

CNE

Consejo Nacional de Energía



Informe Final Proyecto Piloto de Mezcla y Uso de Etanol



CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	OBJETIVOS	4
2.1.1	GENERAL	
2.1.2	ESPECÍFICOS	
3.	GLOSARIO	5
4.	SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	8
5.	BIOETANOL EN LA GASOLINA	9
5.1	VENTAJA EN EL USO DE ETANOL	
5.2	RIESGOS AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD ALIMENTARIA EN EL USO DE ETANOL	
5.3	BIOETANOL EN EL SALVADOR	
6.	RESULTADOS DEL PROYECTO PILOTO DE MEZCLA Y USO DE ETANOL	14
6.1	PRIMERA ETAPA	
6.1.1	RESULTADOS PRIMERA ETAPA	
6.2	SEGUNDA ETAPA	
6.2.1	RESULTADO SEGUNDA ETAPA	
7.	MEZCLA ÓPTIMA	46
8.	CONCLUSIONES	47
9.	RECOMENDACIONES	49
10.	ANEXOS	50
11.	BIBLIOGRAFÍA	54



1. INTRODUCCIÓN

En marzo de 2007, Brasil y Estados Unidos firmaron el Memorándum de Entendimiento de biocombustibles, el cual incluye aspectos para apoyar programas y proyectos sustentables de bioenergía en varios países de América Latina y el Caribe; ayudando así a la diversificación de su matriz energética y mejorando su sostenibilidad y competitividad económica. Es así que en el Marco del Memorándum de entendimiento de biocombustibles entre Estados Unidos y Brasil, la Organización de Estados Americanos (OEA) apoya programas sustentables de bioenergías en países de América Latina y el Caribe.

Bajo este contexto y con el objetivo de fortalecer la experiencia de El Salvador en la utilización de biocombustibles, el gobierno de El Salvador promueve la diversificación de la matriz energética en concordancia con los objetivos y lineamientos estratégicos de la Política Energética Nacional (2010-2014). En tal sentido, el Consejo Nacional de Energía (CNE) a través de su Dirección de Combustibles identificó el potencial existente en el país para la implementación de un proyecto piloto para la utilización de una mezcla de etanol/gasolina en una flota vehicular. Para la implementación del proyecto piloto el Gobierno de El Salvador solicitó el apoyo del Departamento de Desarrollo Sostenible de la OEA para su realización.

La iniciativa de utilización de etanol se enmarca dentro de los resultados del estudio denominado: **“Diagnóstico de la Capacidad de Infraestructura y Logística para Implementar el Plan Piloto para el Consumo de Etanol Carburante en El Salvador”**. Tomando en cuenta las barreras y dificultades encontradas por el mencionado estudio, se propuso la implementación del proyecto piloto bajo un nuevo e innovador concepto que involucraría la distribución de las mezclas de E5 (5% etanol y 95% gasolina), E10 (10% etanol y 90% gasolina) y E15 (15% etanol y 85% gasolina) a través de un dispensador móvil que abastecería periódicamente a los vehículos participantes en el proyecto. Este dispensador móvil, por su versatilidad en el transporte de combustible, podría apoyar a otras instituciones gubernamentales en situaciones de emergencia.

Para el desarrollo del proyecto se contó con la participación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE a través de un convenio de cooperación entre la mencionada institución y el CNE.



2. OBJETIVOS

2.1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar, documentar y demostrar en un periodo de tiempo la utilización de etanol en diferentes mezclas con gasolina en una flota vehicular que incorpore vehículos de los sectores gubernamental, privado y académico.

2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el rendimiento de los vehículos utilizando diferentes mezclas de etanol con gasolina (E5, E10 y E15).
- Medir las emisiones de cada vehículo con las diferentes mezclas de etanol.
- Utilizar el proyecto piloto como una plataforma educativa, demostrativa y colaborativa entre el sector público, privado y académico.
- Evaluar las capacidades técnicas de los laboratorios que existen en el país para determinar las especificaciones de calidad y mezclas de biocombustibles.
- Fomentar canales de colaboración interinstitucionales y con la empresa privada.



3. GLOSARIO

Cámara de combustión. Cavidad donde se inicia la combustión y está formada por la culata y la parte superior del pistón cuando está en el punto muerto superior (PMS). En la cámara de combustión, se encuentran las válvulas que permiten la entrada y salida de los gases al interior del cilindro.

CAN (“Controller Area Network”). Bus de transmisión de datos. Todos los sistemas conectados con este bus CAN usan las mismas líneas de datos. De esta forma se utilizan menos cables para conectar cada sensor y cada actuador del motor con los mandos electrónicos. En su lugar, el mando electrónico del bus recibe los datos a través del bus CAN del motor y entonces convierte los datos en una visualización en el cuadro de instrumentos de la velocidad, de las revoluciones o de la temperatura del motor por ejemplo.

Can-Bus. Es un protocolo de comunicación en serie desarrollado por Bosch para el intercambio de información entre unidades de control electrónicas del automóvil. Can significa “Controller Area Network” (Red de área de control) y Bus, en informática, se entiende como un elemento que permite transportar una gran cantidad de información.

Carburador. Elemento encargado de suministrar la mezcla de aire y combustible al interior del motor. Su principio de funcionamiento se basa en el efecto Venturi, depresión que produce un fluido cuando se acelera su velocidad a causa de un estrechamiento.

Cilindro. Cavidad del bloque motor por donde se desplaza el pistón en su recorrido alternativo. El cilindro puede estar mecanizado directamente sobre el bloque o estar formado por una camisa que se coloca en el bloque (camisa húmeda).

Compresión. Fase del funcionamiento de un motor de combustión donde se produce la compresión de los gases que han entrado al interior del cilindro durante la admisión. Durante esta fase, el pistón realiza una carrera ascendente desde el Punto Muerto Inferior (PMI) hasta el Punto Muerto Superior (PMS). El volumen del cilindro se reduce hasta el contenido en la cámara de combustión y la mezcla se calienta a la espera de la chispa en la bujía.

Diagnóstico de ruidos. Consiste en verificar ruidos anormales en los diferentes componentes del motor. Entre estos ruidos se pueden mencionar: detonaciones por mala combustión, asientos de válvulas dañados, válvulas torcidas, bujías en mal estado.

EFI (“Electronic Fuel Injection”). Es un mecanismo de suministro de combustible que elimina la necesidad de un carburador. Un sistema de control computarizado que toma en cuenta los cambios de elevación y proporciona la información necesaria al sistema EFI para cambiar la mezcla de aire-combustible y así lograr una óptima economía de combustible y el rendimiento del motor.

Etanol Anhidro. Tipo de alcohol etílico obtenido a partir de fermentación alcohólica que se caracteriza por tener muy bajo contenido de agua (menor al 0.1%) y ser compatible para mezclar con gasolinas en cualquier proporción para producir un combustible oxigenado con mejores características.

Etanol Hidratado. Tipo de alcohol etílico obtenido a partir de fermentación alcohólica que se caracteriza por tener un contenido de agua alrededor del 5%.

Factor Lambda (λ). Relación entre la cantidad de aire que entra al motor para ser consumida y la que tendría que entrar para conseguir la mezcla idónea. Cuando el valor es igual a uno la mezcla de aire y combustible es la correcta, si la mezcla es superior a uno la mezcla tiene un exceso de aire resultando pobre y si esta es menor a uno tiene un defecto de aire resultando rica.



Fermentación alcohólica. Es la producción de alcohol mediante un proceso de fermentación a partir de biomasa. El proceso consiste en la degradación de los azúcares, almidones o celulosa presentes en la biomasa, convirtiéndolos en alcohol y dióxido de carbono.

Gravedad API. Es una función especial de la densidad relativa (gravedad específica) a 15.56°C/15.56°C (60°F/60°F), definida ésta como la relación de masa de un volumen dado de un líquido a 15.56°C (60°F) con la masa de un volumen igual de agua pura a la misma temperatura.

Inyección electrónica. Se trata de un sistema mucho más eficaz y de mayor control que los carburadores o la Inyección Mecánica, por lo que se ha impuesto con la llegada de las normativas anticontaminantes cada vez más estrictas. En los sistemas de Inyección electrónica, la cantidad de combustible que se inyecta es función de la masa de aire que aspira el motor, la cual se mide mediante un sensor especial.

Inyección Gasolina. Sistema de alimentación que prescinde del carburador para hacer llegar la mezcla a los cilindros y que cuenta con inyectores de combustible para dicha tarea. Los sistemas de Inyección pueden ser mecánicos o electrónicos, en la actualidad electrónica.

Mezcla idónea. La combustión completa entre un combustible (gasolina o gasóleo) y un comburente (aire) tiene que realizarse en proporciones adecuadas para que se consiga aprovechar todo el rendimiento posible. El combustible está formado por hidrocarburos que tienen que reaccionar con el oxígeno del aire. La proporción en masa de combustible y comburente necesarios para lograr una combustión completa es de 14.7 partes de aire (en masa) por cada parte de gasolina (en masa). Es decir, para quemar completamente un gramo de gasolina se necesitan 14.7 gramos de aire.

Mezcla pobre. Mezcla de aire y combustible conseguida cuando se produce un exceso de aire en relación a la mezcla Idónea. Una mezcla pobre incrementa la temperatura de la cámara de combustión y facilita la aparición de los óxidos de nitrógeno.

Motor de Combustión Interna (MCI). Se denomina así a todo motor en el cual la energía mecánica se obtiene mediante la transformación de la energía térmica derivada de una combustión.

Número de octanos (RON). Es la abreviatura en inglés "Research Octane Number", es el porcentaje volumétrico de Iso-octano (2,2,4-trimetil pentano) con base cien octanos en una mezcla de n-heptano con base cero octanos, que detona con la misma intensidad que la muestra, cuando son comparadas utilizando un motor patrón.

OBD-II. Es la abreviatura de "On Board Diagnostics" (Diagnóstico de a bordo) II. Esta es la segunda versión del OBD y con ella se regulan a unos niveles determinados las emisiones de los vehículos implantada por Estados Unidos. La principal diferencia con respecto al sistema OBD anterior es monitorizar en todo momento el estado del catalizador y el nivel de emisiones que expulsa el vehículo.

Pistón. Elemento móvil del motor de explosión alternativo que se encarga de comprimir la mezcla, cerrar la cámara de combustión por la parte inferior y de recoger la energía desarrollada durante la expansión de los gases quemados. Este se encuentra conectada al cigüeñal a través del bulón y de la biela, y en su periferia dispone de varios segmentos que se encargan de mantener la cámara de combustión sellada con el cilindro. El pistón trabaja a altas temperaturas al estar en contacto con los gases quemados y necesita ser refrigerado, normalmente a través del aceite del sistema de lubricación. Se fabrican en aleaciones de aluminio y luego se mecanizan para conseguir un peso y unas dimensiones muy ajustadas.

Potencia. Cantidad de trabajo realizada en una unidad de tiempo. La potencia de un motor se mide en caballos de vapor (CV) o en kilowatts (kW) en el sistema internacional. Se obtiene de multiplicar el par motor por el número de revoluciones y ajustar las unidades. La potencia máxima se obtiene a un régimen



superior que el par máximo. Se compensa el peor llenado del cilindro con una mayor cantidad de explosiones por minuto.

Presión de Vapor Reid (RVP). Es la presión de vapor absoluta obtenida por medio de un ensayo que mide la presión de una muestra en el interior de un cilindro a una temperatura de 37.8°C (100°F), en una relación volumétrica de cuatro partes de líquido por una parte de vapor [relación (líquido/vapor) = 4], esta propiedad mide la tendencia a la vaporización de un líquido.

Prueba de hermeticidad de cilindros. Consiste inyectar aire a presión a cada una de las cámaras de combustión para determinar las fugas de compresión en porcentaje de caídas de presión, lo cual permite determinar si las fugas son por anillos, válvulas (de escape o de admisión), empaque de culata. Esta prueba se realiza a continuación de la prueba de compresión por lo que no es necesario calentar el motor a temperatura de funcionamiento. Un motor en buenas condiciones de funcionamiento no deberá dejar salir más del 20% del aire obligado a entrar a la cámara de combustión.

Prueba de presión de compresión. Consiste en medir la presión de compresión en cada cilindro del motor y se utiliza comúnmente para determinar el estado del motor. Su propósito es identificar fugas por anillos, asientos de válvula o por desgaste de los cilindros. Se considera que si la presión más baja de los cilindros es menor al 70% de la más alta, el motor trabaja en forma pareja¹. Algunos fabricantes dejan 20 lb/pulg², otros dejan una variación más alta de 40 lb/pulg² entre los cilindros y se consideran como compresión normal. Compresiones fuera de las especificaciones establecidas por el fabricante originarían exceso de humo (contaminación), pérdidas de aceite, elevado consumo de combustible, revoluciones en marcha mínima inestables, problemas de arranque, elevado consumo de refrigerante y falta de potencia.

Prueba de vacío. La prueba de vacío se refiere a la presión en el múltiple de admisión, la cual es positiva comparada con el cero absoluto. Su propósito es determinar si en el motor existen pérdidas de presión por mal funcionamiento del mismo debido a condiciones internas, a un ajuste incorrecto de la mezcla aire-combustible o la puesta a punto del encendido del motor. Un motor en buenas condiciones mecánicas trabajará con alto vacío de múltiples. La lectura normal de vacío deberá ser alta y constante en el múltiple de admisión. En marcha en vacío se obtienen entre 430 a 530 mm HH de vacío (17 a 21 pulgadas Hg de vacío).

Tecnología híbrida. La tecnología híbrida en vehículos tiene dos componentes esenciales: un motor a gasolina (motor de combustión interna) y un motor eléctrico. Ambos motores proporcionan la fuerza necesaria para que el vehículo se desplace.

¹Ellinger H. E. y Halderman J. D. (1991) Manual para Ajuste de Motores y Control de Emisiones. Tomo I, Segunda Edición.

²Ibid



4. SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

API: "American Petroleum Institute" (Instituto Americano de Petróleo).

BEFS: Planteamiento sobre Bioenergía y Seguridad Alimentaria

BNDES: Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social de Brasil

°C/°F: Grados Celcius/Grados Fahrenheit.

CGEE: Centro de Gestión y Estudios Estratégicos de Brasil

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y El Caribe

CNE: Consejo Nacional de Energía de El Salvador

CO: Monóxido de Carbono.

CO₂: Dióxido de Carbono.

DRHYM: Dirección Reguladora de Hidrocarburos y Minas

E0. Gasolina Regular sin ningún porcentaje de etanol, el cual según contiene un Número de Octano por el Método Pesquisa (RON) de 87/88 como mínimo.

E5. Se refiere a una mezcla de gasolina (regular)-etanol, en la cual el porcentaje de etanol en la mezcla es de 5%.

E10. Se refiere a una mezcla de gasolina (regular)-etanol, en la cual el porcentaje de etanol es de 10%.

E15. Se refiere a una mezcla de gasolina (regular)-etanol, en la cual el porcentaje de etanol en la mezcla es de 15%.

Eq: Número de equipo en la prueba

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

gal: galones americanos

h: hora.

HC: Hidrocarburo

kg/m³: kilogramo por metro cúbico.

kPa: kilopascal, equivalente a 1000 Pascales.

kW: kilowatt

L: litro

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

máx: máximo.

min: mínimo.

MINEC: Ministerio de Economía

ml: mililitro

MOP: Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano.

MTBE: Metil terbutil eter

Pot.: Potencia

PSI: Libras por pulgada cuadrada (por sus siglas en inglés)

rpm: revoluciones por minuto

vel.: Velocidad

%V/V: Porcentaje volumen-volumen (unidad de concentración)



5. BIOETANOL EN LA GASOLINA

La creciente necesidad de ampliar de modo sostenible el uso de fuentes renovables de energía, para proporcionar mayor seguridad al suministro energético y reducir los impactos ambientales asociados a los combustibles fósiles, encuentra en el bioetanol de caña de azúcar una alternativa económicamente viable y con significativo potencial de expansión. Es así como la producción y el uso de bioetanol como combustible automotriz se practica en Brasil, Colombia, Estados Unidos de América, Australia, Alemania, Suecia.

El uso de bioetanol ha logrado una notable evolución durante las últimas décadas, alcanzando madurez y consistencia, de acuerdo con un modelo productivo que puede ser adaptado e implementado en contextos similares. Por ejemplo en Brasil, la caña de azúcar representa actualmente la segunda más importante fuente primaria y la principal forma de energía renovable en la matriz energética brasileña³.

En el ámbito centroamericano, durante los últimos años el tema de los biocombustibles ha tomado un mayor realce como consecuencia principalmente de los altos precios de productos derivados del petróleo. En tal sentido países como Costa Rica, Guatemala y El Salvador han tomado la iniciativa de explorar e implementar proyectos relacionados con la producción de bioetanol con materia prima local. Dentro de este contexto, la producción de bioetanol utiliza materias primas provenientes de los cultivos de caña de azúcar, mediante un proceso de fermentación alcohólica.

El etanol como combustible vehicular presenta algunas diferencias con respecto a los combustibles derivados del petróleo, siendo la principal, la elevada concentración de oxígeno, la cual representa cerca del 35% de la masa de etanol. Esta concentración, permite una combustión más limpia y un mejor desempeño en los motores, lo cual tiene el potencial de traducirse en una disminución de las emisiones.

Para utilizar el etanol hidratado puro es necesario adaptar los motores para que trabajen con octanajes mayores que 100 (RON) y utilizar materiales resistentes al etanol hidratado, el cual es más corrosivo. Sin embargo, al utilizar mezclas de etanol anhidro en concentraciones de hasta 10% de etanol en la gasolina, se pueden utilizar los motores convencionales a gasolina sin necesidad de ningún ajuste⁴.

De acuerdo al estudio de la CEPAL **“Bioetanol de caña de azúcar Una energía para el desarrollo sostenible”**, en comparación a la gasolina pura, un análisis detallado de los aspectos más relevantes del uso de las mezclas gasolina/etanol, como octanaje, volatilidad, desempeño, separación de fases, compatibilidad de materiales (elastómeros y metales) y emisiones de gases de escape (incluyendo monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, de azufre y aldehídos), muestra como este biocombustible puede ser utilizado sin problemas de orden técnico y ambiental.

³ BNDES, CGEE, FAO y CEPAL (2008). Bioetanol de caña de azúcar Una energía para el desarrollo sostenible.

⁴ BNDES, CGEE, FAO y CEPAL (2008). Bioetanol de caña de azúcar Una energía para el desarrollo sostenible.



5.1 VENTAJA EN EL USO DE ETANOL

Al ser renovable y producido localmente, el etanol permite disminuir la dependencia del petróleo, lo que mejora la seguridad energética de los países. Esto es aún más importante para los países no productores de petróleo, dado que la mayoría de este se encuentra en zonas de alta inestabilidad política, como el Medio Oriente, y que la tendencia de los precios es continúa aumentando o manteniéndose elevados.



El etanol, al ser un oxigenante de las gasolinas, mejora su octanaje de manera considerable, lo que ayuda a descontaminar nuestras ciudades y a reducir los gases causantes del efecto invernadero.

Al ser un aditivo oxigenante, el etanol también reemplaza a aditivos nocivos para la salud humana, como el plomo y el MTBE, los cuales han causado el incrementado del porcentaje de personas afectadas por cáncer y la disminución de capacidades mentales, especialmente en niños⁵.

El octanaje del etanol anhidro puro es de 113 (el octanaje de la gasolina regular es como mínimo de 88⁶) y se quema mejor a altas compresiones que la gasolina, por lo que al ser mezclado con la gasolina podría dar más poder a los motores y aumentar el octanaje del combustible.

En climas muy fríos el etanol actúa como un anticongelante en los motores, mejorando el arranque del motor en frío y previniendo el congelamiento.

Aumenta el valor de los productos agrícolas de los que procede, mejorando así los ingresos de los habitantes rurales y, por ende, elevando su nivel de vida.

⁵ Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2007. Preguntas y Respuestas más Frecuentes sobre Biocombustibles.

⁶ Reglamento Técnico Centroamericano, Especificaciones de la Gasolina Regular, 75.01.19:06



5.2 RIESGOS AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD ALIMENTARIA EN EL USO DE ETANOL

Cuando el etanol es producido a partir de caña de azúcar y considerando que en muchos lugares aún se continúa con la práctica de quemar para la corta de la caña, se liberan grandes cantidades de metano y óxido nitroso, ambos gases impactan en el calentamiento global. Esto se solucionaría mecanizando el proceso de cosecha, a pesar que se disminuiría el empleo rural.

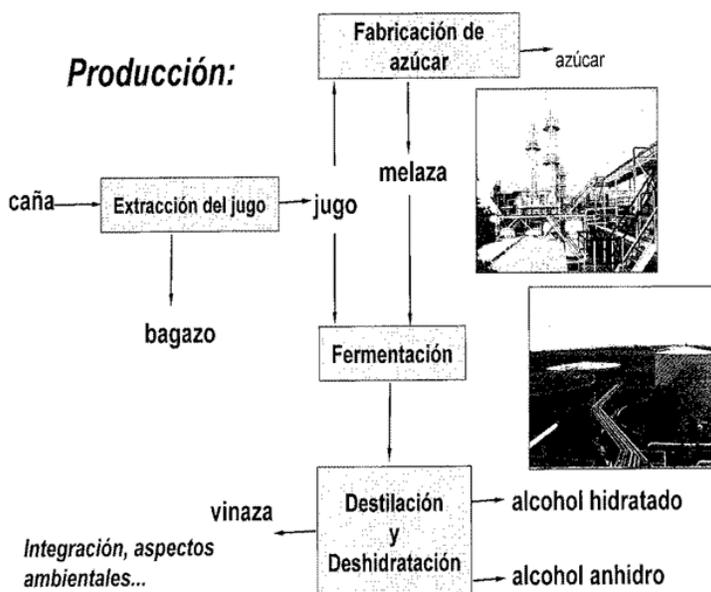
Cuando el etanol es producido a partir de maíz, en su proceso de elaboración se está utilizando gas natural o carbón para producir vapor y en el proceso de cultivo se usan fertilizantes nitrogenados, herbicidas de origen fósil y maquinaria agrícola pesada. Esto podría solucionarse mediante el uso de sistemas de producción agrícola orgánicos o por lo menos ecológicos. También se puede utilizar el CO₂ proveniente de las destilerías para la producción de algas (que a su vez se pueden usar para producir biocombustibles de tercera generación). Además, en caso de que haya ganaderías cercanas, se puede usar el metano del estiércol para producir vapor (en esencia este equivale a usar biogás para producir biocombustible).

Finalmente, es de gran importancia garantizar que la producción de etanol a partir de maíz y caña de azúcar, además de contribuir al desarrollo de bioenergía también contribuya a la seguridad alimentaria, así como al desarrollo agrícola y rural del país. En tal sentido la FAO, a través del planteamiento sobre Bioenergía y Seguridad Alimentaria (BEFS, por sus Siglas en Ingles), apoya a los países para el diseño y aplicación de políticas y estrategias que permitan el desarrollo de la bioenergía de manera sostenible.

5.3 BIOETANOL EN EL SALVADOR

En El Salvador la producción de etanol se realiza a partir de la melaza, la cual es un subproducto resultante durante la producción de azúcar. En la Figura 1 se presenta el diagrama del proceso de producción de bioetanol que es utilizado en El Salvador.

Figura 1. Diagrama de producción de bioetanol



A partir de la figura 1, se puede observar que el proceso de producción inicia con la extracción del jugo de la caña, el cual es utilizado actualmente en El Salvador, para la producción de azúcar. Como subproducto del proceso se obtiene la melaza, la cual es sometida a fermentación para la obtención del bioetanol hidratado, que luego es llevado a un proceso de deshidratación y obtener finalmente el bioetanol anhidro, que es el utilizado en las mezclas con gasolina.

El bioetanol también se puede obtener directamente del jugo de la caña, pasando éste directamente al proceso de fermentación y en donde no se produce azúcar. Actualmente, en El Salvador únicamente el Ingenio La Cabaña produce bioetanol a partir de melaza y los demás ingenios comercializan la melaza en el mercado nacional e internacional. En la Tabla 1 se presenta la producción de melaza para las zafras 2007-2008 a 2013-2014 y el potencial de bioetanol que se produciría, durante estos periodos, se destaca el rendimiento de 2.5 litros de melaza por litro de bioetanol.

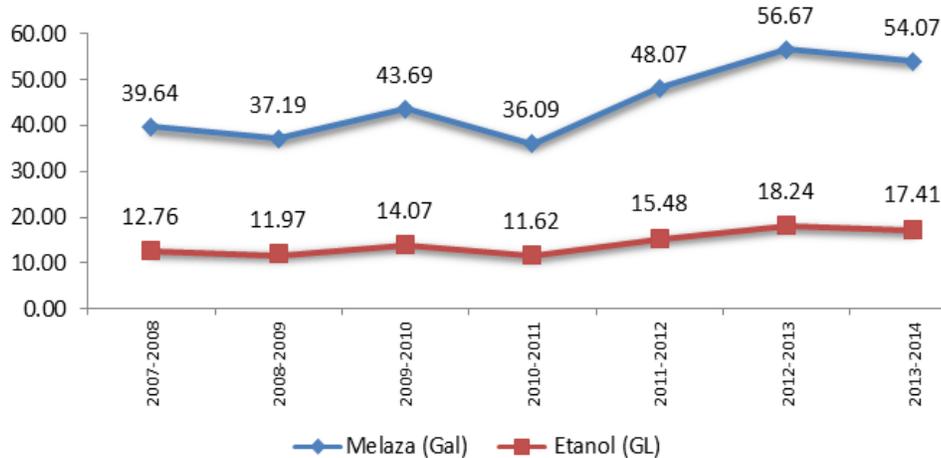
Tabla 1. Producción de melaza y bioetanol potencial por zafra

ZAFRA	MELAZA (GALONES)	BIOETANOL (GALONES)
2007-2008	39,636,814.70	12,761,120.83
2008-2009	37,187,536.07	11,972,572.57
2009-2010	43,690,345.00	14,066,159.85
2010-2011	36,093,787.75	11,620,438.98
2011-2012	48,069,317.95	15,475,975.54
2012-2013	56,670,072.44	18,244,998.93
2013-2014	54,070,215.31	17,407,971.76

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MAG⁷

Para el cálculo del potencial de bioetanol fue considerado que el 20%⁸ de la producción total de melaza es utilizada para el sector ganadero nacional, específicamente para la alimentación de ganado; es decir que únicamente fue considerado la melaza para consumo industrial y de exportación.

Figura 2. Evolución de la producción de melaza y bioetanol potencial por zafra



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Tabla 1.

⁷MAG. Recopilación de información sobre caña de azúcar en El Salvador, zafras 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014.

⁸Datos Asociación Azucarera de El Salvador.



Durante los últimos siete periodos de zafra, la producción de melaza se ha incrementado en 14.4 millones de galones. La mayor producción fue en el periodo 2012-2013, con 56.67 millones de galones. Con esta producción se tiene la mayor producción potencial de bioetanol, con 18.24 millones de galones.

Por otra parte, el consumo de gasolina, especial y regular, durante los últimos 8 años ha presentado una tendencia al alza, a un promedio de crecimiento de 2.1% anual; este crecimiento ha sido más pronunciado durante los últimos dos años, presentado un consumo promedio de 174.15 millones de galones y tasas promedio de 6.6% anual.

A partir del consumo de las gasolinas, se ha realizado una estimación de la cantidad de bioetanol necesario para realizar las mezclas al 5%, 10% y 15%, según se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Consumo de gasolina y requerimiento potencial de etanol para las diferentes mezclas.

AÑO	GASOLINA* (GALONES)	ETANOL (E5) (GALONES)	ETANOL (E10) (GALONES)	ETANOL (E15) (GALONES)
2007	155,331,992	7,766,600	15,533,199	23,299,799
2008	147,477,069	7,373,853	14,747,707	22,121,560
2009	159,088,173	7,954,409	15,908,817	23,863,226
2010	154,294,474	7,714,724	15,429,447	23,144,171
2011	157,798,592	7,889,930	15,779,859	23,669,789
2012	157,170,249	7,858,512	15,717,025	23,575,537
2013	169,818,605	8,490,930	16,981,861	25,472,791
2014	178,480,423	8,924,021	17,848,042	26,772,063
*Los datos corresponden al total de gasolina regular y especial				

Fuente: Elaboración propia a partir de datos publicados del MINEC.

Considerando el consumo de gasolina durante el año 2014, el cual fue de 178.48 millones de galones, se puede establecer la cantidad de melaza necesaria para preparar las diferentes mezclas, a partir de un rendimiento de 2.5 litros melaza por litro de bioetanol, siendo los resultados los siguientes:

- Para E5 se requieren 22.31 millones galones de melaza.
- Para E10 se requieren 44.62 millones de galones de melaza.
- Para E15 se requieren 66.93 millones de galones de melaza.

De acuerdo a la Tabla 1 la cantidad de melaza producida es en la zafra 2013-2014 fue de 54.07 millones de galones, esta cantidad de melaza alcanzaría para producir 17.41 millones de galones de bioetanol (sin tomar en cuenta la melaza utilizada por el sector ganadero), es decir que el país podría completar si necesidad de ampliar la frontera agrícola el 5% de la mezcla de gasolina con etanol y pudiéndose ampliar hasta un 9.75%.

Para mezclas del 15% (E15) se tendría un déficit de 9.36 millones de galones de bioetanol, es decir, sería necesario reducir la producción de azúcar y utilizar parte del jugo de la caña para producir bioetanol, o aumentar la producción de azúcar y así generar más melaza o mejorar el rendimiento de bioetanol a partir de melaza.



Es importante mencionar que el escenario anterior es para los datos de consumo de gasolina del 2014 y la producción de melaza de la zafra 2013-2014; Si se considera que el crecimiento anual en el consumo de gasolina en 2014 con respecto a 2013 fue de 5.1% y se asume que se mantiene constante, para el año 2020 se tendría un consumo de gasolina de 239.18 millones de galones, lo que implicaría que sería necesario una producción de melaza de 34.68 millones de galones para la mezcla E5, 69.36 millones de galones de melaza para la mezcla E10 y 104.04 millones de galones de melaza para E15; lo cual significa que la producción de melaza también debería crecer al mismo ritmo que el consumo de gasolina.

6. RESULTADOS DEL PROYECTO PILOTO DE MEZCLA Y USO DE ETANOL

El proyecto se realizó en dos etapas. La primera correspondiente a la prueba de las distintas mezclas gasolina-etanol en motores de entrenamiento estacionarios, con el propósito de determinar si los motores sufren daño por el uso de mezclas de gasolina-etanol. Esta etapa inició el 3 de diciembre de 2013 y finalizó el 24 de enero de 2014.

La segunda etapa inició el 18 de agosto de 2014 y finalizó el 23 de diciembre del mismo año. En esta etapa se suministró gasolina regular con etanol a distintas proporciones (E5, E10 y E15) a más de 40 vehículos de distintas instituciones públicas, privadas y academia. El suministro de las diferentes mezclas de gasolina-etanol se realizó en las siguientes fechas:

E5: del 18 de agosto al 9 de octubre de 2014.

E10: del 10 de octubre al 17 de noviembre de 2014.

E15: del 18 de noviembre al 23 de diciembre de 2014.

6.1 PRIMERA ETAPA

A través del Convenio entre la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE y el CNE se realizaron pruebas en cuatro Motores estacionarios con diferentes tecnologías (inyectado EFI, carburado, Inyectado EFI/cargado y EFI CAN-BUS). Para cada motor y mezcla se verificó el desempeño mecánico, el consumo de combustibles y el desempeño ambiental. Las características de los motores utilizados se presentan en la Tabla 3.



Tabla 3. Características de los motores estacionarios utilizados en la Primera Etapa.

EQ.	TIPO DE MOTOR	TECNOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
1	Inyectado EFI	Sistema de Inyección Multipunto secuencial, sistema de encendido DIS directo, sistema de auto diagnóstico OBD-II.	Motor: Toyota 1NZ Cilindrada: 1,600 cc. Año: 2,000 Cilindros: 4 en línea.
2	Carburado	Sistema de alimentación con carburador de 2 gargantas, Venturi fijo, flujo vertical descendente, sistema de encendido convencional por ruptores (platinos).	Motor: Toyota 3K. Cilindrada: 1,200cc. Año: 1976 Cilindros: 4 en línea.
3	EFI CAN BUS	Sistema de Inyección Multipunto secuencial, sistema de encendido DIS directo, sistema de auto diagnóstico y red electrónica CAN-Bus.	Motor: Hyundai Tucson Cilindrada 2,400cc. Año: 2008 Cilindros: 4 en línea.
4	Inyectado EFI/cargado	Sistema de Inyección Multipunto secuencial, sistema de encendido DIS tipo chispa de desecho, sistema de auto diagnóstico OBD-II.	Motor Kia Rio cilindrada 1,600 cc. Año 2,000 Cilindros: 4 en línea.

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Durante esta etapa se puso en funcionamiento cada uno de los motores por un período total de 26 horas con cada uno de los combustibles (E0, E5, E10 y E15); es decir 26 horas con E0, 26 horas con E5, 26 horas con E10 y 26 horas con E15. En cada motor se utilizó gasolina regular (E0) y mezclas gasolina-etanol en las siguientes proporciones:

- E5: 5% de etanol y 95% de gasolina.
- E10: 10% de etanol y 90% de gasolina.
- E15: 15% de etanol y 85% de gasolina.

Para cada uno de los combustibles y motores se evaluó el desempeño mecánico, desempeño ambiental y consumo de combustible.

Para el desempeño mecánico se realizaron pruebas de Análisis de ruido (prueba auditiva), Presión de combustible (PSI), Tiempo de base encendido (Grados), Temperatura de funcionamiento del motor (°C), Presión de compresión (PSI), Análisis de condición de bujías (prueba visual), Inspección de cilindros (prueba visual), Factor Lambda (λ) y Análisis de aceite de motor.

En el caso del desempeño ambiental se evaluó Medición de CO, Medición de HC y Medición de CO₂. Finalmente, en relación al consumo de combustibles se midió la cantidad de galones consumidos para en E0 y cada una de las mezclas.

6.1.1 RESULTADOS PRIMERA ETAPA

6.1.1.1 DESEMPEÑO MECÁNICO

6.1.1.1.1 ANÁLISIS DE RUIDO



Se utilizó el estetoscopio para verificar si se escuchaban ruidos anormales en el funcionamiento de las partes móviles del motor y los resultados fueron que no se escucharon ruidos anormales.

6.1.1.1.2 PRESIÓN DE COMBUSTIBLE (PSI)

Para esta prueba se midió la presión de funcionamiento del combustible para ver si la presión subía o bajaba y los resultados fueron que no disminuyó ni aumento, la presión se mantuvo normal.

6.1.1.1.3 TIEMPO DE AVANCE DE ENCENDIDO (GRADOS)

Para esta prueba se midió con la lámpara estroboscópica en tiempo de encendido del motor y los resultados fueron no hubo necesidad de avanzar ni retrasar el tiempo de encendido.

6.1.1.1.4 TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR (°C)

Para esta prueba se midió la temperatura de funcionamiento del motor, con un termómetro digital, antes y después del termostato y los resultados fueron que la temperatura de funcionamiento se mantuvo normal.

6.1.1.1.5 ANÁLISIS DE CONDICIÓN DE BUJÍAS

Para esta prueba se desmontaron las bujías y se verificó visualmente que el estado de carbonilla y los resultados fueron normales del funcionamiento.

6.1.1.1.6 INSPECCIÓN DE CILINDROS

Para esta prueba se introdujo una cámara para verificar el estado superficial del cilindro y los resultados fueron un estado normal de los cilindros, no se observaron roturas en los pistones ni en cámara de combustión de la culata, tampoco se observó exceso de carbonilla.

6.1.1.1.7 FACTOR LAMBDA (λ)

Para esta prueba se determinó el factor lambda con el equipo de medición de emisiones y los resultados fueron un factor normal de funcionamiento.

6.1.1.1.8 ANÁLISIS DE ACEITE DE MOTOR

Para esta prueba se tomaron muestras de cada uno de los motores de entrenamiento, después de cada uso de las mezclas (E0, E5, E10 y E15), dichas muestras fueron enviadas al Laboratorio de La General de Equipos, quienes son el único laboratorio en El Salvador que realiza este análisis. Los resultados indican que no se presentaron desgastes anormales de las piezas de los motores.

6.1.1.1.9 PRESIÓN DE COMPRESIÓN

En la Tabla 4 se presentan los resultados de las mediciones de presión de compresión en los cilindros de los motores de entrenamiento durante las pruebas con gasolina (E0) y las diferentes mezclas (E5, E10 y E15). También se presenta la variación de la compresión entre el cilindro con mayor compresión y el cilindro con menor compresión (columna 6). En la Figura 4 se han graficado los valores de las compresiones para cada cilindro y para cada mezcla.



Tabla 4. Presión de Compresiones en cilindros (Presiones de compresión en PSI)

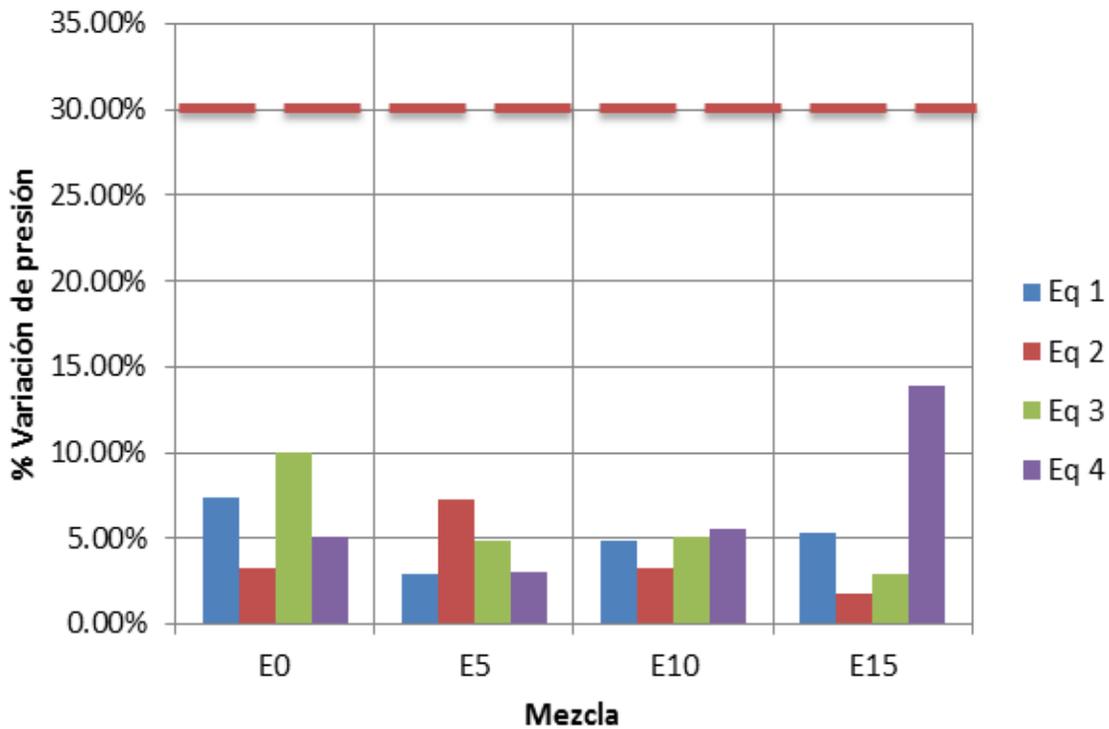
MOTOR	CILINDRO				VARIACIÓN EN RELACIÓN A MÁXIMA COMPRESIÓN	CONDICIÓN
	1	2	3	4		
Eq. 1						
E0	196	190	195	205	7.32%	Pasa
E5	204	200	205	206	2.91%	Pasa
E10	205	195	198	202	4.88%	Pasa
E15	190	180	180	185	5.26%	Pasa
Eq. 2						
E0	179	181	180	185	3.24%	Pasa
E5	194	180	180	180	7.22%	Pasa
E10	180	185	186	186	3.23%	Pasa
E15	165	162	165	165	1.82%	Pasa
Eq. 3						
E0	180	187	192	200	10.00%	Pasa
E5	181	181	176	185	4.86%	Pasa
E10	175	170	176	167	5.11%	Pasa
E15	170	170	175	175	2.86%	Pasa
Eq. 4						
E0	188	186	196	195	5.10%	Pasa
E5	197	195	201	197	2.99%	Pasa
E10	179	170	170	180	5.56%	Pasa
E15	170	179	155	180	13.89%	Pasa

Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE.

Como se observa en el gráfico de la Figura 3, las variaciones de compresión varían entre el 2% y el 14%, por lo que los valores se encuentran dentro de lo normal, por lo que se puede asegurar que no se tienen fugas por anillos, asientos de válvula o por desgaste de los cilindros.



Figura 3. Presión de compresión durante las pruebas con motores de entrenamiento



Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Ellinger y Halderman consideran que una variación menor que 30% en la presión del cilindro con mayor y menor compresión, indica que el motor trabaja en forma estable⁹.

Por lo anteriormente expuesto, se puede establecer durante el período de evaluación de los motores de entrenamiento el uso de mezclas gasolina-etanol no afectó significativamente el desempeño del motor ni causó daños al mismo.

6.1.1.2 DESEMPEÑO AMBIENTAL

En la Tabla 5 se presentan los porcentajes promedio de las variaciones de las emisiones de CO, HC y CO₂ medidas durante las pruebas con los motores de entrenamiento.

Tabla 5. Porcentajes de variación promedio de emisiones durante la prueba con motores de entrenamiento.

COMBUSTIBLE	HC (PPM)	CO (%)	CO ₂ (%)
E0	0.00%	0.00%	0.00%
E5	-7.23%	-21.38%	-2.07%
E10	-39.87%	-71.51%	5.83%
E15	-34.33%	-76.91%	5.72%

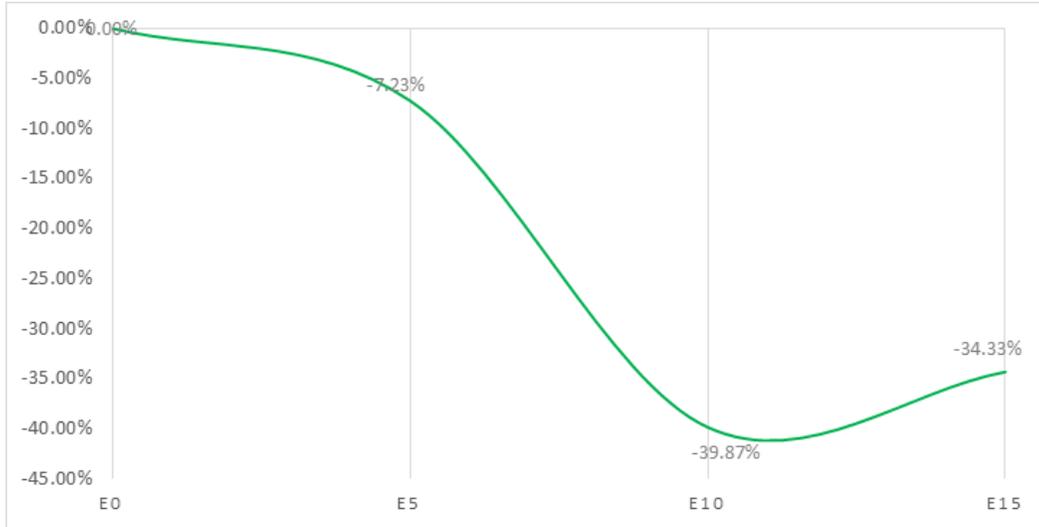
⁹Ellinger H. E. y Halderman J. D. (1991) Manual para Ajuste de Motores y Control de Emisiones. Tomo I, Segunda Edición



Los valores presentados en la Tabla 5 fueron obtenidos realizando mediciones puntuales en cada uno de los motores de entrenamiento, utilizando el equipo Brain Bee, modelo AGS-688. Para cada uno de los motores se tomaron 5 mediciones puntuales en el tubo de escape de cada motor tanto para gasolina (0% de etanol) como para cada mezcla de combustible (5%, 10% y 15% de etanol), y luego se promediaron los resultados.

En los gráficos de las Figuras 4, 5 y 6 se presenta el comportamiento de los gases de combustión (CO, HC y CO₂) de acuerdo a las mediciones realizadas.

Figura 4. Gráficos de la variación de hidrocarburos (HC) durante las pruebas con motores de entrenamiento

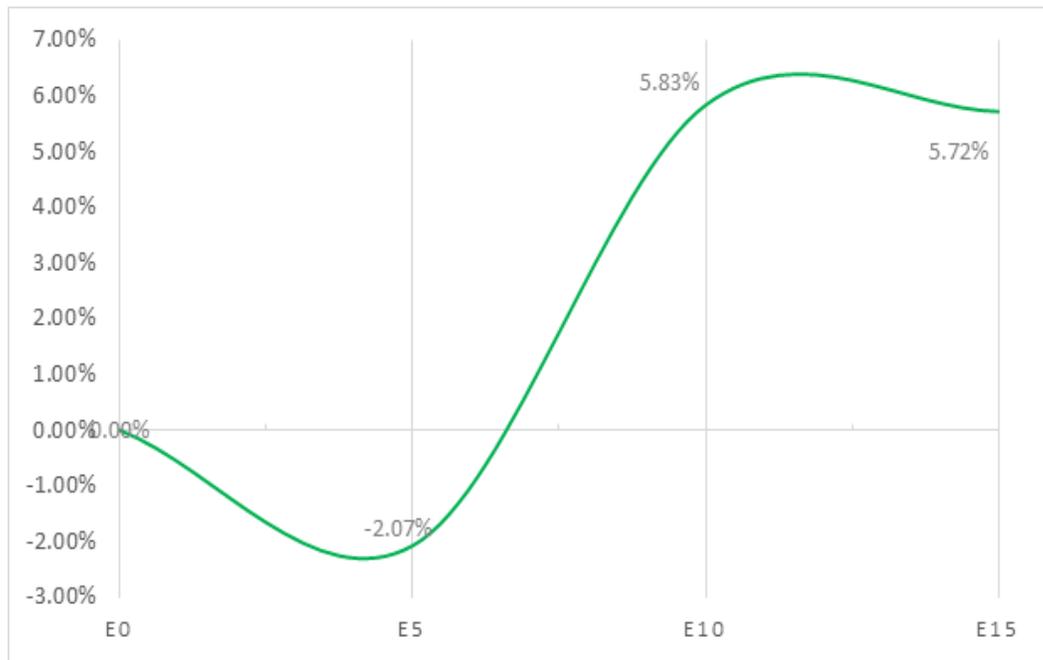


Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

En la Figura 4 se observa que el comportamiento de las emisiones de hidrocarburos al utilizar las diferentes mezclas muestra una tendencia a disminuir de la siguiente manera: 7.23% con E5, 39.87% con E10 y 34.33% con E15. Esto indica que para los motores estacionarios en las condiciones de operación realizadas, se logra disminuir las emisiones de HC con cualquier mezcla utilizada.



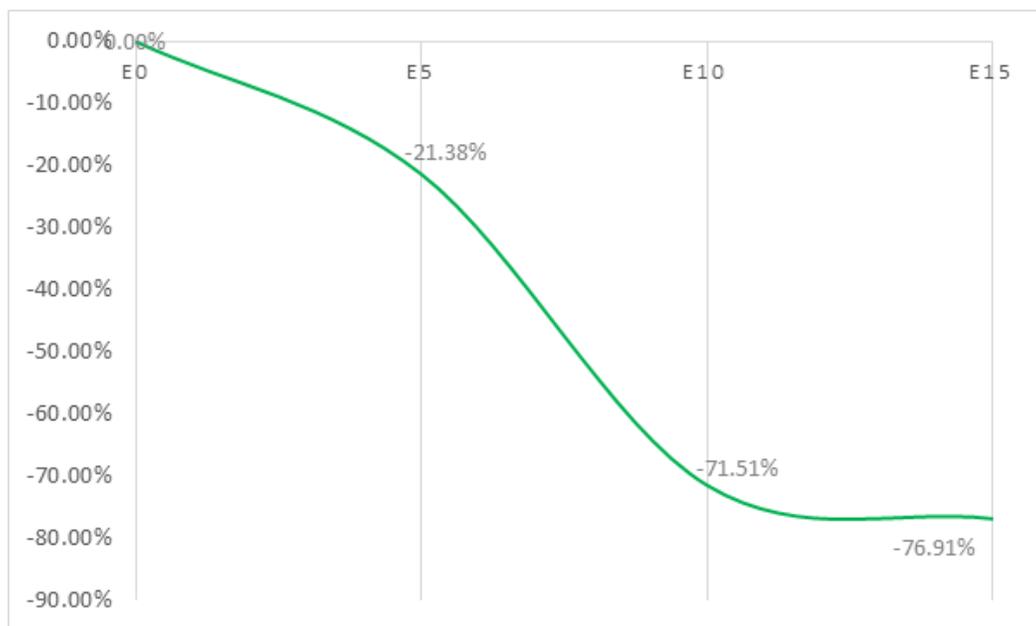
Figura 5. Gráficos de la variación de dióxido de carbono (CO₂) durante las pruebas con Motores de entrenamiento.



Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

En la Figura 5 se observa que para el CO₂ presenta disminuciones de 2.07% con E5. En cambio con E10 y E15 se incrementa 5.83% y 5.72% respectivamente. Este comportamiento indica que para los motores estacionarios en las condiciones de operación se logra una mejora en la combustión, lo queda demostrado con los aumentos de CO₂.

Figura 6. Variación de monóxido de carbono (CO) durante las pruebas con motores de entrenamiento.



Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE



De acuerdo a la Figura 6 se observa que el CO tiende a disminuir con el uso de mezclas gasolina-etanol. Con reducciones de 21.38% con E5, 71.51% con E10 y 76.91% con E15, lo que es indicativo de una mejor eficiencia de combustión en los motores de entrenamiento en las condiciones en que se operaron, es decir que estos porcentajes podrán variar en función de las condiciones del motor.

De los resultados obtenidos de la medición de emisiones en los motores estacionarios se puede establecer que las emisiones tienden a disminuir al utilizar bioetanol en las diferentes proporciones.

Por otra parte, de los resultados obtenidos con los motores de entrenamiento estacionarios, se determinó que no sería necesario hacer ninguna adaptación a los vehículos que formarían parte de la segunda etapa del proyecto, al mismo tiempo en un sentido amplio y de manera práctica, se considera que no habrá afectaciones en los sellos o en las válvulas de los motores debidas al uso de las mezclas de gasolina-etanol que se tiene previstas usar en la flota vehicular, que para el caso es: E5, E10 y E15

6.1.1.3 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

En la Tabla 6 se presentan los resultados del consumo de combustible durante las pruebas realizadas, se presenta el consumo (en galones) y el porcentaje de variación en el consumo con respecto a la gasolina sin etanol (E0).

Es importante mencionar que los resultados obtenidos corresponden a motores que se encontraban funcionando de manera estacionaria, por lo que los resultados permiten tener una estimación del desempeño de las mezclas en motores trabajando sin carga, lo que permite a escala experimental una visión clara de cómo se podría comportar un motor utilizando diferentes mezclas de gasolina con etanol.

Tabla 6. Consumo de combustible

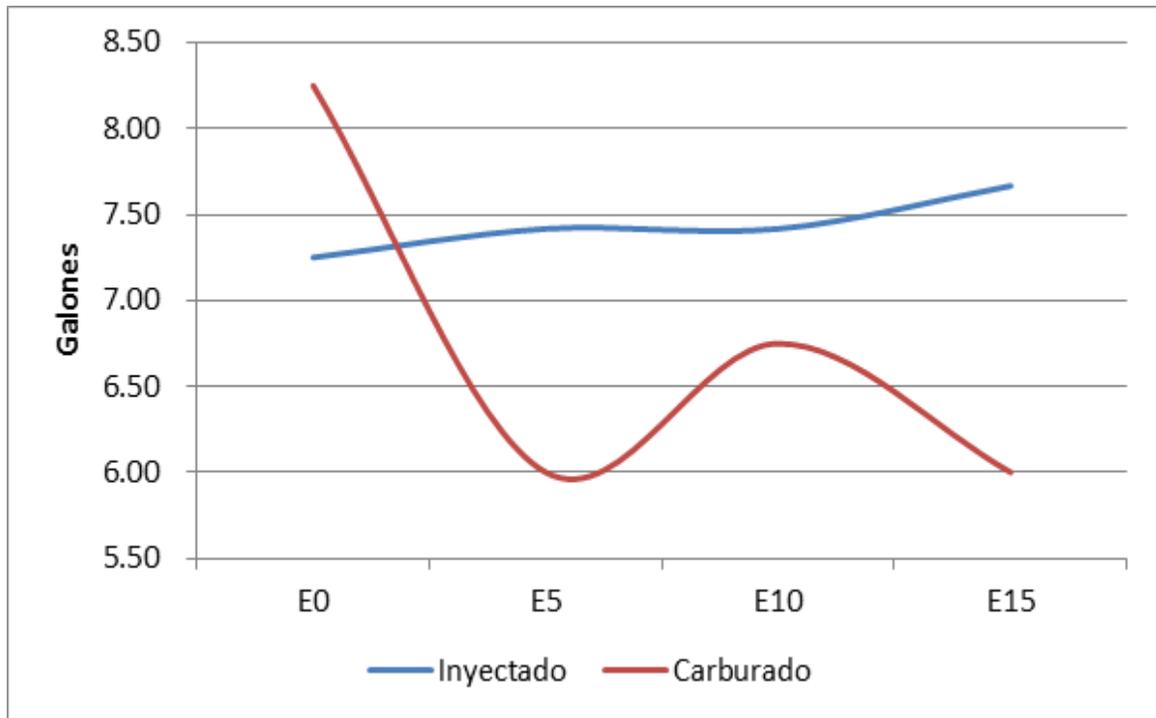
COMBUSTIBLE	EQ. 1		EQ. 2		EQ. 3		EQ. 4	
	CONSUMO (GAL)	VARIACIÓN (%)						
E0	6.25		8.25		8.00		7.50	
E5	7.00	12.00%	6.00	-27.30%	7.75	-3.10%	7.50	0.00%
E10	7.25	16.00%	6.75	-18.20%	7.00	-12.50%	8.00	6.70%
E15	8.25	32.00%	6.00	-27.30%	7.50	6.20%	7.25	-3.30%

Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

En la Figura 7 se presenta en forma gráfica el consumo promedio en galones para los motores inyectados y el consumo el motor carburado en función del tipo de mezcla y tipo de tecnología, en donde se puede observar que el consumo de combustible en el motor carburado disminuye al utilizar las diferentes mezclas de gasolina-etanol. En cambio los motores inyectados aumentan el consumo de combustible a medida que se incrementa el porcentaje de etanol en la mezcla.



Figura 7. Variación en el consumo de combustible de acuerdo al tipo de motor



Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE.

6.2 SEGUNDA ETAPA

Esta etapa consistió en realizar una prueba piloto en una flota vehicular conformada por vehículos del sector gubernamental, privado y académico. La prueba se inició el 18 de agosto de 2014 y finalizó el 23 de diciembre del mismo año. Consistió en proporcionar gasolina regular con distintos porcentajes de etanol (5%, 10% y 15%). El combustible fue suministrado de acuerdo a las siguientes fechas:

- E5: del 18 de agosto al 9 de octubre de 2014.
- E10: del 10 de octubre al 17 de noviembre de 2014.
- E15: del 18 de noviembre al 23 de diciembre de 2014.

Como primera acción de esta etapa se procedió a la elaboración de una línea base de todos los vehículos que participaron, la cual fue realizada en el taller de mecánica automotriz de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, durante la semana del 21 al 25 de julio de 2014. Para establecer la línea base fueron realizadas las siguientes pruebas a los vehículos:

- **Desempeño mecánico:** Inspección de bujías, prueba de vacío, prueba de presión de compresión y prueba de hermeticidad en cilindros, de aceite, aceleración gradual y aceleración total, diagnóstico de ruidos
- **Desempeño ambiental:** emisión de gases. Las pruebas anteriores también se realizaron al final del uso de cada mezcla, es decir al final del uso de E5, al final del uso de E10 y al final del uso de



E15 con el propósito de verificar el estado del vehículo después del uso de cada mezcla.

Además de lo anterior, también se realizó el control del consumo de combustible con cada una de las mezclas, con el propósito de establecer el rendimiento (km/gal) del combustible con cada mezcla.

Para la prueba piloto se contó con un total de 44 vehículos. En la Tabla 7 se presenta el número de vehículos participantes por institución y en el Anexo las características de los vehículos participantes.

Tabla 7. Vehículos participantes por institución en la prueba piloto.

INSTITUCIÓN	NÚMERO DE VEHÍCULOS
Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE	17
Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Humano (MOP)	15
Ingenio La Cabaña, S.A. de C.V.	8
Defensoría del Consumidor	2
Consejo Nacional de Energía (CNE)	1
Ministerio de Economía (MINEC)	1
Total	44

Fuente: Elaboración propia según control de combustible entregado

De los 44 vehículos participantes 32 fueron vehículos con tecnología inyectada, 9 vehículos con tecnología de carburada y 3 motos.

6.2.1 RESULTADOS SEGUNDA ETAPA

Las pruebas fueron realizadas por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE a los vehículos que participaron en la prueba piloto. Las pruebas fueron realizadas antes de iniciar el uso de las mezclas (para establecer la línea base) y después de finalizar el uso de cada una de las mezclas que se utilizaron, es decir antes de iniciar con E5 y luego después del uso de E5, E10 y E15. Constantemente, se verificó el desempeño mecánico, ambiental y el consumo de combustibles.

6.2.1.1 DESEMPEÑO MECÁNICO

Con el propósito de evaluar el desempeño mecánico de los vehículos que participaron en la prueba piloto se realizaron las siguientes pruebas:

- Presión de compresión
- Prueba de vacío
- Prueba de hermeticidad de cilindros
- Diagnóstico de ruido
- Verificación del estado de las bujías
- Pruebas de aceite de motor
- Aceleración gradual y aceleración total.



Además de las pruebas antes mencionadas también se realizó una prueba dinamométrica a cuatro vehículos seleccionados de la flota vehicular que participó en la prueba piloto.

6.2.1.1.1 PRUEBA DE VACÍO

La prueba de vacío se realizó para verificar si la presión en el múltiple de admisión es positiva comparada con el cero absoluto; Esto con el propósito determinar si en el motor existen pérdidas de presión por mal funcionamiento del mismo debido a condiciones internas, a un ajuste incorrecto de la mezcla aire-combustible o la puesta a punto del encendido del motor.

Los resultados obtenidos reflejaron lecturas normales de vacío en el múltiple de admisión, por lo que se puede establecer que el uso de las mezclas no afectó la presión en el múltiple de admisión.

6.2.1.1.2 PRUEBA DE HERMETICIDAD DE CILINDROS

Esta prueba se realizó para determinar posibles fugas de compresión debidas a fugas por anillos, válvulas (de escape o de admisión) y/o empaque de culata; esta prueba fue realizada a continuación de la prueba de compresión. En los resultados de esta prueba no se observaron fugas de compresión, lo que indica que el uso de las diferentes mezclas no afectó el motor.

6.2.1.1.3 DIAGNÓSTICO DE RUIDO

Se realizó para verificar ruidos anormales en los diferentes componentes de los motores de los vehículos participantes. Entre estos ruidos se pueden mencionar: detonaciones por mala combustión, asientos de válvulas dañados, válvulas torcidas, bujías en mal estado.

El diagnóstico de ruido realizado no evidenció ruidos anormales por el uso de la mezclas gasolina-etanol.

6.2.1.1.4 VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LAS BUJÍAS

Se realizó para verificar de manera visual si el uso de mezclas gasolina-etanol originaba problemas de operación del motor, ya que el estado de las bujías puede ser un indicativo de la condición dentro de los cilindros y ayudan a comprender mejor lo que ocurre dentro del motor. En tal sentido, los depósitos en las bujías dan una indicación del trabajo de cada cilindro.

Los resultados del examen visual de las bujías indican una condición normal dentro de los cilindros. Las bujías en general presentaban quemaduras reducidas de los electrodos y aislante de color blanco-gris amarillo hasta marrón claro. Todo lo cual es indicativo de un funcionamiento normal del motor.

6.2.1.1.5 PRESIÓN DE COMPRESIÓN

La prueba de presión de compresión fue efectuada con el propósito de identificar fugas por anillos, asientos de válvula o desgaste de cilindro, para esto se realizaron mediciones de presión de compresión en los cilindros de cada uno los motores de los vehículos participantes.



En la Tabla 8 y 9 se presentan los resultados de las mediciones de presión de compresión en los cilindros de los vehículos durante las pruebas con gasolina (E0) y las diferentes mezclas (E5, E10 y E15). También se presenta la variación de la compresión entre el cilindro con mayor compresión y el cilindro con menor compresión (columna 6). En la Figura 8 y 9 se han graficado las variaciones de las compresiones para cada mezcla.

Tabla 8. Presión de Compresiones en cilindros de vehículos inyectados y carburados (PSI).

NO. EQ.	MEZCLA	CILINDRO				VARIACIÓN EN RELACIÓN A MÁXIMA COMPRESIÓN	CONDICIÓN
		1	2	3	4		
Eq. 08	E0	190	190	190	180	5.26%	PASA
	E5	170	180	175	170	5.56%	PASA
	E10	170	160	170	160	5.88%	PASA
	E15	190	190	195	182	6.67%	PASA
Eq. 11	E0	150	180	160	163	16.67%	PASA
	E5	150	180	180	180	16.67%	PASA
	E10	148	175	175	180	17.78%	PASA
	E15	165	195	195	200	17.50%	PASA
Eq. 15	E0	140	140	145	135	6.90%	PASA
	E5	150	130	130	150	13.33%	PASA
	E10	150	150	150	150	0.00%	PASA
	E15	185	180	170	185	8.11%	PASA
Eq. 20	E0	160	150	145	160	9.38%	PASA
	E5	160	160	165	160	3.03%	PASA
	E10	140	140	145	140	3.45%	PASA
	E15	185	185	185	185	0.00%	PASA
Eq. 21	E0	165	170	165	180	8.33%	PASA
	E5	150	160	160	160	6.25%	PASA
	E10	150	160	155	160	6.25%	PASA
	E15	170	180	180	180	5.56%	PASA
Eq. 22	E0	180	180	170	175	5.56%	PASA
	E5	165	160	170	165	5.88%	PASA
	E10	155	155	155	155	0.00%	PASA
	E15	180	180	180	180	0.00%	PASA
Eq. 23	E0	180	180	180	170	5.56%	PASA
	E5	165	170	165	165	2.94%	PASA
	E10	160	170	160	160	5.88%	PASA
	E15	175	170	180	180	5.56%	PASA

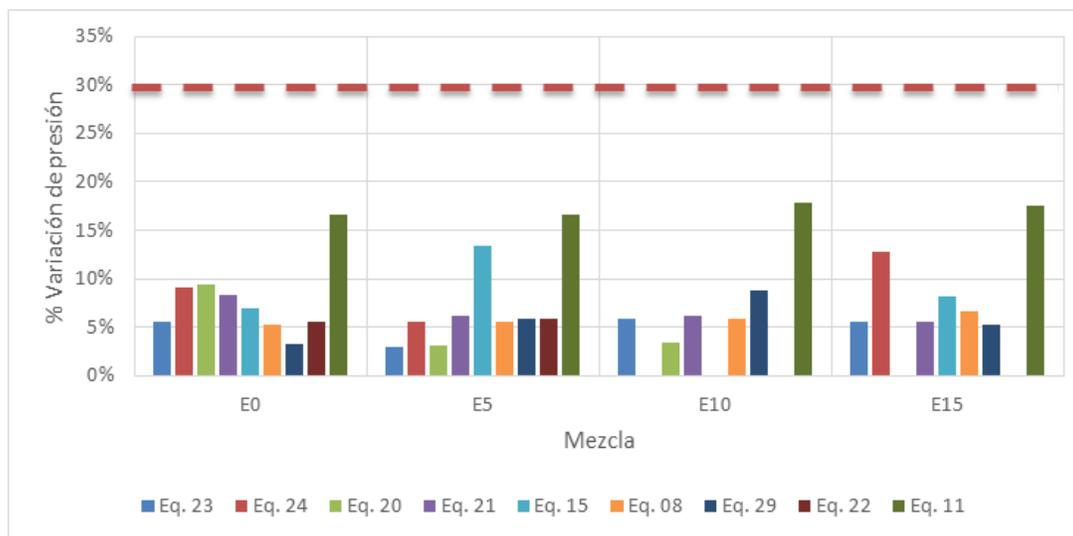


NO. EQ.	MEZCLA	CILINDRO				VARIACIÓN EN RELACIÓN A MÁXIMA COMPRESIÓN	CONDICIÓN
		1	2	3	4		
Eq. 24	E0	160	165	150	155	9.09%	PASA
	E5	170	180	170	175	5.56%	PASA
	E10	160	160	160	160	0.00%	PASA
	E15	185	210	190	212	12.74%	PASA
Eq. 29	E0	150	155	150	155	3.23%	PASA
	E5	160	160	160	170	5.88%	PASA
	E10	155	165	160	170	8.82%	PASA
	E15	180	180	185	190	5.26%	PASA

Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Las variaciones de presión de compresión en los cilindros se encuentran en el rango entre 2% a 18% (ver Figura 8) de variación, lo que es considerado como normal de acuerdo a otros estudios, tales como el de Ellinger y Halderman, quienes mencionaron que las presiones de compresión deben mantenerse en un rango inferior al 30%¹⁰.

Figura 8. Presión de compresión promedio para los vehículos con sistema inyectado



Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

¹⁰ Ellinger H. E. y Halderman J. D. (1991) Manual para Ajuste de Motores y Control de Emisiones. Tomo I, Segunda Edición

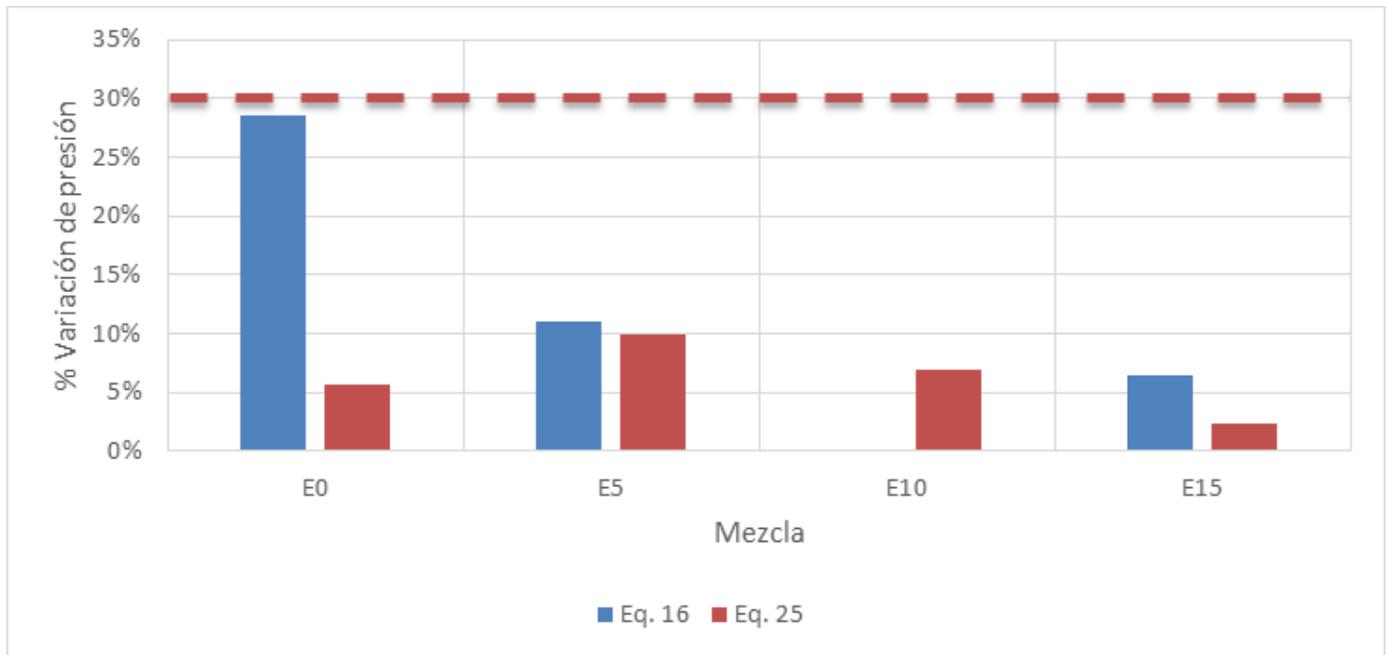


Tabla 9. Presión de Compresiones en cilindros de vehículos carburados (PSI).

NO. EQ.	MEZCLA	CILINDRO				VARIACIÓN EN RELACIÓN A MÁXIMA COMPRESIÓN	CONDICIÓN
		1	2	3	4		
Eq. 16	E0	100	140	135	140	28.57%	PASA
	E5	130	120	120	135	11.11%	PASA
	E10	120	120	120	120	0.00%	PASA
	E15	150	155	145	155	6.45%	PASA
Eq. 25	E0	165	175	175	170	5.71%	PASA
	E5	150	135	140	140	10.00%	PASA
	E10	145	140	135	145	6.90%	PASA
	E15	174	170	174	174	2.30%	PASA

Los valores de variación de presiones de compresión, al igual que en los vehículos inyectados, no sobrepasan el 30% establecido como límite normal, tal como puede observarse en la Tabla 9.

Figura 9. Presión de compresión promedio para los vehículos con sistema de carburación.



Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Al igual que los vehículos inyectados, se puede establecer que durante el período de evaluación de los vehículos, el uso de mezclas gasolina-etanol no generó un desgaste anormal en las piezas de los motores (Meléndez J. O, 2015¹¹).

¹¹ Director de la Escuela de Mecánica de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE)



De los resultados en las presiones de compresión tanto para vehículos inyectados como para carburados, se puede establecer que el uso de las mezclas de gasolina con etanol no ha originado afectación (desgaste anormal) en los cilindros de los motores, es decir, no se evidenció alguna oxidación, desgaste de algún sello u otro que podría afectar la carrera del pistón dentro del cilindro y que se evidenciara como una disminución o aumento drástico (más del 30%) en la presión de los cilindros, ya que para el caso se usaron las mezclas en diferentes proporciones un poco más de tres meses.

Los aumentos o decrementos de presión que se observan en los resultados están dentro de los parámetros normales de variación de las presiones en los cilindros. Dichos resultados están en concordancia con los estudios realizados por otros investigadores como Apace Research Ltd (1998)¹², quienes indican que el uso de mezclas gasolina-etanol no afecta negativamente el funcionamiento del motor.

6.2.1.1.6 PRUEBA DINAMOMÉTRICA



Con el propósito de evaluar el efecto de las diferentes mezclas de gasolina-etanol (E5, E10 y E15) sobre la potencia del motor, el ITCA realizó gestiones ante Excel Automotriz para que se realizarán pruebas de potencia de vehículos en las instalaciones y utilizando el equipo de dicha compañía.

Las características del dinamómetro utilizado se presentan en la Tabla 10. Las pruebas fueron realizadas el 2 y 3 de diciembre de 2014 en las instalaciones del Taller Toyota Los Héroes.

Tabla 10. Características del dinamómetro.

MARCA:	SUN
MODELO:	RAM 2000
MEDICION A REALIZAR:	POTENCIA DE MOTOR EN KW

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados por Excel Automotriz

Para la prueba fueron seleccionados cuatro vehículos, siendo la condición principal de selección que los vehículos tuvieran solamente tracción trasera, esto por razones de seguridad al momento de realizar las pruebas.

En ese sentido, fueron seleccionados los vehículos detallados a continuación (Tabla 11).

¹² Apace Research Ltd (1998). Intensive Field Trial of Ethanol/Petrol Blend in Vehicles. Volume 1 Main Report, Australia.



Tabla 11. Características de los vehículos utilizados en la prueba dinamométrica.

VEHÍCULO	NO. EQUIPO	MARCA	MODELO	AÑO	MOTOR	CILINDRADA	TECNOLOGÍA
1	Eq. 43	Ford	Ranger	2002	-	-	Inyección
2	Eq. 41	Toyota	Land Cruiser	1992	22R	2.4	Carburado
3	Eq. 30	Toyota	4Runner	1997	5VZ	3.4 L	Inyección
4	Eq. 21	Chevrolet	S10	1995	-	1.8	Inyección

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE.

Es importante mencionar que se midió la potencia del motor de cada vehículo utilizando gasolina al 100% (E0) y las mezclas E5, E10 y E15.

Tabla 12. Resultados de la prueba de potencia (kW)

COMBUSTIBLE	VEHÍCULO 1	VEHÍCULO 2	VEHÍCULO 3	VEHÍCULO 4
Gasolina (E0)	93.30	56.50	115.00	66.00
Mezcla E5	90.50	57.50	114.00	67.50
Mezcla E10	87.50	60.00	116.50	66.50
Mezcla E15	90.50	59.50	111.50	67.00

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en la prueba dinamométrica.

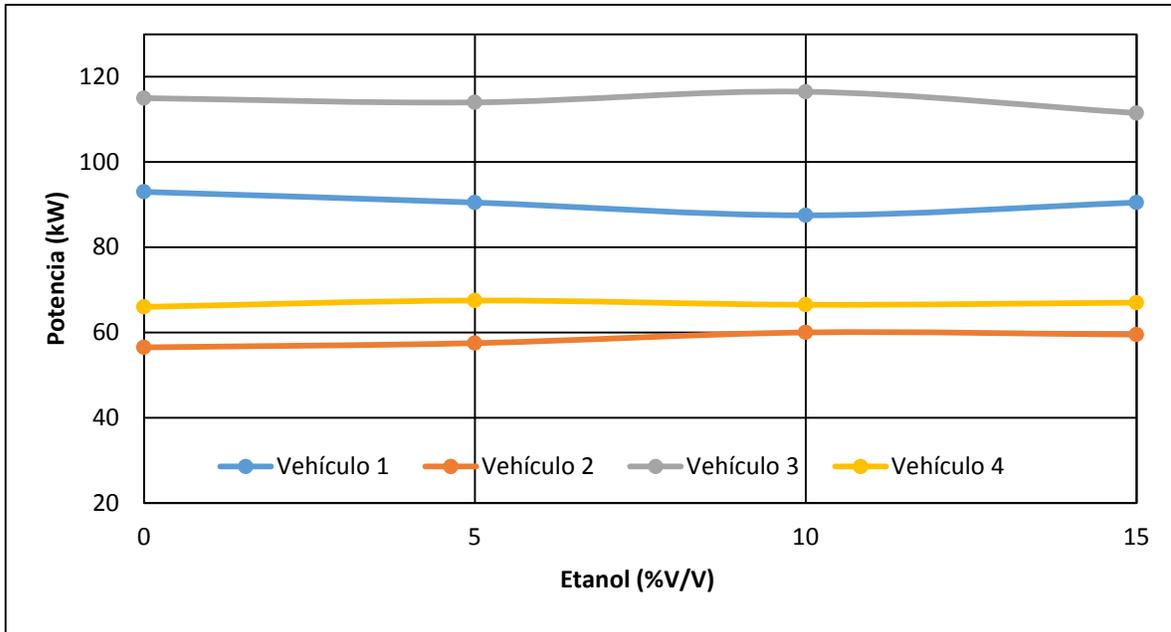
En los resultados se observa que el Vehículo 1 presenta una tendencia a disminuir la potencia del motor, con respecto a la gasolina (E0), cuando se utilizan las diferentes mezclas (E5, E10 y E15). La disminución es de 2.5 kW (3%) para E5 y E15; y 5.5 (6%) kW para E10.

El Vehículo 2 presenta una tendencia a incrementar la potencia del motor al utilizar las diferentes mezclas: 1 kW (2%) con E5, 3.5 kW (6%) con E10 y 3 kW (5%) con E15.

El Vehículo 3 disminuye la potencia del motor cuando se utiliza E5 y E15: 1 kW (1%) con E5 y 3.5 kW (3%) con E15. En cambio cuando se utiliza E10 la potencia aumenta en 1.5 kW (1%). Finalmente el Vehículo 4 presenta una tendencia a aumentar la potencia del motor al utilizar todas las mezclas: 1.5 kW (2%) con E5 0.5 kW (1%) con E10 y 1 kW (2%) con E15.



Figura 10. Variación de la potencia del motor en función del tipo de combustible.



Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

Los resultados sugieren que los motores con sistema de alimentación de combustible mediante carburador incrementan, más que los inyectados, la potencia con todas las mezclas utilizadas, especialmente al utilizar E10, con la cual se logra un incremento de la potencia de hasta 6%.

En tal sentido, de acuerdo a los valores obtenidos de potencia del motor al utilizar mezclas de gasolina con etanol, no se evidencia que pueda haber alguna afectación del desempeño del vehículo en la carretera, partiendo del hecho que de los valores obtenidos de potencia la mayoría dio arriba del valor de referencia E0. Estos aumentos fueron entre el 1% y el 6%. Dicho incremento está en concordancia con los estudios realizados por otros investigadores como Piamba Tulcán O. E., Arias Collazos O. F., (2007)¹³ y Castillo Hernández P, Mendoza Domínguez A., Caballero Mata P., (2011), quienes indicaban que la potencia se incrementa con mezclas gasolina-etanol¹⁴.

Así mismo, solamente un vehículo evidencio una disminución en la potencia del motor, con variaciones que oscilaron entre el 2.7% y el 6%. Sin embargo, no se consideran variaciones de potencia significativas que afecten al desempeño del motor, es decir, no habría una afectación directa y significativa del desplazamiento del vehículo por el uso de mezclas de gasolina con etanol, al menos en las proporciones consideradas (5%, 10% y 15%).

¹³ Piamba Tulcán O. E., Arias Collazos O. F., (2007). Desempeño de Motor Utilizando como Combustible Mezcla de Etanol Anhidro y Gasolina en Relación de 10% en Volumen E10. 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cuzco, Perú.

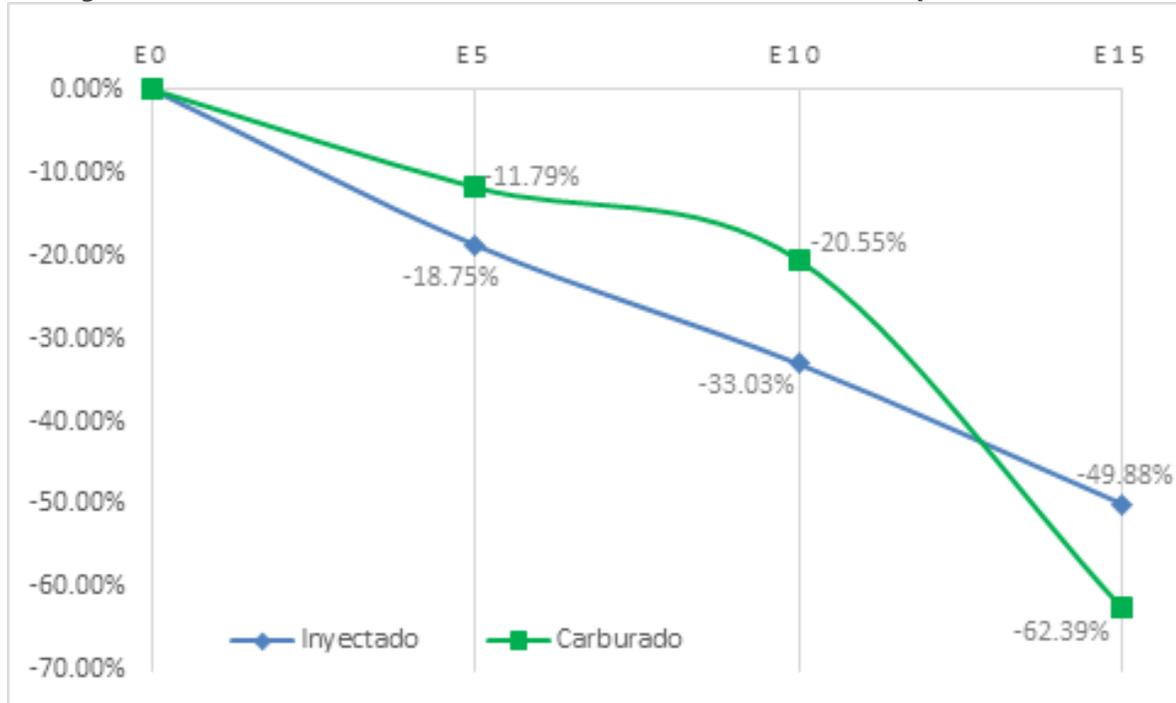
¹⁴ Castillo Hernández P, Mendoza Domínguez A., Caballero Mata P., (2011). Análisis de las Propiedades Físicoquímicas de Gasolina y Diesel Mexicanos Reformulados con Etanol. Ingeniería Investigación y tecnología, Volumen XIII (Número 3),



6.2.1.2 DESEMPEÑO AMBIENTAL

La evaluación del desempeño ambiental consistió en medir las emisiones de Monóxido de Carbono (CO), hidrocarburos (HC) y Dióxido de Carbono (CO₂) en los gases de escape de los vehículos participantes en la prueba piloto. Las mediciones se realizaron de manera puntual en cuatro momentos: Antes de iniciar el dispensado de las mezclas (línea base), al finalizar el uso de la mezcla E5, al finalizar el uso de la mezcla E10 y al finalizar el uso de E15. Los resultados obtenidos se promediaron y son presentados en las Figuras 11, 12 y 13.

Figura 11. Variación del Monóxido de Carbono (CO) en función del tipo de combustible.



Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

En la Figura 11 se observa que la concentración promedio de CO en los gases de escape tiende a disminuir al incrementar el porcentaje de etanol en la gasolina. La disminución para vehículos carburados es la siguiente: 11.79% con E5, 20.55% con E10 y 62.39% con E15. Para vehículos inyectados la disminución es la siguiente: 18.7% con E5, 33.03% con E10 y 49.88% con E15.

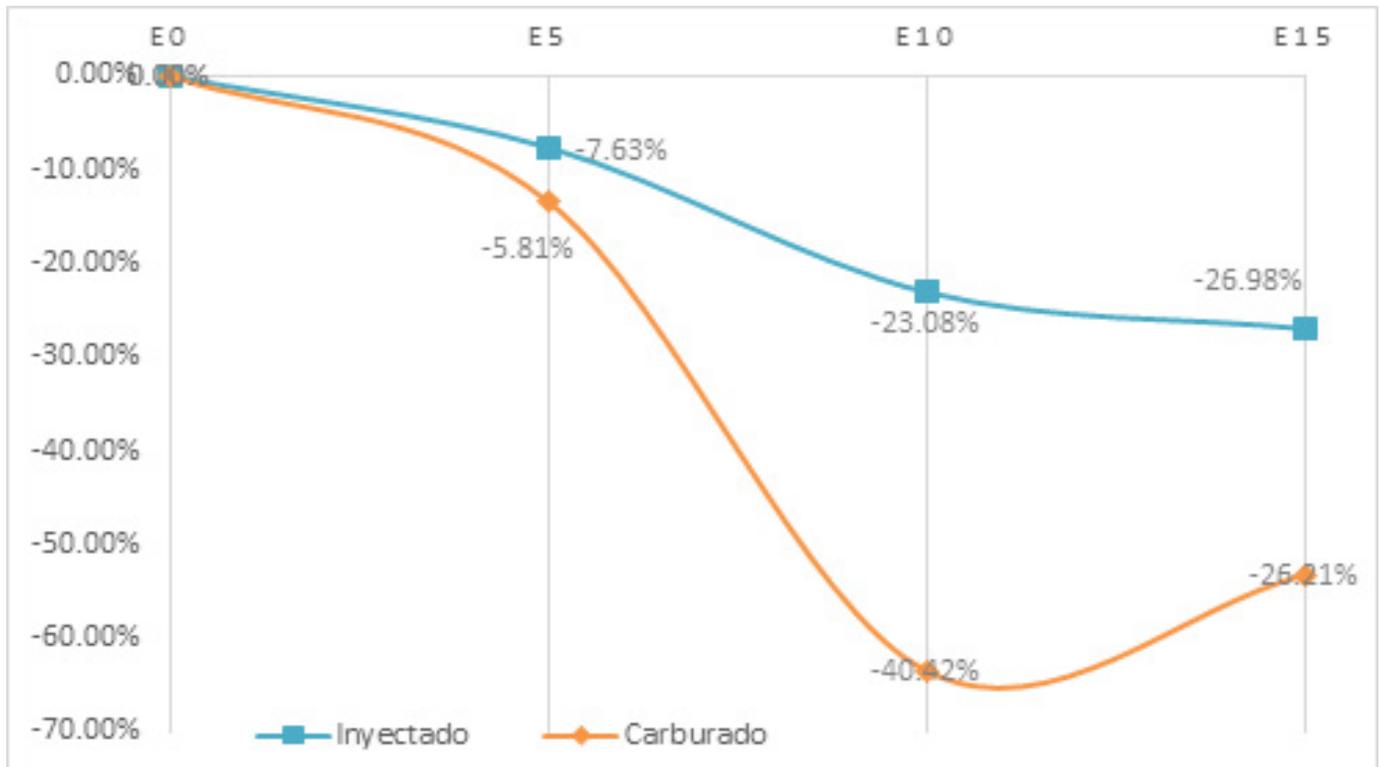
Lo anterior indica que las mezclas gasolina-etanol contaminan menos que el uso de gasolina sin etanol. Lo cual está en concordancia con los estudios técnicos comparativos entre gasolina y mezclas de ésta con etanol, realizados por otros investigadores como Panchal N, Tarsadia C, Parikh J, Agrawal R., Rathod P, (2014)¹⁵ y Piamba Tulcán O. E., Arias Collazos O. F., (2007)¹⁶, quienes establecían que el CO disminuye al utilizar mezclas gasolina-etanol.

¹⁵ Panchal N, Tarsadia C, Parikh J, Agrawal R., Rathod P, (2014). Experimental Analysis of Emission Parameters for Various Blend of Gasohol on Multi-Cylinder and Single Petrol Engine. International Journal of Modern Engineering Research. Vo. 4, Iss. 6.

¹⁶ Piamba Tulcán O. E., Arias Collazos O. F., (2007). Desempeño de Motor Utilizando como Combustible Mezcla de Etanol Anhidro y Gasolina en Relación de 10% en Volumen E10. 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Cuzco, Perú.



Figura 12. Variación de los hidrocarburos (HC) en función del tipo de combustible.



Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

En la Figura 12 se observa que la concentración de hidrocarburos en los gases de escape disminuye cuando se utiliza la mezcla gasolina-etanol en cualquier proporción. La disminución para vehículos carburados es de 5.81% con E5, 40.42% con E10 y 26.21% con E15. Para vehículos inyectados la disminución es la siguiente: 7.63% con E5, 23.08% con E10 y 26.98% con E15.

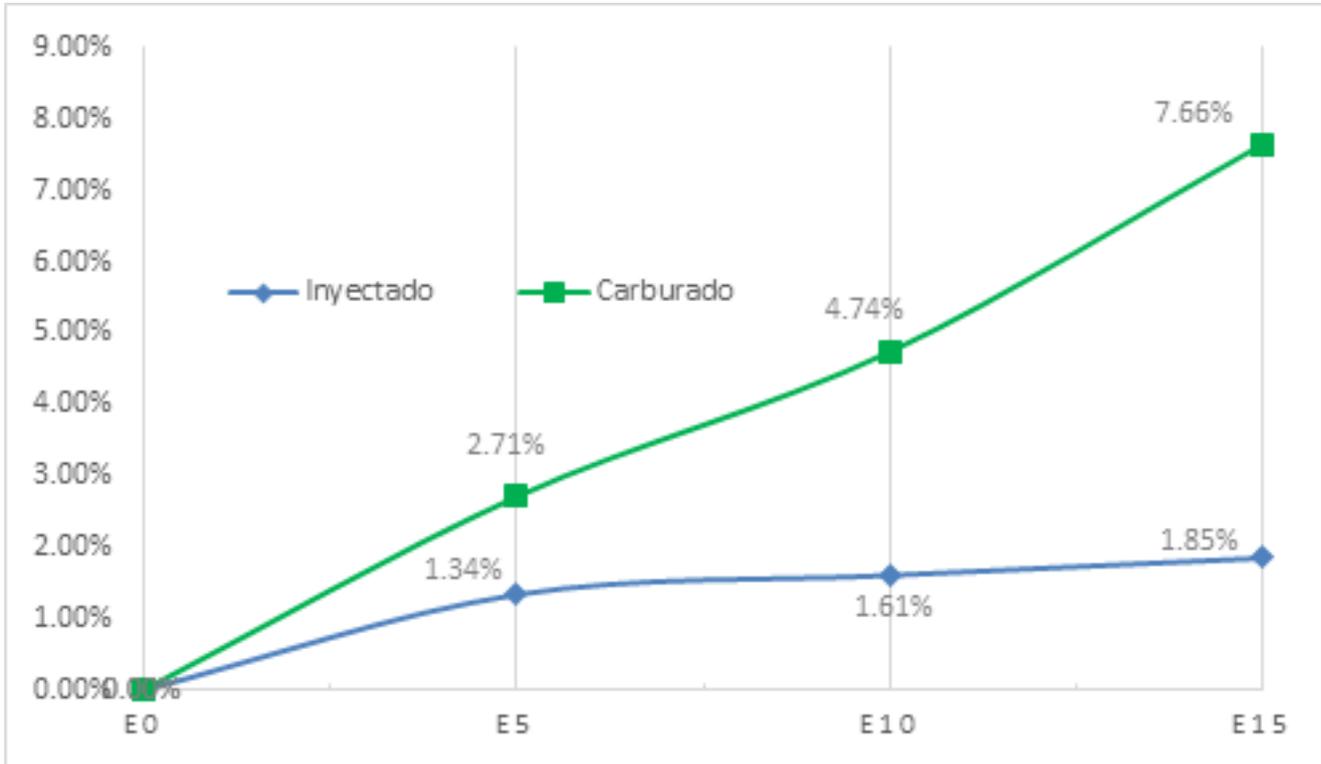
Los resultados obtenidos están en concordancia con los estudios técnicos comparativos entre gasolina y mezclas de ésta con etanol, realizados por otros investigadores como Panchal N y otros (2014)¹⁷ y Piamba Tulcán (2007)¹⁸, quienes indican que los hidrocarburos disminuyen al utilizar mezclas gasolina-etanol, en condiciones controladas.

¹⁷ Ver Panchal N y otros (2014)

¹⁸ Ver Piamba Tulcán (2007)



Figura 13. Variación del Dióxido de Carbono (CO2) en función del tipo de combustible.



Fuente: Elaboración propia según resultados obtenidos por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE

En la Figura 13 se observa que el comportamiento del CO2 en los gases de escape tiende a aumentar tanto en vehículos carburados como inyectados. Para los vehículos carburados el incremento es de 1.34% con E5, 1.61% con E10 y 1.85% con E15. Los vehículos carburados presenta los siguientes aumentos: 2.71% con E5, 4.74% con E10 y 7.66% con E15.

Los resultados obtenidos para el CO2 indican que con el uso de mezclas gasolina-etanol se logra mejorar la combustión, lo cual contribuye a disminuir las emisiones de CO y HC. Dicho comportamiento es similar a lo que se presenta en otros estudios de investigadores como Panchal N y otros (2014)¹⁹ y Piamba Tulcán (2007)²⁰ han encontrado.

6.2.1.3 CONSUMO Y RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE

6.2.1.3.1 CONSUMO DE MEZCLA GASOLINA-ETANOL

Durante la segunda etapa de la prueba fueron entregados un total de 5,823.05 galones de combustible (mezcla gasolina-etanol) según se detalla en la Tabla 12. De esta cantidad el 51.62% fue dispensado al ITCA, el 27.35% fue dispensado al Ingenio La Cabaña, el 17.09% al MOP, el 2.23% a la Defensoría del Consumidor, el 0.84% al MINEC y finalmente un 0.86% al CNE a través del vehículo híbrido.

¹⁹ Ver Ver Panchal N y otros (2014)

²⁰ Ver Piamba Tulcán (2007)



Tabla 13. Combustible entregado por institución

INSTITUCIÓN	VOLUMEN DISPENSADO (GALONES)			
	E5	E10	E15	TOTAL
Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE	939.88	804.66	1,261.52	3,006.06
Ingenio La Cabaña S.A. de C.V.	649.71	503.68	439.46	1,592.85
Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOP)	453.06	246.62	295.71	995.39
Defensoría del Consumidor	70.79	25.96	33.32	130.07
Consejo Nacional de Energía (CNE)	8.48	16.87	24.53	49.88
Ministerio de Economía (MINEC)	--	40.8	8.00	48.8
Total	2,121.92	1,638.59	2,062.54	5,823.05

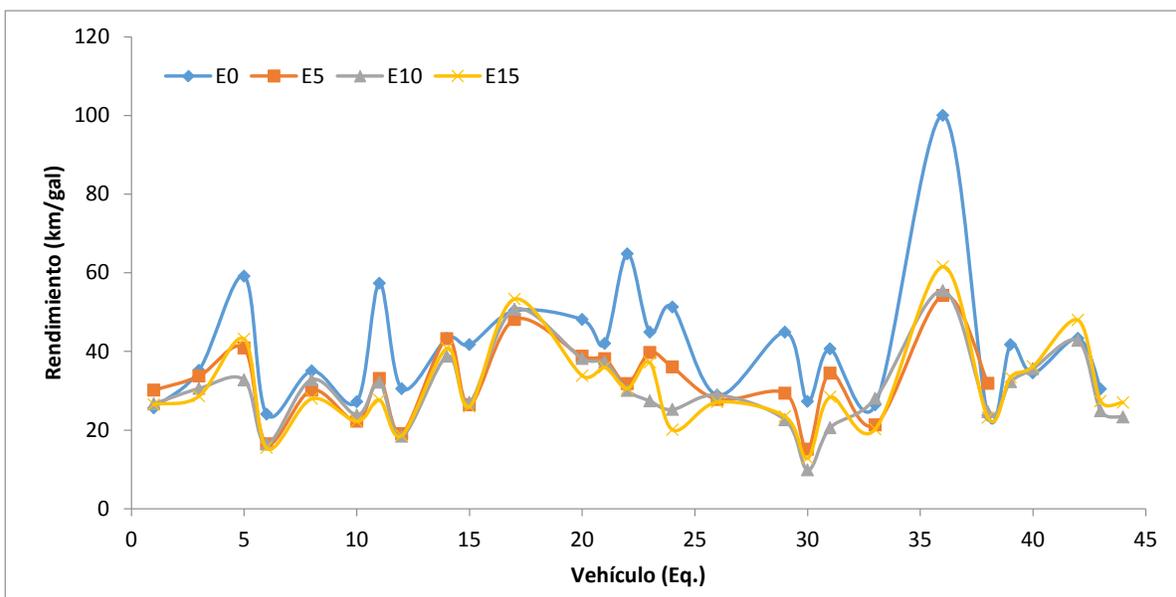
Fuente: Elaboración propia según control de combustible entregado.

En total se entregó combustible a 41 vehículos y 3 motocicletas. Con base a esto y lo detallado en la Tabla 13 se puede resaltar que en promedio a cada vehículo dentro del proyecto se le dispense combustible de la siguiente manera: 48 gal/vehículo de E5, 37 gal/vehículo de E10 y 132 gal/vehículo de E15.

6.2.1.3.2 RENDIMIENTO DE LA MEZCLA GASOLINA-ETANOL

Para evaluar el rendimiento (km/galón) de las mezclas gasolina-etanol (E5, E10 y E15) utilizadas se implementó un registro de la cantidad de mezcla entregada a cada vehículos, el kilometraje recorrido y los datos de fabrica del consumo de combustible de cada vehículo. En la Figura 14 se presenta el rendimiento de los vehículos con sistema de inyección de combustible; en la Figura 15 se presenta el rendimiento para los vehículos con sistema carburado; y en la Figura 16 se presenta el rendimiento para las motocicletas.

Figura 14. Rendimiento de combustible para vehículos con sistema de inyección.

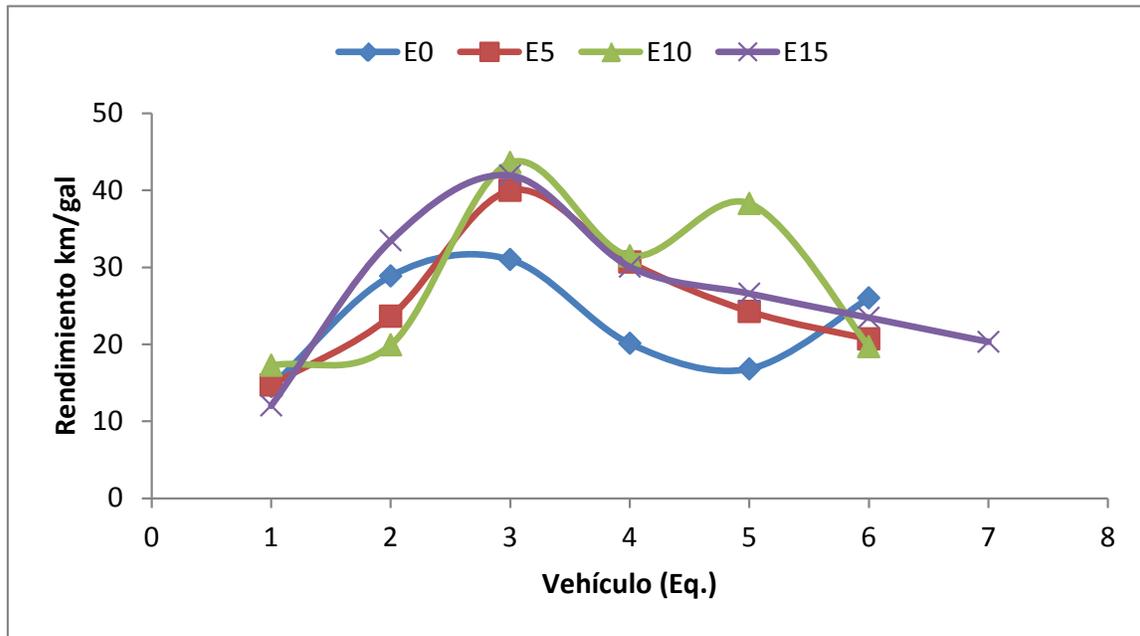


Fuente: Elaboración propia según control de combustible entregado.



El rendimiento de las diferentes mezclas de etanol-gasolina (E5, E10 y E15) en los vehículos con sistema de inyección es menor con respecto al rendimiento con gasolina (E0), siendo disminuciones de 25% para E5, 32% para E10 y 31% para E15. Esta disminución se debe a que el poder calorífico del etanol es menor que el poder calorífico de la gasolina. Otros investigadores como Apace Research Ltd (1998)²¹. También indican un aumento en el consumo de combustible al utilizar mezclas gasolina-etanol.

Figura 15. Rendimiento de combustible para vehículos con sistema carburado.



Fuente: Elaboración propia según control de combustible entregado.

Como se puede observar en la Figura 15, a diferencia de los vehículos con sistema de inyección, los vehículos con sistema de carburación presentan en general una tendencia a aumentar su rendimiento con respecto al uso de gasolina. En promedio el incremento del rendimiento es de 12% con E5, 30% con E10 y 27% con E15.

Esto parece indicar que los vehículos con sistema de carburación mejoran su rendimiento al utilizar mezcla gasolina-etanol. Sin embargo, esta tecnología se encuentra en proceso de sustitución por vehículos nuevos construidos con sistema de inyección para la alimentación de combustible.

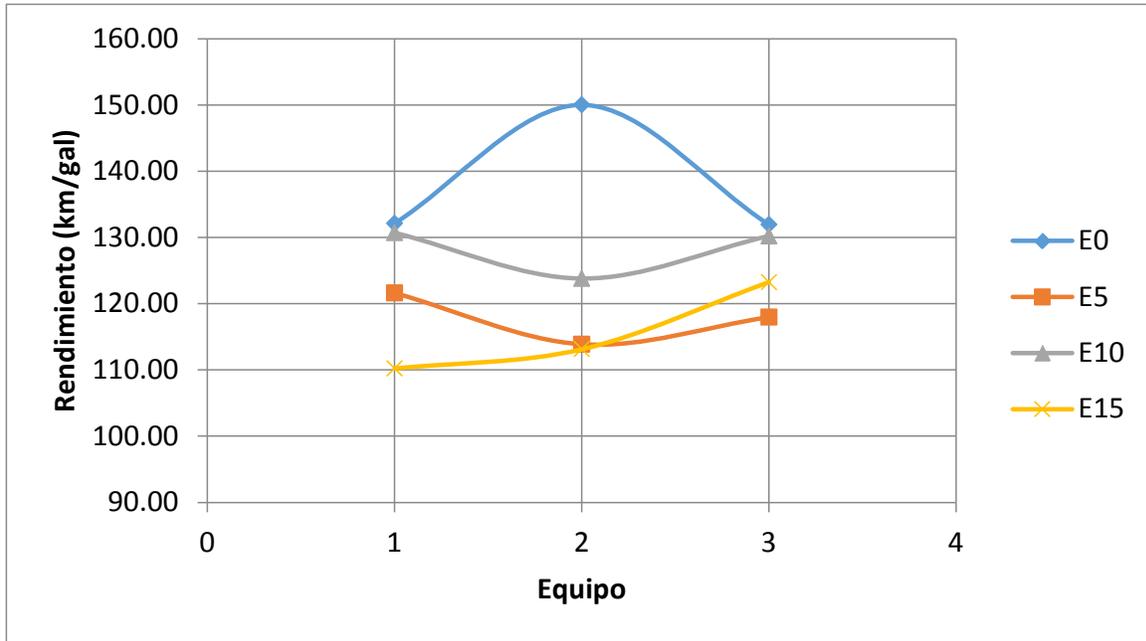
Los resultados anteriores difieren a los obtenidos por otros investigadores como Apace Research Ltd (1998)²², lo que indican que el consumo de combustible aumenta con las mezclas gasolina-etanol.

²¹ Apace Research Ltd (1998). Intensive Field Trial of Ethanol/Petrol Blend in Vehicles. Volume 1 Main Report, Australia.

²² Ver Apace Research Ltd (1998)



Figura 16. Rendimiento de combustible para motocicletas.



Fuente: Elaboración propia según control de combustible entregado.

Como se puede observar en la Figura 16, el rendimiento para las motos que se incluyeron en el proyecto es similar al de los vehículos con sistema de inyección, es decir que el rendimiento disminuye al utilizar mezclas gasolina-etanol. Esta disminución, en promedio, es de 11% con E5, 3% con E10 y 13% con E15.



6.2.1.4 COMPRA Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE

6.2.1.4.1 COMPRA DE GASOLINA Y ETANOL

En el caso de la adquisición de combustible, durante la segunda etapa del Proyecto se adquirió un total de 5,440.60 galones de gasolina regular y 751.91 galones (2,845.99 litros) etanol. En las Tablas 14 y 15, puede verificarse el detalle de las adquisiciones de gasolina y etanol, respectivamente.

Tabla 14. Adquisición de Gasolina Regular.

FECHA	GALONES COMPRADOS	PRECIO (US\$/GALÓN)	VALOR DE LA COMPRA (US\$)
14/08/2014	589.83	4.13	2,436.00
28/08/2014	598.53	4.07	2,436.00
17/09/2014	500.00	4.06	2,030.00
06/10/2014	504.98	4.02	2,030.00
15/10/2014	521.85	3.89	2,030.00
29/10/2014	559.23	3.63	2,030.00
10/11/2014	504.25	3.53	1,780.00
25/11/2014	532.93	3.34	1,780.00
08/12/2014	547.69	3.25	1,780.00
18/12/2014	581.70	3.06	1,780.00
Total	5,440.98	3.70¹	20,112.00

¹Precio promedio de compra

Fuente: Elaboración propia según combustible facturado

La cantidad total de gasolina regular adquirida para desarrollar la prueba piloto fue de 5,440.9 galones a costo total de US\$ 20,112.00, siendo el precio promedio de US\$3.70 por galón de gasolina regular.

Tabla 15. Adquisición de etanol

FECHA	VOLUMEN (LITROS)	PRECIO (US\$/LITROS)	PRECIO (US\$/GALÓN)	VALOR DE LA COMPRA (US\$)
14/08/2014	570.00	1.24	4.71	708.51
30/09/2014	565.99	1.24	4.71	703.53
29/10/2014	570.00	1.24	4.71	708.51
25/11/2014	570.00	1.24	4.71	708.51
11/12/2014	570.00	1.24	4.71	708.51
Total	2,845.99	1.24	4.71¹	3,537.57

¹ Precio promedio de compra

Fuente: Elaboración propia según combustible facturado

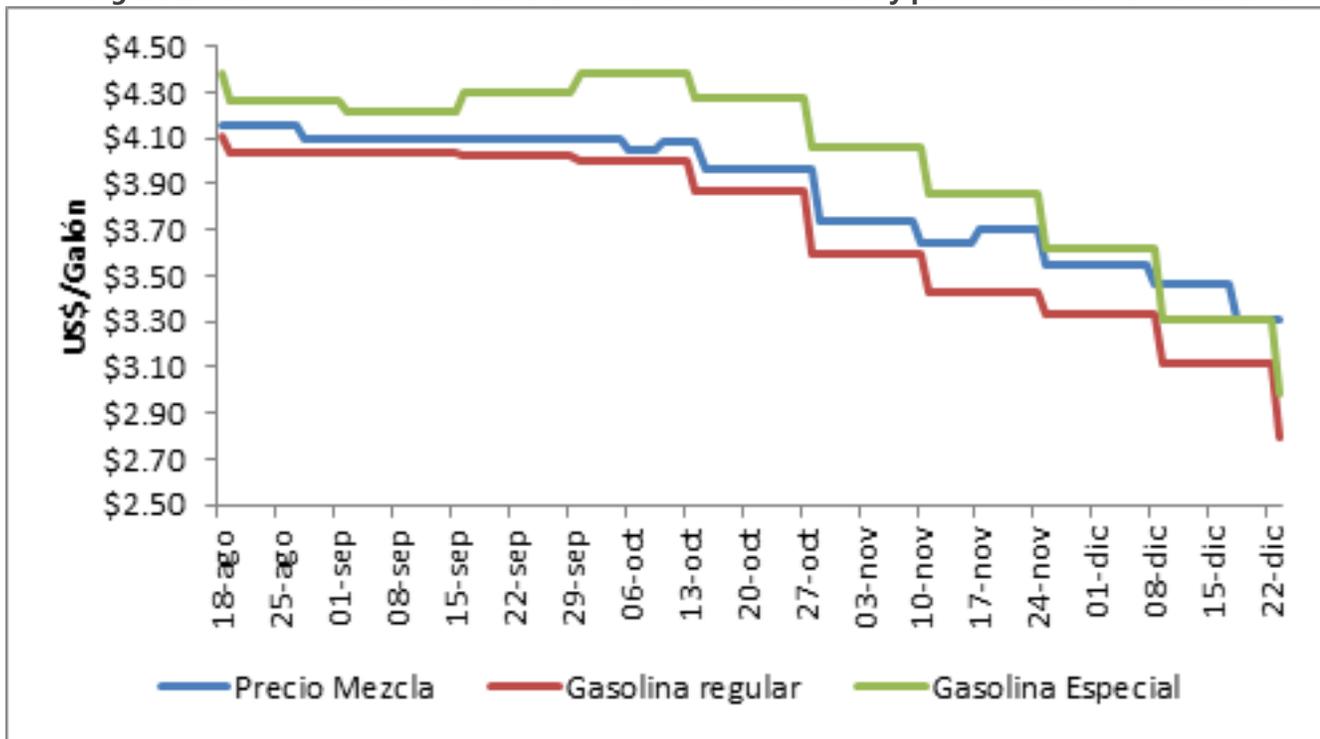


A partir de los precios del combustible adquirido durante el proyecto, se ha realizado una estimación de los precios de venta del combustible dispensado, considerando los periodos de dispensación del E5 (18 de agosto-9 de octubre), E10 (10 de octubre-17 de noviembre) y E15 (18 de noviembre-23 de diciembre).

En relación a los precios de la mezcla y según lo que se puede observar en la Figura 17, se puede resaltar los siguientes puntos relevantes:

- Durante el uso del E5, el precio promedio de la mezcla fue de US\$4.11/Galón, lo cual es US\$0.08/Galón (+1.9%) superior en relación al precio de referencia de la gasolina regular y US\$0.18/Galón (-4.3%) inferior al precio de referencia de la gasolina especial.
- Durante el uso del E10, el precio promedio de la mezcla fue de US\$3.85/Galón, lo cual es US\$0.14/Galón (+3.8%) superior en relación al precio de referencia de la gasolina regular y US\$0.29/Galón (-7.0%) inferior al precio de referencia de la gasolina especial.
- Durante el uso del E15, el precio promedio de la mezcla fue de US\$3.52/Galón, lo cual es US\$0.26/Galón (+8.1%) superior en relación al precio de referencia de la gasolina regular y US\$0.02/Galón (+0.3%) inferior al precio de referencia de la gasolina especial.

Figura 17. Precio estimado de venta de combustible tradicional y precio estimado de las mezclas



Fuente: Elaboración propia según precios de referencia internacional

Durante la realización del proyecto, el precio de adquisición del etanol se mantuvo fijo, por otro lado los precios de la gasolina determinados por el precio internacional presentaron una reducción de US\$0.99/Galón (-24.1%) para la gasolina regular y de US\$1.20/Galón (-27.3%) para la gasolina especial.

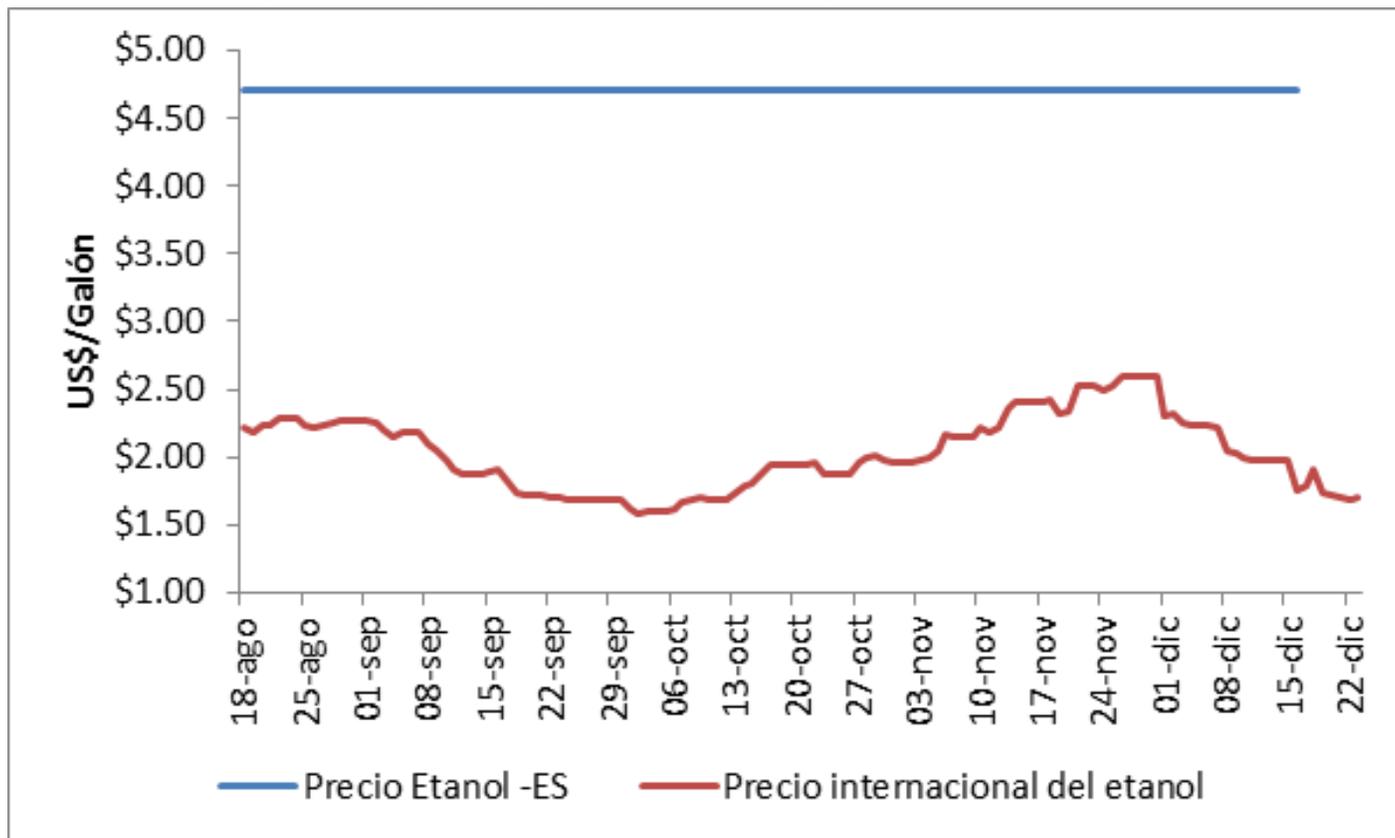
A nivel internacional, durante el periodo de estudio, el precio del etanol se cotizaba en promedio a US\$2.01/galón, es decir que el precio en El Salvador corresponde a 110.46% del precio internacional,



lo cual contrasta con el 70.70% superior al precio de referencia de gasolina regular que la referencia internacional (ver Figura 18).

Lo anterior demuestra que cuando los precios de los combustibles fósiles son altos, se vuelve atractivo el uso de biocombustibles para dar un equilibrio o sustento a los precios, en cambio cuando el precio de los combustibles están bajos, no es tan atractivo el uso de biocombustibles.

Figura 18. Comparativo precio etanol nacional y referencia internacional.



Fuente: Elaboración propia según precios de referencia internacional y nacional.

6.2.1.5 CALIDAD DEL COMBUSTIBLE

Para verificar la calidad de la gasolina y mezclas (E5, E10 y E15) utilizadas en la flota vehicular para la segunda etapa del Proyecto, se realizaron muestras de cada una de las mezclas (E5, E10 y E15), tomado como base las cuatro marcas principales distribuidas en El Salvador.

Las 16 muestras, que incluían la gasolina (E0) y cada una de las mezclas fueron enviadas al laboratorio de la Dirección Reguladora de Hidrocarburos y Minas del MINEC para realizar los análisis de Gravedad API a 60°F, Residuo (%Vol), Presión de vapor REID (RVP), Corrosión a la tira de cobre, Destilación: 10%, 50% y 90%, Punto de ebullición final, Octanaje (RON), Contenido de Azufre total y Porcentaje de etanol en la mezcla.



Tabla 16. Resultados de ensayos a muestra Marca 1 de gasolina regular y sus mezclas E5, E10 y E15.

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN DE GASOLINA REGULAR ²³	RESULTADO			
		GR	E5	E10	E15
Gravedad API @ 60°F	Reportar	60.8	60.3	59.4	58.5
Destilación:					
10% Recuperado (°C)	65 (max)	57.0	51.3	53.0	53.0
50% Recuperado (°C)	77 – 121	120.1	95.9	87.9	71.0
90% Recuperado (°C)	190 max	171.1	163.3	165.4	160.1
Punto final de Ebullición (°C)	225 max	208.4	208.3	207.6	207.0
Residuo (%Volumen)	2.0 max	1.7	0.5	1.2	0.6
PVR (psi)	10 max	9.40	10.20	9.40	9.10
Corrosión tira de cobre, 3h, 50°C	1 max	1A	1A	1A	1A
RON	88.0 min	87.8	88.5	88.5	88.4
Contenido de azufre total	1000 ppm max	26.0	22.0	13.0	1.0
Etanol en mezcla (%)	N. A.	0	4 / 4.9	6 / 8.7	12 / 13.5

Fuente: Elaboración propia según resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras colectadas.

Según los análisis de laboratorio de la muestra 1 y los cuales se encuentran detallados en Tabla 16, se puede confirmar que la mezcla E10 cumple con todas las especificaciones de calidad establecidas en el RTCA.

Sin embargo, en el caso de la mezcla del E5 no cumple con la especificación del RTCA en el ensayo de PVR (psi), específicamente debido a que este resultado se encuentra un 2% por encima del máximo permitido.

En el caso de la mezcla E15, no cumple con la especificación del RTCA en el ensayo de Destilación 50% Recuperado (°C), ya que este se encuentra un 8% inferior al mínimo permitido.



²³ Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.02.46:07). Productos de Petróleo. Gasolina Regular. Especificaciones.



Tabla 17. Resultados de ensayos a muestra Marca 2 de gasolina regular y sus mezclas E5, E10 y E15.

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN DE GASOLINA REGULAR ²⁴	RESULTADO			
		GR	E5	E10	E15
Gravedad API @ 60°F	Reportar	60.5	59.8	58.9	58.5
Destilación:					
10% Recuperado (°C)	65 (max)	56.0	52.4	53.7	54.9
50% Recuperado (°C)	77 – 121	102.6	100.2	93.5	72.0
90% Recuperado (°C)	190 max	172.1	168.8	170.0	165.5
Punto final de Ebullición (°C)	225 max	209.4	211.6	210.1	210.3
Residuo (%Volumen)	2.0 max	1.6	1.4	1.5	1.4
PVR (psi)	10 max	9.20	9.20	8.70	9.70
Corrosión tira de cobre, 3h, 50°C	1 max	1A	1A	1A	1A
RON	88.0 min	88.2	88.5	88.5	88.5
Contenido de azufre total	1000 ppm max	88.0	58.0	46.0	55.0
Etanol en mezcla (%)	N. A.	0	4 / 4.8	8 / 9.0	14 / 13.1

Fuente: Elaboración propia según resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras colectadas.

En el caso de la muestra tomada con la marca 2, las mezclas E5 y E10 cumplen con todas las especificaciones establecidas en el RTCA y comprobadas por parte del MINEC. En el caso de la mezcla E15, no cumplen con la especificación del RTCA en el ensayo de Destilación 50% recuperado(°C), ya que se encuentra un 6% inferior al mínimo permitido.

Tabla 18. Resultados de ensayos a muestra Marca 3 de gasolina regular y sus mezclas E5, E10 y E15.

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN DE GASOLINA REGULAR ²⁵	RESULTADO			
		GR	E5	E10	E15
Gravedad API @ 60°F	Reportar	62.4	61.6	60.7	62.2
Destilación:					
10% Recuperado (°C)	65 (max)	53.8	50.6	52.8	51.8
50% Recuperado (°C)	77 – 121	92.2	89.9	76.4	69.1
90% Recuperado (°C)	190 max	169.0	163.4	166.4	159.1
Punto final de Ebullición (°C)	225 max	204.6	207.7	204.0	205.0
Residuo (%Volumen)	2.0 max	1.1	0.9	1.1	1.0
PVR (psi)	10 max	9.60	9.50	9.90	9.70
Corrosión tira de cobre, 3h, 50°C	1 max	1A	1A	1A	1A
RON	88.0 min	88.4	88.5	88.5	88.6
Contenido de azufre total	1000 ppm max	26.0	22.0	13.0	1.0
Etanol en mezcla (%)	N. A.	0	3.2 / 4.8	8.6 / 9.1	12 / 12.9

Fuente: Elaboración propia según resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras colectadas.



En el caso de la muestra tomada con la marca 3, las mezclas E5 y E10 cumplen con todas las especificaciones en el RTCA y comprobadas por parte del MINEC. En el caso de la mezcla E15, no cumple con la especificación RTCA en el ensayo de destilación 50% recuperado (°C), ya que se encuentra un 10% inferior al mínimo permitido.

Tabla 19. Resultados de ensayos a muestra Marca 4 de gasolina regular y sus mezclas E5, E10 y E15

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN DE GASOLINA REGULAR ²⁶	RESULTADO			
		GR	E5	E10	E15
Gravedad API @ 60°F	Reportar	59.7	59.2	58.4	57.7
Destilación:					
10% Recuperado (°C)	65 (max)	61.1	56.2	56.0	57.2
50% Recuperado (°C)	77 – 121	101.0	101.6	91.4	74.6
90% Recuperado (°C)	190 max	153.3	157.5	151.2	156.1
Punto final de Ebullición (°C)	225 max	184.4	178.1	184.0	175.7
Residuo (%Volumen)	2.0 max	1.1	1.0	0.7	1.2
PVR (psi)	10 max	7.30	8.00	7.50	7.40
Corrosión tira de cobre, 3h, 50°C	1 max	1A	1A	1A	1A
RON	88.0 min	89.9	90.3	90.3	90.2
Contenido de azufre total	1000 ppm max	842.0	702.0	707.0	650.0
Etanol en mezcla (%)	N. A.	0	4 / 5.1	7 / 8.9	14 / 12.8

Fuente: Elaboración propia según resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras colectadas.

En el caso de la muestra tomada con la marca 4, las mezclas E5 y E10 cumplen con todas las especificaciones establecidas con el RTCA y comprobadas por parte del MINEC. La mezcla E15, no cumple con la especificación del RTCA en el ensayo de destilación 50% recuperado (°C), ya que este se encuentra un 4% inferior al mínimo permitido.

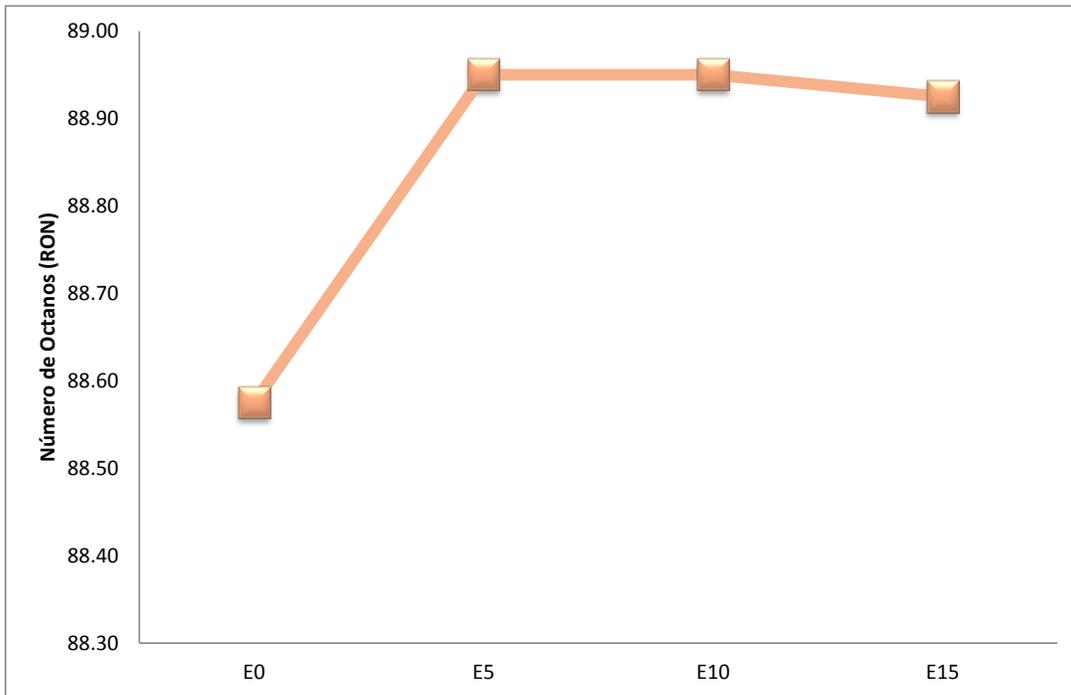
Es importante resaltar, el comportamiento de dos de los resultados más interesantes, específicamente el caso del número de octanos y el nivel de azufre.



²⁶ Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.02.46:07). Productos de Petróleo. Gasolina Regular. Especificaciones.



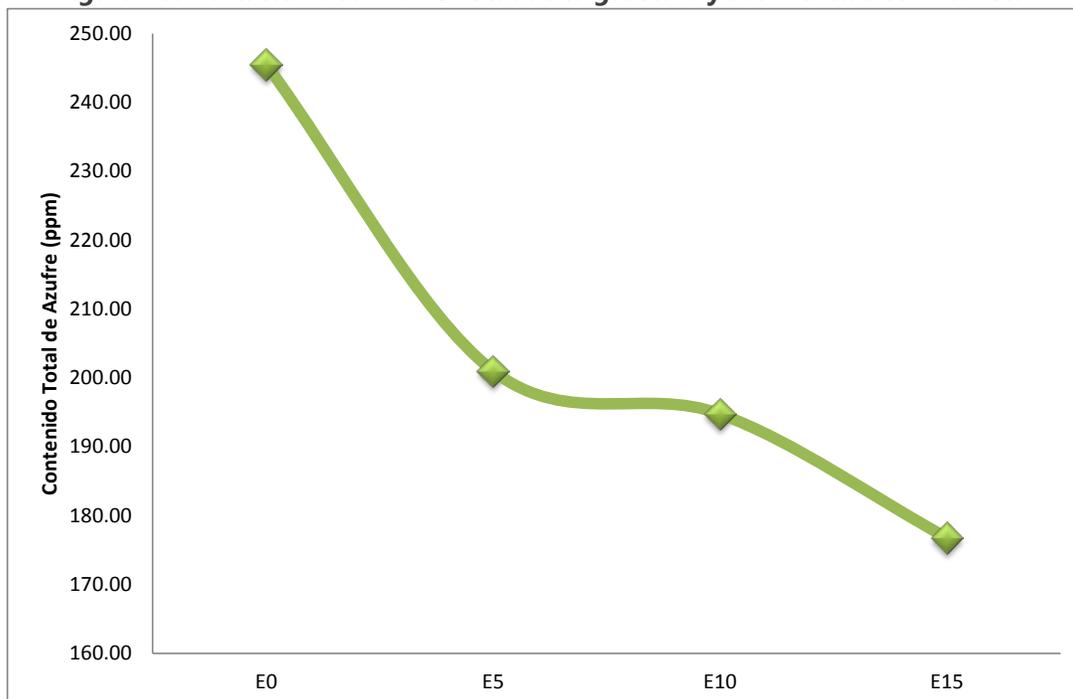
Figura 19. Variación del Número de Octano (RON) de la gasolina y sus mezclas.



Fuente: Elaboración propia según resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras colectadas

En el caso del comportamiento de la prueba del número de octanos y según el comparativos de las mezclas, en la Figura 19 se observa que la adición de etanol a la gasolina regular aumenta su octanaje en un promedio de 0.4% para cada una de las mezclas.

Figura 20. Variación del Azufre Total de la gasolina y sus mezclas con Etanol.



Fuente: Elaboración propia según resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras colectadas



El gráfico de la Figura 20 indica que la concentración de Azufre disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de etanol en la gasolina. Es decir que, el Etanol contribuye a bajar significativamente el Azufre que trae la gasolina, obteniéndose una disminución promedio de 17% con E5, 19% con E10 y 26% con E15.

6.2.1.6 VEHÍCULO HÍBRIDO

Con el propósito de ampliar la evaluación del comportamiento de las mezclas en la tecnología híbrida, se adquirió un vehículo Toyota Prius, modelo Sedan, año 2012. La tecnología híbrida en vehículos tiene dos componentes esenciales: un motor a gasolina (motor de combustión interna) y un motor eléctrico. Ambos motores, ya sea de manera alterna o combinada, proporcionan la fuerza necesaria para que el vehículo se desplace.

Las características del motor de combustión de Toyota Prius se presentan a continuación:

MODELO:	1NZ-FXE
TIPO:	4 cilindros en línea
TIPO DE MOTOR	1NZ6
NÚMERO DE CILINDROS	4
CILINDRADA	1,497 cm ³
TIPO DE COMBUSTIBLE/RON	Gasolina sin plomo/91

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados en el manual del vehículo

Las características del motor eléctrico del Toyota Prius son las siguientes:

TIPO:	Motor sincronizado de imanes permanentes
POTENCIA MÁXIMA DE SALIDA	45 kW
NÚMERO DE CILINDROS	4
CILINDRADA	1,497 cm ³

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados en el manual del vehículo.

Las características de la batería son las siguientes:

TIPO:	Hidruro de Níquel-metal
VOLTAJE	7.7 V/modulo
NÚMERO DE MÓDULOS	20
VOLTAJE TOTAL	144 V

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados en el manual del vehículo.



Resultados de la prueba.

La tecnología de vehículos híbridos aún no es muy conocida en el país y el ITCA no dispone de procedimientos adecuados para realizar las pruebas necesarias para evaluar el desempeño mecánico. Sin embargo, fueron realizadas la prueba de ruido y la revisión visual de las bujías para cada una de las mezclas utilizadas y en ambas pruebas no indicaron que hubiera problemas en el motor de combustión.

En cuanto a las mediciones de emisiones, éstas se realizan con el vehículo estacionario ya que no se dispone de equipo para realizar mediciones con el vehículo en movimiento. En la situación del vehículo estacionario funciona el motor eléctrico, por lo que no es posible realizar mediciones de las emisiones ya que cuando funciona el motor eléctrico no hay combustión que genere gases de escape.

En el caso del consumo de combustibles, los resultados obtenidos son los siguientes:

- Rendimiento con gasolina (E0): 95 km/gal (“De acuerdo a datos de fabrica”).
- Rendimiento con E5: 53 km/gal.
- Rendimiento con E10: 56 km/gal.
- Rendimiento con E15: 61 km/gal.

Lo anterior indica que el rendimiento del vehículo, con respecto a E0, con el uso de mezclas disminuye en un -44.0% para el E5, -41.0% para E10 y un -36.0% para un E15.

Los resultados obtenidos indican que el rendimiento (km/gal) vehículo Toyota Prius es mejor con la mezcla E15 que con las otras mezclas (E5 y E10). Lo cual puede atribuirse al menor poder calorífico del etanol.



7. MEZCLA ÓPTIMA

Los resultados obtenidos permiten establecer que el desempeño mecánico no se ve afectado de manera negativa por el uso de mezclas gasolina-etanol en el rango de 5% a 15%, es decir que desde el punto de vista mecánico se puede utilizar cualquier mezcla entre 5% y 15% sin que se cause daños al motor.

Sin embargo, el consumo de combustible si se ve afectado por el uso de mezclas de gasolina-etanol en el rango de concentración utilizado. Considerando cuál de las tres mezclas utilizadas afecta menos el consumo de combustible se puede establecer que la mezcla E5 es la que mejores resultados da para vehículos con tecnología de inyección. Para los vehículos con tecnología de carburación los mejores resultados se obtienen con la mezcla E10, incluso el consumo es menor que si se utiliza gasolina sin mezcla (E0).

De lo anterior y tomando en cuenta que la tecnología de carburación ya no se utiliza en los vehículos modernos, los cuales utilizan tecnología de inyección, la mezcla óptima es la E5, ya que es la que menos afecta el consumo de combustible con respecto a la gasolina.

Es importante mencionar que en El Salvador, se puede producir la cantidad suficiente de etanol para sustituir el 5% de la gasolina, sin aumentar la frontera agrícola o aumentar la producción de melaza.



8. CONCLUSIONES

- Los vehículos participantes en el Proyecto Piloto no evidenciaron daños mecánicos por el uso de etanol; esto incluye vehículos antiguos (1986) o más recientes (2012), asimismo esto fue verificado a través de inspecciones visuales, desempeño mecánico, desgastante en materiales plásticos o de elastómeros, corrosión en las piezas de metal tales como tanques de combustibles, líneas de combustibles, inyectores y reguladores de presión.
- Los resultados obtenidos de la prueba dinamométrica sugieren que los motores con sistema de alimentación de combustible mediante carburador incrementan la potencia con todas las mezclas utilizadas, siendo E5 de 2%, E10 de 6.0% y E15 de 5%. Contrario al caso de los vehículos con sistema de inyección, que presentan en algunos casos decrementos de 3% en E5, 6% en E10 y 3% en E15; en otros casos incrementos de 2% en E5, 1% en E10 y E15 y en otros casos decrementos de 1% en E5, incremento de 1% con E10 y decremento de 3% con E15.
- La presión de compresión de los vehículos con sistema de carburación presentaron tendencias a disminuir con el uso E5 y E10; siendo estas reducciones en promedio de 5% en E5, 10% en E10 y un aumento de 9% para E15.
- La presión de compresión de los vehículos con sistema de inyección presentan un comportamiento mixto, en el caso de los vehículos más antiguos (1986-1992) se presenta una disminución de las compresiones con E5 y E10 siendo estas de 7% y 8% , respectivamente; y, con E15 las compresiones tienden a aumentar 4%. En el caso de los vehículos de modelos más recientes (+1992) se presenta una tendencia a aumentar la presión de compresión, siendo esta de 5% para E5, 2% con E10 y 19% con E15.
- El rendimiento de los vehículos (km/galón) disminuyó a medida que se incrementó el porcentaje de etanol en la mezcla con gasolina, siendo esta reducción de 25% en E5, 32% en E10 y 31% en E15.
- Las emisiones de hidrocarburos en los gases de escape disminuye cuando se utiliza la mezcla gasolina-etanol en cualquier proporción. La disminución para vehículos carburados es de 5.81% con E5, 40.42% con E10 y 26.21% con E15. Para vehículos inyectados la disminución es la siguiente: 7.63% con E5 23.08% con E10 y 26.98% con E15.
- Las emisiones de Monóxido de Carbono se ven reducidas a medida que se aumenta el nivel de mezcla de etanol. La disminución para vehículos carburados es de 11.79% con E5, 20.55% con E10 y 62.39% con E15. Para vehículos inyectados la disminución es de 18.7% con E5, 33.03% con E10 y 49.88% con E15.
- Las emisiones Dióxido de Carbono tienden a aumentar a medida que se aumenta el nivel de mezcla de etanol tanto en vehículos carburados como inyectados. Para los vehículos inyectados el incremento es de 1.34% con E5, 1.61% con E10 y 1.85% con E15. Los vehículos carburados presenta los siguientes aumentos: 2.71% con E5, 4.74% con E10 y 7.66% con E15
- Los resultados obtenidos indican que no habría ningún problema en los vehículos por el uso de mezclas gasolina-etanol y que su uso contribuiría a disminuir las emisiones principalmente de HC y CO. Adicionalmente debido a que el etanol es producido a partir de biomasa no contribuye



a aumentar las emisiones de CO₂, ya que el CO₂ generado es incorporado de nuevo a las plantas. Por lo que su uso, desde el punto de vista ambiental, resulta beneficioso para el medio ambiente.

- Los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados indican que el uso de etanol incrementa el número de octano (RON) en 0.4 unidades para todas las mezclas, lo que corresponde al 0.5% con respecto a la gasolina (E0).
- El precio del etanol en El Salvador no contempla el comportamiento de los precios internacionales de este producto, esta situación puede generar inconvenientes al momento de incorporar este costo en los precios de referencia nacionales.
- El Precio del Etanol nacional es 110% superior al precio internacional, lo cual supera sustancialmente la relación precio internacional-precio de referencia de las gasolinas, el cual asciende a 70.70%.
- En cuanto al uso de mezclas gasolina-etanol en motocicletas, los resultados obtenidos no evidencian daños en el motor.
- El uso del etanol como carburante es técnicamente viable, sin embargo, previo a considerar una mezcla obligatoria en el país es necesario garantizar la existencia de precios competitivos, eficiente abastecimiento, sustentabilidad del desarrollo energético y un marco regulatorio que garantice la condiciones de seguridad física y alimentaria de la población, de manera de asegurar en el tiempo la disminución de la dependencia de productos derivados de petróleo.



9. RECOMENDACIONES

- Previo a considerar la obligatoriedad del uso de etanol como oxigenante de las gasolinas, es necesario realizar una evaluación costo-beneficio a partir de los precios del etanol y la compensación de la disminución del rendimiento de los motores, de manera que el costo de la mezcla no impacte negativamente al consumidor, esto a partir de que será necesario más combustible para recorrer la misma distancia.
- Se recomienda realizar un estudio sobre el ciclo de vida del etanol en el país, de manera que pueda conocerse las entradas-salidas del proceso de producción, su impacto ambiental, el potencial y costos asociados a la producción de este combustible en El Salvador.
- Se recomienda que previo al inicio del uso de la mezcla de gasolina y etanol en los vehículos, realizar el mantenimiento preventivo correspondiente, especialmente limpieza de tanque de combustible y cambio de filtro de gasolina, esto debido a que el etanol tiene propiedades limpiadoras y podría arrastrar suciedades e impurezas al tanque de combustible.
- Es necesario que dentro de uso de la mezcla gasolina-etanol los vehículos cumplan con los periodos de mantenimiento estipulados por el fabricante, esto para prevenir daños severos o averías en los diferentes componentes de los vehículos.
- Los sistemas de control de emisiones de gases del vehículo y las condiciones de funcionamiento del motor de combustión interna deben estar en óptimas condiciones de funcionamiento ya que de no ser así las emisiones aumentan.
- Es importante mencionar que debido a que la producción de etanol a partir de caña de azúcar es estacional, los productores deberán contar con suficientes existencias entre zafra y zafra, cuyo volumen dependerá de período de duración de la zafra. Para el transporte de bioetanol, se pueden utilizar los modos utilizados para el transporte de gasolina.
- En cuanto a la preparación de la mezcla, es de vital importancia establecer un método que asegure una mezcla homogénea y que permanezca aislada de la humedad, ya que si la mezcla se contamina con agua se originarán dos fases, una solamente con etanol y la otra con la gasolina. Esto se pudo comprobar durante la prueba piloto, en la cual el proceso de mezclado se realizaba por gravedad en una primera instancia, lo cual no generaba una mezcla no homogénea, esto solventado recirculando el producto, para así lograr una mezcla homogénea.
- Previo al inicio de uso de las mezclas de etanol con gasolinas, es necesario que en las estaciones de servicio se realicen adecuaciones especiales, tales como limpieza de los tanques, instalación de equipos resistentes a mezclas gasolina-etanol. Si la mezcla se realiza en las estaciones de servicio, éstas deben contar con equipos que realicen el proceso de mezcla de la gasolina y el etanol.



10. ANEXOS

10.1 DESCRIPCIÓN DE OTRAS ACTIVIDADES.

La ejecución del Proyecto Piloto de Mezcal y Uso, tuvo varias actividades que van desde la formulación del proyecto, elaboración de Acuerdo de Cooperación, primer desembolso para inicio de actividades propias, compra de insumos necesarios para el proyecto, pruebas en vehículos y preparación de informes.

Adicionalmente, se realizaron otras actividades que es importante hacer mención y a las cuales se ha dedicado gran parte del tiempo del Proyecto:

- 1. Construcción del dispensador móvil (unidad móvil):** construido por BENZESA DE C.V. en un periodo de 12 meses, bajo los estándares internacionales de seguridad para el almacenamiento, transporte y distribución de combustibles, establecidos en la norma UL-142. La Unidad Móvil se encuentra compuesta por un tanque vertical con capacidad de 1,000 galones y se encuentra subdividido en tres compartimientos:
 - **Almacenamiento de etanol:** con capacidad de 200 galones y 150 galones útiles o bombeables
 - **Almacenamiento de gasolina:** con capacidad de 650 galones y 600 galones útiles o bombeables
 - **Almacenamiento de Mezcla:** con capacidad de 150 galones y 100 galones útiles. En este compartimiento es donde se realizan, por gravedad y recirculación, las mezclas a distintas concentraciones de etanol con gasolina.

Por otra parte, y no menos importante, para poder lograr el dispensado de los combustibles y el transporte de los mismos, la unidad móvil cuenta con lo siguiente:

- Para dispensar los distintos niveles de mezcla se agregó a la Unidad Móvil una bomba surtidora de succión propia, con computador electrónico y pantalla digital, con una manguera para despacho, con un flujo entre 10 y 14 galones/minuto.
 - Para trasladar la unidad móvil, fue necesaria la adaptación de un remolque con contenedor de derrames metálicos, en donde fue colocado el tanque y la bomba surtidora de combustible. El remolque es de tres ejes con una capacidad por eje de 5000 lb y una cama de 3 m de largo y 1.95 m de ancho. Es importante mencionar que previo la puesta en operación de la Unidad Móvil, se realizó una prueba de manejo de la unidad a plena carga con agua, lo cual permitió evaluar las condiciones de seguridad, la velocidad del manejo y el comportamiento de la carga en la calle.
- 2. Adquisición de equipos, herramientas, repuestos y accesorios:** Utilizados durante las pruebas en los motores de entrenamientos y las pruebas en la flota vehicular, realizados a través del Convenio firmado entre el CNE y la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. Es importante mencionar, que el 13% de los recursos adquiridos en esta etapa fueron equipos y accesorios, los cuales continuaran siendo usados por la mencionada institución en la formación de profesionales.
 - 3. Análisis de calidad de mezclas de combustibles:** Considerando la capacidad actual del regulador del subsector de hidrocarburos y la capacidad de los laboratorios nacionales, se tomaron cuatro muestras de la gasolina (gasolina regular) y mezclas (E5, E10 y E15) utilizados en el proyecto. En total se colectaron 16 muestras, las cuales fueron enviadas al laboratorio de la Dirección



de Reguladora de Hidrocarburos y Minas del Ministerio de Economía para su respectivo análisis fisicoquímico. Dentro de los análisis realizados se encuentran:

- **Gasolinas y mezclas con etanol:** corrosión de tira de cobre, 3h, 50° C; contenido de azufre total; presión de vapor REID a 37.8° C; Gravedad API a 15.56° C; destilación, 10% de recuperado, 50% de recuperado, 90% de recuperado; punto final de ebullición; residuo y número de octano (RON), todo basado en el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) respectivo, para el caso gasolina regular ósea de 87 a 89 octanos.
4. **Adquisición de gasolina y etanol:** ambos combustibles fueron adquiridos en el territorio nacional y bajo los requerimientos y consumo de los vehículos que participaron en el proyecto. En el caso de la gasolina, fue adquirida en las estaciones de servicio más cercanas al sitio de almacenamiento de la Unidad Móvil y con los precios más competitivos. En el caso del etanol fue adquirido en el Ingenio la Cabaña, quien es el único productor en el país y quien estableció un precio fijo de US\$1.243/litro equivalente a US\$4.70/Galón.
 5. **Entrega de combustible en las instalaciones del Ministerio de Obras Publicas Transporte Vivienda y Desarrollo Urbano (MOP):** la entrega de combustible a los distintos vehículos participantes del proyecto inició el 18 de agosto de 2014, con la entrega de mezcla de 5% de etanol (E5), posteriormente el 10 de octubre se inició la entrega de mezcla de 10% de etanol (E10) y finalmente el 17 de noviembre se inició la entrega de combustible con mezcla de 15% de etanol (E15). La entrega de combustible a los vehículos participantes finalizó el 23 de diciembre de 2014.
 6. **Solicitud de Permisos:** Con el fin de cumplir con el marco regulatorio se gestionaron los permisos relacionados con el almacenamiento y transporte de materiales peligrosos, se obtuvieron los siguientes permisos y autorizaciones:
 - Certificado de Cumplimiento de Medidas de Seguridad, emitido por el Cuerpo de Bomberos de El Salvador.
 - Asignación de Cuota Anual para compra de Alcohol Etílico, emitida por el Ministerio de Salud.
 - Autorización para compra de Alcohol Etílico, emitida por el Ministerio de Hacienda.
 - Autorización para inscripción de remolque, emitida por el Viceministerio de Transporte.
 - Permiso Especial de Operación de Traslado de Material Peligroso emitido por el Viceministerio de Transporte.
 - Autorización para almacenamiento de gasolina, etanol y mezclas de gasolina-etanol en proporciones de 5%, 10% y 15%, emitido por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
 - Autorización para transporte de materiales peligrosos, emitido por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
 7. **Pruebas en la Potencia del Motor:** A partir de las gestiones realizadas por la escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, se realizaron pruebas en cuatro motores de los vehículos participantes en el proyecto piloto, esto con el fin de documentar el comportamiento de las mezclas de etanol y la gasolina en relación a la potencia.
 8. **Talleres de biocombustibles:** Con el fin de ampliar los conocimientos de los distintos sectores en el país, como el público, privado, el académico y así mismo utilizar el proyecto piloto como una plataforma demostrativa y colaborativa, se realizaron dos capacitaciones: la primera en agosto de 2014 en donde se dio a conocer la herramienta Evaluación Rápida de Bioenergía y Seguridad Alimentaria (BEFS RA); y, la segunda en el mes de septiembre de 2014, en donde se efectuó un Taller especializado sobre desarrollo de Biocombustibles, con la participación de expertos de Brasil, Estados Unidos, Panamá y Guatemala.



10.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS PARTICIPANTES

INSTITUCIÓN	NO. EQ.	MATRICULA	MARCA	MODELO	AÑO	TIPO DE TECNOLOGÍA
INGENIO LA CABAÑA	1	P-506697	MITSUBISHI	MONTERO	1998	Inyectado
MOP	2	N-4763	IZUSU	ND	1996	Carburado
INGENIO	3	P-631419	MAZDA	TRIBUTE	2002	Inyectado
INGENIO	4	P-271336	TOYOTA	ND	1988	Carburado
MOP	5	N-17731	SUZUKI	IGNIS	2002	Inyectado
MOP	6	N-17848	NISSAN	PATHFINDER	1997	Inyectado
INGENIO	7	P-415916	NISSAN	ND	2000	Inyectado
ITCA	8	P-387200	NISSAN	SENTRA	1992	Inyectado
MOP	9	N-17250	DAEWOOD	ATTIVO	2000	Carburado
ITCA	10	P-379986	DODGE	GRAN CARAVAN	1998	Inyectado
INGENIO LA CABAÑA	11	P-245138	HYUNDAI	TIBURON	2004	Inyectado
INGENIO LA CABAÑA	12	P-404893	FORD	ESCAPE	2005	Inyectado
ITCA	13	P-80660	DATSUN	STANZA	1982	Inyectado
ITCA	14	P-278011	NISSAN	SENTRA	2004	Inyectado
ITCA	15	P-464221	KIA	RIO	2000	Inyectado
ITCA	16	P-107157	DATSUN	PICK UP	1979	Carburado
INGENIO LA CABAÑA	17	P-565827	FORD	ECO SPORT	2006	Inyectado
MOP	18	M-83704	SUZUKI	EN125H	2013	Inyectado
MOP	19	N-12468	NISSAN	PATHFINDER	1992	Inyectado
ITCA	20	P-303380	TOYOTA	TERCEL	1996	Inyectado
ITCA	21	P-284360	CHEVROLET	S10	1995	Inyectado
ITCA	22	P-359058	DAIHATSU	CHARADE	1992	Inyectado
ITCA	23	P-312471	HONDA	CIVIC	1992	Inyectado
ITCA	24	P-27482	HONDA	CIVIC	2001	Inyectado
DC	25	N-9110	TOYOTA	LITEACE	1993	Carburado
ITCA	26	P635422	TOYOTA	TACOMA	2001	Inyectado
ITCA	27	M-51822	SANLG	SL150	2012	Inyectado
ITCA	28	P-181918	HONDA	CIVIC	1986	Inyectado
ITCA	29	P-453729	MITSUBISHI	MIRAGE	2001	Inyectado
MOP	30	N-7585	TOYOTA	4RUNNER	1997	Inyectado
MOP	31	N-17847	HONDA	CRV	1998	Inyectado
MOP	33	N-2479	TOYOTA	HILUX	1993	Inyectado
MOP	34	N-9191	TOYOTA	STARLET	1998	Inyectado
DC	35	M-1973	YAMAHA	YBR125	2010	Inyectado



INSTITUCIÓN	NO. EQ.	MATRICULA	MARCA	MODELO	AÑO	TIPO DE TECNOLOGÍA
CNE	36	N-8712	TOYOTA	PRIUS	2012	Híbrido
MOP	37	N-15798	NISSAN	URVAN	1996	Carburado
MOP	38	N-14774	SUZUKI	VITARA	2000	Inyectado
INGENIO LA CABAÑA	39	P354344	TOYOTA	COROLLA	1997	Inyectado
MOP	40	N-15889	MAZDA	323	1998	Inyectado

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE



11. BIBLIOGRAFÍA

- Apace Research Ltd. (1998). Intensive Field Trial of Ethanol/Petrol Blend in Vehicles. ERDC Project No. 2511.
- Ashok A. Mandal, Dr. R. S. Dalu (2012). A Technical Review on Feasibility of CNG and Gasoline-Ethanol blends in SI engine. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 2, Issue 12, December 2012).
- Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social y Centro de Gestión y Estudios Estratégicos. (2008). Bioetanol de Caña de Azúcar: Energía para el Desarrollo Sostenible. ISBN: 978-85-87545-26-8.
- Brazilian Sugarcane Industry Association (2009). Submission of Comments Clean Air Act Waiver to Increase the Allowable Ethanol Content of Gasoline to 15 Percent. UNICA Comments on E-15 Waiver Page 2. Docket ID No. EPA-HQ-OAR-2009-0211.
- Carriso, S.C., Ramousse, D. y Velut, S. (2009) Biocombustibles en Argentina, Brasil y Colombia: Avances y Limitaciones [En línea]. Geograficando, 5(5). Disponible en: http://www.fuentesmemoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.4443/pr.4443.pdf
- Castillo Hernández P., Caballero Mata P, Mensoza Domínguez A. (2011). Análisis de las propiedades fisico-químicas de Gasolina y Diesel Mexicanos Reformulados con Etanol. Ingeniería Investigación y Tecnología, Volumen XIII (número 3), julio-septiembre 2012.
- Clean Fuels Development Coalition, Nebraska Ethanol Board and U.S. Department of Energy. Ethanol-Blended Fuels. Acrobat PDF file at: www.ne-ethanol.org or at www.cleanfuelsdc.org.
- Curtis S., Owen M., Hess T. and Egan S. (2008). Effect of Ethanol Blends on a Spark Ignition, 4-Stroke, Internal Combustion Engine. Brigham Young University, Provo, Utah.
- Elfasakhany, A. (2014) The Effects of Ethanol-Gasoline Blends on Performance and Exhaust Emission Characteristics of Spark Ignition Engines. International Journal of Automotive Engineering. Vol. 4, Number 1, March 2014
- Fernández J., Lucas H., Ballesteros M. Biocarburantes. Revista "Energías Renovables", Haya Comunicación, editora.
- Gusmão Dornelles R. (2009). Estrategias de Desarrollo en Brasil. Ministerio de Minas y Energía. Presentación, Cali, Colombia, 27 de abril de 2009.
- Gravalos I., Moshou D., Gialamas T., Xyradakis P., Kateris D. and Tsiropoulos Z (2011). Performance and Emission Characteristics of Spark Ignition Engine Fuelled with Ethanol and Methanol Gasoline Blended Fuels, Alternative Fuel, Dr. Maximino Manzanera (Ed.), ISBN: 978-953-307-372-9, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/alternative-fuel/performance-and-emissioncharacteristics-of-spark-ignition-engine-fuelled-with-ethanol-and-methanol->
- IICA (2007) Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas: I. Etanol. IICA. San José: IICA, 2007.
- Karpov, S. (2007). Ethanol as a High-Octane, Environmentally Clean Component of Automotive Fuels. Current Aspects of Use. "Chemistry and Technology of Fuels and Oils 43.5 (2007): 355-61. Print.: Mixing ethanol to gasoline increases octane rating of the fuel and, consequently, allows the phase-out of toxic lead additives, which were fully phased out in 1989 in Brazil.



- Machado Junior G. R. (2007). Diagnóstico de los Aspectos Agrícolas para la Producción de Etanol a partir de Caña de Azúcar. Informe Preliminar Final. Proyecto BID / CEPAL, Piracicaba, SP – Brasil.
- Masera Cerutti, O. y otros (2006) "Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México". SENER/gtz/BID. Proyectos ME-T1007 – ATN/DO-9375-ME y PN 04.2148.7-001.00
- Melo Espinosa E. A., Sánchez Borroto Y., Ferrer Frontela N., Ferrer Frontela N. (2012) Evaluación de un Motor de Encendido por Chispa Trabajando con Mezclas Etanol-Gasolina. Ingeniería Energética vol.33 no.2 La Habana Mayo-ago. 2012.
- Ortiz Marcos, S. (2003). Buscando combustibles alternativos: el bioetanol. Anales de Mecánica y Electricidad / julio-agosto 2003.
- Panchal N., Tarsadia C., Parikh J., Agrawal R., Rathod P. (2014). Experimental Analysis of Emission Parameters for Various Blends of Gasohol on Multi-Cylinder and Single Cylinder Petrol Engine International OPEN ACCESS Journal Of Modern Engineering Research (IJMER), Vol. 4 |, Iss. 6, 86.
- SAGPyA/IICA (2005). Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina y en Brasil. IICA: Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación. Buenos Aires.
- Sarkar A., Datta A., Kumar Mandal B. (2013). PERFORMANCE Characteristics of Spark Ignition Engine Using Ethanol as Fuel at Different Operating Conditions. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Volume 3, Special Issue3: ICERTSD 2013, Feb 2013, pages 96-100 An ISO 9001:2008 certified Int. Journal, ISSN 2250-2459, available online at www.ijetae.com
- Siddegowda K B, Venkatesh J (2013). Performance and Emission Characteristics of MPFI Engine by Using Gasoline – Ethanol. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol. 2, Issue 9.
- Tabassum Ansari F., Prakash Verma A., Choube A. (2002). Experimental determination of suitable ethanol-gasoline blend for Spark ignition engine. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 1 Issue 5, July – 2012 ISSN: 2278-0181r.
- Torres J., Molina D., Pinto C, Rueda F. (202) Estudio de la Mezcla de Gasolina con 10% de Etanol Anhidro. Evaluación de Propiedades Físicoquímicas. CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro - Vol. 2 Núm. 3 Dic. 2002.
- Tutunea D., Dima A., Bica M. (2014). Experimental Investigation on Emissions and Performance of a Spark-Ignition Engine Fueled with Gasoline–Ethanol Blends. Annals of the Oradea University Fascicle of Management and Technological Engineering ISSUE #1, MAY 2014, <http://www.imtuoradea.ro/auo.fmte/>
- V. Pirs, D. Berjoza, G. Birzietis, and I. Dukulis. Fuel Consumption Studies of Spark Ignition Engine Using Blends of Gasoline with Bioethanol. Motor Vehicle Institute, Faculty of Engineering, Latvia University of Agriculture, 5 J. Cakstes boulv., Jelgava, LV-3001, Latvia
- Westerholm R., Egebäck K. E., Rehnlund B., Henke M. (2004-2005). Blending of Ethanol in Gasoline for Spark Ignition Engines - Problem Inventory and Evaporative Measurements. Study performed by Stockholm University, ATRAX AB, Autoemission KEE Consultant AB, AVL MTC AB. Financed by Swedish EMFO.





Gobierno de
EL SALVADOR
UNÁMONOS PARA CRECER

Consejo Nacional de Energía
República de El Salvador, C.A.
Calle el Mirador y 9a Calle Poniente, #249,
Col. Escalón, San Salvador.
Tels: (503) 2233-7900
www.cne.gob.sv
Twitter: @CNE_EL Salvador

AÑO 2015