

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA, CON LA INYECCIÓN ADICIONAL DE METANOL EN LA ADMISIÓN DE AIRE

PERFORMANCE ANALYSIS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, WITH ADDITIONAL METHANOL INJECTION IN THE AIR INTAKE

¹Andrés Sebastián Villacrés Quintana ²Víctor Danilo Zambrano León, ³José Lizandro Quiroz Erazo,
^{1,2}Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Quijano y Ordoñez y Marques de Maenza s/n.
²Asesoramiento en mecánica y electrónica del automóvil
 E-mail: ¹vdzambrano@espe.edu.ec, ²jlquiroz@espe.edu.ec, ³sebastian.villacres@tungurahua.gob

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.11 (13)

RESUMEN

La tendencia contemporánea de encontrar métodos para aumentar la potencia de un vehículo, y la disminución de la emisión de gases contaminantes, ha derivado en la investigación y surgimiento de sistemas acoplables al automóvil, basados en el uso compuestos químicos compatibles con la combustión de la gasolina. Es así como el metanol ha venido interviniendo activamente como uno de los compuestos más empleados en la elaboración de aditivos para combustibles fósiles, debido a que su producción no requiere de procesos con mucha complejidad en relación a la obtención de gasolina; resulta viable el análisis de aplicabilidad para evaluar su influencia en los parámetros de rendimiento de un motor de combustión interna de ciclo Otto, tomando en cuenta que en el Ecuador, este producto químico tiene bajo costo y su acceso no está limitado al público. El presente análisis muestra la comparación de los parámetros de rendimiento, obtenidos mediante la combustión de la gasolina en el motor de un vehículo bajo

condiciones de fábrica y la influencia en el rendimiento del mismo automotor sometido a la implementación de un sistema de inyección de metanol pulverizado, acoplado a la admisión de aire.

Palabras Clave: Equipo genérico, mantenimiento de baterías, vehículo híbrido.

ABSTRACT

The contemporary tendency to find new methods to upgrade the power of a vehicle, and the decreasing of the emission of pollution gases and reducing the consumption of gasoline, has derived in the investigation and rise of coupling systems for automobiles based in the use of chemical compounds compatible with the combustion of gasoline. The methanol has been actively speaking as one of the most used compounds in the elaboration of additives for fossil fuels, due that this production does not require of process with much complexity in relation with the obtaining of gasoline; turns out

viable the analysis of the applicability to evaluate its influence in the parameters of performance of an inside combustion engine with Otto cycle, taking in count that in Ecuador this product has low cost and is accessible for the public. The present analysis shows the contrast of the parameters of performance, obtained by the combustion of gasoline in the engine of a vehicle with fabric conditions and the influence in the performance of the same vehicle submitted to the implementation of a pulverized methanol injection system adapted to the admission of air.

Keywords: *Methanol Injection / methanol / gasoline combustion / attachable car systems.*

1. INTRODUCCIÓN

Debido al aumento de la contaminación del medio ambiente, es necesario encontrar alternativas que permitan disminuir la emisión de gases residuales de la combustión. Dentro del campo automotriz, se presenta al metanol como una opción de estudio, para abarcar campos ambientales y tecnológicos, mejorando la eficiencia de los motores y participando en la disminución de los índices de contaminantes. [1]

La acción del metanol ha sido registrada desde años atrás requiriendo un estudio complementario que permita evaluar la acción de este compuesto en la combustión, debido a sus propiedades químicas, para así proponer proyectos que a base de resultados, produzcan una producción en masa de metanol y sistemas complementarios que ayuden a la problemática actual basada en buscar alternativas de remediación ambiental. [2]

2. MATERIALES Y MÉTODOS

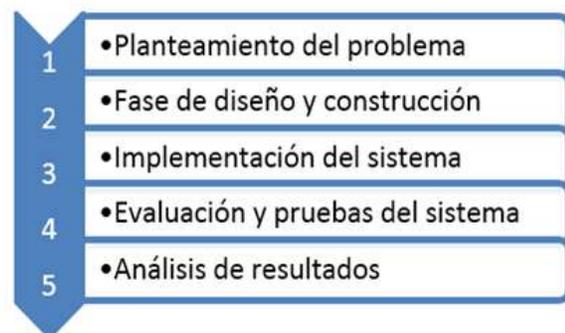
Estado del arte

El diseño del motor de combustión interna y de sistemas adaptables al vehículo está orientado para disminuir la contaminación y mejorar las cualidades antidetonantes del combustible preservando al mismo tiempo el rendimiento del mismo. Una de las formas de mejorar la combustión es enriquecer la mezcla aire/combustible mediante la inyección de agua/metanol en el puerto de carga de admisión de aire. [3]

El metanol es un combustible alternativo prometedor para los motores de encendido por chispa, aplicable para la mejora de la eficiencia térmica de la carga portuaria del motor debido a las características combustibles de este compuesto. Como resultado se consigue disminuir la emisión de NO_x, manteniendo la eficiencia térmica y disminuyendo también los niveles de HC y CO [4]

Metodología

El desarrollo de esta investigación considera los aspectos presentados en el siguiente flujo:



La volatilidad que presenta el metanol requiere tener precauciones para usar el sistema, de las que sobresalen la hermeticidad del sistema, correcto flujo de aire de admisión y buena conductividad

eléctrica hacia el módulo, razones por las cuales se requiere el diseño específico de un conducto de admisión de aire y un circuito de control y alimentación para prevenir cualquier mal funcionamiento al momento que el vehículo se haya puesto en marcha. [2]

En lo referente al colector de admisión de la figura 1, implementado resulta imperativo la evaluación del flujo de aire, descartando cualquier factor que no permita la circulación del aire aspirado de manera laminar, adjuntando la intervención de la inyección continua de metanol. [5]

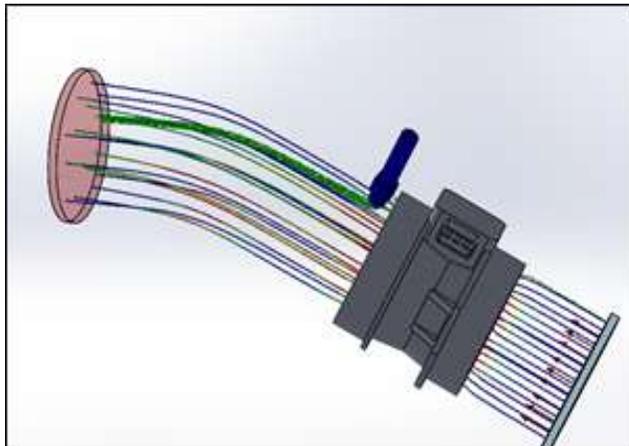


Figura 1. Evaluación del flujo de aire/metanol [5]

Así mismo, el circuito de control es el encargado de la alimentación de energía al módulo de control de la inyección figura 2, dotando del voltaje necesario y permitiendo encender o apagar el sistema según el requerimiento del conductor del automotor.



Figura 2. Comprobación del circuito alimentador de energía del

sistema [5]

Luego de la fase de prueba descrita anteriormente, se procede a la implementación figura 3 de los componentes, tomando en cuenta la hermeticidad requerida en el montaje del conducto colector de admisión nuevo, evitando cualquier fuga tanto de metanol como de aire.



Figura 3. Implementación del conducto de admisión diseñado para la inyección de metanol [5]

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación final figura 4 consiste en someter el vehículo a pruebas que permitan obtener una diferencia el uso de un sistema de admisión de aire convencional y la implementación de un sistema de inyección de metanol pulverizado aplicado a la admisión de aire evaluando la potencia, consumo de combustible y emisión de gases contaminantes.

- Evaluación de potencia.

El uso de metanol marca una diferencia en la potencia a partir de las 2100 rpm, rango desde que empieza a aumentar la misma en relación a la aspiración de aire estándar del vehículo, tomando en cuenta la limitación producida por la caja de cambios automática, donde se restringe la aceleración hasta 3000 rpm como protección para el motor y para la transmisión.



Figura 4 Evaluación de potencia en el dinamómetro de rodillos [5]

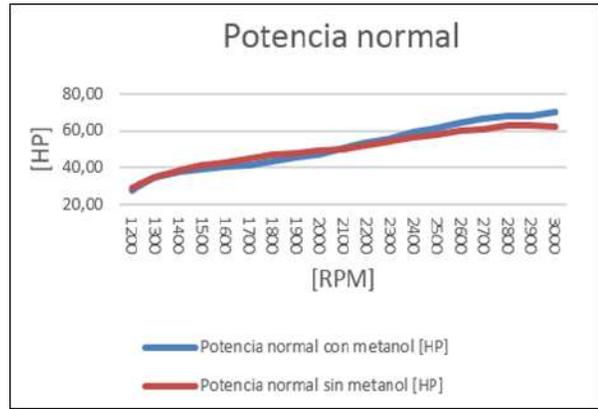


Figura 7. Comparación de la potencia normal obtenida mediante la prueba en el banco de rodillos [5]

El momento normal al aplicar metanol se muestra menor al igual que la potencia antes de las 2100 rpm, luego de este rango se evidencia una tendencia de conservación del torque.



Figura 5. Comparación de la potencia a la rueda obtenida mediante la prueba en el banco de rodillos [5]

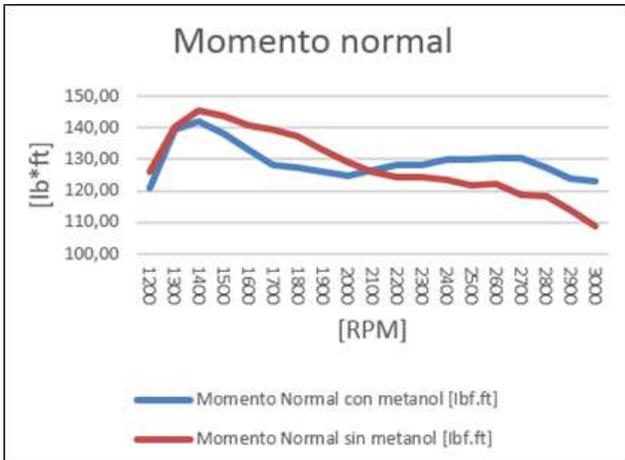


Figura 8. Comparación del momento normal obtenido mediante la prueba en el banco de rodillos [5]

En lo relacionado a la potencia, se evidencia que bajo la aplicación de metanol a partir de las 2000 revoluciones existe una tendencia de crecimiento que supera a los datos obtenidos bajo aspiración estándar de aire. En lo que se refiere al momento o torque, a partir de las 2000 rpm se evidencia un mantenimiento del torque usando metanol por encima de los datos resultantes de la evaluación del vehículo bajo carga normal de aire, denotando nuevamente el aumento de potencia a partir de este

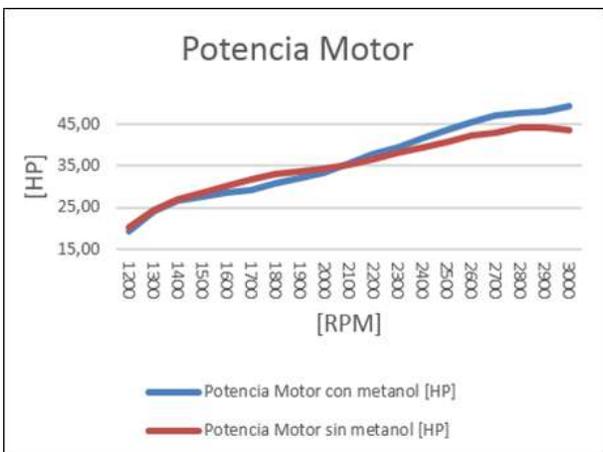


Figura 6. Comparación de la potencia motor obtenido mediante la prueba en el banco de rodillos [5]

régimen de revoluciones del motor.

- Evaluación de consumo de combustible

La aplicación de metanol muestra una tendencia de ahorro de gasolina sobresaliendo un menor consumo al aplicar el fluido bajo condiciones de alto tráfico.

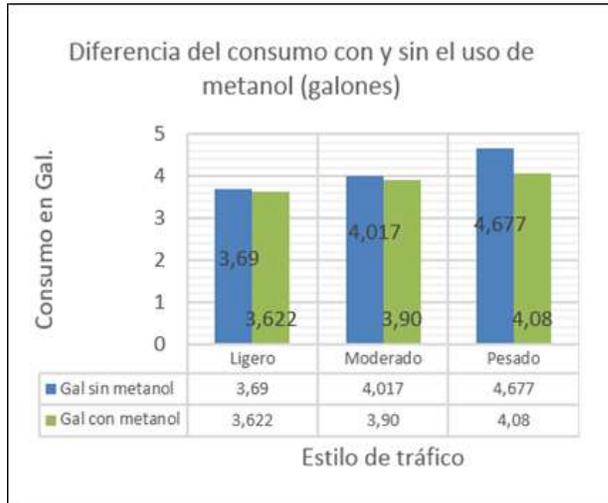


Figura 9. Diferencia de consumo de combustible en relación al tráfico de la prueba de ruta [5]

- Análisis de gases contaminantes.

La evaluación bajo la norma ASM 5015 y 2525 nos permite conocer la cantidad de gases residuales de la combustión de manera dinámica evaluándolo conjuntamente con una carga a vencer por el vehículo simulada por un banco de rodillos. [6]

Posteriormente se realiza el análisis de huella de carbono, donde los gases contaminantes son evaluados en relación a la emisión de dióxido de carbono y al consumo específico de combustible, obteniendo la cantidad de gramos de contaminante por kilómetro recorrido. [7]

- Gramos de CO₂ por kilómetro recorrido con metanol (A) y sin metanol (B).

$$\frac{grCO_{2(A)}}{Km} = 2380 \frac{grCO_2}{l \text{ combustible}} \cdot 0,23253 \frac{\text{litros}}{Km}$$

$$= 553,43 \frac{gr}{Km}$$

$$\frac{grCO_{2(B)}}{Km} = 2380 \frac{grCO_2}{l \text{ combustible}} \cdot 0,21775 \frac{\text{litros}}{Km}$$

$$= 518,26 \frac{gr}{Km}$$

- Cálculo de concentración de de CO₂, HC y NOx con metanol (A) y sin metanol (B), en relación a la emisión de CO₂ y al consumo de combustible.

Tabla 1 Resultados del análisis de gases bajo el ciclo ASM 5015 [5]

ASM 5015			
	Con metanol (A)	Sin metanol (B)	Unidad
CO	3,805	2,804	[% vol]
CO ₂	10,341	10,984	[% vol]
HC	1339,063	213,719	[ppm vol]
O ₂	0,219	0,063	[% vol]
NOx	55,156	104,625	[ppm vol]
Lambda	0,840	0,902	valor adimensional

- Concentración de CO₂

$$RCO_{(A)} = \frac{\%CO_{(A)}}{\%CO_{2(A)}} = \frac{3,805}{10,341} = 0,368 \quad \text{Ec. 1}$$

$$RCO_{(B)} = \frac{\%CO_{(B)}}{\%CO_{2(B)}} = \frac{2,804}{10,984} = 0,255 \quad \text{Ec. 2}$$

- Concentración de HC

$$RHC_{(A)} = \frac{\%HC_{(A)}}{\%CO_{2(A)}} = \frac{213,794}{10,984} = 19,457 \quad \text{Ec. 3}$$

$$RHC_{(B)} = \frac{\%HC_{(B)}}{\%CO_{2(B)}} = \frac{104,625}{10,984} = 9,525 \quad \text{Ec. 4}$$

- Concentración de NOx

$$RNO_{x(A)} = \frac{\%NO_{x(A)}}{\%CO_{2(A)}} = \frac{55,156}{10,341} = 5,334 \quad \text{Ec. 5}$$

$$RNO_{x(B)} = \frac{\%NO_{x(B)}}{\%CO_{2(B)}} = \frac{104,625}{10,984} = 9,525 \quad \text{Ec. 6}$$

- Factores de corrección:

$$a = R_{CO} \cdot d \quad \text{Ec. 7}$$

$$c = R_{HC} \cdot d \quad \text{Ec. 8}$$

$$f = R_{NO_x} \cdot d \quad \text{Ec. 9}$$

Siendo d:

$$d_{(A)} = \frac{1}{R_{CO(A)} + 3R_{HC(A)} + 1} = 0,00256 \quad \text{Ec. 10}$$

$$d_{(B)} = \frac{1}{R_{CO(B)} + 3R_{HC(B)} + 1} = 0,01677 \quad \text{Ec. 11}$$

Por lo tanto:

$$a_{(A)} = R_{CO(A)} \cdot d_{(A)} = 0,00094 \quad \text{Ec. 12}$$

$$a_{(B)} = R_{CO(B)} \cdot d_{(B)} = 0,00428 \quad \text{Ec. 13}$$

$$c_{(A)} = R_{HC(A)} \cdot d_{(A)} = 0,33216 \quad \text{Ec. 14}$$

$$c_{(B)} = R_{HC(B)} \cdot d_{(B)} = 0,32632 \quad \text{Ec. 15}$$

$$f_{(A)} = R_{NO_x(A)} \cdot d_{(A)} = 0,01368 \quad \text{Ec. 16}$$

$$f_{(B)} = R_{NO_x(B)} \cdot d_{(B)} = 0,15975 \quad \text{Ec. 17}$$

- Masas moleculares de los compuestos que intervienen en la combustión.

$$mCO = 12.1 + 16.1 = 28 \frac{gr}{mol} \quad \text{Ec. 18}$$

$$mHC = 1.1 + 12.1 = 13 \frac{gr}{mol} \quad \text{Ec. 19}$$

$$mNO_x = 14.1 + 16.1 = 30 \frac{gr}{mol} \quad \text{Ec. 20}$$

$$mC_8H_{18} = 12.8 + 1.18 = 114 \frac{gr}{mol} \quad \text{Ec. 21}$$

- Relación de masa de gases con respecto al combustible.

$$\frac{mCO}{mC_8H_{18}} = \frac{28 \frac{gr}{mol}}{114 \frac{gr}{mol}} = 0,24561 \quad \text{Ec. 22}$$

$$\frac{mHC}{mC_8H_{18}} = \frac{13 \frac{gr}{mol}}{114 \frac{gr}{mol}} = 0,11404 \quad \text{Ec. 23}$$

$$\frac{mNO_x}{mC_8H_{18}} = \frac{30 \frac{gr}{mol}}{114 \frac{gr}{mol}} = 0,26316 \quad \text{Ec. 24}$$

- Por lo tanto se obtienen los siguientes factores con metanol (A) y sin metanol (B).

$$FCO_{(A)} = a_{(A)} \cdot \frac{mCO}{mC_8 \cdot H_{18}} = 0,000232$$

$$FHC_{(A)} = c_{(A)} \cdot \frac{mHC}{mC_8 \cdot H_{18}} = 0,037878 \quad Ec. 25$$

$$FNOx_{(A)} = f_{(A)} \cdot \frac{mNOx}{mC_8 \cdot H_{18}} = 0,0036 \quad Ec. 26$$

$$FCO_{(B)} = a_{(B)} \cdot \frac{mCO}{mC_8 \cdot H_{18}} = 0,001051 \quad Ec. 27$$

$$FHC_{(B)} = c_{(B)} \cdot \frac{mHC}{mC_8 \cdot H_{18}} = 0,037211 \quad Ec. 28$$

$$FNOx_{(B)} = f_{(B)} \cdot \frac{mNOx}{mC_8 \cdot H_{18}} = 0,04203 \quad Ec. 29$$

Los resultados son comparados con el anexo 6 de la norma NTE INEN 2204:2002, donde se contempla los valores máximos de emisiones permitidos en el Ecuador. [8] [5]

Tabla 2 Comparación de concentración de gases residuales con la norma NTE INEN 2204:2002 [8] [5]

Concentración de gramos por kilómetro recorrido			
gr/m3	CON METANOL	SIN METANOL	LÍMITE MÁXIMO
CO2	518,26	553,43	-
CO	0,038	0,185	6.2
HC	6,26	6,57	0.5
NOx	0,59	6,95	1.1

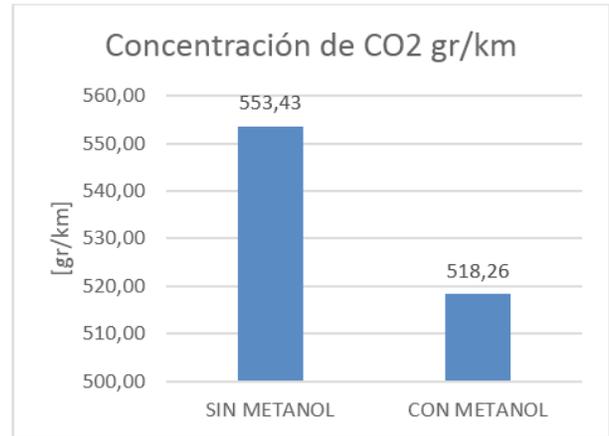


Figura 10 Concentración de CO2 (gr) por kilómetro recorrido [5]

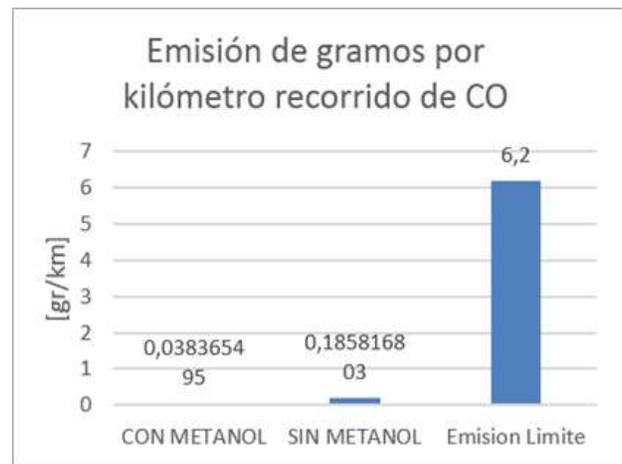


Figura 11 Concentración de CO (gr) por kilómetro recorrido [5]

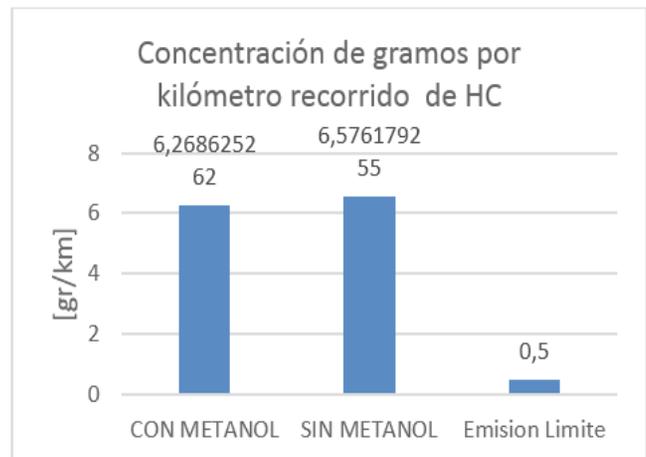


Figura 12 Concentración de HC (gr) por kilómetro recorrido [5]

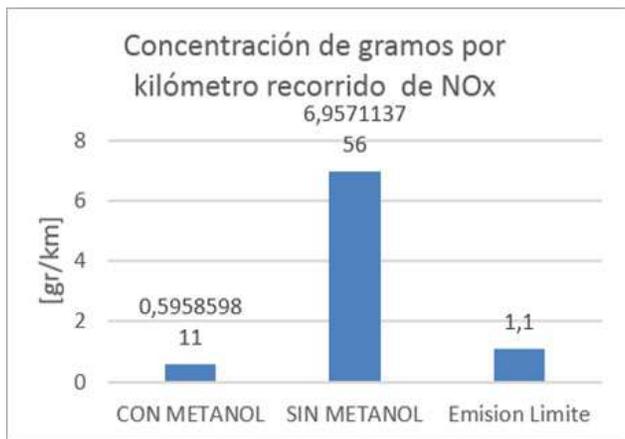


Figura 13 Concentración de NOx (gr) por kilómetro recorrido [5]

La emisión final de contaminantes al aplicar metanol en la admisión de aire (gr/km), muestra disminución en la producción de CO y NOx, mientras que en lo que respecta a la emisión de HC, existe una tendencia de mantenimiento de emisiones, manteniéndose muy por encima del límite permitido para ambos casos.

4. CONCLUSIONES

Se pone en consideración las siguientes conclusiones con el propósito de que se constituyan en un referente y fuente de consulta por parte de profesionales relacionados al área.

- El sistema de inyección de metanol implementado para analizar la influencia en el rendimiento del motor en parámetros de potencia y consumo, está diseñado para adaptarse al vehículo HYUNDAI SANTA FÉ 4WD 2.7 litros mediante el uso de un acople hermético en la admisión de aire dentro del habitáculo del motor y es abastecido del fluido en estudio por medio de una bomba regulada por un módulo ubicado en el panel de instrumentos, captando así el metanol desde un tanque de almacenamiento ubicado en la parte posterior del automóvil y llevado por una cañería hasta el compartimiento del motor.
- Se mejora la potencia normal en 10 %, optimizando la potencia a la rueda y la potencia motor en 4% y 11% respectivamente hasta las 3000 RPM.
- La disminución del factor lambda (de 0.99 a 0.88 en la prueba ASM 2525 y de 0.9 a 0.84 en la prueba ASM 5015) indica que la inyección de metanol en la admisión de aire contribuye para obtener una mezcla rica, teniendo en cuenta que se está inyectando la misma cantidad de combustible durante el funcionamiento estándar del motor y con el uso del sistema de inyección del fluido en estudio.
- Mediante la prueba de gases dinámica, los índices de emisión de monóxido de carbono, hidrocarburos, y oxígeno molecular (CO, HC, y O₂), aumentan tanto en la prueba ASM 2525, así como también en la prueba ASM 5015, debiéndose a que con el uso del metanol pulverizado en la admisión de aire, la composición estequiométrica aire/combustible corresponde a una mezcla “rica” demostrada en la variación del valor lambda obtenido mediante la misma prueba mostrando al igual disminución en los valores dióxido de carbono (CO₂).
- Los índices de NOx son indicativos de la temperatura de la combustión, y mediante el análisis dinámico de gases se determinó que al usar metanol se disminuye la emisión de este contaminante, refrigerando directamente la combustión de la gasolina dentro del cilindro.
- La concentración de gramos por kilómetro recorrido que se obtuvo con y sin el uso de metanol en comparación con la legislación ecuatoriana postulada en la norma NTE INEN 2204:2002 indica que las emisiones correspondientes al monóxido de carbono

y Óxidos nitrogenados (CO y NO_x) se encuentran bajo el rango permitido, mientras que la producción de hidrocarburos sobrepasa los límites de emisiones aceptadas.

- Mediante la prueba de ruta, se obtiene como resultado la disminución en el consumo de galones de combustible en un 6.35%, comprobando la efectividad del metanol como aditivo elevador de octanaje, ahorrando el 4.33% del valor invertido en dólares tomando en cuenta el costo del metanol.
- Luego de enlazar los resultados de la prueba de ruta (consumo de combustible) y el análisis de emisión de gases (prueba dinámica ASM 5015) se llegó a obtener la emisión de contaminantes con respecto al valor de CO₂ que se está eliminando mediante la combustión, evidenciando la disminución del desecho de CO, HC, y NO_x al ambiente al momento de usar el sistema de inyección de metanol, indicando mediante la disminución en la emisión de NO_x el descenso de la temperatura de la combustión.

REFERENCIAS

- [1] C. Zullian, «Manejo de petróleo y gas en superficie,» 2013. [En línea]. Available: <http://manejodepetroleoygas.blogspot.com/2013/12/generalidades-de-refinacion-de.html>. [Último acceso: 12 Agosto 2015].
- [2] Methanol Institute, Boletín Técnico de Producto de Mezclas de Metanol, Washington D.C.: Methanol Institute, 2008.
- [3] S. Breda, F. Berni, A. d'Adamo, . F. Testa y . E. Severi, «Effects on Knock Intensity and Specific Fuel Consumption of Port Water/Methanol Injection in a Turbocharged GDI Engine: Comparative Analysis,» ScienceDirect, p. 7, 2015.
- [4] Fangxi Xie, Xiaoping Li, Yan Su y Wei Hong, «Influence of air and EGR dilutions on improving performance of a high compression ratio spark-ignition engine fueled with methanol at light load,» Elsevier, 2015.
- [5] A. S. Villacrés, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INYECCIÓN DE METANOL EN EL VEHÍCULO HYUNDAI SANTA FÉ 2.7 LITROS PARA EL ANÁLISIS DE RENDIMIENTO, Latacunga, 2015.
- [6] Environmental Protection Agency, Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emission Standards, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications, United States, 1996.
- [7] INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL, «INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL, PRUEBA EN RUTA PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE CO₂ PRODUCIDO EN CIUDAD Y CARRETERA POR EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO NISSAN SENTRA 1.6,» Quito, 2012.
- [8] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 2 204:2002, Quito, Pichincha, 2002.
- [9] Instituto Ecuatoriano de Normalización, Gasolina, Requisitos, Quito, 2008.
- [10] Ministerio de recursos Naturales no Renovables, LEY DE HIDROCARBUROS, 2013.
- [11] S. J. Weininger y F. R. Stermitz, Química

orgánica, Revete, 2009, p. 1202.

BIOGRAFÍA



1 Sebastián Villacrés, Ingeniero Automotriz, Asesoramiento en Mecánica y Electrónica del Automóvil, asistente del área de ensayos destructivos y no destructivos de carrocerías metálicas del Centro de fomento productivo carrocerero

metalmecánico de Tungurahua.



2 Danilo Zambrano, Ingeniero Automotriz, Magíster en Sistemas Automotrices, Magíster en Gestión de la Producción, Diploma Superior en Autotrónica,

Director carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.



3 José Quiroz, Ingeniero Automotriz, Magíster en Gestión de Energías, Diploma superior en Autotrónica, Diploma Superior en Gestión para el Aprendizaje Universitario, Jefe de laboratorio de Autotrónica Universidad de Fuerzas Armadas

ESPE.

Registro de publicación:

Fecha de recepción	21 de agosto 2015
Fecha aceptación	09 noviembre 2015