

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Realizado por:

STEVEN FAULKNER QUEZADA VÉLEZ

Director del proyecto:

Dr. EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO, PhD.

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRÍZ

QUITO, 19 de Septiembre del 2022

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO
PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL
PROTOCOLO IM-240

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, STEVEN FAULKNER QUEZADA VÉLEZ, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 2100838149, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

Steven Quezada

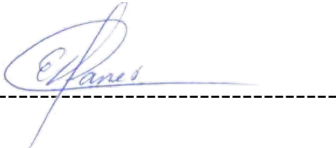
STEVEN FAULKNER QUEZADA VÉLEZ

C.I.: 2100838149

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO
PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL
PROTOCOLO IM-240

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante,
orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y
dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de
Titulación.



Dr. EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO, PhD.

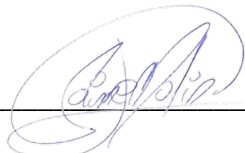
EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO
PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL
PROTOCOLO IM-240

LOS PROFESORES INFORMANTES:

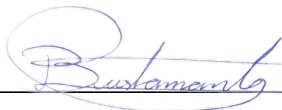
MSc. Jaime Vinicio Molina Osejos, Ing.

MSc. Diego Fernando Bustamante Villagómez, Ing.

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa
oral ante el tribunal examinador.



MSc. Jaime Molina, Ing.



MSc. Diego Bustamante, Ing.

Quito, 19 de Septiembre de 2022

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO
PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL
PROTOCOLO IM-240

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Steven Quezada

STEVEN FAULKNER QUEZADA VÉLEZ

C.I.: 2100838149

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

DEDICATORIA

Dedico este estudio a mi madre por su consistencia al guiarme sobre la finalización de la carrera, a mi padre por permitirme estudiar en una gran universidad y ser persistente en mis logros, y a mis hermanos por darme ese impulso de ser alguien mejor cada día, y por último a los ingenieros los cuales mediante sus actitudes y sabiduría pude entender el significado de lo importante que es entender cada materia y sus objetivos.

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y familia por saber explicarme y tomarse el tiempo para motivarme hacia mi carrera y seguir paso a paso todos los semestres.

Al Doctor Edilberto Llanes, por darme de una manera segura sus conocimientos como director y asegurarse de seguir por un buen camino en la toma de decisiones para concluir el proceso de este proyecto, por otro lado, al Ingeniero Juan Jima por brindarme apoyo y sabiduría durante el progreso y a la Universidad del Azuay por los conocimientos para adquirir el objetivo realizado durante este proyecto.

Steven Faulkner Quezada Vélez

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Resumen.

Actualmente la producción de emisiones contaminantes ha influido en el cambio climático, elevando las temperaturas y deteriorando la calidad del aire, siendo ocasionado por la combustión incompleta del motor de combustibles fósiles, por lo cual el propósito de este estudio es evaluar los factores de emisiones contaminantes de un motor de encendido provocado mediante el ciclo de conducción IM-240 para la valoración de la incidencia de las mezclas de combustible Gasolina-Etanol, de esta manera llevar a cabo diferentes concentraciones de Etanol con el 5% y 10% en una mezcla con gasolina para analizar los efectos que las propiedades de este aditivo pueda contribuir para una mejor combustión en el motor, las correspondientes pruebas se ejecutaron a una altitud sobre los 2560 msnm, en Cuenca-Ecuador, el automóvil utilizado para las pruebas estáticas y dinámica fue un Chevrolet Sail colocado sobre un dinamómetro SuperFlow AutoDyn 30 y mediante un analizador de gases Texa Gasbox Autopower, igualmente se almacenaron las diferentes muestras para poder caracterizar la gasolina mediante los laboratorios de la Universidad Politécnica Nacional, por otro lado se comprobó que los porcentajes de etanol tuvieron un impacto en especial con la mezcla E10 permitiendo reducir la cantidad de gases contaminantes como el monóxido de carbono CO desde 0,875 g/km Vol (Gasolina extra) hasta 0,343 g/km (E10), así mismo un aumento en el consumo de combustible del 7% , esto siendo causa por las propiedades aportadas del Etanol como el octanaje que tuvo un incremento desde los 85 octanos (Gasolina extra) hasta los 91,8 octanos (E10) permitiendo una mejor combustión por el aumento de oxígeno en la mezcla.

Palabras clave: Mezcla, combustible, emisiones contaminantes, IM-240.

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Abstract.

Currently, the production of polluting emissions has influenced climate change, raising temperatures and deteriorating air quality, being caused by the incomplete combustion of the fossil fuel engine, for which the purpose of this study is to evaluate the factors of polluting emissions. of an ignition engine caused by the IM-240 driving cycle for the assessment of the incidence of Gasoline-Ethanol fuel mixtures, in this way to carry out different concentrations of Ethanol with 5% and 10% in a mixture with gasoline to analyze the effects that the properties of this additive can contribute to a better combustion in the engine, the corresponding tests were carried out at an altitude of over 2560 meters above sea level, in Cuenca-Ecuador, the car used for the static and dynamic tests was a Chevrolet Sail placed on a SuperFlow AutoDyn 30 dynamometer and using a Texa Gasbox Autopower gas analyzer, in the same way the different samples were stored to be able to characterize the gasoline through the laboratories of the National Polytechnic University, on the other hand it was found that the percentages of ethanol had an impact especially with the E10 mixture allowing to reduce the amount of polluting gases such as carbon monoxide carbon CO from 0.875 g/km Vol (Extra Gasoline) to 0.343 g/km (E10), as well as an increase in fuel consumption of 7%, this being caused by the properties provided by Ethanol such as octane that had an increase from 85 octane (Extra Gasoline) to 91.8 octane (E10) allowing better combustion due to the increase in oxygen in the mixture.

Key words: Mixture, fuel, polluting gases, IM-240.

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Introducción.

El desarrollo de los sistemas que componen el parque motor se ven beneficiados constantemente mediante los estudios realizados para mejorar los parámetros que constituyen los motores de ciclo Otto, con el único objetivo de aumentar su rendimiento y disminuir las emisiones contaminantes. Existen diferentes métodos de cómo reducir los gases contaminantes los cuales pueden ser mediante un sistema electrónico, catalizador o combustible con porcentajes de diferentes sustancias que ayudan a tener una mejor combustión en el motor. De esta manera, los aditivos que pueden ser mezclados con el combustible depende del tipo que se vaya a implementar, esto se caracteriza porque se necesita un análisis del aditivo para cierto tipo de combustible y la cantidad que debe ser añadida. Una correcta mezcla puede proporcionar ventajas en la parte mecánica del vehículo y reducir las emisiones contaminantes. Es necesario tomar en consideración aumentar la calidad del combustible, la producción de emisiones contaminantes que se esparcen hacia el medio ambiente influirá en cuan puro y libre de gases nocivos haya en zonas urbanas. Por lo tanto, es de interés evaluar mediante pruebas, qué combustible con aditivos es el menos contaminante.

El combustible que se distribuye actualmente en Ecuador posee una baja calidad en sus propiedades, así produciendo mayor contaminación ambiental y reduciendo la eficacia en los motores de ciclo Otto, por esta razón, mediante Recursos y Energía en (2021) se conoce que el Ministerio de energía, Petroecuador y US Grains Council han firmado un memorando de entendimiento para mejorar las características de la gasolina como el octanaje, ya que actualmente este es de 85 a 87 octanos e incentiva a fomentar biocombustibles y el uso de etanol como un medio de alternativas ambientalmente amigables.

El etanol o alcohol etílico es principalmente obtenido de la caña de azúcar siendo implementado como biocombustible al ser mezclado con la gasolina mejorando la oxidación de hidrocarburos reduciendo los gases contaminantes. En la última década se ha mostrado el

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

crecimiento de 50% en el consumo de bioetanol, siendo los principales productores Estados Unidos (48%), Brasil (27%), China (4%), Canadá (3%) e India (2%), el 16% sobrante es repartido en menores porcentajes entre los demás países del mundo (Torroba, 2020). El consejo nacional de petróleo de Brasil probó mediante experimentos que el etanol puede ser mezclado hasta un 25 % con la gasolina en motores de ciclo Otto y estos no ser afectados ni tener que ser modificados (Roberto et al., 2007).

La universidad del Azuay situada en Cuenca, capital de la provincia de Azuay se encuentra a una elevación de 2560 msnm, por lo tanto al realizar las pruebas del ciclo IM-240 se tiene en cuenta que esto tendrá efectos sobre la temperatura (21 °C), presión atmosférica, también la concentración de oxígeno en el aire, por lo cual realizar las mismas pruebas con el mismo vehículo en la costa u oriente se obtendrán resultados diferentes por efecto de las características de la altitud sobre la combustión generada por el motor de ciclo Otto.

Los factores de emisiones de vehículos livianos se han basado mediante pruebas de emisiones estandarizadas sobre dinamómetros en laboratorios con el fin de poder estimar la cantidad de emisiones de un específico gas nocivo como monóxido de carbono “FCO”, óxidos de nitrógeno “FNOx”, e hidrocarburos “FHC” en g/km, con el objetivo de mantener el vehículo bajo reglamentos de normas dependiendo el país de ubicación para controlar los porcentajes de gases tóxicos emitidos por los motores de ciclo Otto(Weiss et al., 2011).

En efecto, la implementación de etanol en la gasolina permite reducir la producción de las emisiones contaminantes. En la investigación de Hsieh et al. en (2002) indica que la adición de etanol puede reducir un 90% la concentración de CO eficientemente, igualmente en los gases hidrocarburos HC la concentración de emisiones puede reducirse desde 20% hasta 80% en comparación a gasolina en su totalidad, por el contrario, el incremento de porcentaje de etanol, aumentará las emisiones de CO₂ desde 5% a 25% dependiendo el contenido de etanol, de la misma manera en el artículo de Lin et al. en (2010) mediante los resultados de reducción del

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

3,3% con E3 entre la mezcla de etanol y gasolina dedujeron que la combustión del motor mejora y a consecuencia las emisiones de CO decrecen debido no solo a la dilución del combustible, sino al aumento de componentes oxigenados que mejoran el proceso de combustión de CO en el cilindro por lo que el aumento de carga del motor conlleva al incremento de la temperatura de combustión combinado con el alto nivel de oxígeno por lo cual se obtiene la reducción de las emisiones de CO. Por otro lado en el artículo de Ortíz en (2011) la producción de emisiones NOx se generan debido al comportamiento de la reacción a diferentes debe al comportamiento de reacción a diferentes temperaturas, por lo que a bajas temperaturas de reacción actuará como gas inerte y no reaccionará con otros componentes químicos, aunque de la misma manera influirá en la absorción de energías durante el proceso de combustión y para temperaturas elevadas de reacción, pequeñas fracciones reaccionaran con el oxígeno produciendo óxidos de nitrógeno, de la misma manera la investigación de Llanes Cedeño et al. en (2018) muestran los resultados de factores de emisión con una reducción del 50% con el biocombustible ecopaís (E5) a comparación de la gasolina extra (E0).

La combustión incompleta del motor emite gases tóxicos como: óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos, por lo cual es necesario reducir estas emisiones contaminantes, en el artículo Pérez Darquea en (2018) se menciona que en las zonas urbanas los causantes del 90% del gas de monóxido de carbono en el aire son los automóviles, igualmente, indican que se produce ozono en el suelo por la actividad de la luz solar y a altas temperaturas a consecuencia que los hidrocarburos “HC” reaccionan con los óxidos de nitrógeno “NOx” y con posibilidad de irritar los ojos, afectando los pulmones disminuyendo la capacidad para respirar, por lo tanto, la adición del etanol en el combustible es una manera de aminorar los gases nocivos productos de la combustión del motor. En presentación a la información recopilada, la hipótesis de este estudio, *se espera que la implementación de*

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

diferentes porcentajes de etanol en la gasolina permita reducir la producción de emisiones contaminantes en un motor de encendido provocado

Por esta razón, el objetivo general fue evaluar los factores de emisiones contaminantes de un motor de encendido provocado mediante el ciclo de conducción IM-240 para la valoración de la incidencia de las mezclas de combustible Gasolina-Etanol. Así mismo, los objetivos específicos fueron (1) Determinar los gases contaminantes en las diferentes mezclas de combustible mediante el protocolo IM-240 para el cálculo de los factores de emisión (2) Comparar los factores de emisión de los contaminantes principales (CO, HC, y NO_x) por medio de software estadístico, para la determinación de la mejor variante (3) Caracterizar las mezclas de Gasolina-Etanol mediante pruebas de laboratorio para la identificación de sus propiedades combustible.

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

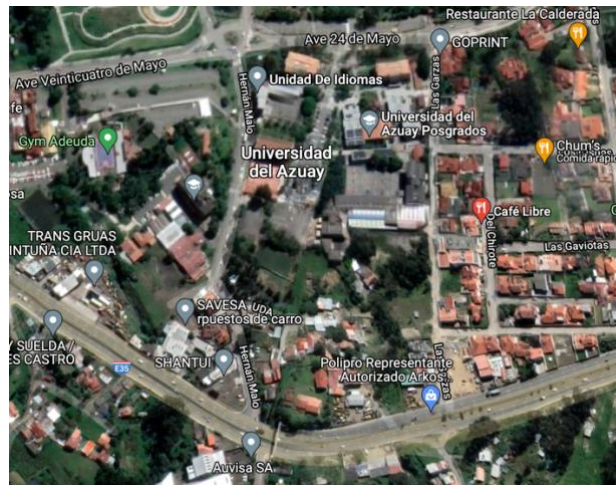
Materiales y Métodos.

Ubicación

Esta investigación se realizó en los laboratorios automotrices de la facultad mecánica en la Universidad del Azuay, Cuenca (figura 1), el combustible con base (extra) fue adquirido en la estación de servicio P&S de la misma ciudad y el etanol se obtuvo en la “casa del químico” en Quito con una concentración del 99,97% “Etanol absoluto”.

Figura 1

Ubicación Universidad del Azuay, Cuenca



Vehículo de prueba

En esta investigación se utilizó el vehículo de subcategoría M1 Chevrolet Sail 1.4 hatchbacks (figura 2), al ser la marca más comercializada en Ecuador con el 20,7% de ventas entre 2016-2020 (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), 2020) y al poseer baja cilindrada y bajo consumo de combustible Anexo 3.

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Figura 2

Vehículo de prueba



Preparación del vehículo para las pruebas

Se determinó los gases contaminantes en las diferentes mezclas de combustible mediante el protocolo IM-240 para realizar el cálculo de factores de emisión con la implementación de Gasolina-Etanol (primera muestra Gasolina-Etanol, segunda muestra Gasolina-Etanol 5% y tercera muestra Gasolina-Etanol 10%), con la utilización de probetas calibradas para evitar errores como se puede observar en la (figura 3).

Figura 3

Mezcla Gasolina-Etanol



EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Se colocó la tracción delantera del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro SuperFlow AutoDyn 30 (figura 4) a una misma distancia para mantener correctamente posicionado el vehículo, se fijó el auto con ayudas de correas de tensión en puntos estratégicos como los ejes delanteros y traseros.

Figura 4

Medidas de seguridad del vehículo



Se retiró el fusible de la bomba de combustible y la tubería de alimentación de combustible para evitar la absorción de la gasolina del tanque del vehículo, también se posicionó el ventilador de aire refrigerante en la parte frontal dirigiéndose al radiador para reducir la temperatura del motor y evitar sobrecalentamiento, así mismo se colocó la sonda de gases en el interior del tubo de escape para obtener la lectura de datos de las emisiones contaminantes.

Se introdujo 1 litro por cada mezcla en el depósito de bomba externa LIQUI MOLY (figura 5) por medio de la manguera que es conectada a la riel de inyectores, se bombeó el tanque externo hasta llegar aproximadamente a los 42 PSI, se abre la válvula de paso permitiendo el ingreso del combustible al vehículo y verificando que no tenga fugas, la toma

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

de datos se comenzó a tomar mediante la máquina analizadora de gases Texa Gasbox Autopower (figura 6).

Figura 5

Bomba externa



Figura 6

Máquina de emisiones contaminantes Texa Gasbox Autopower



Se realizó una prueba de emisiones estática sin la aplicación de carga externa al motor es decir, en marcha neutral, para obtener mediante la máquina de gases las cantidades de emisiones contaminantes, de este modo comparando los límites máximos que brinda la Norma INEN 2204.

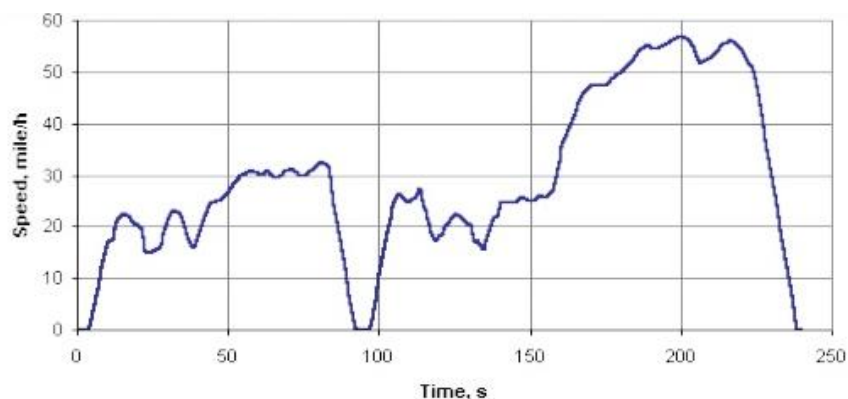
EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Ruta de conducción: Ciclo IM:240.

La toma de emisiones contaminantes dinámicas se realizó mediante un pre-acondicionamiento para que la adquisición de datos no comience con el motor frío, de esta manera se llevó el vehículo a una operación sin carga a 2500 rpm en un tiempo máximo de 4 minutos y también a una operación en estado estable de 48 km/h hasta un máximo de 4 minutos para por último realizar la prueba dinámica transitoria en un recorrido de 3,2 km simulado al de una zona urbana con una velocidad media de 30 km/h y también a una velocidad máxima de 91 km/h dependiendo la guía del programa del ciclo IM-240 (figura 7), después colocamos el auto en marcha neutral hasta que frene totalmente, se liberó la presión del tanque externo y del sistema presionando el botón de liberación de presión para cerrar la válvula de paso de la bomba Liqui Moly pro-line y retirar el combustible sobrante dentro del tanque externo en sus respectivos recipientes. para el análisis de las muestras propuestas. Cada tratamiento se repite 3 veces como se especifica en la Norma NTE INEN 2205 sección 6 sobre metodos de ensayo, donde el punto 6.1.5.4 refiere “Registrar y promediar un mínimo de 3 lecturas en cada prueba”

Figura 7

Grafica velocidad vs tiempo del ciclo IM-240



Determinacion de los factores de emision

Se comparó los factores de emisión de los contaminantes principales (monóxido de carbono “CO”, óxidos de nitrógeno “NO_x” e hidrocarburos “HC”) por medio de software

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Statgraphics Centurion XVI, para la determinación de la mejor variante y con el uso de las fórmulas expresadas mediante la investigación de Frey & Eichenberger (1997) con el fin de estimar las cantidades de los gases contaminantes tomando en cuenta que el CO₂ es el gas predominante, determinando el siguiente sistema de ecuaciones:

Ecuación 1. Razón de CO con respecto a CO₂

$$R_{CO} = \left(\frac{CO}{CO_2} \right) \quad (1)$$

$$R_{HC} = \left(\frac{HC}{CO_2} \right) \quad (2)$$

$$R_{NO} = \left(\frac{NO}{CO_2} \right) \quad (3)$$

Igualmente, se considera que la base principal del combustible es el octanaje C₈H₁₈, a partir del cual se puede determinar el peso molecular del combustible

$$MW_{combustible} = \frac{12 \text{ gC}}{\text{mol C}} \left(\frac{1 \text{ mol C}}{\text{mol Fuel}} \right) + \left(\frac{1 \text{ gh}}{\text{mol H}} \right) * \left(\frac{2.25 \text{ mol H}}{\text{mol Fuel}} \right) \quad (4)$$

$$MW_{combustible} = 14,25 * \frac{\text{g Combustible}}{\text{mol Combustible}}$$

Así mismo, al introducir el consumo de combustible por distancia recorrida FC (m³/km) y la densidad del combustible (kg/m³), se obtiene un factor de emisión en gramos por kilómetro recorrido:

Razón de CO con respecto a CO₂

$$F_{CO} = \frac{28 R_{CO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{CO} * FC}{0.01425} \quad (5)$$

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCAO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Razón de HC con respecto a CO_2

$$F_{HC} = \frac{42 R_{HC}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{HC} * FC}{0.01425} \quad (6)$$

Razón de NO con respecto a CO_2

$$F_{NO} = \frac{30 R_{NO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{NO} * FC}{0.01425} \quad (7)$$

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Resultados y discusión

Propiedades del combustible

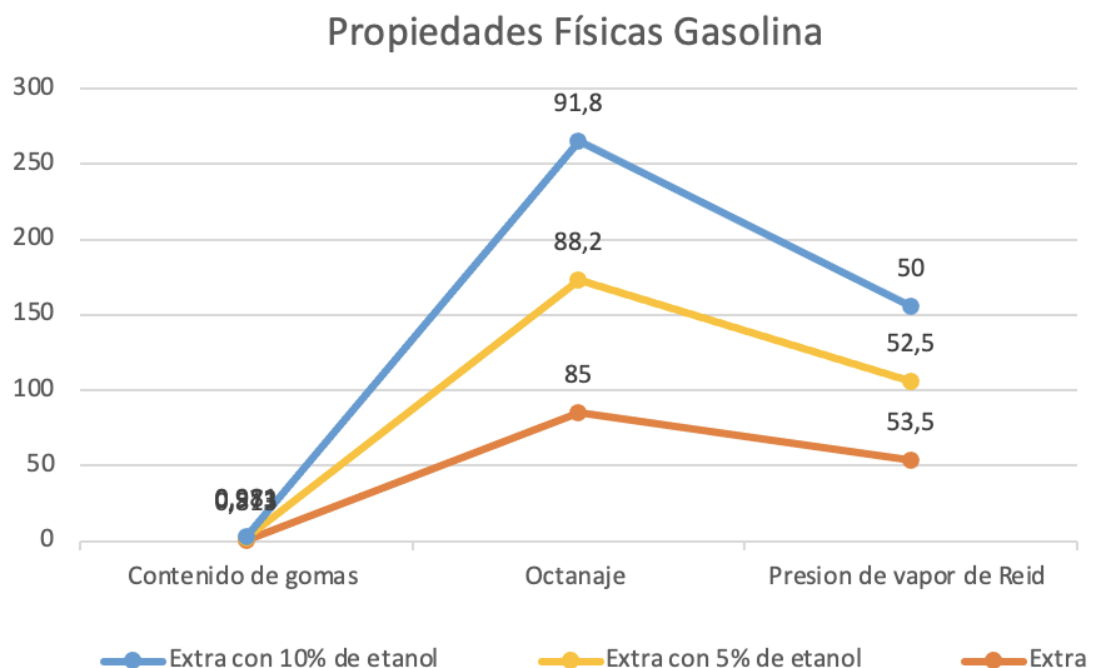
El contenido de gomas aumenta un 0,168 mg/100 mL desde E0 a E10, debido a que la influencia de mantener la gasolina en reposo fue casi nula ya que se llevó a cabo este proceso el mismo día, igualmente la estabilidad ante la oxidación de gasolina en el método ASTM D-525 permite conocer que el incremento del Etanol no representa un crecimiento mayor o menor en el contenido de gomas entre un intervalo de 0-30% de etanol, por lo cual en este proceso el etanol se oxida a aldehído y después a ácido carboxílico pero no produciendo contenido de gomas (Castillo et al., 2012), también el aumento de la cantidad de Etanol en la gasolina proporciona una adición en el número de RON, así incrementando el octanaje desde los 85 octanos (E0) hasta los 91,8 octanos (E10), debido que el etanol posee un valor bajo de calor que la gasolina, reduciendo el contenido de energía de la gasolina, pero recompensando en número alto de octano en el etanol, igualmente en la presión de vapor de Reid disminuye, esto no es favorable para las pruebas ya que si el valor disminuye mucho se puede obtener una auto detonación inesperada en el cilindro antes de que el pistón llegue al punto muerto superior. Las reacciones que tienen lugar se basan en el comportamiento relacionado con los enlaces de hidrogeno que se forman entre las moléculas de etanol, por lo que mantienen una presión de vapor relativamente baja. Cuando la gasolina es un compuesto no polar, cuando se mezcla con etanol, los enlaces de hidrogeno pierden su fuerza, y el etanol se comporta como una molécula de bajo peso molecular y es volátil, reduciendo así el cambio en el porcentaje de etanol agregado. (Castillo et al., 2012) Rectificando del estudio de Moore, Kristy donde menciona que de 0 a 10 % de etanol la presión de vapor debería subir considerablemente, y desde el 40% de grados de alcohol debería existir una baja considerable de vapor de más o menos 15 kPa (Moore et al., 2012) podemos ver que en la tabla nueve la tendencia es bajar esto se da ya que el equipo a medir tiene una aceptación según la norma ASTM-D381 de más menos 3.5 kPa y para hacer

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

esta prueba se analizó que los equipos de la EPN (Escuela Politécnica Nacional) estén calibrados y dentro del rango de trabajo, lo que quiere decir que los resultados obtenidos no están mal están dentro del rango, para estas pruebas se hizo una prueba de repetibilidad lo que quiere decir que tiene que hacer el mismo operador en el mismo laboratorio con las mismas condiciones ambientales y salieron resultados parecidos por lo que quiere decir que la toma de datos son correctos (Drews, 2008)

Figura 8

Resultados de las propiedades físicas de la gasolina



Emisiones contaminantes

Las cantidades de emisiones contaminantes por medio de la prueba estática fueron satisfactorias, debido a que los valores resultantes se mantienen dentro del límite que indica la norma INEN 2204, en la tabla 1 se puede observar las cantidades permitidas y los resultados obtenidos mediante la máquina analizadora de gases reduciendo los porcentajes de monóxido de carbono y las partículas por millón de los hidrocarburos pero aumentando los porcentajes de

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

dioxidos de carbono y oxígeno de la misma manera los resultados en la investigación de Galarza & Maurat en (2017) resaltan que en los gases contaminantes como los monóxidos de carbono e hidrocarburos decrecen hasta 60% y 50% respectivamente, por el contrario, las emisiones de CO₂ aumentan el 4% con la adición de E5 basándose en que hay más concentración de moléculas de oxígeno en el combustible reaccionando con las moléculas de carbono de los hidrocarburos al quemarse obteniendo una mejor combustión.

Tabla 1

Valores obtenidos por la norma INEN 2204 y datos experimentales

	CO (%)	HC (ppm)	CO₂ (%)	O₂ (%)
Norma	1	200		
Gasolina	0,07	16,00	13,85	0,02
E5	0,04	10,50	14,95	0,05
E10	0,02	6,50	16,95	0,07

Análisis de los Factores de Emisión

Factor de emisión CO

En la figura 9 y tabla 2, se muestra los valores de la prueba dinámica mediante la prueba de múltiple rango y gráfico de caja y bigotes para la variable dependiente FCO, en la misma se aplica el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher con un nivel del 95.0% de confianza, con pruebas de múltiple rango. Se concluye que existe diferencia significativa entre las gasolinas, siendo T3(Gasolina E10) la de mejor resultado debido a que el etanol posee un átomo de oxígeno en su estructura y al combinarse con la gasolina proporciona una cantidad mayor de oxígeno en la combustión, afectando de esta manera a disminuir la producción de este gas, de la misma manera en el artículo de Wu et al. en (2004) en el uso de

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Gasolina-Etanol especifican que se producen menos emisiones de CO porque habrá suficiente oxígeno para convertir los átomos de carbono de combustible en CO₂.

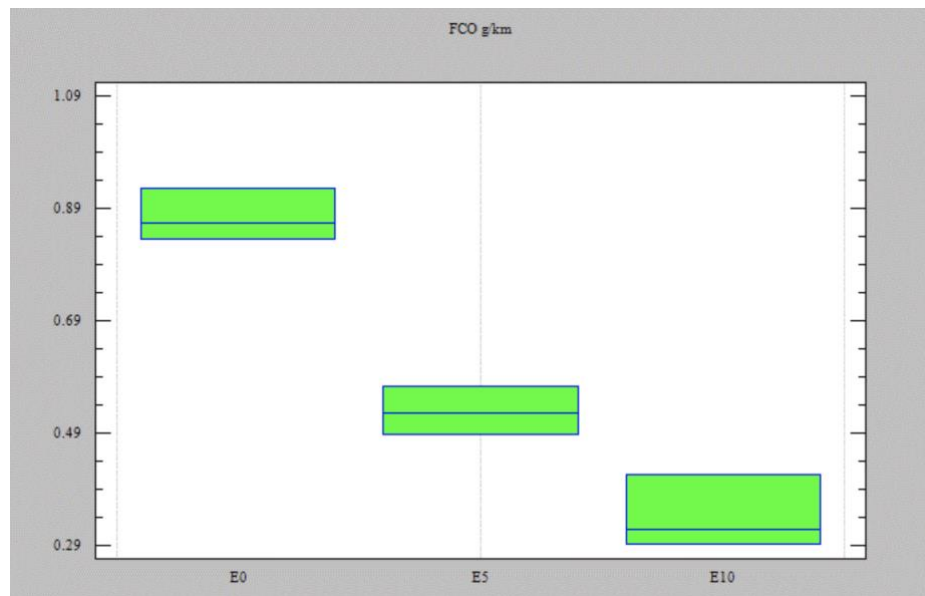
Tabla 2

Múltiple rango FCO

	Casos	Media (g/km)	Grupos Homogéneos
Extra	3	0,875	X
T2 (E5)	3	0,528	X
T3 (E10)	3	0,343	X

Figura 9

Variable dependiente FCO



Factor de emisión NOx

Los óxidos de nitrógeno se producen en consecuencia del nivel de oxígeno y temperatura que se encuentre la cámara de combustión, por lo tanto se puede evidenciar que T3 al tener un 10% de Etanol en comparación a T1, hay más volumen de oxígeno, en consecuencia la temperatura de los cilindros sube, obteniendo más concentración de gases de óxidos de

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

nitrógeno hasta 0,201 g/km como se muestra en la figura 9 y tabla 3, así mismo en la investigación de Chala & Ñacato en (2008) se obtuvo un aumento del 34% al implementar una mezcla de bioetanol del 10%.

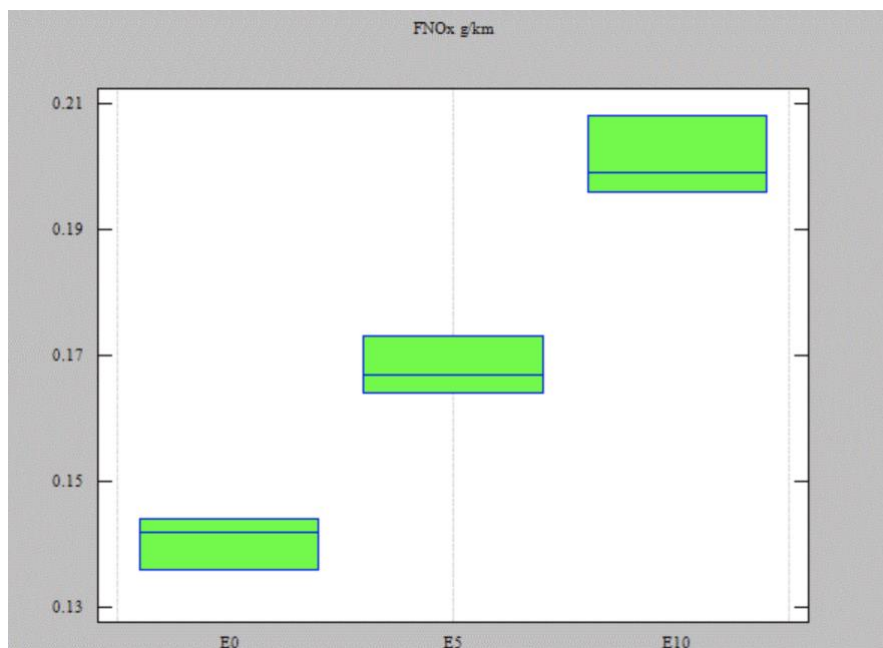
Tabla 3

Variable dependiente FNOx

	Casos	Media (g/km)	Grupos Homogéneos
Extra	3	0,141	X
T2 (E5)	3	0,168	X
T3 (E10)	3	0,201	X

Figura 10

Variable dependiente FNOx



Factor de emisión HC

La tabla 4 y figura 11 representa los valores de producción de los hidrocarburos, obteniendo un decrecimiento de 0,072 g/km con T3 en comparación de 0,095 g/km con T1 debido que la mezcla de aire y gasolina incrementa la combustión del vehículo a causa del

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

aumento de oxígeno en el combustible permitiendo la reducción del punto máximo de ebullición de la gasolina al ser mezclada con etanol, de esta manera posibilitando disminuir las emisiones contaminantes de hidrocarburos, de la misma manera en el artículo de Altun et al. en (2013) se redujo el 15% de este gas al ser mezclado con E10.

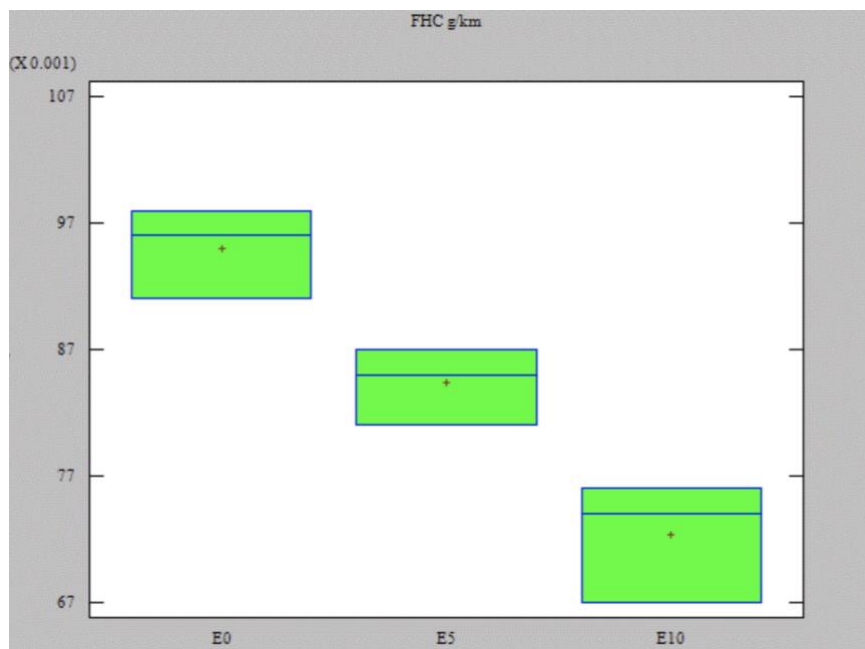
Tabla 4

Variable dependiente FHC

	Casos	Media (g/km)	Grupos Homogéneos
Extra	3	0,095	X
T2 (E5)	3	0,084	X
T3 (E10)	3	0,072	X

Figura 11

Variable dependiente FHC



EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Consumo de combustible

La distancia que simula esta prueba es de 3,2 km usando 1L como referencia de llenado por cada repetición, así obteniendo un consumo de 174,333 mL en la prueba de Gasolina E0 (Tabla 5), este resultado se comparó con los diferentes promedios de consumos en sus diferentes concentraciones y se verificó que el 5% y 10% de Etanol añadido a la gasolina aumenta el consumo de combustible hasta el 4% y 7% respectivamente, causado por el aumento de oxígeno, mejorando la mezcla de aire-combustible dentro de la cámara de combustión, de la misma manera en la investigación de Freire Romero en (2013) obtienen un aumento de consumo de biogasolina del 18% utilizando E10.

Tabla 5

Resultados del consumo de combustible

Consumo de combustible					
Tipo de combustible	Unidad	1era Prueba L	2da Prueba L	3ra Prueba L	Promedio
Gasolina	ml	180	173	170	174,333
E5%	ml	183	183	180	182,000
E10%	ml	185	188	185	186,000

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Conclusiones

- Haciendo un análisis de las emisiones contaminantes, se puede observar una reducción en las cantidades de gases en el monóxido de carbono “CO”, hidrocarburos “HC” del 61% y 25% respectivamente, pero un aumento en los óxidos de nitrógeno “NOx” del 43% con una mezcla del 10% de Etanol, esto se debe a las propiedades añadidas del etanol en la gasolina extra.
- Mediante los análisis obtenidos se puede resaltar que en algunas propiedades como en el contenido de gomas, el porcentaje del 5% y 10% de Etanol añadido no afecta en una cantidad que perjudique o beneficie a la calidad del combustible aditivado, siendo 0,168% mayor el contenido de gomas.
- Mediante los resultados presentados anteriormente, se puede apreciar que la presión de vapor Reid tiende a descender en su gráfica, pero con la mezcla de etanol debería ser ascendente, esto no significa que sea un error ya que mediante la norma ASTM-D381 resalta que puede haber una variación del ± 3.5 kPa por lo que indica que se encuentra en el rango aceptado.
- Se puede apreciar en las cantidades del consumo que asciende hasta un 7% ml con E10, por lo tanto, las propiedades del combustible presentan un consumo mayor en la combustión del motor al ser mezcladas en un 5% y 10% de Etanol.

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Bibliografía

- Altun, Ş., Öztop, H., Öner, C., & Varol, Y. (2013). Exhaust emissions of methanol and ethanol-unleaded gasoline blends in a spark-ignition engine. *Thermal Science*, 17(1), 291–297. <https://doi.org/10.2298/TSCI111207034A>
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE). (2020). *Anuario 2020, AEADE*. 593, 1–128.
- Castillo, H. P., Mendoza, D. A., & Caballero, M. P. (2012). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos reformulados con Etanol Analysis of Physicochemical Properties of Mexican Gasoline and Diesel Reformulated with Ethanol. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XIII(número 3), 293–306. <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v13n3/v13n3a4.pdf>
- Chala, F., & Ñacato, J. (2008). *Escuela politécnica nacional*.
- Drews, A. (2008). Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Mini Method—Atmospheric). *Manual on Hydrocarbon Analysis, 6th Edition*, 908-908–4. <https://doi.org/10.1520/mnl10979m>
- Freire Romero, D. R. (2013). *Comportamiento de un motor a gasolina utilizando alcohol anhidro como combustible de aporte*. 151. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5799/1/CD-4686.pdf>
- Galarza, C., & Maurat, W. (2017). *Evaluación del consumo específico de combustible y emisiones de gases de escape, con el uso del combustible Eco-país en un motor de combustión interna alternativo*. 129.
- Hsieh, W. D., Chen, R. H., Wu, T. L., & Lin, T. H. (2002). Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels. *Atmospheric Environment*, 36(3), 403–410. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00508-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00508-8)
- Lin, W. Y., Chang, Y. Y., & Hsieh, Y. R. (2010). Effect of ethanol-gasoline blends on small

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

engine generator energy efficiency and exhaust emission. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 60(2), 142–148. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.60.2.142>

Llanes Cedeño, E. A., Rocha-Hoyos, J. C., Peralta Zurita, D. B., & Leguísamo Milla, J. C.

(2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 149–158. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.201>

Moore, K., McCormick, R. L., & Yanowitz, J. (2012). *Vice President Renewable Fuels Association*.

Ortíz, D. R. (2011). *DAVID ORTÍZ RAMÍREZ Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico Asesor : Profesor ANDRÉS LEONARDO GONZÁLEZ MANCERA Ingeniero Mecánico , MSc , Phd . Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Mecánica.*

Pérez Darquea, D. G. (2018). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA Research Journal*, 2(23), 23–34. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n3.2018.635>

Recursos y Energía. (2021). *GOBIERNO DE ECUADOR Y U.S. GRAINS COUNCIL SUSCRIBEN MEMORANDO DE ENTENDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE ACCIONES CONJUNTAS EN EL SECTOR PETROLERO – Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables*. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/gobierno-de-ecuador-y-u-s-grains-council-suscriben-memorando-de-entendimiento-para-el-desarrollo-de-acciones-conjuntas-en-el-sector-petrolero/>

Roberto, J., Calvo, Á., Andrea, L., & Céspedes, T. (2007). *DE MONTERREY® Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Utilización de Etanol en un Motor a Gasolina Biblioteca.*

Torroba, A. (2020). Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020. *Instituto*

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Interamericano de Cooperación Para La Agricultura (IICA), 1–42.

<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/13974/BVE20128304e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Provenza, A., & Manfredi, U. (2011). On-road emissions of light-duty vehicles in Europe. *Environmental Science and Technology*, 45(19), 8575–8581. <https://doi.org/10.1021/es2008424>

Wu, C. W., Chen, R. H., Pu, J. Y., & Lin, T. H. (2004). The influence of air-fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline-blended fuels. *Atmospheric Environment*, 38(40 SPEC.ISS.), 7093–7100. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.058>

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

ANEXOS

ANEXO 1. Características Texa Gasbox Autopower



Tabla A1. 1 Características Texa Gasbox Autopower

Medida	Rango de medición	Unidad de medida	Resolución
CO	0 / 9,99	% Vol.	0,01
CO2	0/19,9	% Vol.	0,1
HC	0/5000	ppm Vol.	1
O2	0/21,4	% Vol.	0,1
NOx	0/5000	ppm Vol.	5
Lambda	0,5/1,50	--	0,01
RPM	0/99990	Revol. /mín	10
Temp. Aceite	5/200	°C	0,1
Temp. Amb	0/45	°C	0,1
Pres. Amb	800/1060	mbar	1

EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

ANEXO 2. Dinamómetro SuperFlow AutoDyn 30



Tabla A2. 1 Especificaciones Dinamómetro

Especificaciones	
Diámetro del rodillo	30'' – 76,2 cm
Potencia máxima	2500 HP – 1,864 kW
Potencia absorbida máxima	1,100 sec / 2,200 HP dec – 820 kW / 1,641 kW
Maxima velocidad	225 mph – 362 km/h
Anchura de pista	26'' adentro – 100'' afuera (66cm – 254 cm)
Dimensiones	120 x 40.5 x 35 in (305 x 103 x 89 cm)
Inercia del sistema base	1,200 lbs – 544 kg
Peso del eje	8,000 lbs por eje – 3,629 kg
Requisitos de aire	50 – 100 psi (365 – 690 kPa)
Requerimientos de potencia	110 VAC / 15A o 250 VAC / 8 ^a y 208-250 VAC / 20A

ANEXO 3. Características del vehículo



EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

Tabla A3. 1 Especificaciones del vehículo

Especificaciones	
Cilindraje	1398 cc
Numero de cilindros	4
Potencia	102 HP @ 6000 rpm
Torque	13,23 kg.m @4200 rpm
Tracción	Delantera
Combustible	Gasolina
Peso	0,75 toneladas
Designación de las ruedas	155/55 R15

ANEXO 4. Proceso para la mezcla de combustible



EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

ANEXO 5. Instrumentos para las pruebas



ANEXO 6. Proceso del ciclo IM-2



EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO UTILIZANDO MEZCLA GASOLINA-ETANOL MEDIANTE EL PROTOCOLO IM-240

ANEXO 7. Caracterización del combustible con diferentes porcentajes de Etanol

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  LACBAL	Edición: 03
	INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	Fecha de edición: 2021-03-04
		Página: 1 de 1
		FRP7.801

1. INFORMACIÓN LACBAL:				2. INFORMACIÓN CLIENTE:				
DIRECCIÓN	Ladrón de Guevara E11-253-Edificio N° 17 (Química- Eléctrica) 5to piso, Quito.			NOMBRE/EMPRESA	Xavier Egúez			
TELÉFONOS	022976-300 Ext. 4329/4328/4317			DIRECCIÓN	Paul Rivet y Whympar			
E-MAIL	lacbal@epn.edu.ec			NÚMERO DE MUESTRAS	3			
3. INFORMACIÓN GENERAL				4. FECHAS				
RESPONSABLE DEL INFORME	Quim. Alisson Hernández	N° PROFORMA	-	RECEPCIÓN DE LA MUESTRA EN LACBAL	-	INICIO DE ENSAYO	2021-06-02	
TIPO CLIENTE	EXTERNO	N° FACTURA	-	TRANSPORTE	NA	ENTREGA DE INFORME	2021-06-11	
5. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:								
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE		IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD		
-		0	0%	Gasolina extra	Vidrio	1	L	
-		1	5%	Gasolina extra	Vidrio	1	L	
-		2	10%	Gasolina extra	Vidrio	1	L	
6. CONDICIONES AMBIENTALES:								
TEMPERATURA [°C]	20,0	HUMEDAD RELATIVA [%]	56	PRESIÓN [kPa]	72.6			
7. RESULTADOS OBTENIDOS:								
MUESTRA	ENSAYO			NORMA MÉTODO	UNIDADES	VALOR OBTENIDO		
0%	*Contenido de azufre			ASTM-D4294-16e1	mg/Kg	76,5		
	Contenido de gomas			ASTM-D381	mg/100mL	0,813		
	Corrosión lamina de cobre			ASTM-D130	----	1A		
	Ensayo de destilación			ASTM-D86	10%	°C	61,3	
					50%	°C	115,8	
					90%	°C	181,6	
					Punto final (94,5%)	°C	215,2	
					Residuo de destilación	%	1,0	
	Octanaje			ASTM D-2699	RON	85,0		
	Presión de vapor de Reid			ASTM-D323	kPa	53,5		
5%	*Contenido de azufre			ASTM-D4294-16e1	mg/Kg	73,5		
	Contenido de gomas			ASTM-D381	mg/100mL	0,973		
	Corrosión lamina de cobre			ASTM-D130	----	1A		
	Ensayo de destilación			ASTM-D86	10%	°C	55,6	
					50%	°C	111,5	
					90%	°C	174,3	
					Punto final (96,1%)	°C	213,9	
					Residuo de destilación	%	1,0	
	Octanaje			ASTM D-2699	RON	88,2		
	Presión de vapor de Reid			ASTM-D323	kPa	52,5		
10%	*Contenido de azufre			ASTM-D4294-16e1	mg/Kg	75,0		
	Contenido de gomas			ASTM-D381	mg/100mL	0,981		
	Corrosión lamina de cobre			ASTM-D130	----	1A		
	Ensayo de destilación			ASTM-D86	10%	°C	60,8	
					50%	°C	109,3	
					90%	°C	178,6	
					Punto final (95,6%)	°C	213,3	
					Residuo de destilación	%	1,0	
	Octanaje			ASTM D-2699	RON	91,8		
	Presión de vapor de Reid			ASTM-D323	kPa	50,0		