

SISTEMA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO PARA LA ALIMENTACIÓN VEHICULAR DUAL GASOLINA - HHO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

HYDROGEN GENERATING SYSTEM FOR VEHICULAR POWER DUAL FUEL - HHO IGNITION ENGINES

¹Germán Erazo Laverde, ²Diego Juma Jar, ³Wladimir Martínez Anagonó, ⁴Juan Castro Clavijo

¹⁻⁴ Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica Quijano y Ordoñez y Marqués de Maénza s/n
E-mail: ¹wgerazo@espe.edu.ec, ²daljuma@yahoo.com, ³wlamaran01@hotmail.com, ⁴jtcastro@espe.edu.ec

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.9 (13)

RESUMEN

La investigación tiene como propósito el diseño, construcción, implementación y pruebas de un sistema de generación a bordo de gas HHO también conocido como gas Brown en un motor de cuatro tiempos marca Kawasaki modelo ZX 750F de un vehículo monoplaza.

El gas HHO que se produce a demanda se suministra de forma directa al sistema de alimentación del motor, el cual se combina con la mezcla aire combustible obteniéndose como resultado un carburante complementario a la gasolina. Se desarrolla un sistema eficiente que, sin realizar modificaciones, busca mejorar las condiciones de funcionamiento del motor de combustión.

El gas combustible se obtiene mediante electrólisis del agua químicamente pura y un electrolito el cual permite separarla en sus elementos constitutivos, hidrógeno y oxígeno, en forma gaseosa.

Instalado el sistema se determina los efectos

del gas HHO, mediante el análisis de las curvas características como: potencia, torque, autonomía (consumo de combustible) y emisión de gases contaminantes para determinar la factibilidad técnica del uso del hidrógeno como combustible alternativo.

Palabras Clave: Gas HHO, electrólisis, hidrógeno, combustible alternativo

ABSTRACT

The research aims to design, construction, implementation and testing of a system for generating HHO gas aboard also known as Brown gas into a four-stroke engine Kawasaki ZX 750F brand of car vehicle type.

The HHO gas produced on demand is supplied directly to the motor supply system, which is combined with the fuel air mixture to obtain as a result a complementary fuel to gasoline. An efficient system, without modification, seeks to

improve the operating conditions of the combustion engine is developed.

The fuel gas is produced by electrolysis of chemically pure water and an electrolyte which allows separate it into its components, hydrogen and oxygen, in gaseous form.

Installed the system effects HHO gas is determined by analyzing the characteristic curves as: power, torque, autonomy (fuel) and greenhouse gas emissions to determine the technical feasibility of using hydrogen as an alternative fuel.

Keywords: *HHO gas, electrolysis, hydrogen, alternative fuel.*

1. INTRODUCCIÓN

La marcada dependencia hacia los combustibles fósiles en los últimos años (carbón, petróleo y gas natural) plantea un difícil inconveniente ya que éstos no representan un recurso infinito, con el tiempo, el planeta se quedará sin combustibles fósiles o el costo por obtenerlos será demasiado elevado.

Adicionalmente, los combustibles fósiles hacen que la contaminación del aire, agua y suelo provoque gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global, estos factores negativos traen consigo efectos negativos en la salud de los seres vivos.

El desarrollo de las principales ciudades en el Ecuador en los últimos años ha sido muy notable, así como también el crecimiento del parque automotor y el uso excesivo del petróleo como fuente principal de combustible para los vehículos con motores gasolina y diesel.

En los últimos años se ha visto la necesidad de desarrollar mecanismos efectivos y eficientes que permitan optimizar los principales parámetros de los motores de combustión interna: potencia, torque y consumo de combustible.

Esto ha incentivado a impulsar el desarrollo y ejecución de este proyecto vinculado con la energía alternativa por medio de la utilización de combustibles amigables con el medio ambiente.

Con la ejecución de esta idea se espera obtener beneficios a corto y largo plazo, mediante la instalación de un generador de gas HHO, intentando obtener un mayor recorrido del vehículo con menor cantidad de gasolina, además de disminuir el alto grado de contaminación que producen los vehículos, con el fin de aminorar el índice de enfermedades causadas por la polución.

La principal ventaja de usar gas HHO como fuente de energía en el proceso de combustión es que no genera emisiones contaminantes debido a que como resultado de la combustión se genera vapor de agua, disminuyendo de esta manera el impacto al medio ambiente producido por motores y el funcionamiento de sus sistemas de alimentación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. *Uso del hidrógeno en automoción*

El hidrógeno se puede emplear en automoción de dos formas distintas. Como combustible de un motor de combustión interna alternativo (M.C.I.). En este caso su rendimiento máximo sobre el poder calorífico inferior (P.C.I.) es del 27% aproximadamente (rendimiento medido como el cociente entre la energía mecánica a la salida del eje del motor y la energía entregada por el combustible). También se puede emplear como combustible de una pila de combustible. En este

caso el rendimiento está en torno al 60% sobre el P.C.I. (rendimiento medido como el cociente entre la energía entregada por el eje del motor eléctrico y la energía entregada por el combustible de la pila) [1].

2.2. Gas Brown

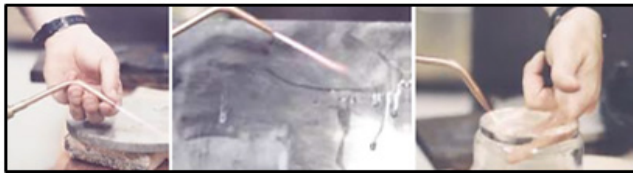


Figura 1. Antorcha de soldadura con gas Brown

El gas HHO es conocido también como gas Brown, en honor a Yull Brown, a quien se le acredita la patente de producción del gas HHO en el año 1974. Yull desarrolló un método para electrolizar el agua en una mezcla estequiométrica exacta obteniendo como resultado una sustancia utilizada en procesos de soldadura, la cual es altamente inflamable pero no es combustible, cuando se utiliza correctamente. En los últimos años se han desarrollado dispositivos que bajo este principio generan el gas Brown a demanda, siendo utilizado como combustible complementario a la gasolina, mejorando su rendimiento y reduciendo además el nivel de emisiones. De esta manera se puede electrolizar pequeñas cantidades de agua en un sistema a bordo del vehículo y convertirla en gas HHO, el cual se envía de forma directa al sistema de admisión del motor ayudando a que la combustión sea más completa y limpia. [2]

2.3. Tipo de celdas electrolizadoras

Existen dos tipos de celdas electrolizadoras que se utilizan en el campo automotriz. Ambos diseños se fabrican en acero inoxidable.

Celdas secas

Son celdas más fáciles de manejar y diseñar. Las celdas secas o conocidas como dry cells se

caracterizan porque, a diferencia de las celdas húmedas, no se encuentran sumergidas en agua, es decir, la misma celda es el contenedor. Los electrodos de este tipo de celdas están separadas por juntas (generalmente de caucho) las cuales evitan que el agua se escape de la celda hacia las conexiones eléctricas, o que el electrolito se ponga en contacto con los bordes de dichas placas [4][5].

Celdas húmedas

También llamadas sumergibles, se caracterizan porque los electrodos van sumergidos en la solución de electrolito dentro de un contenedor. Es un diseño poco eficiente ya que trae consigo varios inconvenientes de funcionamiento. El oxígeno producido en el proceso empieza a reaccionar con la superficie metálica del ánodo provocando oxidación, erosionándola. Otro inconveniente radica en que no se puede disipar el calor producido por la electrólisis, produciéndose vapor de agua que se mezcla con el gas HHO [6][7].

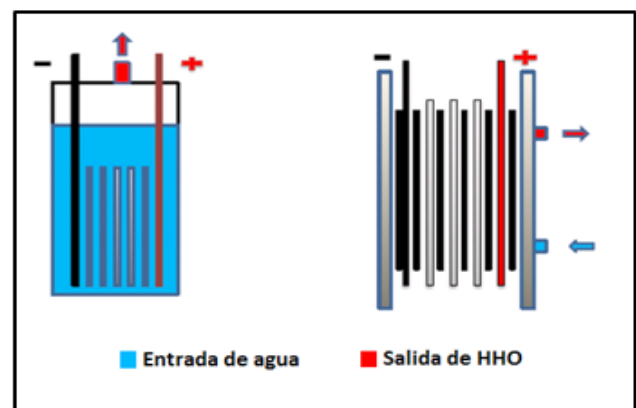


Figura 2. Representación de la celda húmeda y celda seca

2.4. Diseño y construcción

Se procede a diseñar y construir el sistema de generación de gas HHO para vehículos, con las siguientes características:

En la tabla 1 se presentan las especificaciones de cada uno de los elementos constitutivos del generador diseñado.

Tabla 1. Ficha técnica del generador de gas HHO

ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR DE GAS HHO	
Número de placas	20
Número de placas negativas	4
Número de placas positivas	3
Número de placas neutras	13
Número de separadores	22
Cámaras generadoras	6
Toma de abastecimiento	1
Toma de salida de gas al burbujeador	2
Voltaje	12 V DC
Consumo eléctrico	12 A
Caudal	$1,33 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$
Capacidad de agua	$6,132 \times 10^{-8} \text{ m}^3$

Para realizar el cálculo de producción de gas HHO, se calcula la cantidad de gas que genera en 1 minuto (60s), con una intensidad de 12 A y en condiciones de presión y temperatura normales, es decir a 1 atm y 25°C (298°K) respectivamente para lo cual es necesario utilizar las siguientes ecuaciones:

$$m = \frac{E.I.t}{F} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

m= Masa de la sustancia alterada (g)

E= Peso equivalente (g/mol)

I= Intensidad de corriente (A)

t= Tiempo (s)

F= Constante de Faraday= 96500 C/mol

$$E = \frac{Pa}{V} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde [7][8]:

Pa= Peso atómico (g)

V= Valencia (mol)

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

I= Intensidad (A)

Q= Carga eléctrica (Coulomb)

t= Tiempo (s)

$$P.V = n.R.T \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

P= Presión (atm)

V= Volumen (l)

n= Numero de moles (mol)

R= constante universal de los gases 0,082 (atm×l)/(mol×°K)

T= Temperatura (°K)

La tabla 2 muestra el flujo total de HHO producido por el generador, luego de calcular los volúmenes de sus gases componentes, es decir, oxígeno e hidrógeno

Tabla 2. Volúmenes obtenidos

Volumen de hidrógeno en cada celda	$V_{\text{H}}=9,1 \times 10^{-8} \text{ m}^3$
Volumen total de hidrógeno	$V_{\text{totalH}}=5,46 \times 10^{-7} \text{ m}^3$
Volumen de oxígeno en cada celda	$V_{\text{totalO}}=2,73 \times 10^{-7} \text{ m}^3$
Volumen total de oxígeno	$V_{\text{O}}=4,55 \times 10^{-8} \text{ m}^3$
Volumen de HHO producido	$V_{\text{HHO}}=8 \times 10^{-7} \text{ m}^3$

Se eligió un mayor número de placas negativas debido que en la reacción de la electrólisis el oxígeno se genera en las placas positivas y el hidrógeno en las placas negativas, Estas placas están situadas a los extremos del generador antes de las placas tope, de esta manera el gas producido sale con facilidad.

El generador consta de las siguientes partes:

- 13 placas neutras.
- 4 placas negativas.
- 3 placas positivas.
- 2 placas para topes.

Se ajustan los pernos figura 3 existentes en el generador de gas HHO para mantener su hermeticidad.

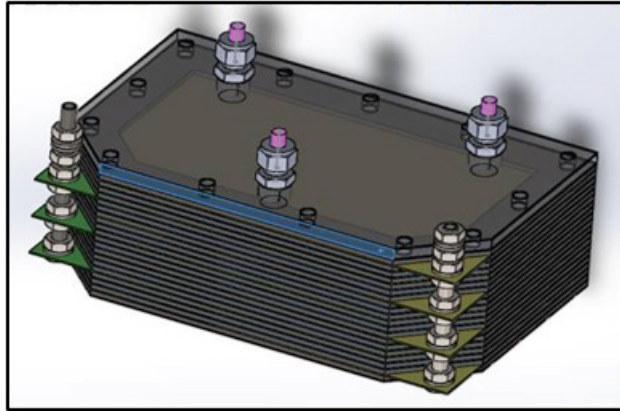


Figura 3. Generador de gas HHO

El depósito está diseñado para albergar $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (2 litros) de agua destilada con electrolito (KOH) y los $5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (0,5 litros) donde se aloja el gas HHO para luego ingresar a la admisión del motor de combustión interna.

El burbujeador es un dispositivo de seguridad que funciona como válvula unidireccional. En lo referente a su estructura, básicamente es un recipiente parcialmente lleno de agua, en este caso el nivel del depósito no debe ser menor a $\frac{1}{4}$ de la capacidad total del mismo.

Tabla 3. Ficha técnica del depósito y burbujeador

ESPECIFICACIONES DEL DEPÓSITO Y BURBUJEADOR	
Capacidad	$2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
Altura	0,27 m
Diámetro	0,11 m
Toma del burbujeador	2
Toma de abastecimiento al generador	1

Toma de salida de gas a la admisión	1
Tapa de suministro al depósito	1

El depósito y el burbujeador figura 4 son construidos en un solo conjunto con todos los componentes establecidos previamente en el diseño

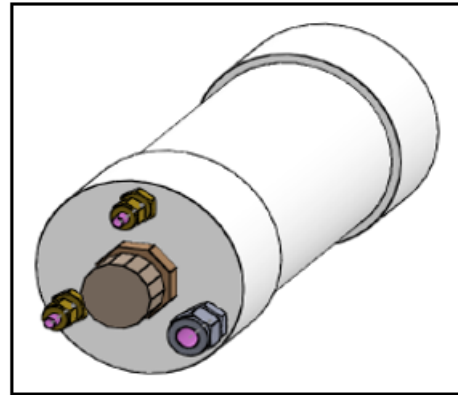


Figura 4. Depósito y burbujeador

El circuito eléctrico figura 5 consta de varios elementos para comprobar el buen funcionamiento del generador

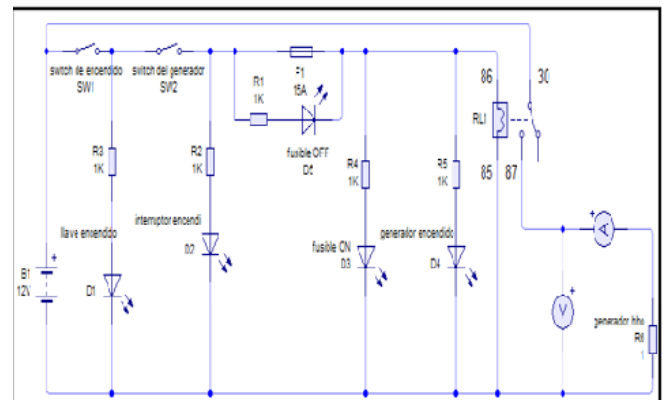


Figura 5. Esquema eléctrico

Con los materiales se instaló los componentes del módulo de control figura 6.



Figura 6. Módulo de control

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para verificar los efectos producidos por el sistema de generación de gas HHO diseñado, se procedió a realizar el análisis de cada uno de los parámetros característicos del motor de combustión interna del vehículo monoplaza (torque, potencia, consumo de combustible y emisión de gases). Dicho análisis se realiza en primera instancia con el motor del vehículo en condiciones normales de funcionamiento figura 7, es decir, con el sistema de alimentación convencional del motor. Posteriormente, el análisis se ejecuta en el sistema dual gasolina – HHO figura 8. Finalmente se compara los parámetros analizados en ambas condiciones mediante la tabulación de los datos obtenidos [9].

Potencia y Torque

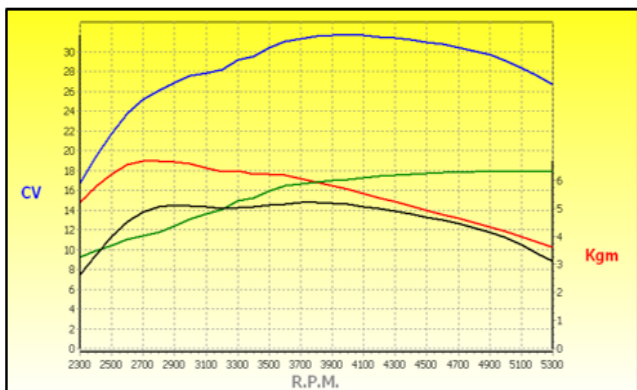


Figura 7. Curvas de torque y potencia con el sistema convencional de gasolina

La potencia máxima a 4000 rpm utilizando el sistema convencional de alimentación de gasolina es de 31,7 CV y utilizando el sistema dual se observa una potencia máxima de 36,5 CV a 4800 rpm.

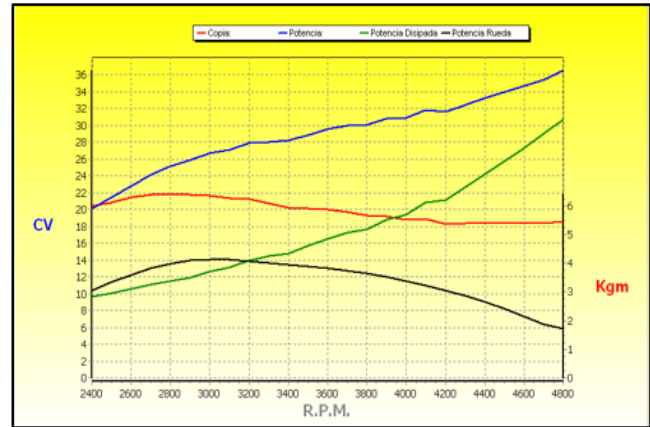


Figura 8. Curvas de torque y potencia con el sistema dual gasolina – HHO implementado

Las pruebas de consumo de combustible figura 9 se ejecutaron mediante una ruta previamente establecida de 35 kilómetros, empezando la prueba en el sector de Machachi, provincia de Pichincha y concluyendo la misma en Lasso, ubicado en la provincia de Cotopaxi. Las seis pruebas de autonomía se desarrollaron con el depósito de combustible lleno a toda su capacidad de almacenamiento, es decir 5 galones equivalente a 18,297 litros de gasolina.

Gráfico comparativo de consumo de combustible sistema convencional vs. sistema gasolina -HHO

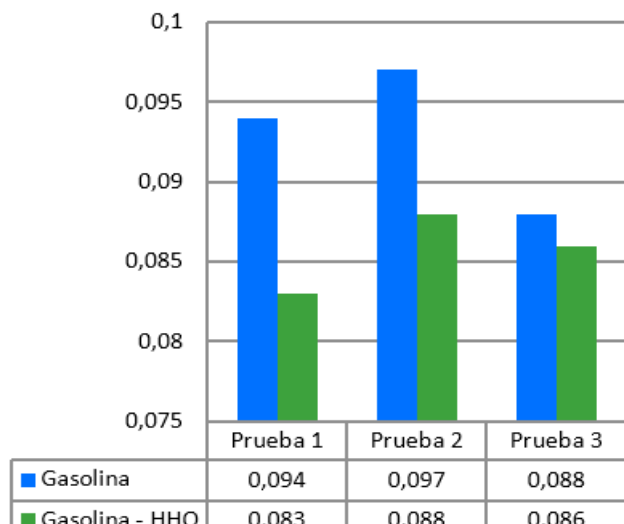


Figura 9. Análisis de consumo de combustible con ambos sistemas

Al obtener un promedio de las tres pruebas realizadas figura 9 con el sistema de alimentación convencional y con el sistema dual gasolina – HHO se obtuvieron valores de 0,093 y 0,088 litros por cada kilómetro recorrido respectivamente. Con ello se obtuvo una variación de 7,53%, que representa el ahorro de combustible obtenido utilizando al hidrógeno como complemento de la gasolina.

Emisiones de gases contaminantes

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos al realizar la prueba de emisiones. Se analiza el aumento o disminución de cada uno de los gases producidos en el proceso de combustión del motor.

Tabla 4. Resultados obtenidos prueba de gases (ralentí)

Gas	Sistema convencional gasolina	Sistema dual gasolina - HHO	Porcentaje de Variación
CO (%)	0,39	0,31	20,51% (disminución)
HC (ppm)	275	143	48,00% (disminución)
CO2 (%)	14,5	13,7	5,52% (disminución)
O2 (%)	3,89	3,93	1,02% (aumento)
Lambda	1,154	1,175	1,79% (aumento)

Las emisiones de CO, en las pruebas realizadas son de 0,39% con el sistema convencional y de 0,31% figura 10 con el sistema implementado, produciéndose una variación de 20,51%. El porcentaje de CO es mayor utilizando gasolina como combustible, lo cual indica que existe una combustión incompleta.

Las emisiones de CO, en las pruebas realizadas son de 0,39% con el sistema convencional y de 0,31% figura 10 con el sistema implementado, produciéndose una variación de 20,51%. El

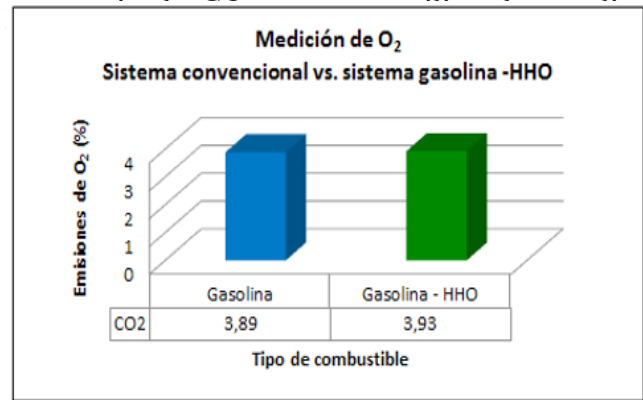


Figura 10..Emisiones de CO

En cuanto se refiere a los hidrocarburos no combustionados, existe una considerable disminución en partículas por millón figura 11. El sistema convencional general 275 ppm de HC, a diferencia del sistema dual que produce 143 ppm de HC, obteniéndose una disminución del 48%.

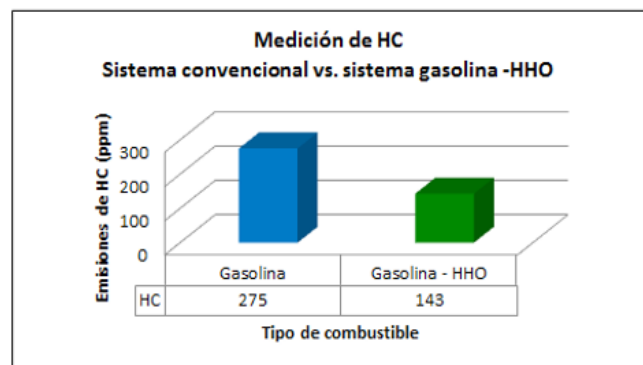


Figura 11. Emisiones de HC

En el caso del CO₂, figura 12 existe una ligera variación entre los sistemas de alimentación. Con sistema convencional el valor es de 14,5% mientras que con el sistema con gas HHO el valor es de 13,7%, con una variación de 5,52%. Mientras más alto sea el porcentaje de CO₂ mejor será el proceso de combustión.

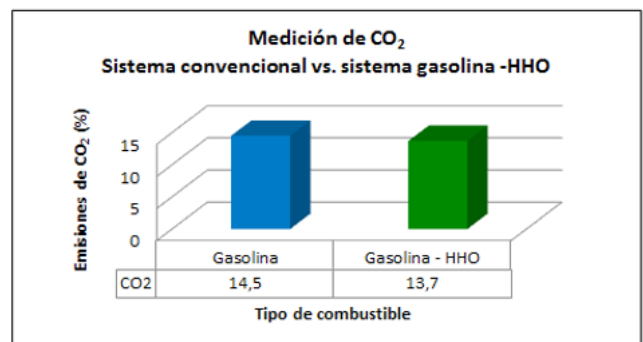


Figura 12. Emisiones de CO₂

El contenido de O₂ figura 13 con gasolina es de 3,89% y con gas HHO es de 3,93%, produciéndose una leve variación de apenas 1,02%, lo cual demuestra que la lectura con ambos sistemas es de una mezcla pobre.

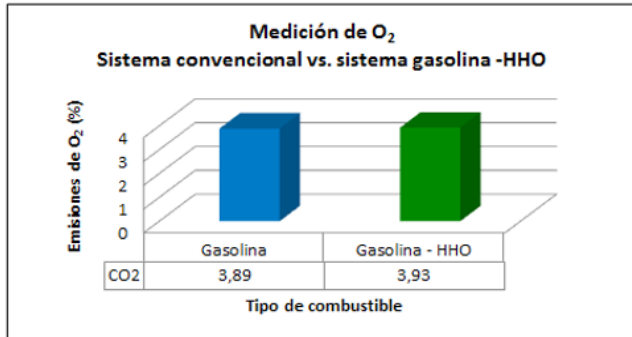


Figura 13. Emisiones de O₂

CONCLUSIONES

Se instaló de manera favorable el sistema dual (HHO/gasolina) en el vehículo monoplaza, obteniéndose como resultados finales que la potencia máxima aumentó en un porcentaje de 15,14%.

El torque máximo tuvo una reducción de 4,91%. La prueba de autonomía, el sistema dual gasolina HHO permitió obtener un ahorro de combustible de 7,53%.

El sistema de alimentación dual diseñado e instalado permite que se realice una combustión más completa en relación al sistema convencional de gasolina, lo cual se refleja en la disminución en porcentaje de emisiones de C, HC y una relativa igualdad en la emisión de CO₂.

REFERENCIAS

[1] Atkins, P. (2006). Principios de química los principios del descubrimiento. Madrid: Editorial Médica Panamericana S.A.

[2] BOSCH. (2003). Técnica de los gases de escape para motores de gasolina. BOSCH.

[3] Crouse, W., & Anglin, D. (1992). Mecánica de la motocicleta. Barcelona: MARCOMBO.

[4] Fowler, R. (1994). Electricidad: principios y aplicaciones. Barcelona: Reverté S.A.

[5] Gayoso, M. (1991). Resolución de problemas de química general. Barcelona: Reverté S.A.

[6] Gutiérrez, L. (2005). El hidrógeno, combustible del futuro. Obtenido de Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: México: Editorial Prentice Hall.

[7] Llorca, J. (2010). El hidrógeno y nuestro futuro energético. Barcelona: UPC.

[8] Sullivan, M. (2006). Álgebra y Trigonometría. Prentice Hall.

[9] Zaki, A. (2012). UMP Institutional Repository. Obtenido de DEVELOPMENT HYDROGEN GAS GENERATOR FOR DUAL FUEL ENGINE USING YULL BROWN METHOD: <http://umpir.ump.edu.my/2980/1/CD6124.pdf>

BIOGRAFÍA



Germán Erazo, nació en la ciudad de Latacunga, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz e Industrial, Estudios de Posgrado en Autotrónica, Gestión de Energías y Administración de Empresas. Docente Tiempo completo en la Universidad

de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga.



Juma Yar Diego Alonso, nació en la ciudad de Ibarra, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, profesional independiente asesor en sistemas mecánicos y electrónicos del automóvil



Martínez Anangonó Holguer Wladimir, nació en la ciudad de Quito, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, profesional independiente asesor en sistemas mecánicos y electrónicos del automóvil.



Juan Castro, nació en la ciudad de Ambato, Ecuador. Es Ingeniero Mecánico, Estudios de Posgrado en Docencia y Gestión de Energías. Docente Tiempo completo en la Universidad de las

Fuerzas Armadas ESPE Latacunga.

Registro de publicación:

<i>Fecha de recepción</i>	<i>10 de septiembre 2015</i>
<i>Fecha aceptación</i>	<i>28 noviembre 2015</i>