

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo Integración Curricular previo a la
obtención del Título de Ingeniero en Mecánica
Automotriz.**

AUTORES:

Bryan Santiago Benalcázar Rodríguez
Kevin Joel Catucuamba Sánchez

DIRECTOR:

PhD. Gorky Reyes

**Análisis del poder calorífico en combustibles
alternativos a base de plástico con relación a la oscilación
en motores de combustión interna.**

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Bryan Santiago Benalcázar Rodríguez** y **Kevin Joel Catucuamba Sánchez**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



Bryan Santiago Benalcázar Rodríguez



Kevin Joel Catucuamba Sánchez

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Gorky Reyes**, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Firma profesor

DEDICATORIA

Este artículo se lo dedico a mis padres y a mi hermano, cuyo amor y apoyo incondicional han sido mi fuente de inspiración para poder alcanzar cada meta en el transcurso de mi vida. A mi querida esposa por alentarme a cumplir mis sueños y apoyarme en todo momento. A mis profesores y director de tesis quienes han sido parte fundamental en mi desarrollo personal y académico.

BRYAN SANTIAGO BENALCÁZAR RODRÍGUEZ

Dedico el siguiente artículo en primer lugar a Dios, por darme fortaleza, sabiduría y paciencia en este recorrido. Este logro definitivamente es una prueba de su guía en mi vida. A mis padres Luis Catucuamba y Yolanda Sánchez, que, con su amor incondicional, sacrificios y su apoyo constante me han enseñado el valor del esfuerzo y dedicación, su ejemplo ha sido mi mayor inspiración en este trayecto de vida, así mismo en la memoria de mis abuelos que ya no están, que fueron una inspiración del esfuerzo y valentía.

KEVIN JOEL CATUCUAMBA SÁNCHEZ

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar mi camino, darme sabiduría y fortaleza para superar cada desafío a lo largo de mi vida y permitirme cumplir este logro. También quiero expresar mis agradecimientos a mis padres, mi hermano y mi esposa por brindarme su amor y apoyo incondicional.

Agradezco a la Universidad Internacional del Ecuador por las oportunidades brindadas durante mi formación académica. A mis profesores por sus enseñanzas y conocimientos compartidos, permitiéndome crecer como persona y profesional. Finalmente quisiera agradecer a mi compañero de estudio por la ayuda proporcionada en este proceso de titulación.

BRYAN SANTIAGO BENALCÁZAR RODRÍGUEZ

En primer lugar y el más importante agradezco a Dios por la oportunidad de culminar la carrera de mis sueños. A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme que la perseverancia es calve para alcanzar mis metas, a mis hermanos, por su aliento y compañía en los momentos difíciles, finalmente agradezco a mis amigos espirituales que siempre me dijeron que los hijos de Dios siempre seremos cabeza y no cola.

KEVIN JOEL CATUCUAMBA SÁNCHEZ

ÍNDICE DE CONTENIDO

Certificación de autoría.....	iii
Aprobación del tutor	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Artículo	8
Resumen.....	8
Introducción	9
Marco teorico.....	11
Materiales y métodos	15
Resultados y discusión.....	20
Conclusiones.....	27
Referencias.....	28
ANEXOS	31

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Anexo 1. Montes de Correa, C., & Hernández Saldarriaga, G. Combustibles Alternativos. 2017.....	31 - 38
Anexo 2. Rejas, L. C. Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos...39 - 45	
Anexo 3. Gutiérrez. J. y Santiana. G. Análisis de las vibraciones de un motor ciclo otto con una mezcla combustible a base de gasolina y etanol. Quito. 2017.....	46 - 54

ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS

Anexo 4. Informe de resultados de poder calorífico de los 3 combustibles.....	55 - 57
Anexo 5. Informe de resultados de octanaje de los 3 combustibles.....	58 - 60
Anexo 6. Normativa NTE INEN 2203:2013.....	61 - 62
Anexo 7. Ficha técnica vehículo de prueba.....	63
Anexo 8. Equipo de diagnóstico Bosch FSA 740.....	64 - 65
Anexo 9. Dinamómetro Dyno Race	66
Anexo 10. Pruebas estáticas con el equipo Bosch FSA 740.....	66
Anexo 11. Pruebas con el dinamómetro Dyno Race.....	67

ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSION

Anexo 12. Resultados de combustible extra a ralenti equipo Bosch FSA 740.....	68
Anexo 13. Resultados de combustible super a ralenti equipo Bosch FSA 740.....	69
Anexo 14. Resultados de combustible de plástico a ralenti equipo Bosch FSA 740.....	70
Anexo 15. Resultados de combustible extra a 3000 rpm equipo Bosch FSA 740.....	71
Anexo 16. Resultados de combustible super a 3000 rpm equipo Bosch FSA 740.....	72
Anexo 17. Resultados de combustible de plástico a 3000 rpm equipo Bosch FSA 740.....	73
Anexo 18. Resultados de potencia con el combustible extra.....	74
Anexo 19. Resultados de potencia con el combustible super	74
Anexo 20. Resultados de potencia con el combustible a base de plástico	75

ANÁLISIS DEL PODER CALORÍFICO EN COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS A BASE DE PLÁSTICO CON RELACIÓN A LA OSCILACIÓN EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Ing. Gorky Reyes.¹, Bryan Benalcázar.², Kevin Catucuamba.³

¹ Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, gureyesca@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

² Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, brbenalcazarro@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

³ Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, kecatucuambasa@uide.edu.ec, Quito - Ecuador

RESUMEN

Introducción: El presente estudio se centra en analizar el poder calorífico de combustibles alternativos a base de plástico y comprobar las oscilaciones generadas en un motor de combustión interna. **Metodología:** La investigación utilizó el método analítico-experimental para evaluar el rendimiento de un motor de combustión interna con combustibles convencionales y alternativos a base de plástico. Mediante pruebas de laboratorio se analizó el poder calorífico de 3 combustibles extra 88.5 octanos, super 91.9 octanos y a base de plástico 99 octanos, con los resultados obtenidos se realizó una prueba experimental bajo la normativa NTE INEN 2203:2000 correspondiente a validar pruebas en condiciones de marcha mínima, de igual manera mediante equipos de medición se comparó las vibraciones generadas en el proceso de combustión y el comportamiento de los combustibles en pruebas de potencia en un dinamómetro. **Resultados:** Los resultados demostraron que el combustible a base de plástico en comparación con los otros combustibles de prueba tiene un mayor poder calorífico y octanaje, permitiendo generar más energía por unidad de masa y soportar mayores niveles de compresión sin detonar, lo que se traduce en mayor potencia. Además, este combustible produce menos vibraciones, mejorando la estabilidad de la combustión y reduciendo el desgaste del motor. **Conclusión:** Se determinó que el combustible a base de plástico es una opción viable frente a los combustibles fósiles tradicionales. Las pruebas de laboratorio realizadas demostraron que su poder calorífico y el octanaje es comparable al de los combustibles convencionales, lo que asegura un rendimiento adecuado en los motores una vez realizada la prueba de potencia en el dinamómetro. Además, su uso contribuye a la reducción de residuos plásticos, transformando un problema ambiental en una fuente de energía útil, posicionándolo como una alternativa prometedora en la industria automotriz.

Palabras clave: Poder calorífico, motor, combustible, oscilaciones, combustión, octanaje, potencia.

ABSTRACT

Introduction: The present study focuses on analyzing the calorific value of alternative plastic-based fuels and checking the oscillations generated in an internal combustion engine.

Methodology: The research used the analytical-experimental method to evaluate the performance of an internal combustion engine with conventional and alternative plastic-based fuels. Through laboratory tests, the calorific value of 3 extra fuels 88.5 octane, super 91.9 octane and plastic-based 99 octane was analyzed, with the results obtained an experimental test was carried out under the NTE INEN 2203:2000 regulations corresponding to validate tests under minimum speed conditions, in the same way through measuring equipment the vibrations generated in the combustion process and the behavior of the fuels in power tests in a dynamometer were compared.

Results: The results showed that the plastic-based fuel, compared to the other test fuels, has a higher calorific value and octane rating, allowing it to generate more energy per unit of mass and withstand higher compression levels without detonating, which translates into greater power. In addition, this fuel produces less vibration, improving combustion stability and reducing engine wear. **Conclusion:** It was determined that the plastic-based fuel is a viable option compared to traditional fossil fuels. The laboratory tests carried out showed that its calorific value and octane rating are comparable to those of conventional fuels, which ensures adequate performance in the engines after the power test on the dynamometer. In addition, its use contributes to the reduction of plastic waste, transforming an environmental problem into a useful energy source, positioning it as a promising alternative in the automotive industry.

Keywords: Calorific value, engine, fuel, oscillations, combustion, octane rating, power.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Quito se comercializan combustibles derivados principalmente del petróleo, los cuales son utilizados por todos los vehículos que tiene un motor de combustión interna, por lo que producen contaminación mediante las emisiones, sin embargo, vale analizar que hay combustibles alternativos a base de plástico que mediante sus propiedades físicas-químicas ayudan a resolver diferentes problemáticas en relación al motor y el medio ambiente. La creciente preocupación por el cambio climático y la contaminación atmosférica ha impulsado el

desarrollo de combustibles alternativos a los combustibles fósiles convencionales. (Alarcón, 2019) Los combustibles alternativos a base de plástico son una opción prometedora, ya que pueden producirse a partir de residuos termoplásticos, que son una fuente abundante de materia prima. (Santillán, 2019) En Quito-Ecuador, la contaminación atmosférica es un problema importante. Los motores de combustión interna son una de las principales fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad. Más del 90% de las emisiones de Quito son provocadas por los autos, sean a diésel o gasolina. Esto se debe a la calidad de combustibles que se manejan en Ecuador. (Silva, 2022).

El objetivo de la investigación fue analizar el poder calorífico de combustibles alternativos a base de plástico y comprobar las oscilaciones que causaron en un motor de combustión interna utilizando equipos de diagnóstico automotriz. Se presentaron los combustibles alternativos que intentaban entrar en el mercado ecuatoriano como una iniciativa innovadora. Se analizaron las propiedades físico-químicas de estos combustibles basándose en resultados obtenidos a partir de pruebas de laboratorio y, finalmente, se evaluaron los resultados obtenidos con herramientas de medición, interpretándolos a través de gráficos y valores.

Un equipo de la universidad inglesa de Cambridge ha creado un reactor alimentado con energía solar que es capaz de transformar los desechos plásticos y los gases de efecto invernadero en combustible sostenible. (EFE, 2023) La idea de disminuir las emisiones contaminantes por parte de vehículos con un motor de combustión interna, acelera que identidades internacionales opten por desarrollar combustibles alternativos. Empresa Plastikgas (Quito), transforma el plástico en combustible. El procedimiento consiste en convertir 7 tipos diferentes de plástico en combustible, sin químicos ni disolventes, así se obtiene de manera mecánica la gasolina. Fundas, botellas, desechos de plásticos en general, son utilizados en este proceso en el cual se obtiene gasolina de 102 octanos, además de diésel y otros derivados. (Cuenca al Día, 2022) La iniciativa de la empresa productora de combustibles alternativos busca generar plantas con inversionistas públicos y privadas que ayuden a la reducción de residuos termoplásticos a nivel regional. Desarrollando un sistema integrado de conversión de residuos en energía, basado en el pirólisis de residuos plásticos de polietileno para la producción de combustible y otros productos útiles. (Mohamed M. Ismail, 2023) La pirolisis es el proceso principal para generar combustible a base de plástico, los países de primer mundo buscan que este proceso sea menos contaminante en relación de los combustibles a base de petróleo. (Yuyang Li, 2023) El uso de otros combustibles con alto poder calorífico, como

el metano, ayuda a reducir las emisiones contaminantes. La composición química de los ácidos grasos se utiliza para prever un mayor poder calorífico del biodiésel. (Sumod Pawar a b, 2023) En la actualidad los centros de investigación buscan repotenciar los combustibles en el poder calorífico como el biodiesel. El poder calorífico cumple un rol fundamental para el comportamiento de funcionamiento de un motor de combustión interna al momento de utilizar combustibles alternativos en relación de un combustible común. (Boopathi Duraisamy a, 2023).

MARCO TEORICO

En los **motores de combustión interna** (MCI) el uso de **combustibles fósiles** ha generado graves problemas ambientales, como la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire. En este contexto, la búsqueda de alternativas sostenibles es crucial. Los **combustibles alternativos** a base de plástico (CAP) se presentan como una opción viable para reducir el impacto ambiental y la dependencia de los combustibles fósiles. Su alto **poder calorífico** y **octanaje** es un factor importante a considerar para evaluar la eficiencia y el rendimiento de un combustible.

Motores de combustión interna

Los motores de combustión interna (MCI) son dispositivos térmicos de desplazamiento positivo, en los cuales el trabajo se produce mediante el movimiento lineal del émbolo en un mecanismo biela-manivela. Se conocen como motores de combustión interna debido a que el estado térmico se genera dentro del propio fluido que se transforma en el motor. (Antonio Rovira De Antonio, 2015) En un motor de combustión interna, las oscilaciones y las alteraciones de las fuerzas de inercia surgen de la combustión y de las diferencias en la compresión del cilindro y el pistón durante su funcionamiento. Las oscilaciones, además de resultar de movimientos mecánicos rotativos, lineales y alternantes, también se originan en el proceso de combustión. Por ello, el nivel de vibración del motor está vinculado a las características del combustible, como su octanaje, y a la calidad de la combustión. (Gutiérrez, 2017)

Combustibles

Los combustibles los ha utilizado el hombre desde que encontró la manera de controlar, producir y utilizar el fuego. Desde esas remotas épocas, ha encontrado otros elementos, siempre buscando más eficiencia en los procesos que requieren del calor y la potencia que se pueden obtener por medio de la combustión. (Fernandez Betancur, 2005)

Combustibles fósiles

Los combustibles fósiles son aquellos combustibles que se formaron a partir de la descomposición de la materia orgánica durante millones de años. Toda la energía usada por la humanidad proviene de alguna fuente de energía primaria de la naturaleza, la gran mayoría de esta energía (79,4%) proviene de los combustibles fósiles, petróleo, gas natural y carbón, que junto con el uranio (4,3%), cubren el 83,7% del uso mundial de energía. Debido a que estos recursos son finitos y no renovables, tarde o temprano se agotaran dando paso a otras formas de energía alternativa para el desarrollo sostenible de la humanidad. (Romeva, 2015)

Combustibles alternativos

En general los combustibles alternativos son aquellos que debido a sus propiedades físicas y químicas generan menos contaminación que los combustibles fósiles. Es decir, las emisiones resultantes de la combustión contienen menos hidrocarburos, por tanto, pueden ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire. (Montes de Correa & Hernandez Saldarriaga, 1998)

Tabla 1
Combustibles alternativos

Combustible	Fuente	Características	Ventajas
Biocombustibles	Biomasa (plantas, aceites vegetales)	Combustibles renovables, derivados de fuentes vegetales	Reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, promueven la agricultura sostenible
Hidrógeno	Agua (electrolisis)	Combustible limpio, combustión sin emisiones	Altamente energético, potencial para almacenamiento de energía
Electricidad	Fuentes diversas (generación renovable, nuclear)	Energía limpia, versátil para transporte e industria	Reduce la contaminación del aire, emisiones de gases de efecto invernadero
Combustibles derivados del plástico	Residuos plásticos	Obtenidos a partir de pirólisis o gasificación de plásticos	Reducen la cantidad de residuos plásticos que van a los vertederos, fuente potencial para reducir la dependencia del petróleo

Nota: La tabla 1 representa las características de distintos tipos de combustibles alternativos. Fuente (Fernandez Betancur, 2005)

Combustibles alternativos a base de plástico (CAP):

Los CAP se obtienen a partir de residuos plásticos mediante diferentes procesos, como el pirólisis y la gasificación. Estos procesos convierten el plástico en combustibles líquidos o gaseosos, los cuales son empleados como combustibles en motores de combustión interna.

El proceso de pirólisis implica la descomposición química de un material mediante degradación térmica en ausencia de oxígeno. En el caso de los residuos plásticos, este proceso es uniforme, independientemente del tipo de polímero o mezcla de plásticos presente. Implica someter la mezcla a tratamiento térmico a temperaturas entre 370°C y 420°C. Los gases resultantes, conocidos como gases pirolíticos, se recuperan y condensan para obtener un destilado de hidrocarburos, un petróleo de bajo contenido en azufre, que puede ser refinado mediante destilación fraccionada para obtener productos como diésel, gasolina y queroseno. (Rejas, 2015).

Aprovechamiento Energético del plástico

El aprovechamiento energético implica la liberación de energía térmica al calentar residuos plásticos, lo que permite emplear el plástico como combustible para diversos procesos, aprovechando su alto poder calorífico. Esto posibilita la utilización de una amplia variedad de plásticos para este fin. (Sáez, 2008)

Tabla 2
Poder calorífico de algunos plásticos comunes

Plástico	Poder Calorífico (kJ/g)
Policloruro de vinilo (PVC)	46-55
Poliestireno (PS)	40-45
Poliuretano (PU)	23-30
Polietileno de alta densidad (PEAD)	42-46
Polietileno de baja densidad (PEBD)	40-45
Poliacrilonitrilo (PAN)	27-31

Nota: Los valores del poder calorífico son aproximados y pueden variar dependiendo de la composición específica de cada plástico y de las condiciones de combustión. Fuente (Polisantafe, 2024)

Los residuos plásticos usados pueden ser aprovechados como combustible debido a su elevado poder calorífico, por ejemplo, un kilogramo de polietileno (con un poder calorífico aproximado de 46 MJ/kg) puede producir la misma energía que un kilogramo de gas natural. (Santillan, 2019)

Poder calorífico

El poder calorífico se define como la cantidad de energía calorífica que se libera al quemar una unidad de masa de combustible. Cuanto mayor es el poder calorífico de un combustible, más energía se obtiene de él durante la combustión. La gasolina que es utilizada comúnmente en motores de vehículos a gasolina tiene un poder calorífico aproximado de 45 MJ/kg. Esto significa que por cada kilogramo de gasolina que se quema, se produce una liberación de energía de 45 Megajulios. (Ruiz, 2023)

Tabla 3

Tabla de poder calorífico de distintos combustibles

Combustible	Poder calorífico superior	Poder calorífico inferior
	PCS (MJ/Kg)	PCI (MJ/Kg)
Gasolina extra	43.5	42.2
Gasolina super	45.1	43.8
Gasóleo	44.0	42.5
Etanol	29.7	26.8
Biodiesel	42.4	39.9

Nota: Los valores indicados en la tabla son aproximados y pueden variar en función de la composición del combustible y de las condiciones de combustión. Fuente (eppetroecuador, 2017)

Para poder determinar el poder calorífico existen diversas fórmulas que se pueden utilizar dependiendo del tipo de combustible, una de las más conocidas es la fórmula de Dulong, el físico expresa el poder calorífico superior en función de la composición de carbono, hidrogeno, oxígeno y azufre del compuesto. (Universidad Industrial de Santander, 2024)

Ecuación 1

$$PCS = 8100C + 34400 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500S$$

Ecuación 2

$$PCI = 8100C + 34400 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500S - 600G$$

Donde:

PCS = poder calorífico superior [kcal/kg]

PCI = poder calorífico inferior [kcal/kg]

C, H, O, S = fracción en peso de carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre [kg /kg de combustible]

G = fracción en peso de agua formada [kg de agua / kg de combustible]

Eficiencia Térmica

Eficiencia es un término utilizado con frecuencia para describir la forma en que funciona una máquina térmica. Para una máquina térmica, que convierte calor en trabajo, la entrada se puede identificar con la entrada de calor, o el calor agregado. La salida será el trabajo neto, de modo que la eficiencia térmica de una máquina térmica es (Rolle, 2006)

$$\eta_T = \frac{W}{Q} \times 100$$

MATERIALES Y MÉTODOS

Método

La presente investigación utilizó el método analítico-experimental, centrado en evaluar el rendimiento de un motor de combustión interna de un vehículo utilizando combustibles convencionales y alternativos a base de plástico. Se tomaron muestras de gasolina extra, super y gasolina alternativa a base de plástico proporcionada por la Empresa Plastikgas. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio (DPEC) Departamento de petróleos, energía y contaminación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador (UCE) para realizar un análisis de poder calorífico cumpliendo con el objetivo de la investigación. El ensayo se ejecutó bajo condiciones ambientales controladas, con una presión de 542,7 mm Hg y una temperatura de 16,5 °C, con el fin de determinar la cantidad de energía liberada, de igual manera se realizaron pruebas de octanaje de los combustibles de prueba. Con los resultados obtenidos se realizó una prueba experimental bajo la normativa NTE INEN 2203:2000 la cual se aplica en el proceso de Revisión Vehicular en todo el territorio ecuatoriano, correspondiente a validar pruebas en condiciones de marcha mínima o prueba estática. Mediante equipos de medición se comparó las vibraciones generadas en el proceso de combustión, interpretándolos mediante gráficas y tablas, las pruebas de medición se realizaron a ralenti y 3000 rpm del motor durante un tiempo específico a una temperatura normal de operación (90 °C). De igual manera se realizaron pruebas con el dinamómetro Dyno Race el cual nos permitió medir la fuerza y la potencia que genera el motor.

Materiales

Combustible

El combustible utilizado es la gasolina extra, super y gasolina a base de plástico, en la tabla 4 se describe las características de los combustibles a prueba, los resultados del poder calorífico fueron otorgados por el **Departamento de petróleos, energía y contaminación de la Facultad de Ingeniería Química de la UCE.**

Tabla 4
Características de los combustibles a prueba

Característica	Gasolina Extra	Gasolina Super	Gasolina de Plástico
Octanaje	88.5	91.9	99
Color	Verde	Amarillo	Amarillo
Poder Calorífico (MJ/Kg)	46,09	45,78	46,61
Método/Técnica	PNE/DPEC/MI00 REF.ASTM D-240 (calorimetría)	PNE/DPEC/MI00 REF.ASTM D-240 (calorimetría)	PNE/DPEC/MI00 REF.ASTM D-240 (calorimetría)

Nota: Los valores indicados en la tabla son resultado de las muestras enviadas al Laboratorio DPEC – Área de Petróleos, ensayo realizado bajo condiciones ambientales a una presión de 542,7 mm Hg y temperatura de 16,5 °C. Fuente (Autores, 2024).

Normativa

Combustible

Las pruebas se realizaron en el laboratorio DPEC de la facultad de Ingeniería Química de la UCE en base al método ASTM D-240, el cual tiene por objeto determinar el poder calorífico superior de combustibles líquidos mediante un calorímetro de bomba, de igual forma se realizaron pruebas de octanaje de los combustibles de prueba.

Ensayo - Experimental

Se utilizo como referencia la normativa NTE INEN 2203:2013 que se enfoca a la gestión ambiental del aire, específicamente en los vehículos automotores, su objetivo principal es establecer un método para determinar la concentración de emisiones de escape en los vehículos, bajo las condiciones de marcha mínima o ralentí, el procedimiento para evaluar las diferentes vibraciones dependerá del tipo de combustible a utilizar. Las pruebas de medición se realizaron a

diferentes rpm del motor durante un tiempo específico a una temperatura normal de operación (90 °C).

Vehículo de prueba

En el mercado ecuatoriano, las marcas de vehículos chinos han ganado una presencia significativa en los últimos años, sin embargo, se han reportado inconvenientes relacionados al uso del combustible. Por tal motivo se escogió, un vehículo SUV equipado con un motor de gasolina de 2.0 litros diseñado para operar con combustible de 93 octanos o superior.

Tabla 5

Ficha técnica vehículo de prueba

Ficha técnica	
Motor	
Cilindrada	1,997 c.c.
Cilindros	4 cilindros
Numero de válvulas	16 válvulas IVVT
Potencia	145 HP @ 6000 RPM
Torque	200 NM @ 4000 RPM
Tipo de combustible	Gasolina 93 octanos o superior
Estándar de emisiones	Euro V
Admisión de aire	Aspiración natural
Relación de compresión	10.8 a 1

Nota: La tabla 6 representa la ficha técnica del vehículo de prueba. Fuente (Maresa, 2021)

Equipos de medición

Equipo de diagnóstico Bosch FSA 740

Para analizar las vibraciones del vehículo en prueba se utilizó el equipo FSA740 de Bosch. Este equipo cuenta con osciloscopio que nos permite tomar valores de medición del sensor de detonación (Ks) a su vez permite visualizar las curvas y sus variaciones durante la prueba con distintos combustibles.

Figura 1

Equipo de diagnóstico Bosch FSA 740



Nota: El gráfico representa el equipo de diagnóstico Bosch FSA 740 el cual nos permitió tomar valores reales de las vibraciones del vehículo. Fuente (Autores, 2024)

Tabla 6
Datos técnicos Equipo Bosch FSA 740

Datos técnicos Equipo Bosch FSA 740	
Osciloscopio de 2 canales	Tasa de escaneado 50 MS/s
Generador de señales	10 to 12V con 4 formas de señal, 1 Hz a 1 KHz
Rango de medición de voltaje	0 a 60 V
Rango de medición de corriente	0 a 1000 A
Rango de medición de resistencia	0 a 1 MΩ
Rango de medición de la velocidad de rotación	100 a 12000 1/min
Rango de medición de la presión (atmosférica)	-800 hPa a 1500 hPa
Rango de medición de la presión de liquido	0 a 1000 KPa

Nota: La tabla 6 representa la ficha técnica del equipo de diagnóstico Bosch FSA 740. Fuente (Bosch, 2020)

Dinamómetro Dyno Race

El Dinamómetro Dyno Race es un tipo específico de dinamómetro automotriz diseñado especialmente para medir el rendimiento de vehículos de alto rendimiento. Estos dinamómetros se enfocan en ofrecer una precisión extrema para medir la potencia y el par motor (par) de los vehículos bajo condiciones específicas de alta exigencia. Con la ayuda del dinamómetro se tomó datos de cuantos caballos de fuerza y torque puede generar el vehículo con los tres combustibles de prueba.

Figura 2
Dinamómetro Dyno Race



Nota: El grafico representa el Dinamómetro Dyno Race el cual nos permitió tomar valores de la potencia y el par motor del vehículo. Fuente (Autores, 2024)

Figura 3
Especificación del Dinamómetro Dyno Race.

DATOS DIMENSIONALES			
MEDIDAS DE LA BANCADA (MM)	2400X980X390	3190X1060X390	3190X1060X390
ANCHO DE LOS RODILLOS (MM)	650	650	650
DISTANCIA ENTRE LOS RODILLOS (MM)	550	550	550
DIÁMETRO DE LOS RODILLOS (MM)	318	318	318
ANCHO DE VÍA (MM)	850-2100	850-2100	850-2100
PASO (MM)	//	//	//
ELEVACIÓN Y BLOQUEO	NEUMÁTICO	NEUMÁTICO	NEUMÁTICO
PESO (KG)	1000	1280	1100
CARACTERÍSTICAS			
VELOCIDAD MÁXIMA (KM/H)	300	300	300
POTENCIA EN LA RUEDA (KW)	400	400	400
PAR TEÓRICO EN LA RUEDA (KGM)	-	-	160
FUERZA DE TRACCIÓN (KN)	-	-	7,5
REVOLUCIONES MÁXIMAS (RPM)	5000	5000	5000
CAPACIDAD POR EJE (KG)	2500	2500	2500
DIMENSIONES DE LA RUEDA (PULGADAS)	13-23	13-23	13-23
CONEXIÓN DE LOS EJES			
GESTIÓN Y DATOS			
MEDIDA DE LAS REVOLUCIONES DEL RODILLO (RPM)	20.000 (CODIFICADOR)	20.000 (CODIFICADOR)	20.000 (CODIFICADOR)
MEDIDA DE FUERZA (N)	-	-	5000 STRAIN GAUGE
GESTIÓN DEL FRENO (VCC)	-	-	192V PWM 8BIT
TEMPERATURA DEL GAS DE ESCAPE (K)	1000	1000	1000
TEMPERATURA DEL ACEITE DEL MOTOR (°C) / H2O (°C)	0 - 150	0 - 150	0 - 150
SONDA DE PRESIÓN TURBO (BAR)	-1,00 + 3,00	-1,00 + 3,00	-1,00 + 3,00
SONDA LAMBDA (AFR-λ-CUSTOM)	SI	SI	SI

Nota: El grafico representa las especificaciones del dinamómetro Dyno Race. Fuente (Digitec, 2024)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a los resultados obtenidos, se llevó a cabo un análisis del poder calorífico de los distintos combustibles de prueba con el objetivo de evaluar su eficiencia y su capacidad energética. Además, se realizaron pruebas de oscilación en el motor bajo condiciones estáticas, siguiendo la normativa establecida, para medir el nivel de vibraciones generadas por cada combustible.

Pruebas de laboratorio de los 3 combustibles

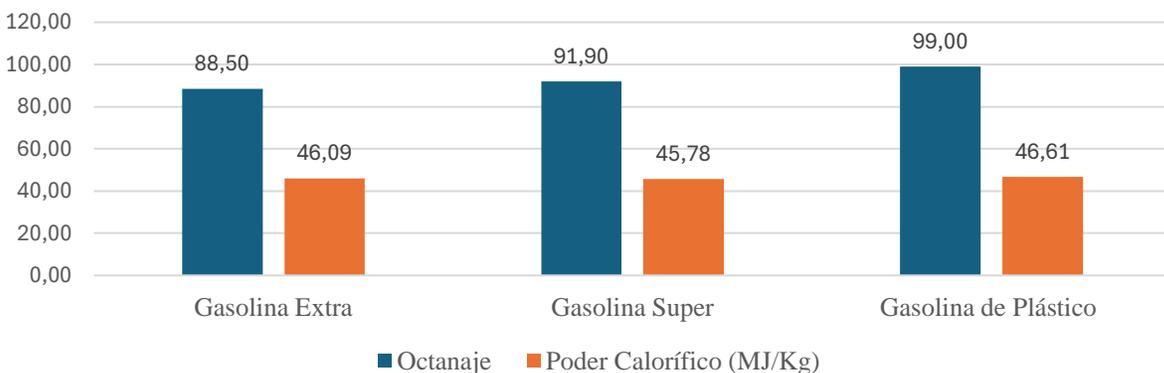
Tabla 7
Combustibles a prueba

Combustible	Octanaje	Poder Calorífico (MJ/Kg)	Método/Técnica
Gasolina Extra	88.5	46,09	PNE/DPEC/MI00
Gasolina Super	91.9	45,78	REF.ASTM D-
Gasolina de Plástico	99	46.61	240 (calorimetría)

Nota: Los valores indicados en la tabla son resultado de las muestras enviadas al Laboratorio DPEC – Área de Petróleos, ensayo realizado bajo condiciones ambientales a una presión de 542,7 mm Hg y temperatura de 16,5 °C. Fuente Autores, LAB (DPEC – Área de Petróleos, 2024).

La tabla presenta una comparación entre tres tipos de combustible: gasolina extra, gasolina súper y gasolina de plástico. Se han considerado dos propiedades importantes en la combustión como es el octanaje que se enfoca en la calidad de la combustión y el poder calorífico en la cantidad de energía liberada.

Figura 4
Prueba de los 3 combustibles



Nota: El gráfico representa el resultado del poder calorífico de los tres tipos de combustibles a prueba. Fuente Autores, LAB (DPEC – Área de Petróleos, 2024).

En base a los resultados de la gasolina extra y super podemos generar una comparación a este nuevo combustible alternativo que tiene como base el plástico, este combustible presenta resultados mayores en el poder calorífico con 46,61 MJ/Kg, que nos permite inferir que puede generar más energía por unidad de masa y el octanaje de 99 octanos permite soportar niveles altos de compresión antes de detonar, es decir tenemos más potencia.

Prueba de oscilaciones de los 3 combustibles

La frecuencia de vibración es una medida de la intensidad y rapidez de las oscilaciones mecánicas en el motor. (Boopathi Duraisamy a, 2023) Los resultados obtenidos corresponden a las pruebas realizadas en los equipos de medición bajo las siguientes condiciones:

Tabla 8
Condiciones de prueba

Condición	Rango
Temperatura de operación del motor	90 – 105 °C
Presión de bomba de combustible	3 – 4 bares
Revoluciones del motor	Ralentí y 3000 rpm
Altitud	2850 msnm

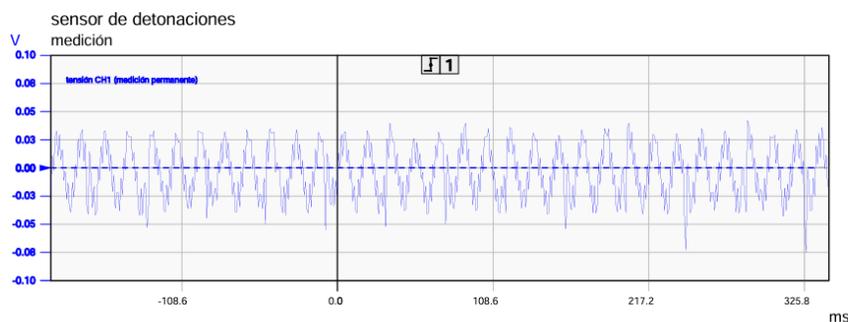
Nota: La tabla representa las condiciones bajo las cuales se realizaron las pruebas de vibración en el motor. Fuente (Autores, 2024)

Pruebas de Frecuencia en ralentí con la herramienta Bosch

En condiciones estáticas, se obtuvieron los siguientes resultados de vibraciones del motor a ralentí con gasolina tipo extra, super y base de plástico

Figura 5
Señal del sensor de detonación con combustible extra.

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	----	----	0.104
frecuencia CH1	Hz	----	----	80.4

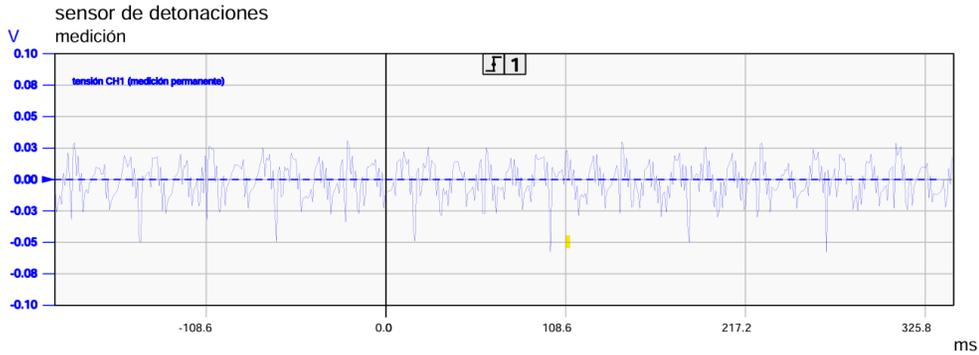


Nota: La señal obtenida indica que la frecuencia es de 80.4 Hz en función del voltaje en el eje y, en el cual la amplitud de señal va desde 0,04 v a -0.08 v con referencia al tiempo en el eje x que es de -217.2 ms a 325.8 ms. Fuente (Autores, 2024).

Figura 6

Señal del sensor de detonación con combustible super.

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	----	----	0.094
frecuencia CH1	Hz	----	----	69.3

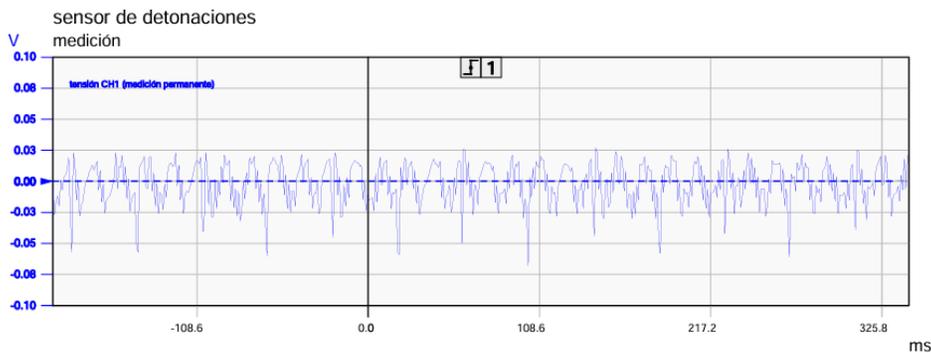


Nota. La señal obtenida indica que la frecuencia es de 69.3 Hz en función del voltaje en el eje y, en el cual la amplitud de señal va desde 0,035 v a -0.06 v con referencia al tiempo en el eje x que es de -217.2 ms a 325.8 ms. Fuente (Autores, 2024).

Figura 7

Señal del sensor de detonación con combustible alternativo a base de plástico.

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	----	----	0.095
frecuencia CH1	Hz	----	----	38.5



Nota. La señal obtenida indica que la frecuencia es de 38.5 Hz en función del voltaje en el eje y, en el cual la amplitud de señal va desde 0,03 v a -0.07 con referencia al tiempo en el eje x que es de -217.2 ms a 325.8 ms. Fuente (Autores, 2024).

Gracias al equipo de diagnóstico Bosch FSA 740, se analizó el funcionamiento del sensor Ks utilizando diferentes combustibles. El equipo permitió visualizar la forma de onda, la cual es correcta según la guía del equipo de diagnóstico. Sin embargo, se detectaron variaciones en la frecuencia de las vibraciones producidas por la detonación, dependiendo del tipo de combustible.

El combustible extra generó una frecuencia de vibración mayor (80.4 Hz), mientras que la gasolina de plástico mostró una frecuencia menor (38.5 Hz), lo que indica que este último produce una vibración más reducida. Además, se midió la amplitud de las vibraciones, la cual fue mayor con el combustible extra en comparación con la gasolina súper y la gasolina de plástico. Esto se debe a la calidad del combustible, ya que las características químicas del combustible extra producen una mayor vibración dentro de los parámetros de combustión en motores modernos comercializados en Ecuador.

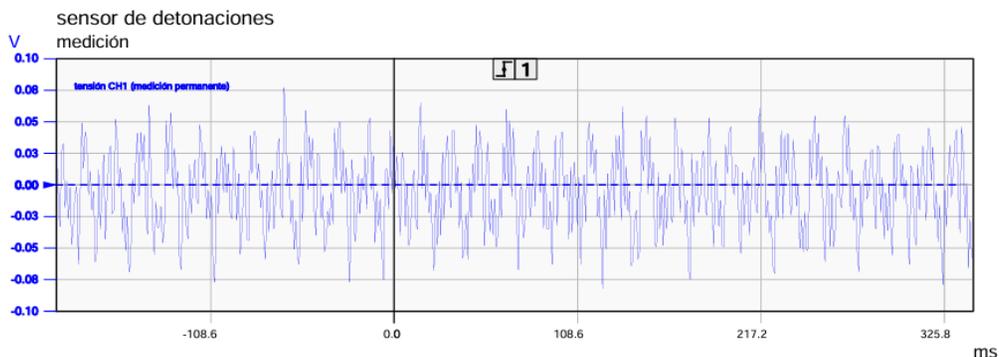
Pruebas de frecuencia a 3000 RPM con la herramienta Bosch

Los siguientes resultados se interpretó la frecuencia a 3000 RPM de acuerdo a la normativa NTE INEN 2203:2000 que permitió visualizar datos sobre el comportamiento del sensor de detonación en gestión de tres combustibles como el extra, súper y de plástico.

Figura 8

Señal del sensor de detonación con el combustible extra a 3000 RPM

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	----	----	0.152
frecuencia CH1	Hz	----	----	300.5

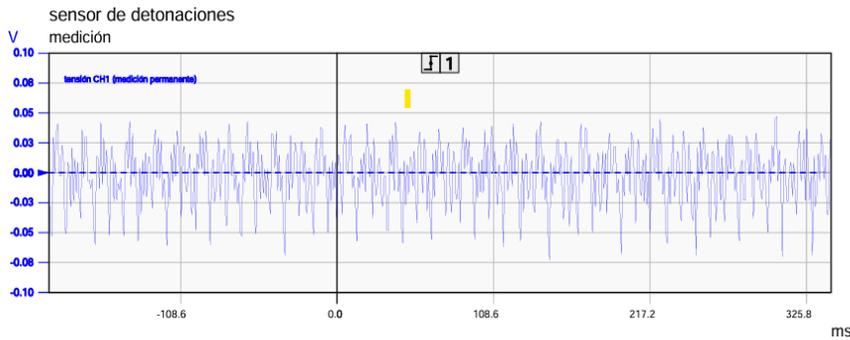


Nota: La señal obtenida indica que la frecuencia es de 300.5 Hz en función del voltaje en el eje y, en el cual la amplitud de señal va desde 0,08 v a -0.07 v con referencia al tiempo en el eje x que es de -217.2 ms a 325.8 ms. Fuente (Autores, 2024).

Figura 9

Señal del sensor de detonación con el combustible super a 3000 RPM

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	----	----	0.131
frecuencia CH1	Hz	----	----	241.3



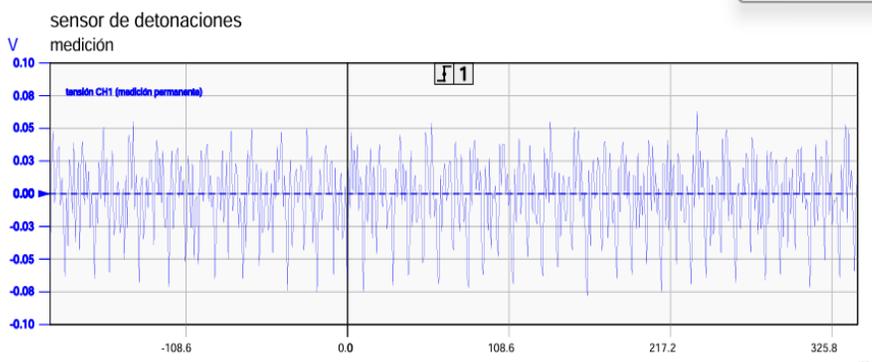
Nota. La señal obtenida indica que la frecuencia es de 241.3 Hz en función del voltaje en el eje y, en el cual la amplitud de señal va desde 0,05 v a -0.08 con referencia al tiempo en el eje x que es de -217.2 ms a 325.8 ms. Fuente (Autores, 2024).

Figura 10

Señal del sensor de detonación con el combustible a base de plástico 3000 RPM

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	----	----	0.152
frecuencia CH1	Hz	----	----	247.4

CATUCUAMBA SANCHEZ IKER JESUS



Nota. La señal obtenida indica que la frecuencia es de 247.4 Hz en función del voltaje en el eje y, en el cual la amplitud de señal va desde 0,06 v a -0.08 v con referencia al tiempo en el eje x que es de -217.2 ms a 325.8 ms. Fuente (Autores, 2024).

Los resultados obtenidos con la herramienta de diagnóstico Bosch, al analizar las oscilaciones generadas a 3000 RPM, revelaron que la frecuencia más alta se registró con el combustible extra, alcanzando los 300.5 Hz en un lapso de cinco ciclos de 108.6 segundos cada

uno. Además, se observó que la amplitud presentó variaciones significativas en las desviaciones máxima y mínima de la onda, lo que indica una mayor vibración según la señal detectada por el sensor KS. En cambio, tanto el combustible súper como el combustible de plástico mostraron frecuencias similares, entre 241.3 Hz y 247.4 Hz, lo que sugiere que la amplitud de la señal fue casi constante a lo largo de los cinco ciclos, evidenciando menores niveles de vibración en comparación con el combustible extra.

Prueba de potencia y par motor de los 3 combustibles

Las pruebas se realizaron con el dinamómetro Dyno Race el cual nos permite medir la fuerza y la potencia que genera el motor. Los resultados obtenidos corresponden a las pruebas realizadas en el equipo de medición bajo las siguientes condiciones:

Tabla 9

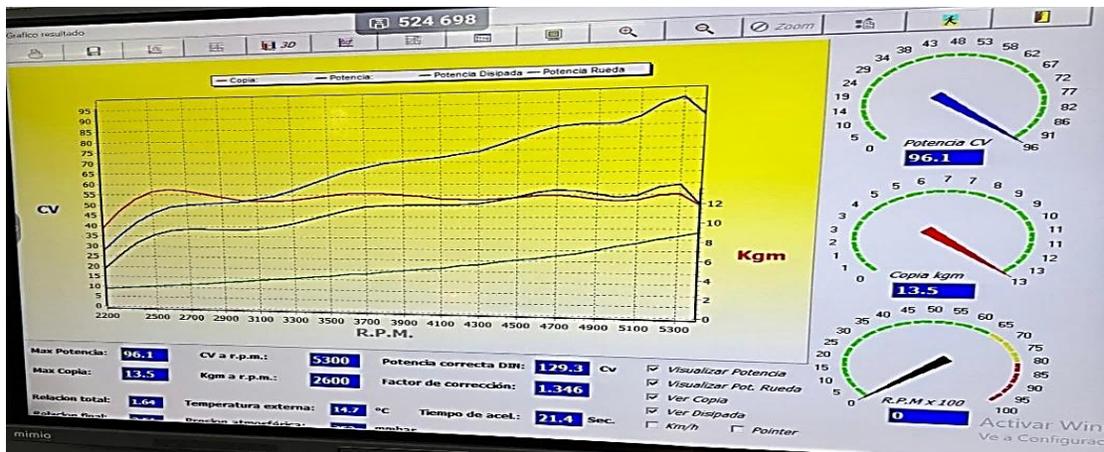
Condiciones de prueba

Condición	Datos
Temperatura de operación del motor	90 – 105 °C
Marcha de prueba	cuarta
Neumático medida	215/65/16
Calculo relación	2000 rpm
Presión mbar	752
Temperatura °C	14.0
Altitud	2850 msnm

Nota: La tabla representa las condiciones bajo las cuales se realizaron las pruebas de potencia y par motor en el vehículo. Fuente (Autores, 2024)

Figura 11

Curva de potencia y par motor con combustible extra.



Nota. La En la siguiente figura se muestra el resultado con el combustible extra con un tiempo de aceleración de 21.4 segundos, revoluciones por minuto de 5300 RPM, con una potencia de 96.1 CV al igual que en torque de 13.5 kgm y la velocidad máxima de 172 km/h. Fuente (Autores, 2024).

Figura 12
Curva de potencia y par motor con combustible super.



Nota. Los resultados obtenidos con el combustible super son el tiempo de aceleración de 20,9 segundos, revoluciones por minuto de 5500 RPM, con una potencia de 101.6 CV al igual que en torque de 14.3 Kgm y una velocidad máxima de 198 Km/h. Fuente (Autores, 2024).

Figura 13
Curva de potencia y par motor con combustible a base de plástico



Nota. En el siguiente grafico se visualiza los resultados obtenidos con el combustible de plástico el tiempo de aceleración es de 19.2 segundos, revoluciones por minuto 5600 RPM, con una potencia de 110.4 CV al igual que en torque 14.3 Kgm y una velocidad máxima de 201 Km/h. Fuente (Autores, 2024).

CONCLUSIONES

Se determinó que el combustible a base de plástico es una opción viable frente a los combustibles fósiles tradicionales, utilizados en vehículos con motores de combustión interna. En términos de energía liberada, a pesar de ser un combustible no convencional, presenta un poder calorífico competitivo (46,61 MJ/Kg) en comparación con los combustibles tradicionales, como el extra (46,09 MJ/Kg) y el súper (45,78MJ/Kg). Los resultados obtenidos en las pruebas de poder calorífico indican que el combustible de plástico tiene la capacidad de liberar una cantidad significativa de energía, lo que lo convierte en una alternativa viable para su uso en motores de combustión interna. Esta capacidad de liberar energía similar a los combustibles convencionales sugiere que el combustible de plástico podría ser una opción interesante desde el punto de vista energético, contribuyendo a la reducción de residuos plásticos, transformando un problema ambiental en una fuente de energía útil, posicionándolo como una alternativa prometedora en la industria automotriz.

El comportamiento del sensor knock mediante la herramienta de diagnóstico Bosch FSA 740 determinó resultados en dos parámetros de prueba en ralentí y a 3000 Rpm utilizando la normativa vigente NTE INEN 2203:2000 que sirvió como auxiliar para sustentar la detonación con tres combustibles extra, súper y de plástico ,que concluyó que la frecuencia en ralentí es de 38.5 Hz como el más bajo con combustible alternativo de plástico y el más alto de 80.4 Hz con

combustible extra ,del mismo modo la frecuencia a 3000 rpm la menor es de 241.3 Hz con combustible super y de plástico con 247.4 Hz mostrando frecuencias similares, que reflejó que el combustible que produce menor vibración es el combustible alternativo en bajas y altas revoluciones por minuto.

Los resultados mostraron que el tipo de combustible utilizado influye directamente en la estabilidad de la combustión y el comportamiento vibracional del motor. Los combustibles que generan menor vibración contribuyen a una operación más estable, reduciendo el desgaste prematuro de los componentes. Una combustión más estable mejora la eficiencia operativa y el rendimiento del motor, y al reducir las vibraciones, se disminuye el riesgo de daños mecánicos, aumentando la durabilidad y confiabilidad del motor a largo plazo, para justificar el comportamiento de los combustibles de acuerdo a sus propiedades químicas en este motor con una relación de compresión 10,8 a 1 se visualizó en pruebas de dinamómetro que con gasolina extra fue de 96.1 CV, con gasolina super 101 CV y gasolina a base de plástico de 110.4 CV, lo que permite determinar que el combustible de menor octanaje genera cascabeleo e irregularidad en la curva de potencia , haciendo que los componentes mecánicos tengan desgaste prematuro a comparación del combustible super y de base plástico que la curva de potencia sea totalmente homogénea y de mayor potencia.

REFERENCIAS

- Alarcón, I. (07 de Agosto de 2019). *El plástico se transformará en gasolina en el Ecuador*. Obtenido de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/plastico-transformara-gasolina-ecuador-medioambiente.html>
- Antonio Rovira De Antonio, M. M. (2015). *Motores de Combustion Interna*. Madrid.
- Barradas, R. (2020). *Sensores de Detonación (Knock)*. Barcelona, España.
- Boopathi Duraisamy a, E. G. (14 de Diciembre de 2023). *Science Drect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319923063334>
- Cuenca al Día*. (12 de Julio de 2022). Obtenido de <https://www.facebook.com/cuencaaldia1/posts/1221285342029462/>

- Ecoplas*. (15 de febrero de 2018). Obtenido de El poder calorífico de los plásticos para generar energía: <https://ecoplas.org.ar/2018/02/15/sustentabilidad-el-poder-calorifico-de-los-plasticos-para-generar-energia/>
- EFE, A. (09 de 01 de 2023). *Expreso.ec*. Obtenido de <https://www.expreso.ec/ciencia-y-tecnologia/nuevo-sistema-convierte-plastico-gases-nocivos-combustible-sostenible-146534.html>
- eppetroecuador*. (2017). Obtenido de <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/06/INFORME-ESTADISTICO-2016.pdf>
- Fernandez Betancur, L. D. (2005). Energías Alternativas. *TecnoLogicas*(14), 105-126.
- Gutiérrez, M. (2017). Análisis de las vibraciones de un motor ciclo OTTO con una mezcla combustible a base de gasolina y de etanol . *Tablet School-Escuela de Ciencias y Centro de Investigación Científica, Ecuador*, 2(10.1), 138-146.
- Mohamed M. Ismail, I. D. (15 de Febrero de 2023). *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236122032331?via%3Dihub>
- Montes de Correa, C., & Hernandez Saldarriaga, G. (1998). Combustibles Alternativos. *Artículos de Revista en Ingeniería*, 11.
- Polisantafe*. (2024). Recuperado el 07 de mayo de 2024, de Poder calorifico del plastico: <https://polisantafe.com.ar/poder-calorifico-del-plastico-tabla/>
- Rejas, L. C. (2015). Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 10-11: 635-642.
- Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica*. Naucalpan de Juárez, Edo. de México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Romeva, C. R. (2015). *Facturas energeticas de los combustibles fosiles*. Barcelona: Octaedro.
- Ruiz, A. F. (2023). Artículo de investigación del poder calorifico de la gasolina y el diesel. *Division Academica Multidisciplinaria de Jalpa de Mendez*, 1-3.
- Sáez, I. A. (Julio de 2008). *Universidad de Alicante*. Recuperado el 8 de mayo de 2024, de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/9608/1/tesis_doctoral_ignacio_aracil.pdf

- Santillan, M. A. (Febrero de 2019). *Analisis de Reciclado Quimico de Plasticos*. Obtenido de Bibliotecavirtual:
http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/5737/FIQ-D-2019-0214.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Silva, O. (01 de abril de 2022). *El Comercio*. Obtenido de Emisiones de combustible de mala calidad afectan el ambiente y salud de las personas:
<https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/combustible-mala-calidad-contaminacion-quito.html>
- Sumod Pawar a b, J. H. (13 de Febrero de 2023). *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785323004704>
- Universidad Industrial de Santander. (2024). *Poder Calorifico*. Obtenido de Feismo:
<https://feismo.com/doc-viewer-v2>
- Xavier Elias, L. J. (2012). *Los Plasticos residuales y sus posibilidades de valoracion*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.
- Yuyang Li, Y. Z. (Julio de 2023). *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010218024001998>

ANEXOS

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Anexo 1. Documento de apoyo 1

COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Cornejo Montes de Corra,
Gildardo Hernández Saldaña.*

RESUMEN

En este artículo se hace una revisión sobre los principales combustibles que se han propuesto últimamente para disminuir las emisiones de compuestos contaminantes a la atmósfera, producidos como consecuencia del uso de la gasolina común. En cada caso se consideran tanto los aspectos ambientales como económicos. Desde el punto de vista económico parece ser que el menor costo de la gasolina y el diesel, harán que todavía durante algún tiempo, sea la gasolina el combustible más utilizado, seguido por el diesel. También se observa una tendencia creciente a implementar el gas natural comprimido, particularmente en el sector de buses y camiones. No obstante, se requiere extender el uso de la gasolina reformulada (GRF) y desarrollar nuevas tecnologías (convertidores catalíticos) para disminuir las emisiones de los motores que usan estos combustibles a los límites permisibles por las legislaciones ambientales cada vez más estrictas.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad cerca del 80 % de la demanda de combustibles para el transporte general: automotores, trenes, aviones y barcos, proviene de combustibles fósiles como el petróleo [1]. La gasolina y el diesel son los más usados en la actualidad. Los vehículos que operan con las gasolinas actuales emiten mezclas complejas de compuestos que conducen a la formación del smog fotoquímico, además muchos de estos compuestos son tóxicos. Se han hecho muchos esfuerzos por reducir la contaminación producida por los

vehículos operados con gasolina, pero cada año se incrementa el número de vehículos y el recorrido, de tal manera que las medidas actuales no son suficientes para resolver el problema en muchas de las grandes ciudades [2].

En general los COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS, son aquellos que debido a sus propiedades físicas y químicas son menos contaminantes que la gasolina convencional [2]. Es decir, las emisiones resultantes de la combustión contienen menos hidrocarburos, son menos activos en la formación de ozono y tienen menor toxicidad.

* Grupo Catálisis Ambiental, Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, Apartado Aéreo 1226, Medellín-Colombia

Los principales COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS [3] provenientes de fuentes fósiles son: el diesel, gas licuado del petróleo, gas natural comprimido, y el metanol producido a partir de gas natural o carbón. Los principales combustibles no fósiles son etanol e hidrógeno. La electricidad [2], así como la gasolina reformulada [4,5] también se consideran COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS, aunque la primera puede proceder de la quema de combustibles fósiles (carbón/crudo/gas). Se espera que las formulaciones de nuevas gasolinas permitirán reducir hasta un 25 % los efectos contaminantes de la gasolina tradicional [4,5].

A pesar de que el CO₂ se sigue considerando erróneamente un contaminante menor, es un gas que produce el efecto invernadero y perturba el balance del aire apropiado para la respiración [6, 14]. Es oportuno tener en cuenta el hecho de que los combustibles producidos a partir de biomasa y de gas natural contribuyen en menor proporción a la acumulación de dicho gas, producto de toda combustión.

Aunque actualmente cerca de ocho millones de vehículos funcionan en el mundo con mezclas que contienen COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS [3], es poco probable que en el futuro alcancen el amplio uso de la gasolina debido a que en general resultan más costosos. Sin embargo, dado el impacto desfavorable de los combustibles fósiles sobre el ambiente, se ha generado la búsqueda de fuentes de energía menos nocivas. En principio, esto permitirá disponer de nuevos combustibles en el comercio para que el usuario tenga la opción de escoger de acuerdo a su criterio económico y a su sensibilidad con respecto a la conservación del medio ambiente.

A continuación se presentan algunas consideraciones ambientales y económicas relacionadas con los principales combustibles utilizados en la actualidad en comparación con algunos de los principales COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS.

1. GASOLINA

1.1 Consideraciones Ambientales.

Las emisiones de los vehículos operados con gasolina contienen especialmente hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono y agua [7]. Estos compuestos pueden disminuirse, de manera efectiva, mediante el uso de convertidores catalíticos de tres vías [8], que transforman los tres tipos de contaminantes en sustancias menos nocivas. Con los convertidores catalíticos se busca reducir hasta 90% de los precursores del «smog». Los vehículos operados con gasolina también emiten a la atmósfera compuestos orgánicos volátiles evaporados en los tanques de almacenamiento de combustible, carburadores y estaciones de servicio. Estas emisiones también pueden reducirse mediante el uso de lechos de carbón activado («canisters»), tanques con doble techo, tapas con sello más hermético y unidades de recuperación de vapores [9].

Una característica importante en la eficiencia de la combustión de gasolina es el número de octano, que informa sobre el poder antidetonante del combustible, o sea la capacidad para evitar la autoignición antes del salto de la chispa, lo que induce detonaciones dañinas para el motor y hace ineficiente la combustión. Un número de octano alto no sólo impide las detonaciones sino que permite la obtención de una potencia sostenida [3]. Tradicionalmente, se adicionaba tetraetil-plomo para elevar efectiva y económicamente el octanaje de la gasolina. Sin embargo, debido a los efectos dañinos de las emisiones de plomo sobre la salud y a el efecto negativo sobre la actividad de los convertidores catalíticos, se ha recurrido a sustitutos, tales como éteres, cetonas y alcoholes [4]. Este cambio presenta algunas desventajas, pues el motor se torna menos eficiente con gasolina de menor octanaje, y se incrementa la emisión global de CO₂. Los cambios en los procesos de refinación, implicados por la sustitución del plomo, también contribuyen a incrementar las emisiones de CO₂. Así, pues, aunque la gasolina sin plomo asegura una disminución del

asmog a nivel local, posiblemente tiene un impacto negativo sobre la calidad del aire, a nivel global, debido al aumento de las emisiones de CO_2 .

1.2 Consideraciones económicas

Actualmente la mayoría de los vehículos funcionan con gasolina porque se sigue considerando un combustible seguro, relativamente barato, que proporciona un buen desempeño del motor, dentro de un intervalo apropiado de capacidad, permitiendo además, un fácil almacenamiento [3].

2. COMBUSTIBLE DIESEL

El combustible diesel se obtiene en la destilación del crudo del petróleo y en operaciones de craqueo catalítico. El diesel está compuesto de hidrocarburos cuyo punto de ebullición se encuentra entre 150-400 °C. El diesel se produce normalmente mezclando diferentes corrientes o fracciones de refinería: aceite ligero, aceite pesado y querosene.

Los combustibles diesel son, por lo tanto, mezclas de hidrocarburos parafínicos, aromáticos y olefínicos, cuyas moléculas contienen 12 ó más átomos, lo cual explica la baja volatilidad con respecto a la gasolina, cuyos hidrocarburos componentes son más livianos. En un motor diesel el índice o número de cetanos informa sobre la característica antidetonante del combustible. El contenido de aromáticos determina el número de cetanos apropiado. La combustión del diesel es similar a la de la gasolina: los hidrocarburos se oxidan para dar CO_2 , vapor de agua y calor. La diferencia radica en el tipo de motor requerido para el proceso de combustión. El combustible se inyecta atomizado a la cámara de combustión que contiene aire a alta presión y temperatura, iniciándose así la combustión. Los motores diesel trabajan con relaciones de compresión mayores que las usadas en los motores de gasolina, dado el mayor poder antidetonante del combustible, lo que se traduce en una mayor eficiencia térmica y un menor consumo de combustible. El po-

der calorífico del diesel es 35.6 MJ/L, en comparación con 31.9 MJ/L para la gasolina. La operación eficiente del motor diesel requiere que el combustible tenga una buena característica de ignición. En particular debe tener un corto retraso de ignición. A mayor número de cetanos, menor es el retraso de ignición y mejor la calidad del combustible.

2.1 Consideraciones Ambientales

El sistema de combustión diesel es muy eficiente. Las emisiones de CO e hidrocarburos son mucho menores que las de los motores de gasolina; aunque el uso de convertidores catalíticos en los vehículos de gasolina ha reducido esta desventaja. Una de las principales ventajas de los combustibles diesel es que emiten menos CO_2 por km recorrido que cualquier otro combustible de origen fósil. Las emisiones de benceno, butadieno y formaldehído son también muy bajas [3]. Los vehículos operados con motor diesel generan gran cantidad de hollín. No obstante, se han desarrollado trampas de partículas que actúan como postquemadores [15]. Por otro lado, se requiere el desarrollo de convertidores catalíticos que disminuyan las emisiones de NO_x de estos motores a los límites permisibles [15].

Uno de los mayores problemas de los vehículos operados con diesel es el arranque y el funcionamiento en climas fríos. La temperatura es crítica para el encendido del motor, tanto como la operación continua, sin la formación de cera en los filtros y líneas de circulación de combustible. En regiones de clima frío se requiere un calentador de combustible o un combustible diesel con muy bajo contenido de cera [3].

Ultimamente, se ha incrementado el interés por disminuir el contenido de azufre de los combustibles diesel, pues es factor determinante en las características contaminantes de las emisiones [10]. La mayor parte del azufre se oxida y se emite en los gases de escape. Sin embargo, algo se emite como partículas contribuyendo más al deterioro ambiental. Desafortunadamente la remoción del

azufre del combustible diesel tiene consecuencias desfavorables, tales como fallas en el bombeo, pérdida de durabilidad del motor, incremento en el costo del combustible y en el contenido de CO_2 de las emisiones.

2.2 Consideraciones Económicas

Los vehículos diesel tienen menor consumo de combustible que los vehículos operados con gasolina y el mantenimiento es más barato. Sin embargo, los costos de capital son superiores porque la mayor relación de compresión demanda muchos más componentes, con más altos costos, que los requeridos para una potencia equivalente al motor de gasolina [3].

Para cumplir las regulaciones, se necesita equipo adicional de control que reduzca las emisiones de particulados y óxidos de nitrógeno en los motores diesel [10]. Los costos extras del motor y los costos de producir combustible diesel más limpio, pueden hacer los automotores diesel poco atractivos financieramente, a no ser que se establezca un precio diferencial subsidiado entre el diesel y la gasolina.

3. GAS LICUADO DEL PETRÓLEO (GLP)

El GLP se produce, con frecuencia, de gas natural crudo, cuando éste se procesa a gas natural de calidad superior. También se produce cuando se refina el petróleo crudo. El GLP es una mezcla de hidrocarburos ligeros, gaseosos a temperaturas y presiones normales, que pueden ser licuados fácilmente a presiones moderadas y temperaturas suficientemente bajas. El GLP es inodoro y por razones de seguridad se adicionan mercaptanos para hacer más detectables las fugas. Los principales componentes del GLP son el propano, el propileno y el butano [3].

3.1 Consideraciones Ambientales

Con GLP se estima que las emisiones de exhausto y evaporativas son aproximadamente 15% menores que en la gasolina. No se requiere plomo

ni otro aditivo para mejorar el octanaje. No obstante, las comparaciones hechas hasta ahora sobre los niveles de emisiones nocivas entre el GLP y la gasolina no son concluyentes. Algunos estudios recientes sugieren que las emisiones de vehículos operados con GLP pueden ser mucho más dañinas [3]. El GLP es también un recurso no renovable. Cuando se convierte a gas el volumen se incrementa 270 veces, lo cual indica que la forma líquida, alcanzada fácilmente, es una manera eficiente de almacenar grandes cantidades de gas.

3.2 Consideraciones Económicas

En términos económicos el GLP no es atractivo y requeriría de un subsidio, tal vez como exención de impuesto al consumo, para motivar a los usuarios que además deben cubrir los costos de conversión del motor para operar con GLP.

4. GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)

El gas natural comprende una mezcla de gases, principalmente hidrocarburos ligeros, encontrados en formaciones geológicas. El constituyente mayor es el metano que representa generalmente entre 87 y 97%, por volumen de los hidrocarburos según sea el origen del gas. Además de metano, el gas natural contiene también pequeños porcentajes de etano, propano, butano, pentano, nitrógeno, oxígeno y CO_2 . El gas natural comprimido puede usarse como combustible en automotores.

4.1 Consideraciones Ambientales

Debido al alto octanaje, el gas natural comprimido, GNC, es un excelente combustible para motores de ignición por chispa. La conversión de motores de gasolina, en vehículos viejos, a motores operados con gas natural comprimido, no resulta difícil. Sin embargo, a medida que los sistemas de manejo del motor se hacen más complejos, las conversiones se hacen también más difíciles o la operación del motor no es óptima. Como cualquier gas, plantea riesgos durante las operaciones de llenado; pero cuando la operación y el mantenimiento son adecuados, las fugas de

GNC resultan mínimas [3]. Debe tenerse en cuenta que el efecto de invernadero provocado por el metano, es más severo que el efecto debido al CO_2 .

Las emisiones de los automotores movidos con gas natural comprimido, dependen de la calidad de conversión lograda al adaptar el viejo motor de gasolina. Sin embargo, se ha observado que aun en los vehículos de gasolina más viejos, operados sin convertidores catalíticos, las emisiones de hidrocarburos diferentes al metano, CO y óxidos de nitrógeno, en los exhostos, disminuyen cuando funcionan con GNC [11].

La diferencia entre las emisiones de los automotores movidos por gasolina o gas natural comprimido, con convertidores catalíticos, es mínima; y en ambos casos las emisiones se reducen grandemente. Las emisiones de CO son iguales, mientras que las de óxidos de nitrógeno pueden ser ligeramente mayores en los vehículos operados con GNC. En general, parece que las emisiones de gases de invernadero, son menores cuando el motor funciona con gas natural comprimido, en lugar de gasolina [3].

El uso de GNC reduce substancialmente las emisiones de particulados, especialmente en los nuevos motores disponibles para buses y camiones, una de cuyas características es la de exhibir muy bajos niveles de emisiones de partículas, por lo que se espera una rápida penetración en el sector de las flotas de buses [11].

4.2 Consideraciones Económicas

Se estima que alrededor de medio millón de automotores funcionan actualmente con gas natural comprimido, principalmente en Italia, Nueva Zelanda y Canadá [3]. Muchos carros convertidos conservan sus tanques de gasolina y realmente son duales, caso en el cual los beneficios del GNC se reducen porque la relación de compresión y la eficiencia de los motores que han de operar dualmente no se pueden incrementar lo suficiente para aprovechar completamente el alto número de octano del gas natural comprimido.

El almacenamiento también es problemático, pues debido al bajo punto de ebullición, el gas debe almacenarse en tanques de alta presión, que son bastante pesados, reduciendo la capacidad de carga y el espacio útil en vehículos pequeños. Un automotor movido por GNC con un tanque de 75 litros es 150 kg más pesado que el mismo carro operado con gasolina.

Aunque es poco reactivo y no tóxico, el gas natural es menos pesado que el aire y rápidamente se esparce en la atmósfera si se presentan fugas, por lo cual también se odoriza, como el GLP, para hacerlo detectable. El aspecto económico del GNC no es favorable debido a que el costo de conversión es alto y el periodo entre llenados resulta inconvenientemente corto.

A pesar de la afirmación anterior, cuando se consideran conjuntamente los aspectos económicos y ambientales, el gas natural es la alternativa más viable, pues aunque los costos actuales de los buses operados con GNC son superiores a los costos de los buses que funcionan con diesel, se espera que la diferencia desaparezca con el tiempo. El uso de gas natural comprimido puede ser atractivo para los empresarios de buses si se subsidia con la exención del pago de impuesto.

5. METANOL

El metanol, o alcohol de las maderas, es un líquido claro, que puede ser obtenido no sólo de gas natural, carbón, crudo del petróleo y cosechas de biomasa, tales como madera y residuos de madera, sino también mediante síntesis catalítica directa: $\text{CO} + 2 \text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$.

El metanol se usa a veces como combustible en motores diseñados con propósitos competitivos de alta velocidad, ya que por su elevado octanaje permite el uso de altas relaciones de compresión, produciendo así más potencia que un motor equivalente de gasolina [3]. Los fabricantes más importantes han producido carros que funcionan con mezclas de 85% de metanol y 15% de gasolina (M85). Se han fabricado prototipos

para funcionar con metanol puro (M100), cuyas emisiones son significativamente más bajas que las de gasolina.

El metanol puro se puede mezclar con gasolina para mover vehículos flexibles en cuanto al uso del combustible, capaces de regular la relación metanol/gasolina alimentada al motor, de tal manera que el sistema de operación del mismo, pueda ajustar la relación aire/combustible apropiada para una buena combustión de la mezcla usada. La solubilidad del metanol en agua genera problemas. Las mezclas con gasolina no toleran más del 5% de metanol en vehículos corrientes, y sólo con adición de cosolventes para minimizar la separación de fases [3].

5.1 Consideraciones Ambientales [3]

El metanol puede reducir las emisiones de gases de invernadero, siempre y cuando se obtenga a partir de biomasa, pues el producido de gas natural, mediante la tecnología corriente, permite sólo un pequeño beneficio si se le compara con las emisiones de gases de invernadero relacionadas con la gasolina.

Aunque las emisiones de CO, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno son menores en automotores movidos por metanol, los gases de escape contienen formaldehído, un reconocido cancerígeno. El metanol puede también producir emisiones de combustible: metanol y metano, debido a una deficiente combustión, que sin embargo, no produce partículas de hollín ni óxidos de azufre. Además, la emisión de óxidos de nitrógeno es inferior que la de cualquier otro combustible.

5.2 Consideraciones Económicas [3]

El metanol resulta un combustible de alto costo comparado con la gasolina, pero relativamente barato si se compara con otras opciones; el manejo es peligroso, dada la alta toxicidad, el poder corrosivo y los efectos cancerígenos. Esto requiere modificar el sistema convencional del manejo

de combustible en el vehículo. El poder calorífico del metanol es menor que el de la gasolina, conduciendo a un consumo mayor por unidad de peso movido, o por km recorrido. Sin embargo, hay una cierta compensación, debido a que permite usar una mayor relación de compresión, con incremento de la eficiencia térmica y de la potencia obtenida.

6. ETANOL [3]

En la actualidad el etanol, o alcohol de granos, es el combustible alternativo más usado en el planeta. El etanol se obtiene de productos agrícolas que contienen azúcar -caña de azúcar o remolacha- o de los productos que contienen almidón -maíz y trigo- o a partir de materiales celulósicos, usados como fuente de azúcar. El proceso de fermentación con levadura, convierte los azúcares a etanol y CO₂. El requerimiento de oxígeno para la combustión del etanol es también, como en el caso del metanol, menor que el de la gasolina. El etanol puede usarse puro, pero debido a que posee, como el metanol, un calor de vaporización mayor que el de la gasolina, el arranque del motor en frío es difícil. Sin embargo, el problema se reduce cuando se usan mezclas de gasolina con hasta 20% de etanol. El poder calorífico del etanol (21.2 MJ/L), es apenas 2/3 del correspondiente a la gasolina, pero exhibe una combustión con algunas características diferentes que pueden hacerlo más eficiente. El etanol es menos tóxico y corrosivo que el metanol, aunque el comportamiento técnico y las emisiones son similares.

6.1 Consideraciones Ambientales [3]

Un aspecto positivo es que el etanol se obtiene a partir de recursos renovables, y en algunos casos puede producirse de materiales de desecho. Sin embargo, también presenta dificultades: el grupo hidroxil (OH), le da alta afinidad con el agua, lo cual hace difícil su separación. Si una mezcla de etanol/gasolina se derramara, por cualquier razón, en una corriente de agua o drenaje, la gasolina podría recuperarse, pero el

etanol se disolvería en el agua y sería casi imposible recuperarlo, quedando el agua permanentemente contaminada. El etanol tiene la ventaja sobre la gasolina de biodegradarse y diluirse de manera más fácil y rápida, hasta alcanzar concentraciones no tóxicas.

Las áreas de tierra requeridas para cosechas con miras a la producción de alcohol son muy grandes, lo cual en muchos casos puede ser un gran impedimento. En cuanto a las emisiones relacionadas con el uso del etanol hay aspectos favorables como la disminución de CO₂, pero también hay aspectos desfavorables como el incremento en emisiones de aldehídos, que entre otros efectos nocivos son fuertes irritantes para los ojos. Las emisiones de gases de invernadero dependen de las materias primas usadas y del proceso de producción. Aunque el CO₂ del proceso de combustión es similar para los combustibles alcohólicos y la gasolina, en el mismo nivel de energía equivalente, se estima que las emisiones de los gases de invernadero fluctúan, en relación con las de la gasolina reemplazada, entre 30-180%, cuando el etanol se produce de maíz, y entre 0-115%, cuando procede de la madera.

6.2 Consideraciones económicas [3]

El etanol o metanol deben obtenerse de fracciones lignocelulósicas de biomasa con el fin de alcanzar reducciones significativas en las emisiones de gases de invernadero. Sin embargo, todavía falta demostrar que la producción a gran escala resulta técnica y económicamente viable. En la actualidad la producción de etanol es 2-3 veces más costosa que la producción de gasolina.

7. HIDRÓGENO [2]

El hidrógeno es el elemento más liviano de la naturaleza. Bajo condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insaboro, cuya combustión completa es muy limpia siempre y cuando la temperatura sea moderada, pues si se quema a temperaturas altas, el nitrógeno del aire usado para la combustión forma óxidos de nitrógeno. La tem-

peratura puede controlarse introduciendo agua a la mezcla hidrógeno/aire, mientras se mantenga una buena combustión; o también es posible moderar la temperatura de combustión trabajando con un exceso de aire, pues el hidrógeno es muy inflamable y se quema rápidamente incluso en mezclas diluidas. Su uso y distribución exigen medidas especiales de seguridad.

7.1 Consideraciones Ambientales [2,3]

El proceso de producción de hidrógeno puede involucrar indirectamente emisiones de CO₂, puesto que para producir hidrógeno por electrólisis se requiere electricidad, la cual, a menudo se obtiene en plantas de potencia operadas con combustibles fósiles. Entonces, para que el efecto ambiental total del hidrógeno resulte positivo, la electricidad usada en su producción debe ser generada de recursos renovables tales como energía solar, eólica o hidroeléctrica.

7.2 Consideraciones económicas [2,3]

El hidrógeno es un combustible de uso corriente en cohetes espaciales, pero algunos fabricantes de automotores están buscando el desarrollo de motores movidos por hidrógeno. La mayor dificultad técnica con el hidrógeno es su almacenamiento, ya que en forma comprimida o líquida requiere un tanque pesado y costoso. Existe la posibilidad de aprovechar la capacidad de los hidruros metálicos de adsorber hidrógeno, y liberarlo cuando sea necesario. Debe tenerse en cuenta que el proceso de licuefacción del hidrógeno no sólo es oneroso en términos económicos, sino en términos de energía.

8. ELECTRICIDAD [2,3]

La electricidad se puede utilizar para mover vehículos sin ninguna emisión contaminante. En realidad es una fuente de potencia que tuvo vigencia en nuestro medio y en todo el mundo civilizado hasta la década de los cincuenta, con los llamados tranvías o «trolley» que resultaban poco prácticos, pues requerían el uso de carrileras

medida que los buses vayan siendo sustituidos por versiones operadas con gas natural comprimido, con el fin de reducir las emisiones de partículas.

Aunque los COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS no han tenido un auge a nivel mundial, principalmente porque su uso implica más condicionamientos que la gasolina común, potencialmente algunos pueden jugar un papel importante en áreas con situaciones especiales, tales como ciudades con extrema contaminación, o países subdesarrollados sin yacimientos petrolíferos propios e incapaces de participar en el comercio mundial.

No cabe duda, sin embargo, que el menor costo de la gasolina y el diesel, y la disponibilidad de nuevas tecnologías para reducir las emisiones de los motores que usan estos combustibles, harán que todavía durante algún tiempo, sea la gasolina el combustible más utilizado, seguido por el diesel.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los aportes de COLCIENCIAS y la UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA al proyecto "Catalizadores para el Control de la Contaminación Ambiental- Fase II".

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS [2, 4,12-13]

COMBUSTIBLE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Diesel	<ul style="list-style-type: none"> Emisiones de CO e HC menores que con gasolina. Menor producción de CO₂ que cualquier otro combustible fósil. Más barato que la gasolina. 	<ul style="list-style-type: none"> Difícil arranque en frío por la formación de vetas en filtros y líneas de circulación del combustible. Emisión de partículas y NOx. Los vehículos son relativamente más costosos que los de gasolina.
Gas Licuado del Petróleo (GLP)	<ul style="list-style-type: none"> Más barato que la gasolina en la actualidad. Bajas emisiones de HC formadores de ozono y tóxicos. 	<ul style="list-style-type: none"> El costo se incrementará con la demanda. Sustitución limitada.
Gas Natural Comprimido (GNC)	<ul style="list-style-type: none"> Bajas emisiones de CO e hidrocarburos formadores de ozono y tóxicos. Puede obtenerse de gran variedad de materias primas, incluso, material renovable. Combustible excelente. Especialmente para buses y camiones. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo de vehículo. Menor rango de desplazamiento vehicular. Más difícil la recarga de combustible.
Metano	<ul style="list-style-type: none"> Menor formación de NOx que cualquier otro combustible. Bajas emisiones HC formadores de ozono y tóxicos. Puede obtenerse de una variedad de materias primas, incluso renovables. 	<ul style="list-style-type: none"> Poca disponibilidad inicial. Vehículos de menor rango en su alcance de desplazamiento.
Etanol	<ul style="list-style-type: none"> Excelente combustible automotriz. Bajas emisiones de hidrocarburos formadores de ozono y tóxicos. Se obtiene de materiales renovables. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo del combustible y vehículos de menor rango de desplazamiento. Dificultad de almacenamiento y muy inflamable.
Hidrógeno	<ul style="list-style-type: none"> A temperaturas moderadas, emisiones libres de HC formadores de ozono y tóxicos. Emisiones de planta más fáciles de controlar. Si es por la noche puede usarse durante la noche. 	<ul style="list-style-type: none"> La tecnología actual es muy limitada. Los vehículos son costosos y de bajo rango de desplazamiento.
Gasolina Reformulada (GRF)	<ul style="list-style-type: none"> No es necesario modificar motores o sistemas de distribución. Distribución grande en la emisión de HC y NOx. 	<ul style="list-style-type: none"> Más costosa que la gasolina común. Por otros, no trae ni el ahorro y beneficio de marca.

Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos

Liquid Fuels from Wasted Plastics

REJAS - Luis*†, CARREÓN - Bicmar', ORTIZ - Maribel', LLANES – Lilian ', COPA – Milena '

Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Tecnología, Carreras de Ingeniería Química e Ingeniería en Petróleos y Gas Natural, Calle Regimiento Campos Nro. 180, teléfono 391-433488, Sucre – Bolivia

Recibido Abril 15, 2015; Aceptado: octubre 08, 2015

Resumen

La investigación se concentró en el estudio del proceso de pirólisis del plástico consistente en la descomposición térmica. Este proceso permite la obtención de una mezcla de hidrocarburos denominada petróleo ligero, que luego puede ser utilizado como fuente de energía. En la investigación se trabajó con residuos plásticos clasificados en seis categorías: polietilentereftalato (PET), polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloruro de Vinilo (PVC).

Se realizaron pruebas experimentales por separado con cada una de las categorías, excepto con el PVC, en un reactor Batch, en el que se midió temperaturas de operación, tiempo total de reacción, volumen de hidrocarburos líquidos obtenidos, densidad del producto, masa de residuos y se calculó el rendimiento. El medioambiente se beneficia, los desechos plásticos se convierten en energía.

Palabras Clave

Pirólisis de plásticos, Combustible de plásticos, Aprovechamiento de plásticos.

Abstract

This research was focused on the study of plastic pyrolysis process, which consists of thermal decomposition of these materials, and allows to obtain a hydrocarbon blend, called light petroleum. It can be used as an energy source.

The work was made with plastic waste, which were classified into six categories: Polyethylene Terephthalate (PET), High Density Polyethylene (HDPE), Low Density Polyethylene (LDPE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS), and Polyvinyl Chloride (PVC). Each category was treated separately in a batch reactor, except PVC. Each experiment measured operating temperatures, total reaction time, volume of liquid hydrocarbons obtained, product density, residual mass, and finally the performance of the liquid hydrocarbons was calculated. Wasted plastics transformed into energy help environment enormously

Keywords

Plastic Pyrolysis, Fuel from Wasted Plastics, Renewable Energy, Environment.

Citación: Rojas L., Carreon V., Ortiz M., Llanes L. & Copa M. Generación de combustibles Líquidos a partir de residuos plásticos. Revista Ciencia, Tecnología e Innovación 2015, 10-11: 635-642.

*Corresponde al Autor (Correo electrónico: luimisa24@gmail.com)

†Investigador primer autor.

Introducción

Actualmente casi la totalidad de los productos que se consumen vienen empaquetados, envueltos en diferentes tipos de plásticos, los cuales pasan a formar parte de la basura como residuos; aunque parte de estos son reciclados en polímeros de menor calidad para otros usos o son reutilizados, el mayor porcentaje de residuos plásticos pasa a los botaderos o se esparce generando gran contaminación, debido a que su proceso de degradación es muy lento y toma muchos años.

En el mundo se generan millones de toneladas de residuos plásticos, por lo que se hace necesario plantear nuevas alternativas para su tratamiento y disminuir el impacto que causan contaminando el medio ambiente, y degradando una gran cantidad de ecosistemas en la naturaleza.

La investigación se justifica desde el punto de vista ambiental y económico ya que el proceso de pirólisis ofrece una alternativa eficiente y limpia para el tratamiento de los residuos plásticos, que además de reducir la contaminación directa, tiene el beneficio adicional de producir combustibles que actualmente el País importa, por lo que representaría un ahorro. Además, el uso de residuos plásticos para generar combustibles, es una forma de beneficiarse económicamente, en lugar de contaminar y producir daños irreparables a la naturaleza y al ecosistema.

En el orden social, porque será el punto de partida para considerar la implementación de una planta de este tipo en Chuquisaca, y como no en otras ciudades de Bolivia, mejorando la calidad ambiental y generando fuentes de trabajo, y así contribuir al desarrollo de la región y del país y por tanto a mejorar la calidad de vida de la población.

En lo académico, porque la investigación, que es uno de los pilares fundamentales de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, coadyuvará a mantener y mejorar su bien ganado prestigio.

Pero fundamentalmente, desde un punto de vista técnico - científico contribuirá al desarrollo del conocimiento, ya que, el propósito inmediato es la generación de datos a las condiciones locales de presión, humedad y temperatura, información que se podrá utilizar para futuras investigaciones.

Como antecedentes en relación al reciclado de plásticos para generar combustibles, los primeros estudios los encaró el empresario japonés Akinori Ito el año 2011, quien busco un proceso para producir diésel a partir de los residuos plásticos y patentó un equipo, denominado "Blest Machine", que permite procesar polietileno, poliestireno y polipropileno, pero no botellas PET, logrando convertir un kilogramo de plástico en un kilogramo de combustible con solo un kilovatio de energía. [UPSACL (2015)]

La empresa Cynar PLC Green fuel, que se encarga de regenerar aceites industriales usados está investigando esta tecnología en Europa, con el fin de implementar plantas para convertir los residuos plásticos en combustibles líquidos. [La razón.es (2012)]

Se puede decir que la generación de combustibles líquidos por pirólisis a partir de los residuos plásticos es una forma innovadora y limpia de abastecer de combustibles y lidiar con el problema de la contaminación y tiene la ventaja de que no es necesario clasificar los residuos para proceder a su tratamiento.

El proceso de pirólisis consiste en la descomposición química de un material por degradación térmica en ausencia de oxígeno.

En relación a los residuos plásticos, el proceso es el mismo sin importar el tipo de polímero o mezcla de plásticos que se tenga, y consiste en someter la mezcla, a tratamiento térmico, en un autoclave a temperaturas entre 370°C y 420°C, los gases generados (gases pirolíticos), se recuperan y condensan obteniendo así un destilado de hidrocarburos, un petróleo con bajo contenido en azufre, que puede ser refinado mediante destilación fraccionada para obtener diésel, gasolina y querosén. Según Cynar PLC Green fuel (2011) la proporción que se puede obtener, de estos productos, depende de la mezcla de plásticos introducida.

Este método de reciclado es nuevo, por lo que aún no se conoce mucho del proceso y prácticamente no existen datos disponibles, lo poco que se sabe se mantiene como secreto industrial, por lo cual se necesita investigar y obtener datos propios de pruebas que permitan desarrollar esta tecnología y beneficiarse como Universidad, región y país.

La situación problemática queda manifiesta al observar que la generación mundial de residuos plásticos es extraordinariamente elevada y tiene tendencia a incrementar debido al uso intensivo y creciente de plásticos, que sumado a su lenta degradación (100 a 500 años) provoca que estos desechos se acumulen en los vertederos y basureros municipales, desprendiendo gases tóxicos a la atmósfera que generan una gran contaminación y degradación de la atmósfera, el suelo, los cuerpos de agua, el paisaje, y los ecosistemas en general [Angulo, 2013].

El problema se puede formular a partir del hecho de que el consumo intensivo y creciente de materiales plásticos, que luego son desechados, sumado a los largos periodos que requieren para su degradación, se constituye en la primera causa de contaminación ambiental.

Consecuentemente ¿Cuál será el proceso más adecuado y sus condiciones de operación para reciclar y transformar los residuos plásticos en nuevos productos?

Para responder a la interrogante se planteó el siguiente objetivo general: Realizar un Estudio Experimental del Proceso de Producción de Combustibles Líquidos a Partir de Residuos Plásticos para que de una manera práctica se contribuya en la solución de problemas causados por este residuo, este objetivo se alcanzará a partir del desarrollo de objetivos específicos como:

- Determinar la proporción de los diversos tipos de plásticos que se encuentran en los residuos urbanos de la ciudad de Sucre, que servirán de materia prima.
- Caracterizar el proceso de pirolisis de los residuos plásticos determinando su rendimiento en la obtención de una mezcla de hidrocarburos.
- Especificar la mezcla de hidrocarburos resultante del proceso de pirolisis de los residuos plásticos.
- Asimismo se ha establecido una idea a defender que bien posteriormente podrá constituirse en una hipótesis, formulada de la siguiente manera: La pirolisis de residuos plásticos permite obtener combustibles líquidos que cumplen los estándares establecidos en las normas del Decreto Supremo 1499, Fiscalizado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos de Bolivia.

1. Diseño metodológico

La Investigación realizada es de tipo experimental, pues se efectuaron cambios deliberados en las variables de operación del proceso de pirolisis de residuos plásticos, a fin de determinar las condiciones más adecuadas para el proceso.

Por sus características es una investigación de laboratorio donde se pudo tener un mejor control del proceso estudiado.

Por su finalidad es una investigación aplicada, ya que tiene como objetivo coadyuvar con una solución práctica al problema de la contaminación por residuos plásticos.

Para la investigación se utilizaron los siguientes métodos teóricos:

- El Análisis Documental para determinar el estado del arte en relación al proceso de pirólisis de residuos plásticos, además de recuperar inequívocamente la información en relación los métodos de medición de las variables de este proceso.
- El método Sistemico Estructural – Funcional para modelar el proceso estudiado y determinar las mejores condiciones para efectuar un estudio experimental, así como para procesar los datos recogidos en dicho estudio.
- El método Causal que permitió establecer, junto al método Sistemico Estructural – Funcional, las condiciones para desarrollar el estudio experimental.

Además de los anteriores se utilizaron los siguientes métodos empíricos:

- La Experimentación, método central de la investigación, pues permitió estudiar la pirólisis de residuos plásticos, bajo condiciones controladas, para determinar las condiciones de proceso más adecuadas.
- La Medición, que permitió cuantificar las variables del proceso y luego de un análisis de dichos valores arribar a conclusiones.

2. Resultados y discusión.

El primer paso de la investigación fue diseñar el equipo experimental, el mismo que consta de un recipiente cerrado (reactor), el mismo que requiere estar herméticamente sellado, por dos motivos fundamentales:

- La reacción de la pirólisis se debe llevar a cabo a elevadas temperaturas y en completa ausencia de oxígeno, pues su presencia desviaría el curso de la reacción hacia una combustión, por lo que los resultados esperados no serían logrados.
- Podrían ocurrir fugas de gas con presencia de combustibles, lo que ocasionaría incendios y explosiones.
- En la siguiente figura se puede ver un esquema del equipo diseñado.

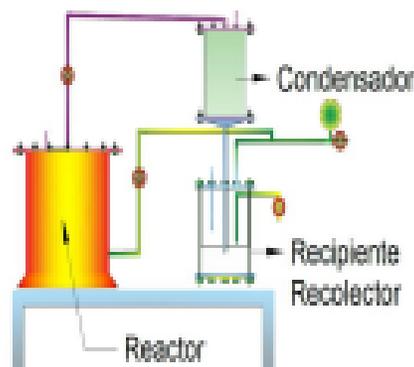


Figura 1. Esquema del equipo utilizado para la Pirólisis de Plásticos

Diseñado el equipo, se procedió a su construcción, que luego se sometió a una prueba hidráulica, para garantizar que todas sus conexiones estén completamente herméticas.

Durante el diseño y construcción del equipo se procedió al acopio de la materia prima para las pruebas, aprovechando dicha tarea para caracterizar los residuos sólidos generados por los habitantes de la ciudad de Sucre. Para lo cual, se determinó el tamaño de la muestra, según:

$$n = \frac{k^2 * p * (1 - p) * N}{e^2 (N - 1) + k^2 * p * (1 - p)}$$

Dónde:

- p** Se asume igual a 0,5 que es la proporción más desfavorable.
- e** Es el error máximo que se comete al utilizar la muestra, el mismo que se ha establecido en 5 %.
- k** Es un factor que depende el nivel de confianza del estudio, que para un grado de confianza del 95 % es igual a 1,96.
- N** Es el tamaño de la población. De acuerdo a los datos del Censo de población y vivienda del año 2012 [INE, 2012], la población de la ciudad de Sucre es 259.388 habitantes, equivalente a 51.878 viviendas, para un promedio de 5 miembros por familia.

Luego el tamaño de una muestra representativa para el estudio es:

$$n = 131$$

Se eligieron ciento treinta y un viviendas al azar, de diez barrios de la ciudad de Sucre, elegidos por la cercanía a las viviendas de los miembros del equipo de investigación, resultando en una distribución aleatoria de los mismos con características diversas, por lo que la muestra se considera representativa.

Se recogió la basura de las viviendas seleccionadas, dos veces por semana durante dos meses.

Cada vez, se pesó el total de basura recolectada, se clasificó la misma en cinco clases de residuos, pesando la cantidad de cada uno de ellos. Finalmente, los residuos plásticos, fueron reclasificados en siete categorías y se procedió a pesar la cantidad de cada categoría.

En base a los datos, así obtenidos, se determinó el porcentaje de cada clase de residuos y categoría de plásticos, para cada medición realizada, finalmente se sacó el promedio de los porcentajes, resultados que se muestran en las siguientes tablas.

Clase de Residuo	Porcentaje (%)
Residuos orgánicos	31
Plásticos	8
Papel y cartón	5
Vidrios y metales	4
Otros	12
TOTAL	100

Tabla 1. Caracterización de los Residuos Sólidos de Sucre

Categoría de Plásticos	Porcentaje (%)
1. PET (Polietileno Tereftalato)	22
2. PEAD (Polietileno de Alta Densidad)	13
3. PVC (Policloruro de Vinilo)	8
4. PEBD (Polietileno de Baja Densidad)	12
5. PP (Polipropileno)	18
6. PS (Poliestireno)	12
7. Otros	17
TOTAL	100

Tabla 2. Tipos de Plásticos y Porcentajes Presentes en los Residuos Sólidos de la Ciudad de Sucre.

Posteriormente, se procedió al acopio de residuos plásticos, los cuales fueron seleccionados en función al tipo de plástico (PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, PS, Otros) y se realizaron pruebas experimentales con cada categoría de plásticos por separado, excepto la categoría 3 (PVC), debido a su alto contenido de cloro, el cual se podría desprender en el proceso de la reacción resultando tóxico y peligroso, ni con la categoría 7 (Otros), debido a que en esta categoría se tienen productos de reciclado de plásticos de diversos orígenes, es decir una mezcla indeterminada de plásticos, y las pruebas con mezclas de residuos plásticos estaban planificadas para una segunda fase.

Inicialmente se experimentó con cargas de 1.500 g, 1.000 g y 500 g, con resultados insatisfactorios, pues al parecer no se lograba la descomposición de los plásticos y se formaba un producto semi-sólido, de consistencia pastosa, motivo por el cual se decidió reducir la carga, pues se pensó que la temperatura alcanzada no era suficiente para lograr el rompimiento de cadenas largas.

Por lo indicado se utilizaron cargas de 250 gr por prueba, excepto para la prueba con PP donde se utilizó una carga de 300 g, decisión correcta porque se obtuvieron buenos resultados, logrando producir una mezcla de hidrocarburos líquidos (petróleo ligero). Los combustibles gaseosos fueron utilizados para calentar el sistema. En todas las pruebas se trabajó a temperaturas menores a 300°C.

Los resultados obtenidos se exponen en las tablas siguientes, donde muestra la cantidad de petróleo ligero obtenido, el rendimiento porcentual en relación a la masa inicial cargada al reactor, la variación de temperatura dentro de reactor a lo largo de la reacción, y una caracterización de los productos obtenidos, donde se detallan las observaciones realizadas en relación a los productos de reacción.

Tiempo (min)	T (°C)	Cant. de Producto (g)	Rend. (%)	Descripción de Propiedades
0	35	57	14,3	No se obtiene líquidos. El producto obtenido tiene consistencia gruesa, de color plata, capaz de hacer carbón plástico, se funde a 170°C, y se quema con llama constante. En el reactor quedó un residuo sólido, que pesó 105 g, de aspecto similar al del carbón vegetal. El resto son gases, se observó que fue la grúa con mayor producción de gases.
10	100			
20	109			
30	142			
40	151			
50	173			
60	211			
70	215			
80	240			
90	250			
100	250			
110	250			

Tabla 3. Datos Experimentales de la Pirólisis de PET

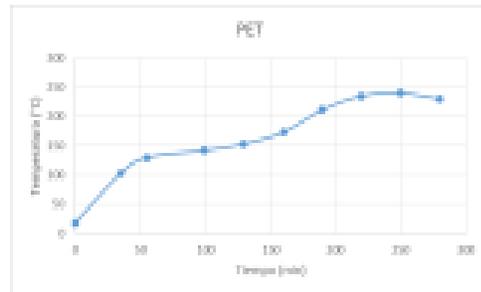


Gráfico 1. Variación de la Temperatura en la Pirólisis de PET

Tiempo (min)	T (°C)	Cant. de Producto (g)	Rend. (%)	Descripción de Propiedades
0	33	57	20,3	Se obtiene un volumen de 17 ml de líquido, que se quema rápidamente en presencia de oxígeno y fuego, tiene un color amarillo, y luego de reposar adopta un color verde claro en la parte superior del líquido. Los residuos en el reactor pesaron 105 g, tienen consistencia gruesa, son de color amarillento y se funden a aproximadamente 170°C. El resto son hidrocarburos gaseosos, que se quemaron para calentar el sistema. El color de la llama del gas es naranja.
10	100			
20	101			
30	162			
40	116			
50	131			
60	147			
70	178			
80	190			
90	203			
100	209			
110	214			
120	217			
130	218			
150	217			

Tabla 4. Datos Experimentales de la Pirólisis de PEAD

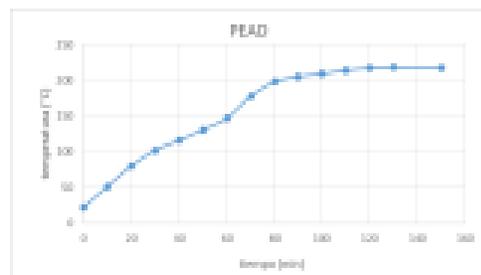


Gráfico 2. Variación de la Temperatura en la Pirólisis de PEAD.

En todas las pruebas, excepto la realizada con PET cuyo comportamiento varía con relación a los demás plásticos, se observa que la temperatura inicialmente aumenta hasta que entre los 35 min y 55 min, dependiendo de la categoría de plástico utilizada, se observa un punto de inflexión, esto ocurre cuando la temperatura ha llegado aproximadamente a 160 °C, momento en el que se observaron las primeras gotas de petróleo ligero producidas, sin embargo la temperatura sigue subiendo hasta que al pasar los 200 °C se observa una producción masiva de petróleo ligero, lo que ocurre luego de transcurridos entre 60 min y 120 min dependiendo de la categoría de plásticos utilizada, momento a partir del cual, la temperatura tiende a mantenerse más o menos constante con una ligera tendencia a aumentar. Cada prueba duró entre 120 min y 180 min.

La prueba con PS duró menos y se alcanzaron estas temperaturas en menor tiempo, mientras que la Prueba con PET tuvo una duración de alrededor de 280 min.

3. Conclusiones.

Al concluir la investigación se puede arribar a las siguientes conclusiones:

- Procesar residuos plásticos para generar combustibles, es una forma de limpiar el medio ambiente, pues se usan desechos plásticos como materia prima y permite disponer de combustibles líquidos mediante un proceso limpio.
- El rendimiento en la producción de hidrocarburos, al utilizar polipropileno y poliestireno, está alrededor del 70 %, mientras que para polietileno de alta o baja densidad está alrededor del 20 %.

- Con polietileno tereftalato, no se pudo obtener combustibles líquidos, sin embargo se obtiene un producto semi-sólido de consistencia pastosa, similar a una grasa, en un porcentaje del 14,8 % y cuya composición no se pudo determinar, pero se presume que es un hidrocarburo pesado pues es combustible y es capaz de disolver plásticos.

Bibliografía.

- Residuos Plásticos. Argentina: Boletín Técnico Informativo N° 32. Pp. 14-17.
- Oswaldo Proaño y Sara Crespo. (2009). Obtención de combustibles a partir de residuos plásticos. Pp. 16-19.
- Bevilacqua Romina. El revolucionario invento que convierte el plástico en petróleo. UPSOCL.verde. www.UPSOCL.com/verde/el-revolucionario-invento-que-comierte-el-plastico-en-petroleo/. Visitado: 22-03-2015.
- Tobalina, Belén. DIÉSEL A PARTIR DE RESIDUOS PLÁSTICOS. LA RAZON.es. www.larazon.es/3613-diesel-a-partir-de-residuos-plasticos-GLLA_RAZON_347385#.Tn1hpnNqDX7nEw. Visitado: 30-03-2015.
- Residuos de plástico transformados en diesel. ECOGALIA.com. www.ecogalia.com/residuos-de-plastico-transformados-en-diesel.html. Fecha de publicación: 28-06-2011. fecha de visita: 30-03-2015.
- Angulo, L. Contaminación por bolsas de plástico. Ed. La Jornada Ecológica. <http://www.jornada.unam.mx/2013/05/27/econ.html>. Fecha de Publicación: 27-05-2013. Visitado: 31-02-2015.

Anexo 3. Documento de apoyo 3

INNOVA Research Journal 2017, Vol 2, No. 10.1, 138-146.
ISSN 2477-9024

Análisis De Las Vibraciones De Un Motor Ciclo Otto Con Una Mezcla Combustible A Base De Gasolina Y De Etanol

Phd. Marcos Gutiérrez
Tablet School, Latacunga – Ecuador
Juan Fernando Illigüez Izquierdo
Universidad Internacional del Ecuador, Quito – Ecuador
Xavier Cadena
Universidad Internacional del Ecuador, Quito – Ecuador
Gabriel Santiana
Universidad Internacional del Ecuador, Quito – Ecuador

Autor para correspondencia: marcosgutierrez@tablet-school.com, jiniguez@uide.edu.ec
Fecha de recepción: 10 de Octubre de 2017 - Fecha de aceptación: 30 de Noviembre de 2017

Resumen: La presente investigación analiza las vibraciones de un motor ciclo Otto, al combustionar las gasolinas tipo extra y ecopais, las mismas que son comercializadas en el Ecuador. El motor de prueba se puso en funcionamiento en condiciones estáticas y dinámicas, esta última, por medio de un dinamómetro de rodillos; mientras que las vibraciones fueron registradas por medio de sensores de aceleración de un dispositivo de comunicación móvil, a diferentes velocidades de giro de motor. Los resultados obtenidos muestran que, a pesar de que los combustibles pueden ser utilizados como sustitutos uno del otro, la gasolina del tipo ecopais constituida por 5% de etanol y 95% de gasolina tipo extra, registra un menor nivel de vibración en comparación con la gasolina tipo extra al 100%. La presente investigación muestra una técnica para el análisis de la estabilidad del motor comparando diferentes tipos de combustibles.

Palabras Clave: vibraciones, motor, gasolina.

Abstract: The present investigation analyzes the vibrations of an Otto cycle engine, by combining the gasolines extra and ecopais, the same ones that are commercialized in Ecuador. The engine test was performed in static and dynamic conditions with a chassis dynamometer. The vibrations were collected by the acceleration sensors of a mobile communication device, at different engine speeds. The results show that, although the fuels can be used as substitutes for each other, the gasoline type ecopais consisting of 5% of ethanol and 95% of gasoline type extra, registers a lower level of vibration in comparison with the 100% gasoline type extra. The present research shows a technique for the analysis of the stability of the engine comparing different types of fuels.

Keywords: vibrations, engine, gasoline.

Introducción

Con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes y la dependencia en las reservas de petróleo a nivel mundial, se han venido utilizando combustibles alternativos como el etanol para el reemplazo total o parcial de la gasolina pura. Mezclas de 85 % de contenido de etanol y mayores, se utilizan en motores diseñados para operar con este tipo de combustible, mientras que mezclas de hasta 10 % de etanol son usadas en motores diseñados para la combustión de gasolina pura. En la actualidad se busca incrementar la concentración de etanol e investigar sus efectos en los motores. [1].

Uno de los efectos que tiene el combustible como consecuencia del proceso de combustión son las vibraciones, además de los efectos debidos a la variación de las fuerzas de inercia, diferencias en la compresión y la posición de los pistones en el caso de motores de más de un cilindro [3]. En el motor de combustión interna, las vibraciones son causadas debido a las masas de movimiento alternativo y giratorio del motor. Las variaciones de las fuerzas de inercia se deben a la combustión y a las diferencias de compresión de la disposición del cilindro de pistón durante sus operaciones. Las fuerzas de inercia del motor conducen a las fuerzas desequilibradas del motor y tienden a variar con respecto a la velocidad, el suministro de combustible y las características de su combustión [2]. Las vibraciones además de ser consecuencia de movimientos mecánicos rotativos, lineales y alternantes, también tienen su origen en el proceso de combustión; por esta razón el nivel de vibración del motor depende de las propiedades del combustible como el octanaje y de la calidad de la combustión. Las vibraciones del motor dependen de su estado y de su fuente de energía, en este caso del tipo de combustible y de sus propiedades, teniendo vibraciones u oscilaciones características en sus ejes ortogonales X, Y, y Z; las mismas que pueden ser registradas por medio de los sensores de aceleración de un dispositivo de comunicación móvil [3]. Inestabilidades y defectos encontrados en los motores de combustión interna; así como también los efectos y la calidad del proceso de combustión dan lugar a un patrón de vibración distinto; por lo tanto, pueden identificarse fallos mediante técnicas de análisis del espectro de vibración [2]. En la presente investigación se investiga el efecto que tiene cada uno de los combustibles utilizados en la estabilidad del motor, por medio del análisis del espectro de aceleraciones. El principio subyacente es que cada componente del motor genera vibraciones identificables. Así, el cambio en el nivel de vibración en cualquier frecuencia dada puede relacionarse directamente con las partes del motor afectadas, o con el efecto que tienen las propiedades de cada tipo de combustible [3].

Materiales Y Equipo

Los combustibles usados para la prueba fueron gasolina tipo extra y ecopais, cada una con propiedades propias, a pesar de ser combustibles sustitutos uno del otro.

Tabla 1. Caracterización del combustible

	Gasolina extra	Gasolina ecopais
Número de octano RON [-]	88.4	89.5
Viscosidad cinemática a 20°C [cSt]	0.524	0.532
Densidad API a 60°F [°API]	58.8	56.7

El motor de prueba es equipado con la tecnología FLEXFUEL, la misma que permite el uso de combustibles que contengan etanol.

Tabla 2. Especificación del motor

Motor	Otto
Tipo	FLEXFUEL
Cilindrada	3500 cm ³
Potencia	302hp @ 6500rpm
Torque	278lb·ft @ 4000rpm

Las aceleraciones fueron registradas con los acelerómetros de un dispositivo móvil.

Tabla 3. Especificación de los acelerómetros

Resolución	0.156 m/s ²
Rango de medición máximo	19.6133 m/s ²
Potencia	0.68mW

Método De La Medición

Como primer paso, con ayuda de los acelerómetros del dispositivo de comunicación móvil, tomamos datos de las aceleraciones resultantes de las vibraciones del motor a distintas velocidades de giro con el auto en estado estacionario, para luego repetir la misma prueba con el auto en movimiento y con los dos tipos de gasolinas, para establecer el efecto que tiene cada uno de estos combustibles.

La vibración resultante del espectro de aceleración se calcula con la siguiente fórmula de la aceleración efectiva:

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2 + R_3^2 + \dots + R_n^2}{n}}$$

Donde:

aRMS: aceleración efectiva

R₁, R₂, R₃, R_n: aceleraciones resultantes

n: número de aceleraciones resultantes

Las aceleraciones resultantes fueron calculadas con cada una de las aceleraciones medidas en los ejes ortogonales X, Y y Z.

Resultados

En condiciones estáticas, se obtuvieron los siguientes resultados de vibraciones del motor, a diferentes velocidades de giro con gasolina tipo extra.

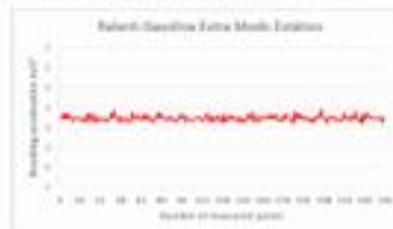


Fig. 1. Vibraciones con gasolina extra con el motor a ralentí.

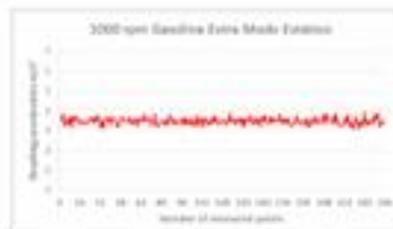


Fig. 2. Vibraciones con gasolina extra con el motor a 1000 rpm.

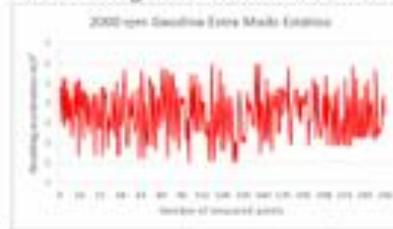


Fig. 3. Vibraciones con gasolina extra con el motor a 2000 rpm.

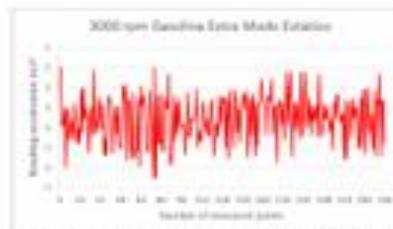


Fig. 4. Vibraciones con gasolina extra con el motor a 3000 rpm.

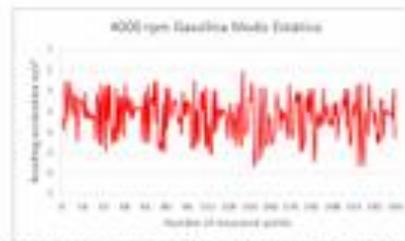


Fig. 5. Vibraciones con gasolina extra con el motor a 4000 rpm.

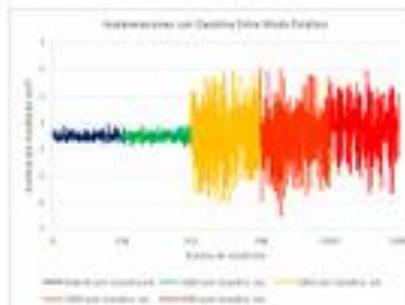


Fig. 6. Vibraciones del motor a diferentes velocidades de giro, durante la prueba estática, con gasolina extra.

Con la gasolina tipo extra, se obtuvieron los siguientes resultados de la prueba dinámica, a diferentes velocidades de giro del motor como se muestra a continuación:

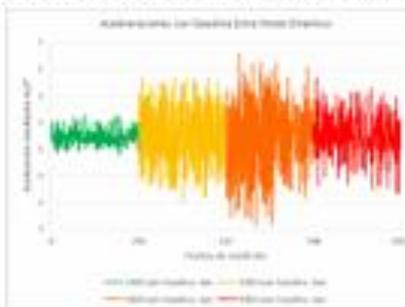


Fig. 7. Vibraciones del motor a diferentes velocidades de giro, durante la prueba dinámica, con gasolina extra.

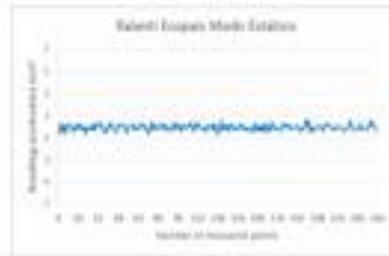


Fig. 8. Vibraciones con gasolina ecopais con el motor a ralentí.

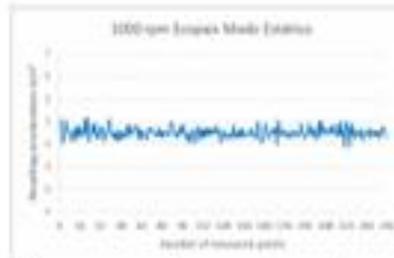


Fig. 9. Vibraciones con gasolina ecopais con el motor a 1000 rpm.

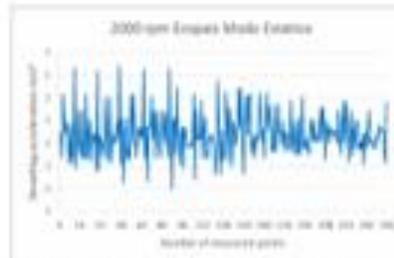


Fig. 10. Vibraciones con gasolina ecopais con el motor a 2000 rpm.

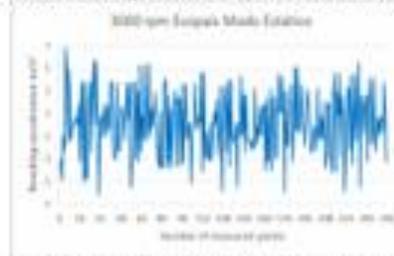


Fig. 11. Vibraciones con gasolina ecopais con el motor a 3000 rpm.

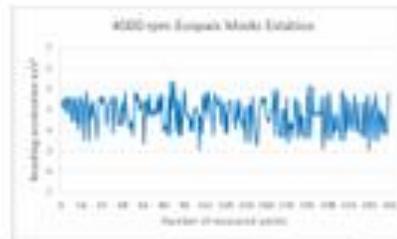


Fig. 12. Vibraciones con gasolina ecopais con el motor a 4000 rpm.

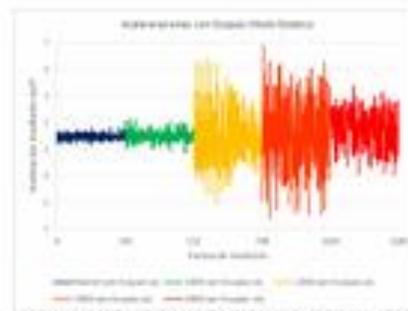


Fig. 13. Vibraciones del motor a diferentes velocidades de giro, durante la prueba estática, con gasolina ecopais.

Los resultados de la prueba dinámica realizada con gasolina tipo ecopais con el vehículo a diferentes velocidades de giro se muestran a continuación:

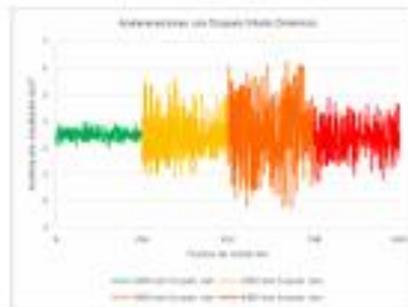


Fig. 14. Vibraciones del motor a diferentes velocidades de giro, durante la prueba dinámica, con gasolina extra.

Tabla 4. Aceleraciones RMS en m/s^2 calculadas.

	Aceleraciones RMS con gasolina extra m/s^2	Aceleraciones RMS con gasolina ecopais m/s^2
Ralentí	0,16	0,22

1000 rpm estático	0,26	0,31
1000 rpm dinámico	0,38	0,30
2000 rpm estático	2,03	1,19
2000 rpm dinámico	1,95	1,24
3000 rpm estático	1,81	2,30
3000 rpm dinámico	2,41	2,14
4000 rpm estático	1,70	1,41
4000 rpm dinámico	1,15	1,01

Tabla 5. Potencia del motor con cada uno de los combustibles.

	Gasolina Extra	Gasolina Ecopais
Potencia promedio [CV]	280.2	297.2

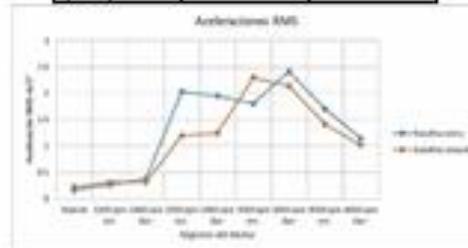


Fig. 15. Cuadro comparativo de aceleraciones RMS de gasolina Extra y Eco pais.

Análisis De Resultados

Como se puede observar en las pruebas de vibraciones con gasolina tipo extra (Fig. 6 y 7), existe un mayor número de vibraciones tanto en las pruebas dinámicas como estáticas en comparación con las pruebas de vibraciones dinámicas y estática de la gasolina ecopais (Fig. 13 y 14).

Existe una reducción de vibraciones considerable en el motor cuando se utiliza la gasolina ecopais, en la Fig. 15 se pudo observar que la gasolina extra genera aceleraciones efectivas RMS mayores que la gasolina ecopais.

De la tabla de caracterización se puede observar que la gasolina tipo ecopais tiene un grado mayor de octanaje, lo que evita la detonación y mejora la calidad de la combustión. Este efecto se refleja en la reducción de las vibraciones y en el aumento de potencia.

Conclusiones

La gasolina ecopais genera menos vibraciones en el motor de combustión interna que la gasolina extra, debido a que genera una combustión más controlada por un mejor índice de octano.

El combustible tipo ecopais genera un incremento de potencia en el motor con respecto a la gasolina extra; ya que, al reducir la vibración del motor, la transformación de la energía del combustible en energía mecánica es más efectiva en su transmisión al tren de rodaje, en lugar de perderse en forma de vibraciones.

Las vibraciones del motor no solo dependen de su estado y funcionamiento mecánico sino también de la calidad del combustible y del proceso de combustión.

Se aplicó una técnica que permite evaluar la estabilidad del motor en función de las propiedades del combustible.

Referencias

- Asiah Ab. Rahim, Nik Rosli Abdullah. "EFFECT OF ALCOHOL-GASOLINE BLENDS (ETHANOL) ON PERFORMANCE AND EMISSION OF SI ENGINE ". ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. VOL. 11, NO. 20, OCTOBER, 2016.
- Somashekar V., Dr. K. Satish, Jamuna AB., Ranjitha P. "Vibration Signature Analysis of IC Engine". International Journal of Innovative Research & Development. Vol 2 Issue 13. December, 2013.
- Marcos Gutiérrez, Andrés Castillo, Juan Iñiguez, Gorky Reyes. "Engine Vibrations Measurements with a Fuel Blend from Recycled Lubricating Oil and Diesel". International Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting. SAE Technical Paper 2017-01-2333. October, 2017.
- S. Babazadeh Shayan, S. M. Seyedpour, F. Omri, S. H. Mousavy, et al. "Impact of Methanol-Gasoline Fuel Blends on the Performance and Exhaust Emissions of a SI Engine". International Journal of Automotive Engineering. Vol. 1, Number 3, July 2011.
- T. Ramachandran, K. P. Padmanaban. "REVIEW ON INTERNAL COMBUSTION ENGINE VIBRATIONS AND MOUNTINGS". International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, August 2012.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS

Informe N°: 24-117.2
Fecha de emisión: 2024-07-05

Cliente^b: BRYAN SANTIAGO BENALCAZAR RODRÍGUEZ
Contacto^a: Sr. Bryan Benalcázar
Dirección^a: Comité del Puenbo
Teléfono^a: 0987774842 **Correo-e^a:** santi.bsb@hotmail.es
Tipo de muestra^a: GASOLINA SÚPER
Descripción de la muestra^a: Gasolina súper
Condiciones de la Muestra: Muestra en envase de vidrio ámbar con tapa rosca, en refrigeración
Fecha de ingreso de muestra: 2024-06-24
Código de la muestra: 24-117.2
Fecha de realización de ensayos: 2024-07-05
Lugar donde se realizaron los ensayos: Laboratorio DPEC – Área de Petróleos

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO / TÉCNICA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/MI00 REF. ASTM D-240 (calorimetría)	45,786	-

Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
Nota: Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.
Nota: Los resultados se aplican a la muestra tal y como se recibió.

Observaciones^b: El poder calórico bruto se reportó sin corrección por contenido de agua y azufre en la muestra. La muestra, después de combustionarse dejó rastros de hollín.

Condiciones Ambientales. - Presión: 542,7 mm Hg, **Temperatura:** 16,5 °C

--- FIN DE LA SECCIÓN ---

^a Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información
^b La observación corresponde a adiciones, desviaciones o exclusiones del método

Analistas: APJ
 Elaborado por: VRT

Revisado por:

Ing. Richard Herrera V.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Fernanda Toasa L.
 RESPONSABLE DE CALIDAD

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO.
 EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Rither s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P01-8

Hoja 2 de 3



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS

Informe N°: 24-117.3
Fecha de emisión: 2024-07-05

Cliente^a: BRYAN SANTIAGO BENALCAZAR RODRÍGUEZ
Contacto^a: Sr. Bryan Benalcázar
Dirección^a: Comité del Puenbo
Teléfono^a: 0987774842 **Correo-e^a:** santi.bsb@hotmail.es
Tipo de muestra^a: GASOLINA BASE PLÁSTICOS (POLÍMERO)
Descripción de la muestra^a: Polímero (gasolina base plásticos)
Condiciones de la Muestra: Muestra en envase de vidrio ámbar con tapa rosca, en refrigeración
Fecha de ingreso de muestra: 2024-06-24
Código de la muestra: 24-117.3
Fecha de realización de ensayos: 2024-07-05
Lugar donde se realizaron los ensayos: Laboratorio DPEC – Área de Petróleos

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO / TÉCNICA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/MI00 REF. ASTM D-240 (calorimetría)	46,616	-

Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
Nota: Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.
Nota: Los resultados se aplican a la muestra tal y como se recibió.

Observaciones^b: El poder calórico bruto se reportó sin corrección por contenido de agua y azufre en la muestra.

Condiciones Ambientales. - Presión: 542,7 mm Hg, **Temperatura:** 16,5 °C

--- FIN DEL INFORME ---

^a Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información
^b La observación corresponde a adiciones, desviaciones o exclusiones del método

Analistas: APJ
Elaborado por: VRT

Revisado por:

Aprobado por:


Ing. Richard Herrera V.
RESPONSABLE TÉCNICO




Ing. Fernanda Toasa L.
RESPONSABLE DE CALIDAD

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO.
EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Rither s/n y Bolivia
MC2201-P01-8

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
QUITO - ECUADOR

E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

Hoja 3 de 3

Anexo 5. Informe de resultados de octanaje de los 3 combustibles.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS

Suplemento Informe N°: 25-001.2
Fecha de emisión: 2025-02-06

Ciente^a: KEVIN JOEL CATUCUAMBA SÁNCHEZ
Contacto^a: Sr. Kevin Catucuamba
Dirección^a: Amagásí del Inca
Teléfono^a: 0967893440 **Correo-e^a:** thenivekcatu2000@hotmail.com
Tipo de muestra^a: GASOLINA
Descripción de la muestra^a: Gasolina extra
Condiciones de la Muestra: Muestra en envase de vidrio ámbar, en refrigeración
Fecha de ingreso de muestra: 2025-01-16
Código de la muestra: 25-001.2
Fecha de realización de ensayos: 2025-01-31
Lugar donde se realizaron los ensayos: Laboratorio DPEC – Área de Petróleos

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO / TÉCNICA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
NÚMERO DE OCTANO*	octanos	MÉTODO INTERNO (Ref. varias ASTM)	88,5	-

Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
Nota: Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.
Nota: Los resultados se aplican a la muestra tal y como se recibió.

Condiciones Ambientales. - Presión: 541,6 a 542,2 mm Hg, **Temperatura:** 18,5 a 19,5 °C

--- FIN DEL INFORME ---

* Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información

Analistas: JBC
Elaborado por: VRT

Revisado por:



Ing. Richard Herrera V.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:



Ing. Fernanda Toasa L.
RESPONSABLE DE CALIDAD

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolívar

MC2201-P01-8

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26

QUITO - ECUADOR

E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

Hoja 2 de 2



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
ÁREA DE PETRÓLEOS

Suplemento Informe N°: 25-001.1
 Fecha de emisión: 2025-02-06

Cliente^a: KEVIN JOEL CATUCUAMBA SÁNCHEZ
Contacto^a: Sr. Kevin Catucuamba
Dirección^a: Amagás del Inca
Teléfono^a: 0967893440 **Correo-e^a:** thenivekcatu2000@hotmail.com
Tipo de muestra^a: GASOLINA
Descripción de la muestra^a: Gasolina super
Condiciones de la Muestra^a: Muestra en envase de vidrio ámbar, en refrigeración
Fecha de ingreso de muestra: 2025-01-16
Código de la muestra: 25-001.1
Fecha de realización de ensayos: 2025-01-31
Lugar donde se realizaron los ensayos: Laboratorio DPEC – Área de Petróleos

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO / TÉCNICA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
NÚMERO DE OCTANO*	octanos	MÉTODO INTERNO (Ref. varias ASTM)	91,9	-

Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
Nota: Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.
Nota: Los resultados se aplican a la muestra tal y como se recibió.

Condiciones Ambientales. - Presión: 541,6 a 542,2 mm Hg, **Temperatura:** 18,5 a 19,5 °C

--- FIN DE LA SECCIÓN ---

^a Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información

Analistas: JBC
 Elaborado por: VRT

Revisado por:

Aprobado por:


 Ing. Richard Herrera V.
 RESPONSABLE TÉCNICO


 Ing. Fernanda Toasa L.
 RESPONSABLE DE CALIDAD

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO.
 EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN OFICIAL DE ESTE INFORME

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P01-8

Hoja 1 de 2



Anexo 6. Normativa NTE INEN 2203:2013.



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2203:2013
Primera revisión

**MEDICIÓN DE EMISIONES DE GASES DE ESCAPE EN
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Primera edición

RECIPROCATING INTERNAL COMBUSTION ENGINES- EXHAUST EMISSION MEASUREMENT. STEADY STATE TEST CYCLES
FOR DIFFERENTENGINE APPLICATIONS

First edition

DESCRIPTORES: Emisión de gases, protección del medio ambiente, calidad del aire, método de ensayo
MC 08.06-302
CDU: 662.75
CIU: 3530
ICS: 13.040.50

Norma Técnica
Ecuatoriana
Voluntaria

**MEDICIÓN DE EMISIONES DE GASES DE
ESCAPE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

**NTE INEN
2203:2013
Primera revisión
2013-09**

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Este método de ensayo está destinado para usarse como un procedimiento de medición para determinar los niveles de emisión de gases y partículas de motores reciprocantes de combustión interna (RCI) para uso no automotriz. Su propósito es proveer una guía de las características de las emisiones de un motor que, a través del uso de factores de ponderación adecuados, se pueden utilizar como indicadores de los niveles de emisión de motores bajo varias aplicaciones. Los resultados de las emisiones se expresan en unidades de gramos por kilovatio-hora y representan el flujo másico de emisiones por unidad de trabajo realizado.

1.2 Aunque esta parte del ensayo está diseñada para motores no automotrices, comparte muchos principios con la medición de emisiones de gases y partículas que han estado en uso durante muchos años para motores de uso motriz. Un procedimiento de prueba que comparte alguno de estos principios es el método de dilución de flujo total, en la especificación actual para la certificación ISO 8178 de 1985 y posteriormente para motores de camiones pesados en los Estados Unidos. Otro es el procedimiento para la medición directa de emisiones gaseosas en gases de escape sin diluir, como se especificaba para la certificación de motores de camiones pesados en Japón y Europa.

1.3 Muchos de los procedimientos descritos en este ensayo son explicaciones detalladas de métodos de laboratorio, debido a que la determinación de valores de emisiones requiere un complejo conjunto de mediciones individuales, en lugar obtener un valor único de medida. Por lo tanto, los resultados obtenidos dependen tanto del proceso de medición así como de los motores y los métodos de ensayo.

1.4 La evaluación de emisiones de motores de uso no motriz es más complicada que la de motores de uso motriz debido a la diversidad de aplicaciones de los primeros. Por ejemplo, las aplicaciones de motores de uso motriz principalmente consisten en el movimiento de una carga de un punto hacia otro sobre una carrera pavimentada. Las limitaciones de caminos pavimentados, las máximas cargas aceptables en pavimento y el grado máximo permisible de combustibles, limitan el alcance de vehículos de carretera y el tamaño de motores. Los motores de uso no motriz y los de vehículos tienen un amplio rango de tamaño, incluyéndose los motores que accionan el equipo. Muchos de los motores son lo suficientemente grandes para excluir la aplicación de equipo de prueba y métodos aceptables para el uso motriz. En casos donde la aplicación de dinamómetros no sea posible, los ensayos se realizarán en el lugar o en condiciones apropiadas.

2. OBJETO

2.1 Esta norma mide las emisiones de gases de escape en motores de combustión interna.

3. ALCANCE

3.1 Este ensayo especifica los métodos de medición y evaluación para emisiones de gases de escape y partículas de motores reciprocantes de combustión interna (RCI) bajo condiciones estáticas en un lecho de prueba, necesarios para la determinación de un valor promedio para cada gas contaminante de escape. Varias combinaciones de carga del motor y velocidad reflejan diferentes aplicaciones del motor (véase ISO 8178-4).

3.2 Este ensayo es aplicable a motores RCI para uso estacionario, movilización y transporte, excluyendo motores diseñados para automoción. Además, este método puede aplicarse a motores que se utilizan, por ejemplo, en máquinas de movimiento de tierra, generadores y otras aplicaciones. En casos limitados, el motor puede probarse en un lecho de prueba según la ISO 8118-2, documento de prueba de campo. Esto sólo puede ocurrir con acuerdo de las partes involucradas. Debe tenerse en cuenta que los datos obtenidos en estas circunstancias no pueden estar completamente de acuerdo con los datos anteriores o futuros obtenidos bajo la norma ISO 8178-1:2006. Por lo tanto, se recomienda que esta opción se ejerza exclusivamente con motores fabricados en cantidades muy limitadas, como marinos de gran tamaño o conjuntos de motores de generación.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Emisión de gases, protección del medio ambiente, calidad del aire, método de ensayo.

Anexo 7. Ficha técnica vehículo de prueba.



DONGFENG		NEW SX5 LUXURY	
MOTOR		SEGURO DE NIÑOS	
Cilindrada:	1,997 c.c.	Seguro de niños en las puertas posteriores	
Cilindros:	4 cilindros	Sistemas de luces de conducción diurnas LED	
Número de válvulas:	16 válvulas IVT	Retrovisores exteriores con luz direccional incorporada	
Potencia:	145 HP @ 6000 RPM	Sistema antibloqueo de frenos (ABS)	
Torque:	200 Nm @ 4000 RPM	Sistema de distribución electrónica de presión de frenado (EBD)	
Tipo de combustible:	Gasolina	Sistema de asistencia de frenado (BAS)	
Estándar de emisiones:	Euro V	Sistema de prioridad de frenado (BOS)	
Admisión de aire:	Aspiración natural	Control electrónico de estabilidad (ESP)	
TRANSMISIÓN		Asistente de salida en pendiente (HHC)	
Caja:	Manual de 5 velocidades + reversa	Cámara de retro con guías dinámicas	
Tracción:	Delantera	Sensores de reversa	
DIRECCIÓN, SUSPENSIÓN Y NEUMÁTICOS		SEGURO PASIVA	
Tipo de dirección:	Electroasistida - EPS	Columna de dirección colapsable	
Suspensión delantera:	Suspensión independiente McPherson con barra estabilizadora lateral	Barras de impacto lateral	
Suspensión trasera:	Independiente Multilink	2 airbags conductor y pasajero	
Neumáticos:	215 / 65 R16	Cinturones de seguridad de 3 puntos	
Tipo de arco:	Aleación bitono	Sistema de anclaje ISOFIX para sillas de bebé	
FRENOS		Testigo sonoro de cinturón de seguridad desabrochado para conductor y copiloto	
Tipo:	Hidráulicos con circuitos independientes	Carrocería con deformación programada	
Delanteros:	Disco ventilado	Desbloqueo automático de puertas tras colisión	
Posteriores:	Disco sólido	CAPACIDADES Y DIMENSIONES	
EQUIPAMIENTO EXTERIOR		Número de puertas	
Guardachoques delantero y posterior del color de la carrocería		5	
Retrovisores del color de la carrocería		Número de pasajeros	
Rack portaequipaje en el techo		5	
Luces de freno LED		Longitud total	
Luz tercer stop LED		4,515 mm	
Nebuleros delanteros		Ancho total	
Nebuleros traseros		1,812 mm	
Antena tibo tiburón		Alto total	
		2,720 mm	
		Distancia entre ejes	
		200 mm	
		Altura mínima del suelo	
		370 L	
		Volumen de maletero	
		Capacidad del tanque de combustible	
		12 gal	
EQUIPAMIENTO INTERIOR Y CONFORT		SISTEMA DE ENTRETENIMIENTO	
Spoiler trasero deportivo		Radio touch AM/FM HD LCD de 8"	
Asistente automático de alumbrado (Follow Me Home)		Sincronización Bluetooth (llamadas telefónicas y audio stream)	
Luces automáticas (sensor de luz)		Sistema de audio de 4 parlantes	
SEGURO PASIVA		Reproductor MP3 + Vídeo	
Asiento del piloto con ajuste manual 6 posiciones		1 puertos USB delantero	
Asiento del copiloto con ajuste manual 4 posiciones		1 puerto carga interfase de 12V	
Apoyo/descansa pie para el conductor			
Apertura de la tapa de combustible desde el interior			
Asientos con tapicería de cuero			
Panel de instrumentos retroiluminado			
Computador a bordo con indicadores de consumo de combustible, autonomía, recordatorio de mantenimiento y de velocidad			
Bloqueo central			
Vidrios eléctricos en las 4 puertas			
Visera conductor y pasajero			
Volante ergonómico de poliuretano ajustable en 2 direcciones			
Aire acondicionado con mandos eléctricos			
Ajuste eléctrico luces frontales			
Ajuste eléctrico de retrovisores			
Mandos al volante para control de audio & llamadas			
Apoyabrazos delantero			
Apoyabrazos posterior central			
Interior color negro			
Inmovilizador de motor con llave antirobo			
Acelerador electrónico			
Desempañador posterior			
Retrovisor interior anti-reflejo manual			
Asientos posteriores abatibles 60/40			

DISTRIVEHIC, S.A. se reserva el derecho de modificar las especificaciones técnicas, accesorios, colores del producto sin previo aviso. La información vertida en esta ficha es referencia solamente. El producto final es aquel exhibido en los puntos de venta autorizados. Fecha de edición 20 de enero de 2021.

Con el respaldo de:



Motor de Combustión	
Propósito	Impulsar el vehículo
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	140 CV / 103 kW
Revoluciones potencia máxima	6.000 rpm
Par máximo	200 Nm
Revoluciones par máximo	4.000 rpm
Situación	Delantero transversal
Número de cilindros	4
Disposición de los cilindros	En línea
Material del bloque	Aluminio
Material de la culata	Aluminio
Diámetro	85 mm
Carrera	88 mm
Cilindrada	1.997 cm ³
Relación de compresión	10,8 a 1
Distribución	
Válvulas por cilindro	4
Tipo de distribución	Dos árboles de levas en la culata
Alimentación	Inyección Indirecta.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
Denominación oficial	Joyear SX5 Station Wagon			
MOTOR	1.6 MT CONFORT	1.6 MT LUX	2.0 MT LUX	2.0 MT LUX 6 MT
Denominación	4A92		DFMB20	
Tipo	4 Cilindros en Línea, DOHC 16 válvulas Mivec VVT		4 Cilindros en Línea, DOHC 16 válvulas VVT	
Cilindrada (L)	1.6		2.0	
Potencia máxima (hp/rpm)	121 / 6000		145 / 6000	
Torque máximo (Nm/rpm)	151 / 4400		200 / 4000	
Sistema de inyección de combustible	Electrónica multipunto			
Tipo de combustible	93 octános o superior			
Norma de emisiones	Euro V			

Anexo 8. Equipo de diagnóstico Bosch FSA 740.



FSA 740

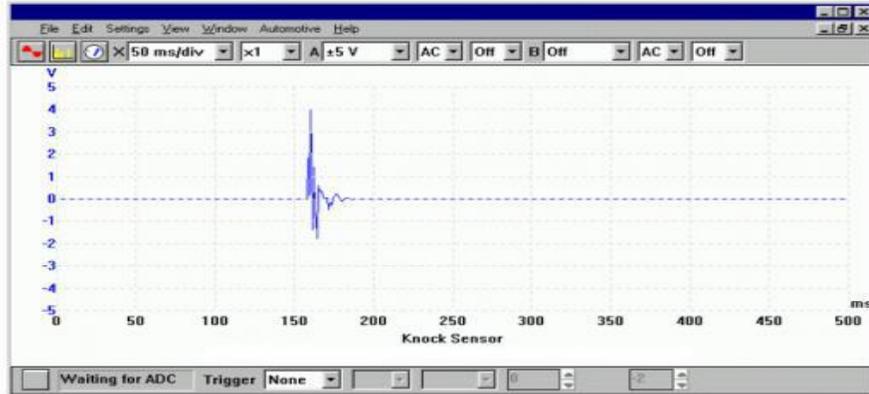
Osciloscopio de 2 canales	Tasa de escaneado 50 MS/s
Generador de señales	10 to 12 V con 4 formas de señal, 1 Hz a 1 kHz
Rango de medición de voltaje	0 a 60 V
Rango de medición de corriente	0 a 1000 A
Rango de medición de resistencia	0 a 1 MΩ
Rango de medición del voltaje de encendido	hasta ± 50 kV
Rango de medición de la velocidad de rotación	100 a 12 000 1/min
Rango de medición de la temperatura del aceite	-20 °C a 150 °C
Rango de medición de la temperatura del aire	-20 °C a 100 °C
Rango de medición de la presión (atmosférica)	-800 hPa a 1500 hPa



Equipo Automotriz Javaz
Equipo y Herramienta para el Diagnostico Automotriz



SENSOR DE DETONACION (KNOCK SENSOR) FORMA DE ONDA



El punto óptimo en la cual la alta tensión (AT) enciende la mezcla aire/combustible será momentos antes del PMS, pero a veces será inevitable que bajo ciertas condiciones ocurra una detonación imprevista.

Un sensor de pistoneo o detonación es un dispositivo piezo-eléctrico pequeño, que junto con el PCM, identifica estas detonaciones. El PCM ante esta circunstancia retrasara el encendido para evitar daños al motor.

La frecuencia de detonación (pistoneo) es aproximadamente 15 KHZ.

Para medir esta señal se utilizara el osciloscopio con un barrido horizontal de 50 ms por división y una amplitud de tensión alterna pico a pico de 2V por división.

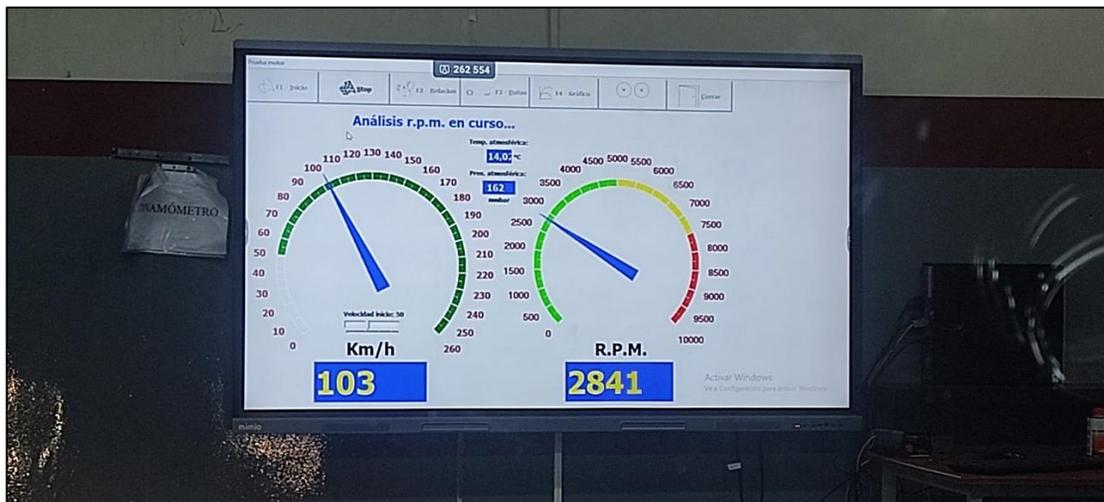
La mejor manera de probar un sensor de detonación, es quitar el sensor del motor y golpearlo ligeramente con una llave de tuercas pequeña, la forma de onda resultante debe ser similar al ejemplo demostrado.

NOTA:- Al reinstalar el sensor apriete al ajuste se debe apretar con el torque correcto indicado por el manual.

La comprobación de este sensor es solamente con osciloscopio dado que esta construido por un cristal piezo eléctrico y no se puede medir su resistencia.

Equipo Automotriz Javaz Cerrada Las Rocas M. 4 L.2 Col. Xochiaca, Chimalhuacan Estado de Mexico C.P. 56330
Tel: (55) 22289478, 15585114, 31834637 Fax: 15585114
equipoautomotrizjavaz@yahoo.com.mx equipomot@hotmail.com webmaster@equipoautomotrizjavaz.com
www.equipoautomotrizjavaz.com

Anexo 9. Dinamómetro Dyno Race



Anexo 10. Pruebas estáticas con el equipo Bosch FSA 740





Anexo 11. Pruebas con el dinamómetro Dyno Race.



ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anexo 12. Resultados de combustible extra a ralentí equipo Bosch FSA 740.

Protocolo



sensor de detonaciones

7.80 23.11.2022

Orden Extra (Ralenti)

Fecha 07.08.2024 10:04:57

Cliente

Empresa

Tel

Tel

Fax

Fax

Email

Email

Vehículo

Make

Model

Código del motor

Gasolina 4 tiempos / 4 cilindro / EFS con transmisor KW

Placa del vehículo

Número de identificación del vehículo

kilometraje

167495

Operador

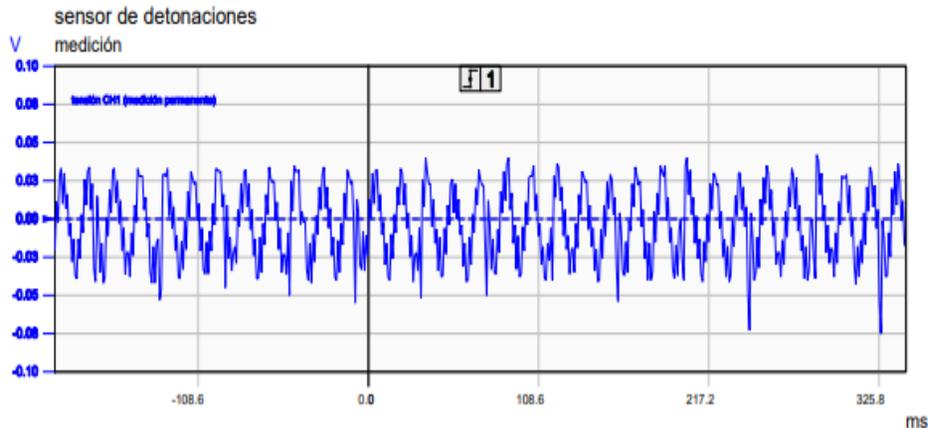
Kevin Catucuamba-Bryan Benalcazar

Prueba: sensor de detonaciones

sensor de detonaciones

medición 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	----	----	0.104
frecuencia CH1	Hz	----	----	80.4



Anexo 13. Resultados de combustible super a ralenti equipo Bosch FSA 740.

Protocolo



sensor de detonaciones

7.80 23.11.2022

Orden Super Ralenti

Fecha 07.08.2024 11:50:25

Ciente

Empresa

Tel

Tel

Fax

Fax

Email

Email

Vehículo

Make

Model

Código del motor

Gasolina 4 tiempos / 4 cilindro / EFS con transmisor KW

Placa del vehículo

Número de identificación del vehículo

kilometraje

167495

Operador

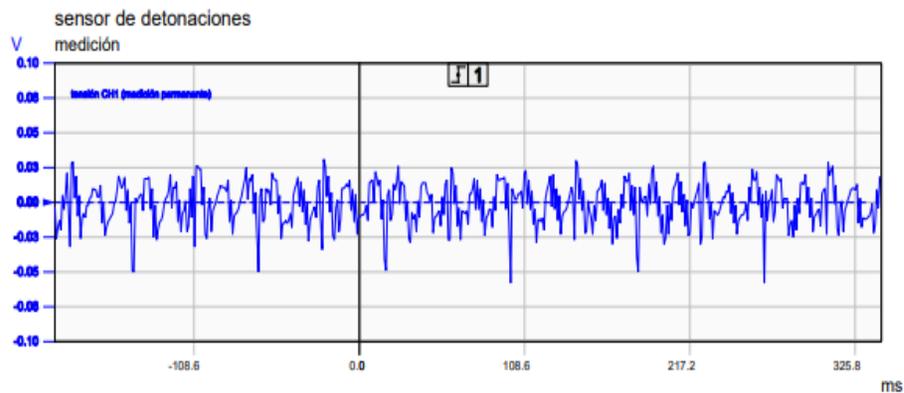
Kevin Catucuamba-Bryan Benalcazar

Prueba: sensor de detonaciones

sensor de detonaciones

medición 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	---	---	0.094
frecuencia CH1	Hz	---	---	69.3



Anexo 14. Resultados de combustible de plástico a ralentí equipo Bosch FSA 740.

Protocolo



sensor de detonaciones

7.80 23.11.2022

Orden C.plastico	Fecha 07.08.2024 12:22:25
Cliente	Empresa
Tel	Tel
Fax	Fax
Email	Email

Vehículo

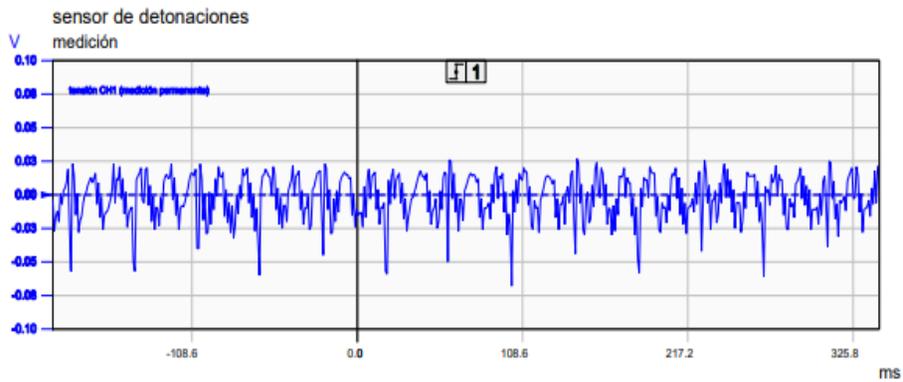
Make	
Model	
Código del motor	Gasolina 4 tiempos / 4 cilindro / EFS con transmisor KW
Placa del vehículo	
Número de identificación del vehículo	
kilometraje	167495
Operador	Kevin Catucuamba-Bryan Benalcazar

Prueba: sensor de detonaciones

sensor de detonaciones

medición 1

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	---	---	0.095
frecuencia CH1	Hz	---	---	38.5



Anexo 15. Resultados de combustible extra a 3000 rpm equipo Bosch FSA 740.

Protocolo



sensor de detonaciones

7.80 23.11.2022

Orden Extra 3000 RPM

Fecha 07.08.2024 10:06:57

Cliente

Empresa

Tel

Tel

Fax

Fax

Email

Email

Vehículo

Make

Model

Código del motor

Gasolina 4 tiempos / 4 cilindro / EFS con transmisor KW

Placa del vehículo

Número de identificación del vehículo

kilometraje

167495

Operador

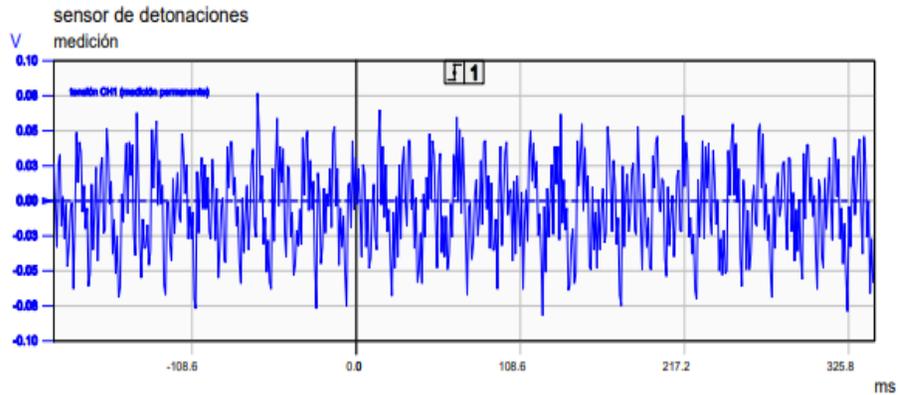
Kevin Catucuamba-Bryan Benalcazar

Prueba: sensor de detonaciones

sensor de detonaciones

medición 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	----	----	0.152
frecuencia CH1	Hz	----	----	300.5



Anexo 16. Resultados de combustible super a 3000 rpm equipo Bosch FSA 740.

Protocolo



sensor de detonaciones

7.80 23.11.2022

Orden Super 3000

Fecha 07.08.2024 11:52:57

Cliente

Empresa

Tel

Tel

Fax

Fax

Email

Email

Vehículo

Make

Model

Código del motor

Gasolina 4 tiempos / 4 cilindro / EFS con transmisor KW

Placa del vehículo

Número de identificación del vehículo

kilometraje

167495

Operador

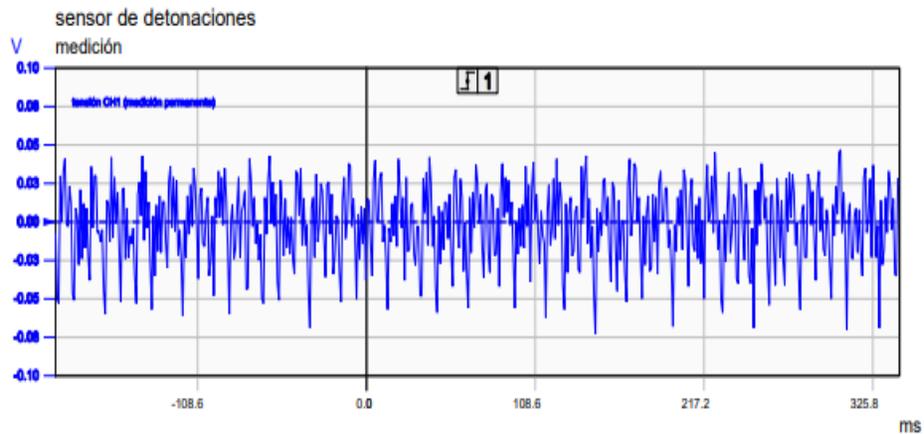
Kevin Catucumba-Bryan Benalcazar

Prueba: sensor de detonaciones

sensor de detonaciones

medición 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	----	----	0.131
frecuencia CH1	Hz	----	----	241.3



Anexo 17. Resultados de combustible de plástico a 3000 rpm equipo Bosch FSA 740.

Protocolo



sensor de detonaciones

7.80 23.11.2022

Orden C.plastico(3000)

Fecha 07.08.2024 12:28:53

Cliente

Empresa

Tel

Tel

Fax

Fax

Email

Email

Vehículo

Make

Model

Código del motor

Gasolina 4 tiempos / 4 cilindro / EFS con transmisor KW

Placa del vehículo

Número de identificación del vehículo

kilometraje

167495

Operador

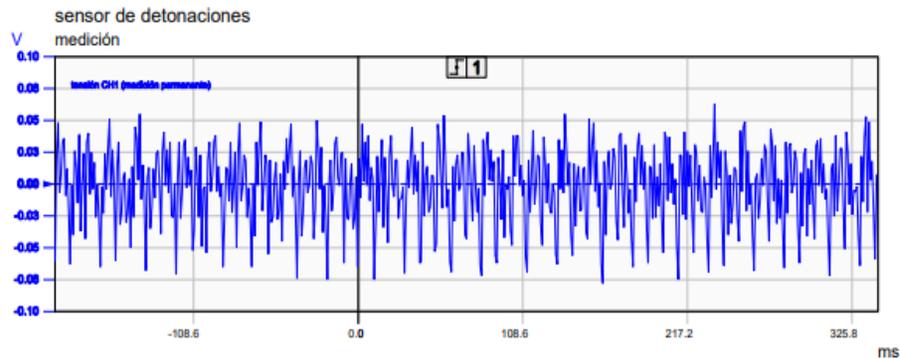
Kevin Catucuamba-Bryan Benalcazar

Prueba: sensor de detonaciones

sensor de detonaciones

medición 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
tensión CH1 (CC)	V	----	----	0.152
frecuencia CH1	Hz	----	----	247.4



Anexo 18. Resultados de potencia con el combustible extra.

Tabla datos resultados

R.P.M.	CV	Kg.m	Cv dis.	CV rueda
2200	28.0	9.1	8.9	19.2
2300	35.3	11.0	9.4	25.9
2400	41.6	12.4	9.9	31.7
2500	46.2	13.2	10.5	35.7
2600	49.0	13.5	11.1	37.9
2700	50.2	13.3	11.6	38.6
2800	50.8	13.0	12.3	38.6
2900	51.2	12.7	12.9	38.3
3000	51.8	12.4	13.4	38.4
3100	53.0	12.3	14.2	38.9
3200	54.6	12.2	14.8	39.8
3300	56.9	12.3	15.4	41.5
3400	59.8	12.6	16.1	43.7
3500	62.9	12.9	16.9	46.0
3600	65.8	13.1	17.7	48.1
3700	67.5	13.1	18.0	49.5
3800	69.3	13.1	19.0	50.3
3900	70.4	12.9	19.9	50.5
4000	71.3	12.8	20.8	50.5
4100	72.0	12.6	21.4	50.5
4200	73.3	12.5	22.5	50.7
4300	74.4	12.4	23.1	51.3
4400	77.1	12.5	24.5	52.5
4500	79.8	12.7	25.5	54.3
4600	82.5	12.8	26.4	56.1
4700	84.8	12.9	27.5	57.2
4800	85.5	12.8	28.7	56.8
4900	85.5	12.5	30.3	55.2
5000	85.9	12.3	32.0	53.9
5100	88.4	12.4	33.5	54.9
5200	93.6	12.9	35.4	58.2
5300	96.1	13.0	36.8	59.2
5400	88.9	11.8	38.3	50.6
5500	0.0	3.5	0.0	0.0

Anexo 19. Resultados de potencia con el combustible super

Tabla datos resultados

R.P.M.	CV	Kg.m	Cv dis.	CV rueda
2400	35.1	10.5	10.4	24.7
2500	42.1	12.1	11.3	30.8
2600	47.2	13.0	11.4	35.8
2700	51.4	13.6	12.3	39.1
2800	53.7	13.7	12.9	40.9
2900	54.9	13.6	13.3	41.6
3000	56.2	13.4	14.3	41.8
3100	56.8	13.1	14.7	42.1
3200	58.0	13.0	15.2	42.7
3300	59.9	13.0	16.2	43.7
3400	61.9	13.0	16.6	45.3
3500	65.1	13.3	17.7	47.4
3600	68.3	13.6	18.4	50.0
3700	71.7	13.9	19.1	52.7
3800	74.8	14.1	19.7	55.1
3900	77.9	14.3	21.0	56.9
4000	79.4	14.2	21.6	57.9
4100	81.5	14.2	23.1	58.3
4200	82.4	14.1	24.0	58.4
4300	83.4	13.9	25.2	58.2
4400	84.8	13.8	26.7	58.1
4500	86.0	13.7	28.0	58.0
4600	87.6	13.6	29.3	58.3
4700	90.0	13.7	31.1	58.9
4800	92.6	13.8	32.7	59.8
4900	94.6	13.8	34.1	60.5
5000	96.4	13.8	36.2	60.2
5100	96.8	13.6	38.3	58.4
5200	96.4	13.3	40.5	55.8
5300	96.6	13.0	42.8	53.8
5400	98.8	13.1	45.0	53.8
5500	101.6	13.2	47.4	54.2
5600	0.0	6.2	0.0	0.0

Anexo 20. Resultados de potencia con el combustible a base de plástico.

Tabla datos resultados

R.P.M.	CV	Kg.m	Cv dis.	CV rueda
2100	20.6	7.0	8.4	12.2
2200	29.1	9.5	8.9	20.2
2300	37.2	11.6	9.4	27.8
2400	43.6	13.0	9.9	33.7
2500	47.8	13.7	10.5	37.3
2600	50.1	13.8	11.2	38.9
2700	51.0	13.5	11.6	39.4
2800	51.9	13.3	12.2	39.7
2900	53.5	13.2	12.9	40.6
3000	55.6	13.3	13.4	42.2
3100	58.1	13.4	13.9	44.2
3200	61.1	13.7	14.7	46.4
3300	64.0	13.9	15.5	48.5
3400	66.2	14.0	16.0	50.3
3500	68.6	14.0	16.7	51.9
3600	70.6	14.0	17.2	53.4
3700	72.9	14.1	18.1	54.9
3800	75.4	14.2	19.0	56.4
3900	77.5	14.2	19.5	58.0
4000	79.5	14.2	20.0	59.4
4100	81.9	14.3	21.2	60.7
4200	83.7	14.3	22.1	61.5
4300	84.7	14.1	22.7	62.0
4400	85.9	14.0	23.6	62.3
4500	87.2	13.9	24.5	62.7
4600	89.4	13.9	26.1	63.3
4700	90.9	13.9	26.6	64.3
4800	93.4	13.9	27.9	65.5
4900	95.0	13.9	28.7	66.4
5000	96.4	13.8	29.9	66.5
5100	97.2	13.6	31.6	65.6
5200	97.0	13.4	32.7	64.3
5300	97.8	13.2	34.1	63.7
5400	101.2	13.4	36.0	65.2
5500	106.0	13.8	37.2	68.8
5600	110.4	14.1	39.2	71.2
5700	108.7	13.7	41.3	67.4
5800	0.0	6.3	0.0	0.0