son las siguientes:

- Marca / Modelo: Ford Explorer XLT
- Tipo de Motor: Ciclo Otto, 6 cilindros en V
- Cilindrada: 3.5 L
- Potencia máxima: 290 hp a 6500 rpm
- Torque Máximo: 346 Nm a 4000 rpm
- Sistema de alimentación: Inyección electrónica multipunto secuencial (SEFI)
- Sistema de encendido: Electrónico, bobinas individuales por cilindro (DIS)
- Normativa de emisiones: Tier 2 Bin 5 (EE. UU.)
- Combustible original: Gasolina regular sin plomo (E0), pero apto para Flex Fuel

- Sistema Flex Fuel: Capaz de operar con gasolina E0, mezclas E10, E20 hasta E85
- Relación de compresión: 10.8:1

El vehículo fue seleccionado por su compatibilidad con mezclas etanol-gasolina y por representar un segmento común de vehículos SUV utilizados en entornos urbanos y suburbanos.

3.5 Condiciones de la Prueba

Las pruebas se realizaron bajo las siguientes condiciones:

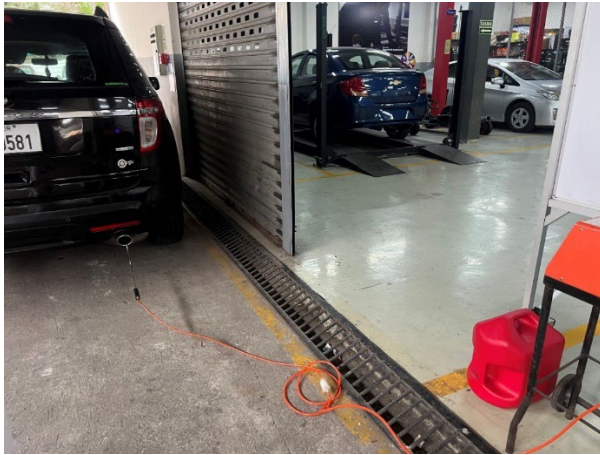
- Modo de operación del motor: Estacionario, a régimen constante de 2500 RPM y ralentí.
- Lugar de prueba: Área controlada con buena ventilación y sin interferencia externa.
- Número de repeticiones por mezcla: 3 ciclos por mezcla (E0, E10 y E85)
- Instrumentación utilizada: Analizador de gases marca Lonnsqv-5q, calibrado y certificado.

3.6 Procedimiento Experimental

- Inspección técnica inicial del vehículo

Revisar los parámetros del software de diagnóstico que el motor se encuentre en óptimas condiciones de funcionamiento.

- Preparar el analizador de gases.
- Toma de las primeras muestras de emisiones con el combustible sin incluir el etanol se debe medir en ralentí y a 2500rpm (Figura 14).
- Agregar etanol anhidro en el tanque del combustible aun teniendo gasolina dentro para poder realizar una mezcla como se puede apreciar en la figura 17 el vehículo ya cuenta con una medición inferida hasta 9.80% es decir E10 es lo que contiene el combustible súper.

Figura 14*Toma de Mediciones con las Mezclas*

- Para poder sacar una medición se debe observar cuánto combustible tiene el vehículo en este caso contiene 12% de combustible (FLI, %) como se observa en la figura 17, la capacidad del tanque es de 18.6 galones entonces:

$$18.6 \text{ gal} * 0.12 = 2.23 \text{ galones}$$

- Se sabe que tiene 2.23 galones de E10, al agregar 5 galones de etanol anhidro queda Gasolina pura: 2.0115 gal

Etanol total 0.2185 del E10 y 5 gal de E100= 5.2185 gal de etanol puro

Volumen final 2.23 gal + 5 gal = 7.23gal

$$- \frac{5.2185}{7.23} * 100\% \approx 72.2\%$$

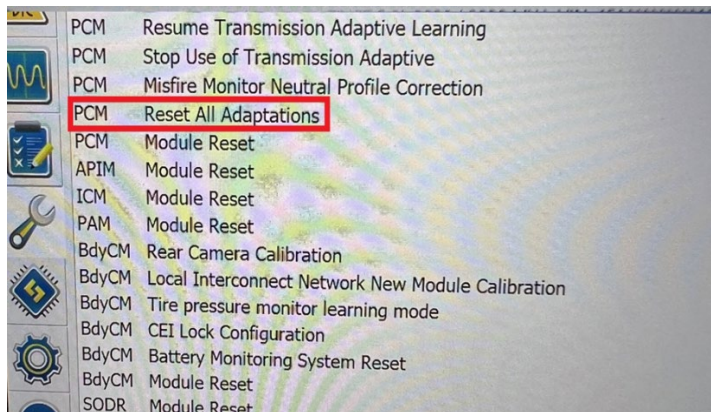
- Se obtiene un aproximado de 72% de etanol, pero el sensor, como utiliza un método inferido tiene un margen de $\pm 10\%$

Figura 15

Etanol Anhidro con Recipiente de Seguridad



- En el software de diagnóstico FORScan se debe de eliminar las adaptaciones del vehículo para que el mismo vuelva a aprender los parámetros de funcionamiento con el nuevo combustible como se ve en la figura 13, al presionar eso se debe seguir los pasos que indica el software y después de eso se debe regresar a la tabla de los datos en vivo y realizar una prueba de ruta.
- Realizar una prueba de ruta y esperar que el estado del ítem “FF_LRND” que es la abreviación de “Flex Fuel Learned” o aprendizaje de Flex Fuel, pase de “NO” a “YES” cuando ocurra la segunda opción el vehículo deja de aprender el etanol introducido y debería observarse un cambio en el porcentaje de etanol que se vería en el ítem “FF_INF, %”, que significa Flex Fuel Inferred o Flex Fuel inferido representado en porcentaje.

Figura 16*Opción del Software*

- Se plantea una metodología experimental que permita medir y comparar de forma directa los contaminantes generados bajo diferentes proporciones de mezcla etanol-gasolina, asegurando condiciones de prueba controladas y resultados comparables entre sí.

Figura 17*Datos en Vivo después de Borrar las Adaptaciones*

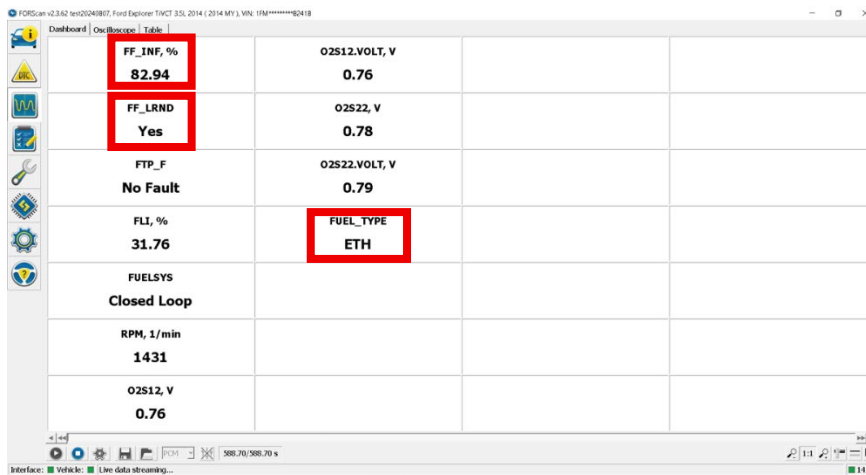
A screenshot of a live data monitoring interface. The table displays various parameters and their values. The values for 'FF_INF, %' (9.80), 'FF_LRND' (No), and 'FTP_F' (No Fault) are highlighted with red rectangular boxes. The interface also shows a 'FUELSYS' status of 'Closed Loop', 'RPM, 1/min' at 2249, and 'O2S12, V' at 0.84. The bottom of the screen shows a taskbar with various application icons.

FF_INF, %	02S12.VOLT, V
9.80	0.83
FF_LRND	02S22, V
No	0.86
FTP_F	02S22.VOLT, V
No Fault	0.85
FLI, %	
12.55	
FUELSYS	
Closed Loop	
RPM, 1/min	
2249	
O2S12, V	
0.84	

- El proceso metodológico se basa en la realización de ensayos repetitivos con un motor de encendido por chispa, equipado con un sistema de inyección electrónica programable y adaptable a combustibles Flex Fuel.

Figura 18

Fin de la Medición de Etanol



FF_INF, % 82.94	O2S12.VOLT, V 0.76		
FF_LRND Yes	O2S22, V 0.78		
FTP_F No Fault	O2S22.VOLT, V 0.79		
FLI, % 31.76	FUEL_TYPE ETH		
FUELSYS Closed Loop			
RPM, 1/min 1431			
O2S12, V 0.76			

- Con el nuevo porcentaje de etanol como se puede ver en la figura 15, se debe realizar otra prueba de emisiones y tomar los datos de las emisiones.
- Condiciones constantes:
 - Mantenimiento según el fabricante.
 - Combustible estándar comercial de 95 octanos RON.
 - Etanol anhidro

Dentro de la metodología planteada, el uso del etanol se considera como la variable independiente clave, cuyo efecto directo sobre las emisiones contaminantes se busca identificar y cuantificar. En este sentido, el etanol será incorporado en diferentes proporciones a la gasolina convencional, generando las mezclas E10 y E85, además de la gasolina pura (E0) como referencia base.

Cada una de estas mezclas es preparada de manera controlada, asegurando homogeneidad mediante agitación mecánica y verificación del porcentaje volumétrico,

siguiendo procedimientos normalizados. El motor de ensayo, diseñado para operación Flex Fuel, permite el funcionamiento eficiente bajo las diferentes proporciones de mezcla sin necesidad de ajustes mecánicos adicionales, garantizando la validez de las comparaciones entre pruebas.

3.7 Datos Obtenidos

Después de realizar las pruebas correspondientes, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 1

Resultados de Emisiones

Mezcla de combustible	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)
E0 (gasolina pura)	0.45	13.0	160
E10	0.30	13.5	120
E85	0.12	14.2	80

Capítulo IV

Análisis de Resultados de Gases Contaminantes

4.1 Interpretación de Resultados

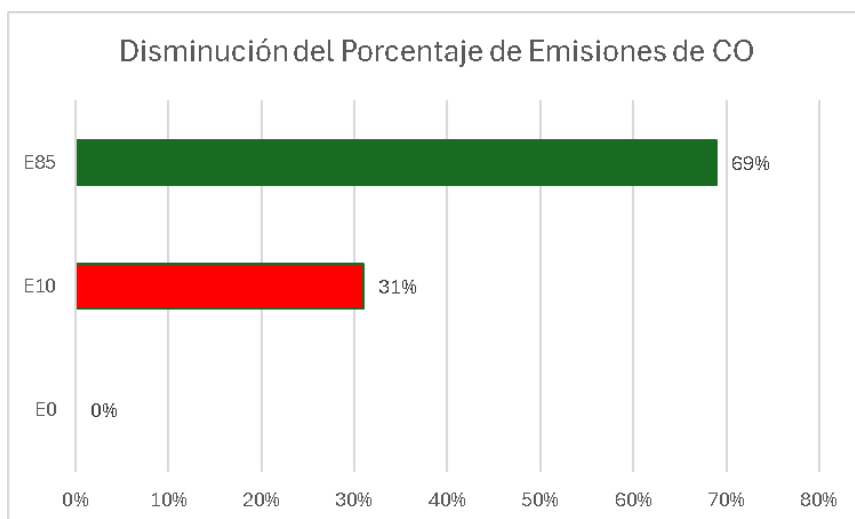
4.1.1 Emisiones de Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) disminuyó significativamente al aumentar la proporción de etanol en la mezcla:

- Con E10, el CO se redujo en un 31% respecto a E0.
- Con E85, la reducción fue de 69% respecto a E0.

Figura 19

Gráfico de Diferencias de CO



Esto se debe a la mayor presencia de oxígeno en la molécula de etanol, que promueve una combustión más completa, reduciendo la formación de CO, que es producto de la combustión incompleta del carbono.

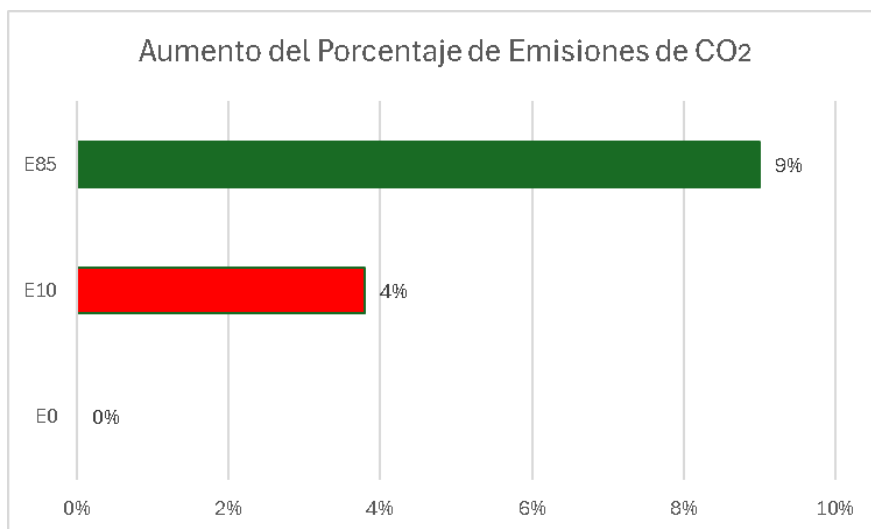
4.1.2 Emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂)

El CO₂, al ser un subproducto de una combustión más completa, aumentó con el contenido de etanol:

- Con E10, hubo un aumento del 3.8% respecto a E0.
- Con E85, el CO₂ aumentó en 9% respecto a E0.

Figura 20

Gráfico de Diferencias de CO₂



Este comportamiento es consistente con una mejora en la eficiencia de la combustión.

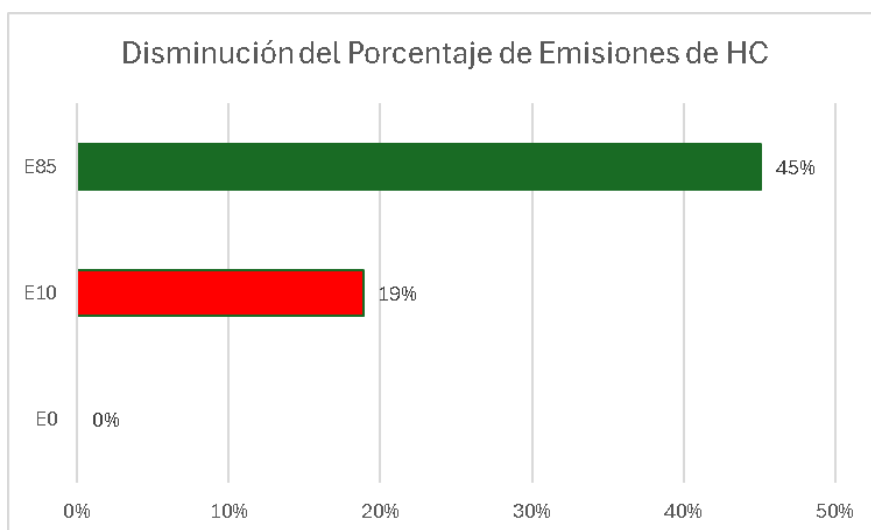
4.1.3 Emisiones de Hidrocarburos no Quemados (HC)

Los hidrocarburos (HC), que representan restos de combustible sin quemar, se redujeron con el incremento de etanol:

- E10 mostró una disminución del 18.9% en HC frente a E0.
- E85 presentó una reducción total del 45.1% respecto a gasolina pura.

Figura 21

Gráfico de Diferencias de HC



La disminución en HC está también vinculada a la mejor atomización y combustión del etanol.

4.2 Análisis Estadístico

Para comprobar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% para cada tipo de gas.

4.2.1 Resultados del ANOVA

Después de realizar los cálculos correspondientes para el análisis de varianza, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2

Resultados ANOVA

Gas Contaminante	F calculado	F crítica	P-valor	Conclusión
CO	12.48	4.26	0.003	Diferencias significativas
CO ₂	9.03	4.26	0.007	Diferencias significativas
HC	11.22	4.26	0.004	Diferencias significativas

4.3 Implicaciones Ambientales

El uso de etanol como aditivo o sustituto parcial de la gasolina permite reducir notablemente las emisiones de gases nocivos para la salud humana (CO y HC). Aunque las emisiones de CO₂ aumentan ligeramente, esto refleja una combustión más eficiente. En vehículos como la Ford Explorer, la conversión a E10 puede realizarse sin modificaciones importantes, mientras que el uso de E85 requiere ajustes en el sistema de inyección y mapeo de la ECU, lo cual debe ser evaluado cuidadosamente.

4.4 Limitaciones del Estudio

Las pruebas se realizaron bajo condiciones estáticas, por lo que no reflejan las variaciones dinámicas del tránsito urbano o en carretera. No se evaluaron parámetros como consumo específico de combustible o potencia entregada, los cuales podrían verse afectados por el uso de E85, como también medición del desgaste de los componentes al utilizar un combustible muy corrosivo en el sistema de combustible como en el motor directamente.

Conclusiones

El proyecto identifica que el uso del etanol como un combustible alternativo en los motores de combustión interna influye de manera significativa en la emisión de gases contaminantes. Se observa que la adición de etanol a la gasolina en motores Flex Fuel favorece una combustión más eficiente y limpia, lo que se traduce a que se reduzca las emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC), mientras que el dióxido de carbono (CO₂) muestra un ligero incremento debido a una combustión más completa. Estos resultados resaltan el potencial del etanol para contribuir a la mitigación de contaminantes atmosféricos en el sector automotriz.

La cuantificación de las emisiones contaminantes generadas por el motor bajo diferentes proporciones de etanol (E10 y E85) confirma que, a medida que aumenta el contenido de etanol en la mezcla, disminuye notablemente las emisiones de HC y de CO. Los ensayos realizados muestran que E10 reduce las emisiones de CO en un 29% y de HC en un 25% respecto a la gasolina pura, mientras que E85 logra disminuciones de hasta un 69% en CO y un 56% en HC. Sin embargo, el uso de mezclas con mayor contenido de etanol incrementa las emisiones de CO₂, con aumentos del 3.8% en E10 y del 9.1% para E85.

El análisis estadístico de los datos utilizando ANOVA, demuestra que las diferencias que se observan en las emisiones contaminantes según la proporción de etanol son estadísticamente significativas. Existe una correlación clara entre el incremento de etanol en la mezcla y la reducción de contaminantes tóxicos, lo que valida experimentalmente la eficacia del etanol como estrategia para disminuir las emisiones nocivas de los motores de combustión interna y contribuir a la sostenibilidad ambiental del transporte.

Recomendaciones

Iniciando desde los resultados obtenidos, se recomienda que las preparaciones de las mezclas de etanol se realicen utilizando diferentes métodos de medición que permite obtener una mezcla más precisa con el fin de garantizar la correcta proporción y así evitar posibles errores en la composición del combustible. Es fundamental obtener el etanol anhidro de grado automotriz o en este caso de grado de laboratorio en el que se asegura que hay un control de calidad en la pureza y que no existan contaminantes en el que se pueda afectar el desempeño del motor o que se altere los resultados experimentales.

Asimismo, antes de iniciar cualquier prueba, se aconseja que el vehículo se encuentre en buen estado mecánico tanto el motor como el sistema de combustible y todos los sensores relevantes, en especial los de oxígeno que ayuda mucho a determinar los parámetros de las mezclas y el módulo Flex Fuel pueda sacar los datos correctamente. Tanto el motor como todos los componentes deben encontrarse en buenas condiciones para evitar interferencias en la interpretación de los resultados.

También se recomienda que se realicen las pruebas de emisiones en espacios abiertos o con buena ventilación ya que las emisiones con altos grados de etanol pueden ser más perjudicial para el sistema respiratorio de las personas, es recomendable utilizar mascarillas N95 y guantes cuando se esté utilizando el etanol.

Finalmente, se sugiere realizar el reinicio de las adaptaciones después de que se hacen los cambios en las proporciones de etanol en el tanque de combustible para facilitar a que detecte la nueva mezcla ingresada y empiece a recopilar los datos de las nuevas mezclas.

Bibliografía

- Bastian-Pinto, C., Brandão, L., & de Lemos Alves, M. (9 de Enero de 2009). Springer Nature. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-009-0514-7>
- Boza, W., & Zambrano, S. (2025). UIDE. Obtenido de Repositorio UIDE: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/7818>
- Estrella-Guayasamín, M., Vivar Quiroz, V., Delgado Quinto, A., & Gomez Berrezueta, F. (29 de Abril de 2025). Springer. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-87065-1_21
- FLORES, O., FABELA, M., BLAKE, C., VÁZQUEZ, D., & HERNÁNDEZ, R. (Agosto de 2014). Instituto Mexicano de Transporte.
- Illinois Corn Marketing Board. (abril de 2018). U.S. Grains Council. Obtenido de <https://grains.org/ltamex/wp-content/uploads/sites/6/2025/04/2018-USGC-Etanol-101-Manual-de-Uso-Espanol.pdf>
- INCINEROX. (23 de Diciembre de 2023). INCINEROX. Obtenido de <https://incinerox.com.ec/comprendiendo-los-gases-contaminantes-y-su-impacto-ambiental/>
- Markus, F. (3 de Abril de 2020). MOTORTREND. Obtenido de <https://www.motortrend.com/news/what-is-flex-fuel>
- Minnesota Bio-Fuels Association. (s.f.). MNBIOFUELS. Obtenido de <https://www.mnbiofuels.org/resources/facts-about-ethanol/ethanol-and-engine-performance>
- US DEPARTMENT OF ENERGY. (s.f.). Obtenido de <https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol-fuel-basics>
- US Energy Information Administration. (23 de February de 2024). EIA. Obtenido de <https://www.eia.gov/energyexplained/biofuels/ethanol-use.php>

Wei-Dong Hsieh, R.-H. C.-L.-H. (2002). Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels. *Atmospheric Environment*, 36, 403-410. doi:10.1016/S1352-2310(01)00508-8

Yanowitz, Knoll, Kemper, Luecke, & McCormick. (11 de February de 2013). ACS PUBLICATIONS. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es304552b>

