

Influencia de productos de la hidrólisis en el desempeño de un vehículo que opera con gasolina y gas natural en la altura

Influence of hydrolysis products on the performance in altitude of a gasoline and natural gas-fueled vehicle

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.08>

Artículo de Investigación Científica. Fecha de Recepción:13/06/2018, Fecha de Aceptación:11/01/2019.

Faustino Moreno-Gamboa 

Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, (Colombia)
faustinomoreno@ufps.edu.co

Elkin Gregorio Flórez-Serrano 

Universidad de Pamplona. Pamplona, (Colombia)
eflorez@unipamplona.edu.co

Gonzalo Guillermo Moreno-Conteras 

Universidad de Pamplona. Pamplona, (Colombia)
gmoren@hotmail.com

Para citar este artículo:

Faustino Moreno-Gamboa; Elkin Flórez-Serrano; Gonzalo Moreno-Conteras "Influencia de Productos de la Hidrólisis en el Desempeño de un Vehículo que Opera con Gasolina y Gas Natural en la Altura", *INGE CUC*, vol. 15, no. 1, pp. 89-98, 2019. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.08>

Resumen

Introducción– En la actualidad existe un gran interés en la reducción en el uso de combustibles fósiles por la variación de los precios y los fuertes controles normativos, por lo cual se buscan métodos para disminuir el consumo de combustible en los motores de combustión interna, tales como el suministro de productos de la hidrólisis del agua en la admisión del motor.

Objetivo– El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de una metodología experimental aplicada para estimar el desempeño mecánico y ambiental de un vehículo alimentado con gasolina y gas natural, específicamente cuando al motor se le suministran productos resultantes de la hidrólisis del agua.

Metodología– Para el suministro de dichos productos al vehículo se le instaló un dispositivo hidrólisis externo, y el vehículo fue instrumentado con una quinta rueda, sensores de temperatura y velocidad de revoluciones del motor, para realizar pruebas de aceleración en una carretera plana y una carretera con pendiente longitudinal. Adicionalmente, se realizaron pruebas de torque y potencia con dinamómetro de chasis y pruebas de emisiones contaminantes y de consumo de combustible. Las pruebas fueron realizadas en las afueras de la ciudad de Bogotá DC - Colombia, ubicada a 2650 mts sobre el nivel del mar.

Resultados– Los resultados muestran que los productos de la hidrólisis no mejoran el desempeño mecánico del vehículo, ya que aumentan el tiempo para llegada a las velocidades definidas en las pruebas de aceleración hasta en un 18% en el motor con gasolina y 7% en el motor con gas natural, mientras que el torque y la potencia del motor se incrementa alrededor del 1%. Por otro lado, los resultados de las pruebas de emisiones contaminantes indican que el consumo de combustible se reduce aproximadamente en un 7%.

Conclusiones– Los resultados indican que el desempeño del vehículo no mejora, aunque el consumo de combustible disminuye, el desempeño ambiental no disminuye.

Palabras clave– Vehículo; gas natural; gasolina; hidrólisis; combustión; desempeño.

Abstract

Introduction– There is a great interest in reducing the use of fossil fuels due to the variation of prices and strong regulatory controls, which is why methods are being sought to reduce fuel consumption in internal combustion engines, such as the supply of products from the Hydrolysis of the water in the engine manifold.

Objective– The objective of this paper is to present the results of an experimental methodology applied to estimate the mechanical and environmental performance of a vehicle fueled with gasoline and natural gas, when the engine is supplied with products resulting from the hydrolysis of water.

Methodology– For the supply of said products to the vehicle, an external hydrolysis device was installed, and the vehicle has been instrumented with a fifth wheel, temperature and engine revolutions speed sensors, to perform acceleration tests on a flat road and a road with longitudinal slope angle. Additionally, torque and power tests with a chassis dynamometer, and pollutant emissions and fuel consumption tests were carried out. The tests were conducted in the outskirts of the city of Bogotá DC - Colombia, located at 2650 m above sea level.

Results– The results show that the products of hydrolysis do not improve the mechanical performance of the vehicle, since they increase the time to arrive at the speeds defined in the acceleration tests up to 18% in the engine with gasoline and 7% in the engine with natural gas, and the torque and power are increase by around 1%. On the other hand, the results of the polluting emissions tests indicate that fuel consumption is reduced by about 7%.

Conclusions– The results indicate that the performance of the vehicle does not improve, although fuel consumption decreases, the environmental performance does not decrease.

Keywords– Vehicle; natural gas; gasoline; hydrolysis; combustion; performance.



I. INTRODUCCIÓN

En la última década se ha observado que tanto la producción como el precio del petróleo han presentado una tendencia al alza al igual que su demanda, si las proyecciones de producción también son al alza, también lo es el estimado de los precios, la cual indica un incremento permanente en las próximas tres décadas [1]. Este incremento obligaría a la búsqueda de combustibles sustitutos a los derivados del petróleo o en su defecto proponer alternativas que reduzcan su consumo. Uno de los principales sistemas consumidores de combustibles de origen fósil, son los motores de combustión interna, por lo tanto, desarrollar alternativas que permitan mantener o aumentar la eficiencia de estos motores reduciendo el consumo de este tipo de combustibles es de vital importancia para mantener la evolución de este tipo de sistemas.

En Colombia la tendencia de consumo presentó una progresiva disminución de las ventas de gasolina hasta el año 2008, a partir de allí las ventas ha crecido de forma permanente, caso diferente al del gas natural vehicular que presentó un incremento muy fuerte hasta el 2008 y a partir de allí se ha estancado. De otra parte la UPME estima que para el año 2030 el valor del galón de gasolina podría aumentar en un 60,7% [2].

Conforme a este panorama en Colombia se han incrementado las alternativas de sustitución de los combustibles para motores de combustión interna, ya sea como sustitución total o parcial, por ejemplo, para el año 2011 se alcanzó un consumo de alcohol carburante cercano a los 6 millones de barriles/día de etanol carburante y de más de 60 millones de $ft^3/día$ de gas natural comprimido vehicular (GNCV) [2], este último de vital importancia, teniendo en cuenta que el número de vehículos con este tipo de combustible sigue creciendo [3].

A nivel mundial se han venido desarrollando alternativas para mejorar el desempeño de los motores de combustión y buscar reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. En esta línea, han surgido dispositivos que alimentan la admisión de los motores con productos de la hidrólisis, en adelante HHO, debido al gran interés del mundo por el uso del hidrógeno como fuente de energía para la movilidad [4]. El objetivo de estos equipos es aprovechar las buenas características del hidrógeno como combustible, debido a su alto poder calorífico, velocidad de propagación de la llama y características de combustión [5].

Los esfuerzos por separar el hidrógeno del oxígeno en las moléculas de agua se iniciaron en el siglo XIX y a partir de allí se ha intentado utilizar en varias aplicaciones [6], [7]. En la Fig. 1, se observa el principio básico de la hidrólisis, donde con una diferencia de potencial eléctrico se logra disociar la molécula de agua en H_2 y O_2 . Los equipos de HHO utilizan una mezcla de agua e hidróxido de potasio.

Una vez en estado gaseoso el hidrógeno, oxígeno y parte de la mezcla de vapor de agua ingresan al múltiple de admisión del motor favorecidos por la presión de vacío generada por la carrera de admisión de los pistones del motor.

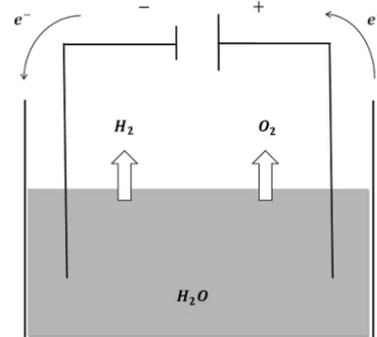


Fig. 1. Esquema de la hidrólisis del agua.
Fuente: Autores

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado en Colombia se han venido importando e instalando estos dispositivos de hidrólisis en diferentes tipos de vehículos buscando mejorar el desempeño mecánico, reducir el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes, sin que a la fecha exista información de su número o de su desempeño. Aunque se ha demostrado que el uso de vehículos propulsados con celdas de hidrogeno es viable energética y ambientalmente [8], [9] esto solo ocurre con los vehículos dedicados a esta fuente energética.

En pruebas realizadas con motores de combustión interna en laboratorio, el uso de HHO genera un aumento en el rendimiento térmico inferior al 5% y una disminución en el consumo de combustible similar [10], [11]. Adicionalmente, se observan reducción en las emisiones de HC y CO de 5% y 13,5% respectivamente [12], [13], [14], [15].

Recientemente se han realizado estudios de la influencia de HHO en un motor alimentado con biodiesel en un banco de pruebas con aumento de la potencia alrededor de un 5% y una disminución del 20% en emisiones de CO [16], también se ha realizado la simulación de la operación de un equipo de HHO y se validaron los resultados con los datos aportados por un equipo instalado en un vehículo [17], también se han mezclado HHO con aceite de ricino para mejorar el desempeño de un motor Diésel en un 4% [18]. Ismail *et al.*, [17] han realizado pruebas en un motor de encendido por chispa controlando la inyección con los sensores de flujo de aire y logrando una reducción en el consumo de combustible del 17% [19] y se han revisado y estudiado las condiciones de operación de la celda de HHO para optimizar su operación y evaluar la influencia en el motor [20]. De otra parte, también existen estudios que encuentran resultados mixtos en el desempeño energético y ambiental de motores con HHO [21].

La mayoría de estudios revisados se han realizado en motores monocilíndricos sin aplicación automotriz y ninguno de ellos se ha realizado en lugares de alturas significativas a nivel del mar como en Bogotá – Colombia, de otra parte, no se tiene información de la aplicación de HHO en vehículo con motor encendido por chispa operando con gas natural comprimido como combustible. Por lo tanto, es indispensable conocer el desempeño de un equipo de HHO en un vehículo de calle. En este trabajo se presentan los resultados de pruebas de desempeño mecánico, ambiental y energético en la altura, bajo las condiciones recomendadas por diferentes entidades nacionales e internacionales, como un aporte a la caracterización del uso de este tipo de equipos, con miras a su implementación en el país.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección cuenta con dos apartados, en el primero se presentan con detalle el vehículo en el cual se realizan las pruebas, la instrumentación y equipos utilizados para realizar las mediciones. Posteriormente, en el segundo apartado se describen las pruebas de aceleración en una carretera plana y una carretera con pendiente longitudinal, pruebas de dinamómetro de chasis, pruebas de emisiones contaminantes según la norma Colombia emitida por las autoridades competentes y por último se describe la prueba de consumo de combustible.

A. Vehículo y equipos utilizados

Los equipos de HHO se instalan de forma tal que sus productos se inyectan a la admisión del motor como se observa en el esquema de la Fig. 2. Estos equipos se alimentan del voltaje del sistema eléctrico del vehículo.

En la tablas 1 y 2, se presentan las características del vehículo y las especificaciones del equipo de GNCV respectivamente, y en la tabla 3 se muestran las especificaciones de la planta de HHO.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO DE PRUEBA.

Parámetro	Vehículo evaluado
Marca	Mitsubishi
Modelo y Año	Montero 5 DR - 2006
Cilindrada	2972 cc
Transmisión	Mecánica de 5 velocidades
Peso Bruto Vehicular	2500 kg
Kilometraje	89608 km

Fuente: Autores.

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE GNCV.

Equipo de GNCV		
Kit de Conversión a GNCV	Marca	Landi
	Tipo	Inyección secuencial
Deposito de Combustible	Cilbras	Cilindro de acero de 85 litros de capacidad

Fuente: Autores.

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE HHO.

Equipo de Hidrólisis	Marca	Advanced HHO
	Referencia	DC450
	Capacidad del tanque	1.5 litros

Fuente: Autores.

Para las pruebas de carretera el vehículo fue equipado con un sistema de evaluación, que dispone de una quinta rueda acoplada en la llanta trasera derecha, como se observa en la Fig. 3, la cual se calibra con el radio de la rueda para que la quinta rueda calcule los datos de velocidad y distancia recorrida. Además, se instalan un sensor de revoluciones acoplado al motor y un sensor de temperatura para el motor; las características técnicas de los sensores relacionados se describen en la tabla 4 y en la tabla 5, se describen las especificaciones del dinamómetro de chasis utilizado para la prueba de torque y potencia.

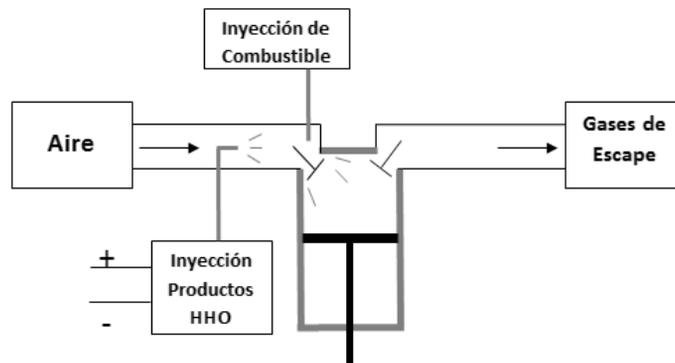


Fig. 2. Esquema de montaje del equipo HHO, Modelo DC450.F
Fuente: Autores.



Fig. 3. Equipo de quinta rueda utilizado en las pruebas.
Fuente: Autores.

TABLA 4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SENSORES.

Ítem	Descripción
Frecuencia de muestreo	10 Hz
Resolución de los sensores	
Distancia	± 0.03 m
Velocidad	± 0.2 km/h
RPM motor	± 25 RPM
Temperatura	± 0.1 °C

Fuente: Autores.

TABLA 5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL DINAMÓMETRO.

Dinamometro	
Marca	Dynojet Research, Inc. MODEL 248:
Tipo	Dinamómetro de inercia
Potencia Máxima	1200hp (2400hp AWD)
Velocidad máxima	200MPH (322Kph)
Tambores	2
Distancia mínima entre ejes	2413 mm
Distancia máxima entre ejes	2895.6 mm
Dimensiones	
Diámetro del tambor	1219.2 mm
Ancho del tambor	660.4 mm
Ancho mínimo de eje	749.3mm
Ancho máximo de eje	2070 mm
Peso máximo de eje	1360 Kg
Hardware (Dyno Control Electronics)	
Tiempo (exactitud)	+/-1 µs
Exactitud velocidad tambor	+/-1/100 MPH
Exactitud RPM	+/-1/100 RPM

Fuente: Autores.

B. Descripción de las pruebas

Teniendo en cuenta que las condiciones de operación de los vehículos son muy diferentes en dinamómetro y en carretera, y que esto afecta los resultados de las pruebas [14], con el vehículo y la instrumentación descrita se realizaron las siguientes pruebas.

- **Prueba de aceleración en plano y pendiente:** esta prueba se realizó bajo las instrucciones de la norma SAE J1491 [16], en ella el vehículo detenido se acelera al máximo y se realizan los cambios de marcha en las máximas revoluciones del motor posibles (5300 rpm) para llevarlo de 0 a 96 km/h y se reporta el tiempo que demora el vehículo en llegar a las velocidades de 32, 64 y 96 km/h. La prueba de aceleración en plano se realizó en la Av. 50 – Ferrocarril del sur entre la diagonal 17 sur y la Av. Cra. 68, y la prueba de aceleración en pendiente se desarrolló entre el kilómetro 2 y 3 de la vía Bogotá la Calera.
- **Prueba de torque y potencia:** esta prueba se realizó en el dinamómetro de chasis, y se desarrolló con el vehículo iniciando en primera marcha llevando el vehículo hasta la tercera marcha a una velocidad de 30 km/h hasta llegar a las revoluciones máximas permitidas del vehículo con el acelerador a fondo, para este caso se reportan los valores máximos de torque y potencia obtenidos en la prueba.
- **Prueba de emisiones:** la prueba de emisiones de gases contaminantes se realizó según las especificaciones de la resolución 910 de 2009, emitida por el Ministerio de Medio Ambiente y Vivienda, la cual describe la metodología de medición de emisiones de fuentes móviles y los límites de las mismas [17].
- **Pruebas de consumo de combustible:** ante la dificultad de no tener disponible un recorrido largo, recto y sin pendiente se realizó un circuito de 14,7 km, dicho circuito se realizó en la vía Bogotá - Medellín entre el peaje de Siberia y el Cruce de la vía a Tenjo. El circuito consistía en llevar el vehículo en tercera marcha a una velocidad constante de 30 km/h, luego se realizaron paradas cada 2 km, logrando hacer siempre la parada en el mismo lugar para lograr repetitividad en la prueba. Al terminar cada prueba se toma la diferencia de combustible consumido.

Dado que el vehículo tiene cierto recorrido se toma como base para la comparación las medidas realizadas cuando este opera con gasolina y sin el equipo de HHO. Las pruebas se repiten en condiciones iguales para las diferentes configuraciones del vehículo hasta lograr que tres pruebas presenten variaciones menores al 1% y se reporta el resultado del promedio de estas tres pruebas.

III. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el desarrollo de las pruebas de desempeño mecánico, energético y ambiental.

A. Resultados de Aceleración

En la Fig. 4, se observan los resultados de la prueba de aceleración en plano, donde se reporta el tiempo que tarde el vehículo en llegar a las tres velocidades definidas para la prueba, en las diferentes configuraciones de combustible y uso de la planta de HHO.

La operación del equipo de HHO genera incrementos en el tiempo de 18,4%, 0% y 3,9% para alcanzar cada una de las tres velocidades operando con gasolina, entre tanto para la operación con GNCV el equipo

de HHO produce incrementos del 0,2%, - 7% y 7,3% para llegar a las velocidades previstas, teniendo en cuenta que el signo negativo representa una disminución en el tiempo, es evidente que el equipo de HHO no genera una mejora general en el desempeño mecánico del vehículo.

En la Fig. 5, se observan la evolución de la velocidad del vehículo con respecto al tiempo durante la prueba de aceleración en plano en las diferentes configuraciones GNCV, gasolina y HHO. El tiempo se muestra de esa forma en la Fig. 5 ya que la quinta rueda registra datos cada 0,1 segundo en forma continua.

Las pruebas de aceleración muestran una influencia variable del equipo de HHO en el desempeño del vehículo, logrando pequeñas mejoras en el desempeño al inicio y final de la prueba.

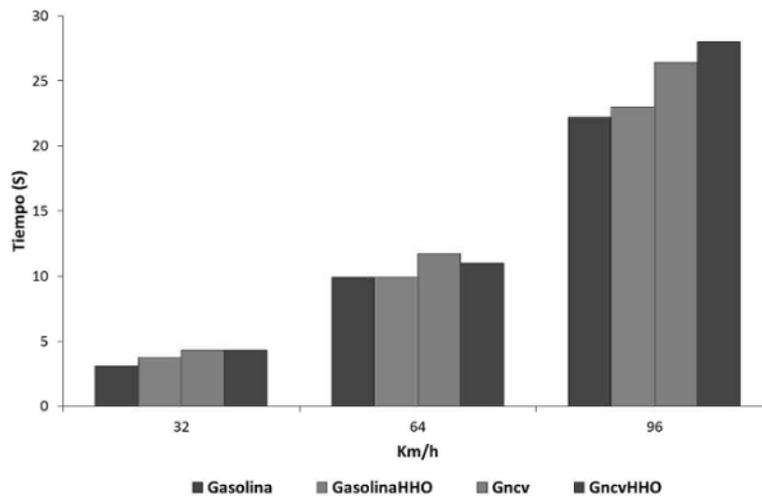


Fig. 4. Resultados de la prueba de aceleración en plano.
Fuente: Autores.

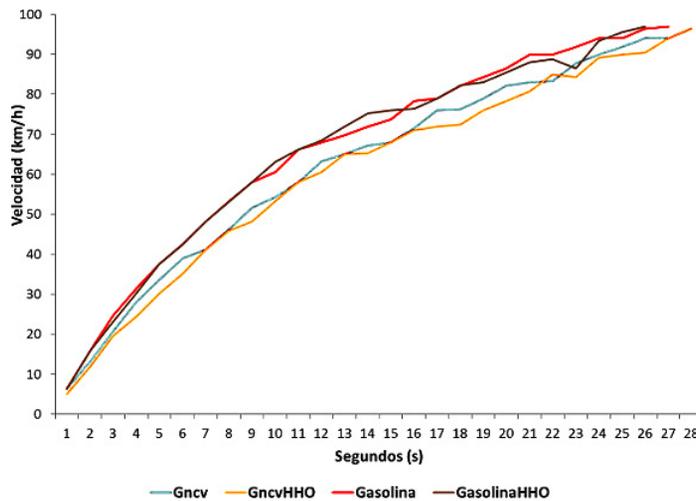


Fig. 5. Evolución de la velocidad en la prueba de aceleración en plano.
Fuente: Autores.

En la Fig. 6, se observa los resultados de la aceleración en pendiente, donde se puede notar que es muy difícil alcanzar la velocidad de 96 km/h, esto se debe a la imposibilidad de tener una carretera recta y larga en pendiente en la zona donde se realizaron las pruebas, por lo tanto solo se realizó a aceleración hasta completar 1 km de recorrido [18]. De otra parte, los resultados obtenidos son muy similares a los que se presentan en la prueba de aceleración en plano.

B. Resultado de Torque y Potencia

En la Fig. 7, se muestran los resultados de la prueba de toque y potencia. Los datos de torque con el uso de HHO presentan pequeños incrementos que apenas supera el 1% en gasolina y no llega a este valor en GNCV. En potencia los incrementos en ambos casos no superan el 1%, lo anterior concuerda con la evolución de la velocidad durante la prueba de aceleración en plano que se observa en la Fig. 5.

C. Resultados de emisiones.

La prueba de emisiones de gases se desarrolló en marcha mínima y con el motor en temperatura de operación, en la Fig. 8, se observa el resultado de emisiones de hidrocarburos totales (HC) para cada configuración de combustible y el uso de HHO.

En la Fig. 9, se muestran los resultados de las emisiones de Oxígeno (O₂) y Monóxido de Carbono (CO) en porcentaje de volumen de la muestra tomada. De igual forma la Fig. 10 muestra los resultados de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂).

En los resultados de emisiones para CO se presentan incrementos de 9% para gasolina y 5% para GNCV con el uso del equipo de HHO, sin que estos valores superen la norma. Sin embargo, para HC los resultados son mixtos ya que se presenta un aumento del 72% en gasolina y una reducción del 27% en GNCV con el uso del equipo de HHO; estos valores tampoco sobrepasan los límites normativos.

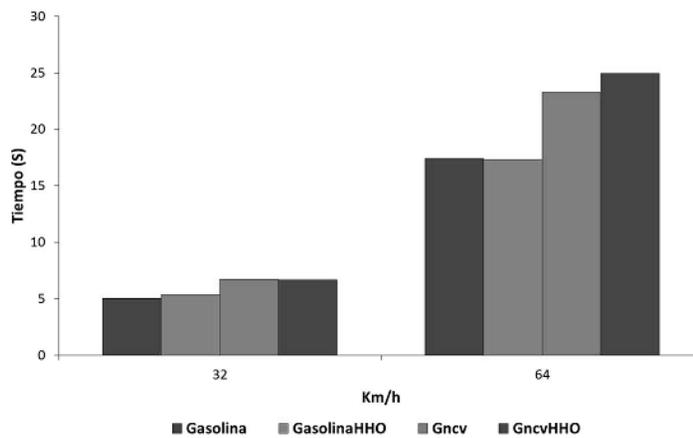


Fig. 6. Resultados de la prueba de aceleración en pendiente. Fuente: Autores.

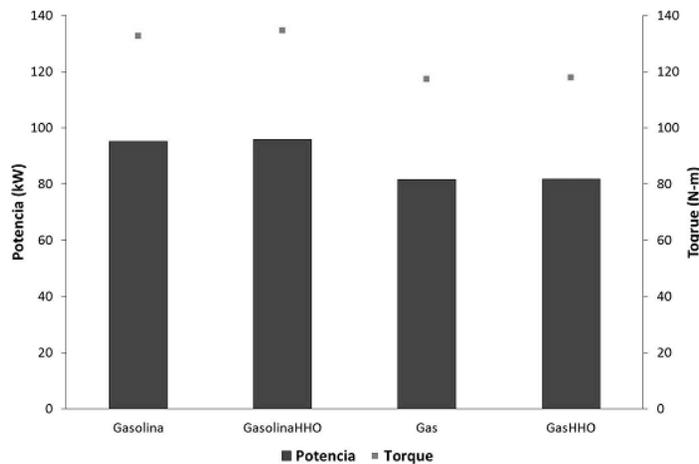


Fig. 7. Resultados de la prueba de torque y potencia. Fuente: Autores.

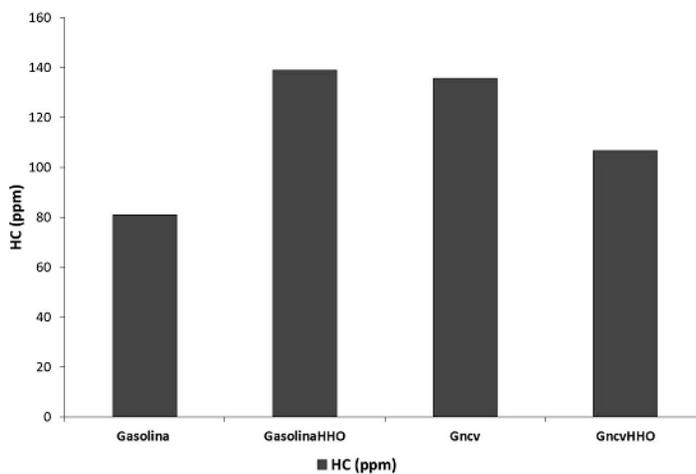


Fig. 8. Resultados de HC en la prueba de emisiones.
Fuente: Autores.

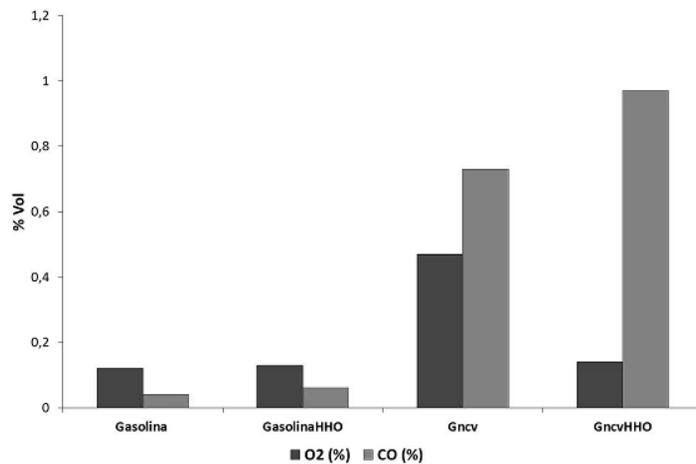


Fig. 9. Emisiones de O₂ y CO.
Fuente: Autores.

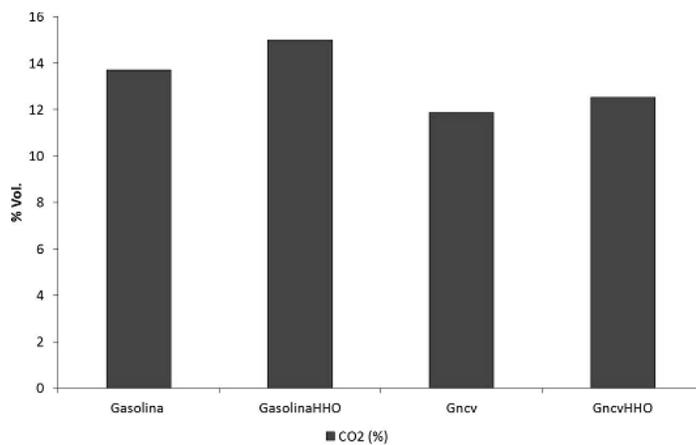


Fig. 10. Emisiones de CO₂
Fuente: Autores.

Sin embargo, para las emisiones de CO₂ se observan incrementos en ambos combustibles con el uso del equipo de HHO, aunque se debería presentar una reducción de CO y de HC, esto no se da, además es importante recordar que el CO₂ es un precursor del efecto invernadero.

D. Consumo de Combustible

Con anterioridad se describió con detalle la prueba de consumo de combustible y su recorrido, en la Fig. 11, se muestra el perfil de velocidad logrado en el circuito descrito en la prueba de consumo de combustible, al cual tuvo una duración aproximada de 1,6 horas, lo cual genera una cantidad importante de datos, por encima de 6.000 almacenados en la quinta rueda, en el perfil de velocidad se pueden observar las paradas en el circuito y las secciones de velocidad aproximadamente constante, con esto se pretende replicar un ciclo de conducción urbano típico.

Con el fin de identificar el consumo de combustible se utilizó un tanque auxiliar dotado con una bomba de gasolina de nivel visual que permitió identificar la variación del combustible dentro del tanque y un cilindro adicional de GNCV de 33 litros de capacidad hidráulica.

En la Fig. 12, se observan los resultados obtenidos para la prueba de consumo de combustible en gasolina y GNVC, más la influencia del HHO, Los resultados se expresan en litros de gasolina consumidos en la prueba. Como la medida característica para el GNCV es m³, en este caso se han presentado los resultados en litros equivalentes de gasolina utilizando la relación de 2,9 m³ de GNCV equivalente a 3,79 litros de gasolina [18].

En los resultados mostrados en la Fig. 12, se puede observar una leve disminución de 7% en el consumo de gasolina con HHO con respecto a su condicione original y ningún cambio en el consumo de GNCV con el uso del equipo de HHO.

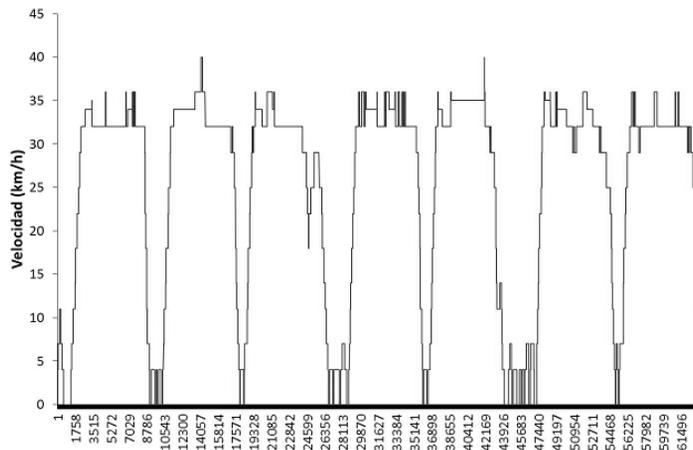


Fig. 11. Perfil de velocidad en el circuito para la prueba de consumo de combustible. Fuente: Autores.

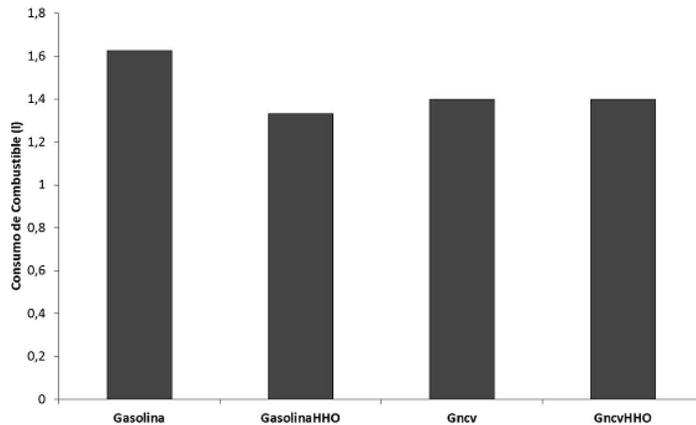


Fig. 12. Resultados de la prueba de consumo de combustible. Fuente: Autores.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se presentó un procedimiento y un conjunto de pruebas que permiten determinar la influencia del uso de productos de la hidrólisis del agua (HHO) en el desempeño mecánico, energético y ambiental de vehículos que operan en ciudades ubicadas a más de 2000 msnm, como Bogotá D.C., Colombia.

En los resultados de las pruebas de aceleración se observa que a bajas velocidades los resultados varían entre la gasolina y GNCV contra los dos incluyendo el HHO, lo anterior se debe a las fuertes variaciones en las revoluciones del motor que afectan la aspiración de gas HHO. Sin embargo, a altas revoluciones se observa un deterioro en el desempeño del vehículo esto debido a que los tiempos de apertura de válvulas son menores y el mayor suministro de combustible restringe el suministro de HHO en el múltiple de admisión reduciendo el rendimiento volumétrico del motor y el desempeño mecánico del vehículo.

De otra parte, al reducirse la presión atmosférica por la altura a la cual se realizaron las pruebas, también se reduce la diferencia de presión que permite el llenado de los cilindros del motor y la aspiración de HHO, por lo tanto, el aporte de este al desempeño es menor a los resultados encontrados en la bibliografía cuyas pruebas se han realizado en laboratorios al nivel del mar.

Respecto a la prueba de emisiones, el desempeño del vehículo decae con el uso del equipo de HHO, especialmente las emisiones de CO y CO₂, lo anterior se debe a la presencia de oxígenos del HHO. También la presencia de hidrogeno fomenta el aumento del HC en la operación con gasolina, pero baja con GNCV debido a su mayor facilidad de disociación y el mayor incremento en el CO₂, por lo anterior la comercialización e instalación de equipos de HHO no tiene soporte ambiental.

En las pruebas de consumo de combustible se observó una pequeña reducción en el consumo de gasolina, esto debido al mayor poder energético de la mezcla con HHO, pero este resultado debe valorarse en dinero ya que para lograrlo primero se debe hacer la inversión inicial y segundo debe incluirse el costo del agua desmineralizada y el hidróxido de potación utilizado para facilitar la descomposición de la molécula de agua en HHO dentro del equipo.

Durante las pruebas se pudo observar que no existe un control sobre la generación de HHO a partir del agua, ni sobre el suministro de estos productos al motor. Esto puede afectar las posibles mejoras que pudieran generarse con el uso de la planta de HHO, lo anterior puede convertirse en la fuente de futuros trabajos al igual que la evaluación del desempeño de motores de encendido con chispa y altas concentraciones de alcohol carburante o de motores de encendido por compresión con diferentes concentraciones de biodiesel.

V. AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen a la Universidad Francisco de Paula Santander y a la Universidad de Pamplona por el apoyo en la disponibilidad de personal para el desarrollo del proyecto y la empresa Vr-Tec por el suministro de los equipos de medición.

VI. FINANCIAMIENTO

Artículo de investigación derivado del proyecto titulado: "Influencia de productos de la hidrólisis del agua en un motor de combustión interna a gasolina y Diesel", proyecto FINU desarrollado en la Universidad Francisco de Paula Santander quien facilito además del tiempo del investigador principal los equipos de hidrólisis y el analizador de gases de escape, y la Universidad de Pamplona destinó el tiempo de los coinvestigadores. La empresa Vr-Tec suministró la quinta rueda para toma de los datos utilizados en la evaluación del vehículo en altura. Fecha de inicio del proyecto: julio de 2015. Fecha de Finalización del proyecto: noviembre de 2017.

REFERENCIAS

- [1] U. S. Energy Information Administration, "Annual energy outlook 2013 with Projections to 2040", EIA, Washington DC, USA, DOE/EIA-0383(2013), Apr. 2013. [Online]. Available: [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2013\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2013).pdf)
- [2] L. C. Romero, I. León y J. F. Andrade, "Proyección de Demanda de Combustibles Líquidos y GNV en Colombia", UPME, Bogotá DC, Colombia, Revisión de Octubre de 2010, p. 60, Dic. 2010.
- [3] S. M. E. Muñoz, "Presentación e Proyecciones Gerencia de Generación de Demanda," presented at the Convención Anual, Octubre 2011.
- [4] R. Shinnar, "The hydrogen economy, fuel cells, and electric cars", *Technology in Society*, vol. 25, no. 4, pp. 455–476, Nov. 2003. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2003.09.024>
- [5] R. M. Santilli, "A new gaseous and combustible form of water", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 31, no. 9, pp. 1113–1128, Aug. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2005.11.006>
- [6] D. Lj. Stojić, M. P. Marčeta, S. P. Sovilj and Š. S. Miljanić, "Hydrogen generation from water electrolysis—possibilities of energy saving", *Journal of Power Sources*, vol. 118, no. 1–2, pp. 315–319, May. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(03\)00077-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(03)00077-6)
- [7] N. Zamel and X. Li, "Life cycle analysis of vehicles powered by a fuel cell and by internal combustion engine for Canada", *Journal of Power Sources*, vol. 155, no. 2, pp. 297–310, Apr. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.04.024>
- [8] A. A. Al-Rousan, "Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 23, pp. 12930–12935, Dec. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.08.144>
- [9] N. Saravanan, G. Nagarajan, K. M. Kalaiselvan and C. Dhanasekaran, "An experimental investigation on hydrogen as a dual fuel for diesel engine system with exhaust gas recirculation technique", *Renewable Energy*, vol. 33, no. 3, pp. 422–427, Mar. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.015>

- [10] J. D. Naber and D. L. Siebers, "Hydrogen combustion under diesel engine conditions", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 23, no. 5, pp. 363–371, May. 1998. [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(97\)00083-9](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(97)00083-9)
- [11] M. SenthilKumar, A. Ramesh and B. Nagalingam, "Use of hydrogen to enhance the performance of a vegetable oil fuelled compression ignition engine", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 28, no. 10, pp. 1143–1154, Oct. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(02\)00234-3](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(02)00234-3)
- [12] A. C. Yilmaz, E. Uludamar and K. Aydin, "Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines" *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 20, pp. 11366–11372, Oct. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.07.040>
- [13] P. Baptista, J. Ribau, J. Bravo, C. Silva, P. Adcock and A. Kells, "Fuel cell hybrid taxi life cycle analysis", *Energy Policy*, vol. 39, no. 9, pp. 4683–4691, Sept. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.064>
- [14] T. Li, X. Chen and Z. Yan, "Comparison of fine particles emissions of light-duty gasoline vehicles from chassis dynamometer tests and on-road measurements", *Atmospheric Environment*, vol. 68, no. 1, pp. 82–91, Apr. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.11.031>
- [15] S. J. Figueroa, G. G. Moreno y J. C. Serrano, "Relación entre la Contaminación del Aceite con Sílice y el desgaste del Motor", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 1, no. 17, pp. 87–91, Dec. 2011. <https://doi.org/10.24054/16927257.v17.n17.2011.179>
- [16] H. H. Masjuki, A. M. Ruhul, N. N. Mustafi, M. A. Kalam, M. I. Arbab and I. M. Rizwanul, "Study of production optimization and effect of hydroxyl gas on a CI engine performance and emission fueled with biodiesel blends", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 33, pp. 14519–15528, Sept. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.05.273>
- [17] T. M. Ismail, K. Ramzy, B. E. Elnaghi, T. Mansour, M. N. Abelwhab, M. Abd El-Salam and M. I. Ismail, "Modeling and simulation analysis of electrochemical analysis of hybrid spark-ignition engine using hydroxy (HHO) dry cell", *Energy Conversion and Management*, vol. 181, no. 1, pp. 1–14, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.11.067>
- [18] M. Ozcanli, M. Atakan Akar, A. Calik and H. Serin, "Using HHO (Hydroxy) and hydrogen enriched castor oil biodiesel in compression ignition engine", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 36, pp. 23366–23372, Sept. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.091>
- [19] T. M. Ismail, K. Ramzy, M. N. Abelwhab, B. E. Elnaghi, M. Abd El-Salam, and M. I. Ismail, "Performance hybrid compression ignition engine using hydroxy (HHO) from dry cell", *Energy Conversion and Management*, vol. 155, no. 1, pp. 287–300, Jan. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.076>
- [20] B. Subramanian and S. Ismail, "Production and use of HHO gas in IC engines", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 14, pp. 7140–7154, Apr. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.02.120>
- [21] A. Rimkus, J. Matijosius, M. Bogdevicius, A. Bereczky and A. Török, "An investigation of the efficiency of using O₂ and H₂ (hydroxile gas - HHO) gas additives in a ci engine operating on diesel fuel and biodiesel", *Energy*, vol. 152, no. 1, pp. 640–651, Jun. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.087>

Faustino Moreno Gamboa es Ingeniero Mecánico de la Universidad Francisco de Paula Santander - Colombia (1997), Maestría en Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes – Colombia (2003) y en la actualidad es Candidato a Doctor en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana. El Ing. Moreno es docente asistente del Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Francisco de Paula Santander – Colombia, y actúa en las siguientes áreas: fluidos y térmicas. <https://orcid.org/0000-0002-3586-4306>

Elkin Gregorio Flórez Serrano es Ingeniero Mecánico de la Universidad Francisco de Paula Santander - Colombia (1997), Maestría en Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes – Colombia (2000) y Doctor en Ingeniería Mecánica, Fluidos y Aeronáutica de la Universidad Politécnica de Cataluña – España (2010). En la actualidad el Ing. Flórez es docente titular del Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Pamplona – Colombia, y actúa en las siguientes áreas: Termofluidos y Energías, Vibraciones mecánicas. <https://orcid.org/0000-0002-3431-146X>

Gonzalo Guillermo Moreno Contreras es Ingeniero Mecánico de la Universidad Francisco de Paula Santander - Colombia (1999), Maestría en Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes – Colombia (2004) y Doctor en Ingeniería Mecánica de la Universidad Federal de Santa Catarina – Brasil (2017). En la actualidad el Ing. Moreno es docente titular del Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Pamplona – Colombia, y actúa en las siguientes áreas: estática y dinámica de sistemas mecánicos con énfasis en diseño de mecanismos. <https://orcid.org/0000-0003-3617-1381>