

Determinación de la performance y emisiones en motores de combustión interna al suministrar hidrógeno bajo el modo del gas HHO (de Brown) en el proceso de combustión¹

Nicolás A. Galante¹, Roberto Franzi¹, Nicolás Galante¹, Sergio Macchello¹, Luis Roche²²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Mecánica, Medrano 951, (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

² Universidad Nacional de La Plata y CONICET – Calle 47 y 116, (B1900AJJ), La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina

nicolasgalante@gmail.com

Recibido el 21 de diciembre de 2020, aprobado el 4 de febrero de 2021

RESUMEN

La utilización de los combustibles fósiles tiende a su disminución. El hidrógeno es una alternativa por sus propiedades adecuadas para su utilización en motores. Se ha evaluado la aplicación de un generador de gas HHO mediante la electrólisis del agua. Este gas es una mezcla de hidrógeno y oxígeno que según varios autores genera mejoras en las prestaciones del motor al incorporarlo a la admisión. Se efectuaron pruebas en un motor instalado en un banco de ensayos. Como no se obtuvieron diferencias se realizaron pruebas en un motor de baja cilindrada, donde se observaron mejoras. Se exponen y analizan los resultados obtenidos.

PALABRAS CLAVE: HIDRÓGENO - HHO - MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA - CONSUMO DE COMBUSTIBLE - EMISIONE

ABSTRACT

The use of fossil fuels tends to decrease. Hydrogen is an alternative due to its suitable properties for engines application. The use of an HHO gas generator by electrolysis of water has been evaluated. This gas is a mixture of hydrogen and oxygen that generates improvements in engine performance by incorporating it into the intake, according to several authors. Tests were carried out on an engine installed on a test bench. As no differences were obtained, tests were carried out on a low displacement engine, where improvements were observed. The results obtained are exposed and analyzed.

KEY WORDS: HYDROGEN - HHO - INTERNAL COMBUSTION ENGINE - FUEL CONSUMPTION - EMISSIONS

¹ Este trabajo forma parte del PID: "Determinación de la performance y emisiones en motores de combustión interna al suministrar hidrógeno bajo el modo del gas HHO (de Brown) en el proceso de combustión".

² Formó parte del equipo de autores Damian Salinas de la UTNBA.

Introducción

Existe mundialmente un constante movimiento para evitar el calentamiento global del planeta. Por otra parte, la utilización de los combustibles fósiles tiende a su disminución por ser parte del calentamiento global, y por encontrarse en proceso de agotamiento. En este sentido, cada vez toman mayor preponderancia la utilización de fuentes de energía renovables, las cuales poseen una composición variada de combustibles líquidos y gaseosos que permiten en forma individual o combinada, obtener la disminución de los efectos contaminantes en la generación de energía.

En esta dirección se hace necesario también lograr la reducción de las emisiones en los motores de combustión interna para uso vehicular, hecho impulsado principalmente por las normas EURO desde su comienzo en el año 1992 con las EURO 1, en la que indicaba una emisión de CO de 3 g/km, mientras que en el 2014 la EURO 6 indica un CO 1 g/km, HC de 0,1 g/km, y de NOx de 0,06 g/km.

Para lograr estos objetivos, las fuentes renovables de energía como por ejemplo los combustibles alternativos, tendrán un papel fundamental al modificar la composición de fuentes energéticas en el futuro cercano y paralelamente la composición de las emisiones responsables del efecto invernadero, particularmente el dióxido de carbono (CO₂). El hidrógeno es una de las alternativas en las que más se ha puesto el foco por tratarse de energía limpia y por sus excelentes propiedades adecuadas para su utilización en motores de combustión interna: alta velocidad de propagación de la llama, amplio rango de ignición y ausencia de emisiones tóxicas.

La gran evolución tecnológica de los sistemas de distribución y de inyección de los motores actuales, permite que los mismos puedan funcionar con una mezcla de combustibles líquidos, gaseosos o líquidos y gaseosos en combinación. Entre todas las variantes de equipos generadores de hidrógeno para uso vehicular se ha investigado el denominado hidrolizador, que consiste en un dispositivo que ha evolucionado de la patente presentada por Yull Brown en 1977, capaz de generar gas HHO mediante la electrólisis del agua. El gas HHO es una mezcla de hidrógeno y oxígeno en una proporción de 2 a 1 el cual incorporado a la admisión del motor, permite obtener una notable mejora en las prestaciones del mismo, según afirman varios autores. Estos equipos han sido muy difundidos para aplicaciones automotrices en estos últimos años. Su oferta está fundada en que su utilización es posible en los vehículos existentes en circulación, logran una disminución del consumo de combustible, mejoran la combustión, no hay almacenamiento

de hidrógeno, disminuyen la contaminación, ocupan poco espacio, son de fácil instalación y de costo accesible.

Por estos motivos en el presente trabajo se estudiará la aplicación de un hidrolizador de disponibilidad comercial en un motor estándar de automóvil. Para ello se efectuaron pruebas para determinar los valores de potencia, consumo, y emisiones contaminantes de un motor convencional de uso automotriz, instalado e instrumentado en banco de ensayos, sin modificaciones en su calibración original. Algunos autores han informado que con el uso de estos equipos se han logrado grandes mejoras en las prestaciones del motor, como ser el incremento del torque y de la potencia; y la disminución del consumo específico de combustible y de las emisiones contaminantes. Desde el punto de vista termodinámico, no serían justificables las mejoras indicadas ya que la generación del gas combustible se realiza a partir de la misma energía producida por el motor. Pero debido a la difusión comercial de estos equipos y la posibilidad de ir en la dirección de la obtención de energía de manera más limpia, se decidió realizar la investigación.

En primer lugar, se repasarán los antecedentes sobre la utilización de hidrolizadores en motores de combustión interna. Posteriormente se describirán brevemente los fundamentos teóricos para la producción de gas HHO en el hidrolizador. Luego se explicará cómo se puso en funcionamiento el dispositivo en conjunto con el motor. A continuación, se analizarán los resultados obtenidos, y por último se presentarán las conclusiones.

Antecedentes

El gas obtenido mediante la electrólisis del agua ha tenido algunas variadas aplicaciones a lo largo del tiempo. Se puede mencionar desde iluminación hasta soldadura autógena, todas éstas encontrándose en desuso en la actualidad. Ya son conocidas y han sido ampliamente estudiadas las ventajas de utilización de hidrógeno como aditivo o complemento de varios combustibles dado que posee ciertas características propicias para la combustión como se muestra en la Tabla 1. Posteriormente se han realizado varios trabajos de investigación en los cuales el gas producto de la electrólisis del agua, por estar compuesto de hidrógeno, se ha aplicado en motores de combustión interna con el objeto de mejorar las prestaciones de los mismos.

Gohar *et al.* (2007) realizó un trabajo de investigación en el cual administraba gas HHO a un motor diesel sin otras modificaciones, obteniendo mejoras en el torque y consumo de combustible, como así también mejoras en las emisiones contaminantes de los gases de escape. Yilmaz *et al.* (2010) también investigó el funcionamiento de un motor diesel en uso conjunto con un hidrolizador obteniendo resultados

Galante, N. *et al.* Determinación de la performance ...

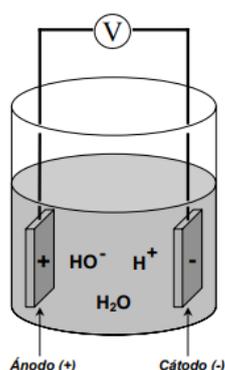
similares. Al-Rousan (2010) ejecutó ensayos en un motor naftero a carburador, mezclando el aire de admisión con el gas HHO producido en un hidrolizador, obteniendo también mejoras en el consumo de combustible. Musmar y Al-Rousan (2011) también realizaron una investigación parecida llegando a resultados similares. Sharma *et al.* (2015) investigó el uso de un hidrolizador en un motor naftero de inyección multipunto encontrando también notorias mejoras en todas las prestaciones y emisiones del motor. Cabe destacar que la gran mayoría de estos trabajos de investigación se realizaron con una fuente de alimentación del hidrolizador que es externa al motor de combustión, es decir, la energía para el funcionamiento es tomada de otra fuente.

Por otro lado, hay varios emprendimientos privados que comercializan este tipo de equipos, los cuales vienen listos para instalar en un vehículo automotor prácticamente sin realizar ninguna modificación del mismo, y son presentados con características similares a los citados previamente, destacando las mejoras en el torque, potencia y consumo, como así también en las emisiones contaminantes de los gases de escape.

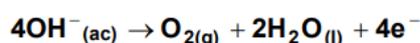
Teoría del hidrolizador

La electrólisis del agua consiste en la descomposición de la misma en hidrógeno y oxígeno cuando circula una corriente eléctrica a través de ella, pudiendo estar el agua alcalinizada o no. Una fuente de alimentación eléctrica se conecta a dos electrodos o dos placas, generalmente hechas de un metal inerte como platino o acero inoxidable, que se colocan dentro del agua. En el caso de electrólisis del agua alcalinizada, los iones OH se oxidan en el ánodo obteniéndose oxígeno gaseoso, y las moléculas de agua en el cátodo se reducen produciendo hidrógeno gaseoso. Se pueden apreciar las reacciones en la Figura 1.

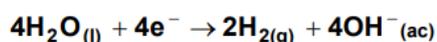
Electrólisis del Agua en Medio Básico



Reacción en el ánodo (+):



Reacción en el cátodo (-):



Reacción Global:

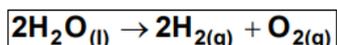


Fig. 1. Electrólisis de agua en medio básico

Esta mezcla de gases obtenida, compuesta de hidrógeno y oxígeno en una proporción de 2:1, es enviada a la admisión del vehículo para mejorar el funcionamiento del motor. Los primeros trabajos de investigación de este gas para su uso como combustible fueron realizados por Yull Brown. Santilli (2006) y otros trabajos como los de Salek *et al.* (2020) han reportado que este gas no se trata de una simple mezcla de hidrógeno y oxígeno, sino que dichos compuestos se encuentran en estado monoatómico formando una molécula de agua inestable en estado gaseoso, que tiene propiedades aún mejores que la mezcla de los dos gases, como por ejemplo mayor liberación de energía cuando es combustionado. De todas maneras, hasta el momento esta información es solamente una teoría de algunos autores, no hay registros formales de aceptación por parte de la comunidad científica que refieran valores medidos superiores a los del hidrógeno, y no está dentro de los objetivos de este trabajo investigar la naturaleza del gas obtenido, sino sus efectos al aplicarlo a un motor de combustión interna.

El hidrógeno posee ciertas características termoquímicas que lo hacen altamente deseable de utilizarse como combustible, o como aditivo a otro combustible para obtener mejores propiedades de dicha mezcla. Algunas de esas características son: posee un elevado poder calorífico másico; alta velocidad de llama (cinco veces superior a la de la nafta),

Galante, N. *et al.* Determinación de la performance ...

lo que permite aproximar el proceso de combustión en un motor de ciclo Otto al ciclo teórico (a volumen constante); energía requerida para la ignición muy baja; posee un amplio rango de inflamación, lo que permite enriquecer la mezcla y consecuentemente obtener una disminución del consumo de combustible y de las emisiones contaminantes.

Tabla 1. Propiedades del hidrógeno y de la nafta

Propiedades	Unidad	Hidrógeno	Nafta
Densidad (líquido)	kg/dm ³	0,07	0,73 - 0,74
Densidad (gas 25°C; 1 atm)	kg/ m ³	0,083	---
Densidad (gas 25°C; 200 bar)	kg/ m ³	15	---
Aire/Comb. Estequiométrico (vol.)	v/v	2,37	49,2
Aire/Comb. Estequiométrico (masa)	m/m	34,3	14,7
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	120	43,5
Límites de inflamabilidad	% vol	4 – 75	1 - 7,6
Energía mínima de encendido	mJ	0,02	0,24
Velocidad de llama laminar (NPT)	cm/seg	170	37 – 43
Número Octano Research	RON	60	97

Independientemente de la naturaleza del gas obtenido en el hidrolizador, pero dado que el hidrógeno se encuentra presente en dicho producto, se estudió el efecto del agregado de dicho gas en el proceso de combustión de un motor. Considerando el punto de vista energético, para que el hidrolizador funcione es necesaria su alimentación eléctrica, la cual puede realizarse de dos maneras. Una de ellas es alimentarlo mediante una fuente de energía exterior, lo cual permite evaluar las características de funcionamiento del motor con el agregado del gas, sin tener en cuenta la energía utilizada para realizar la electrólisis. El otro método consiste en alimentar al hidrolizador directamente del mismo motor, lo que produciría en éste una disminución de la potencia efectiva.

Parte Experimental

La etapa experimental del presente trabajo consistió en lo siguiente: como primera medida se verificó la cantidad de gas obtenido del hidrolizador mediante su alimentación eléctrica externa, con el objeto de medir el caudal producido. Luego se diseñó la instalación del hidrolizador y equipamiento periférico en el banco de pruebas del motor. Una vez completada la instalación se efectuaron ensayos en el banco de pruebas alimentando el hidrolizador mediante una fuente externa. Por último, se

Galante, N. *et al.* Determinación de la performance ...

volvieron a efectuar pruebas y mediciones, pero en este caso en un motor de baja cilindrada no aplicado en automotores. Estas últimas pruebas se realizaron al no observarse diferencias tangibles al aplicar el gas del hidrolizador en el motor automotriz instalado en el banco de ensayos, y en este caso se optó por evaluar el impacto en un motor con un consumo de combustible mucho menor.

Para este trabajo se utilizaron 2 hidrolizadores que serán identificados como n° 1 y n° 2, los mismos fueron utilizados de a uno, y en algunas pruebas se utilizaron ambos en paralelo, las cuales están especificadas en la sección de resultados. La unidad generadora de gas HHO o hidrolizador utilizado es de tipo "celda seca", el cual presenta una mayor eficiencia y un mejor funcionamiento respecto a los de tipo "celda húmeda". En los hidrolizadores de celda seca las placas y las conexiones eléctricas están selladas y no están en contacto con el electrolito. Este último es almacenado en un tanque que a su vez tiene la función de recibir el gas generado. La presión del gas en el tanque favorece la circulación del electrolito hacia la celda (la cual circula por gravedad). Comparando este tipo de generadores con los de celda húmeda, son más compactos; más eficientes dado que consumen menos energía eléctrica para el funcionamiento; producen menos pérdidas por calor; producen menos oxidación por lo tanto menor corrosión en los electrodos; y requieren menos mantenimiento (De Silva, 2015; Gölle, 2014). El gas que sale del tanque pasa por un filtro secador y está conectado a la admisión de aire del motor. Este filtro también cumple una función de seguridad ya que no permite el retorno de llama. El hidrolizador además posee un circuito electrónico a la entrada de alimentación de corriente que funciona mediante modulación de ancho de pulso. Con ello se logra controlar la intensidad de corriente de entrada y así mantener una temperatura de funcionamiento más baja y estable, aumentando la vida útil y mejorando la eficiencia. El electrolito utilizado en todos los casos fue NaOH y su concentración en el depósito del hidrolizador venía originalmente en una proporción de 6% P/V.

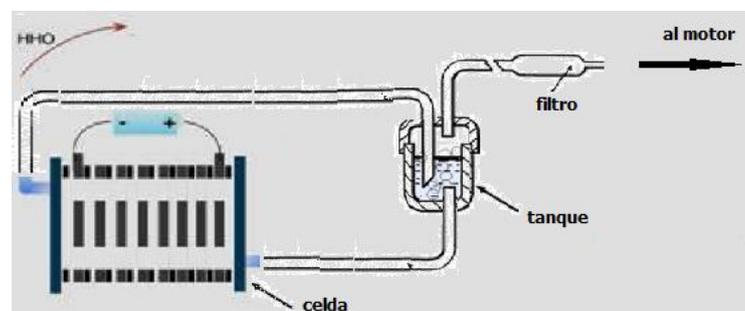


Fig. 2. Esquema de instalación

Las mediciones de caudal de gas producido por los hidrolizadores se efectuaron alimentando eléctricamente a los mismos y midiendo con un caudalímetro el producto a la salida en ml/s. Cuando se efectuaron estas mediciones se probaron también otras concentraciones mayores a la original para comparar los resultados y analizar el impacto de este incremento en el funcionamiento del equipo. Asimismo, se realizaron mediciones de caudal utilizando dos hidrolizadores en paralelo.

Las pruebas en los motores se realizaron en el Laboratorio de Máquinas Térmicas de la UTN FRBA. Se utilizó un motor de automóvil estándar el cual se ensayó en el banco dinamométrico, y dado que no se apreciaron resultados significativos, se utilizó un motor de baja cilindrada con el objeto de evaluar las prestaciones cuando el hidrolizador es aplicado a un motor que demanda mucho menos combustible para su funcionamiento. En éste se midieron las emisiones contaminantes y se registraron los valores de rpm al adicionar el gas producido por el hidrolizador.

Tabla 2. Motores utilizados en los ensayos

Datos Generales	MOTOR 1	MOTOR 2
Marca / Modelo	Volkswagen / Audi-Gol	Villa
Tiempos / Cant. Cilindros	4 / 4	4 / 1
Cilindrada total (cm ³)	1600	411
Potencia	97 CV	8 HP
Sistema de combustible	Nafta => Inyección "Marelli"	Nafta => carburador

En el motor de uso vehicular se realizó una primera prueba de prestaciones del mismo, simulando una condición de marcha estándar en ciudad a baja y media velocidad. Dicha prueba se efectuó con uno y con dos hidrolizadores funcionando en paralelo, y en ambos casos se utilizó la concentración original de electrolito y se los alimentó de corriente externamente de acuerdo a las especificaciones de fábrica (12-15 V y 5-13 A), para poder evaluar solamente la adición del gas producido a la combustión del motor. Dado que no se pudieron apreciar diferencias, posteriormente se realizaron pruebas de mayor duración y en ralentí para evaluar el impacto del gas adicionado en las emisiones (mediciones efectuadas antes del catalizador).

Resultados

A continuación, se exponen los resultados de las mediciones de caudal de gas producido por el hidrolizador para diferentes tensiones de

alimentación, para diferentes concentraciones de electrolito y también para diferente intensidad de corriente la cual fue variada mediante el uso del circuito electrónico del equipo.

Tabla 3. Medición de caudal gas producido por los hidrolizadores

hidrolizador en uso	concentración de electrolito [p/v]	tensión [V]	corriente [A]	caudal de gas producido [ml/s]
1	6	12,6	6	3,54
1	6	12,4	8	4,17
1	6	12,4	10	4,79
2	6	13,8	6	3,54
2	6	13,4	8	4,17
2	6	13,2	10	5,00
2	6	12	22	6,37
1+2	6	13,5	16	6,04
1+2	6	13,8	20	7,08
1	15	12,2	10	6,96
2	15	13	15	8,74
1	30	11	21	18,43
2	30	12	28	22,19

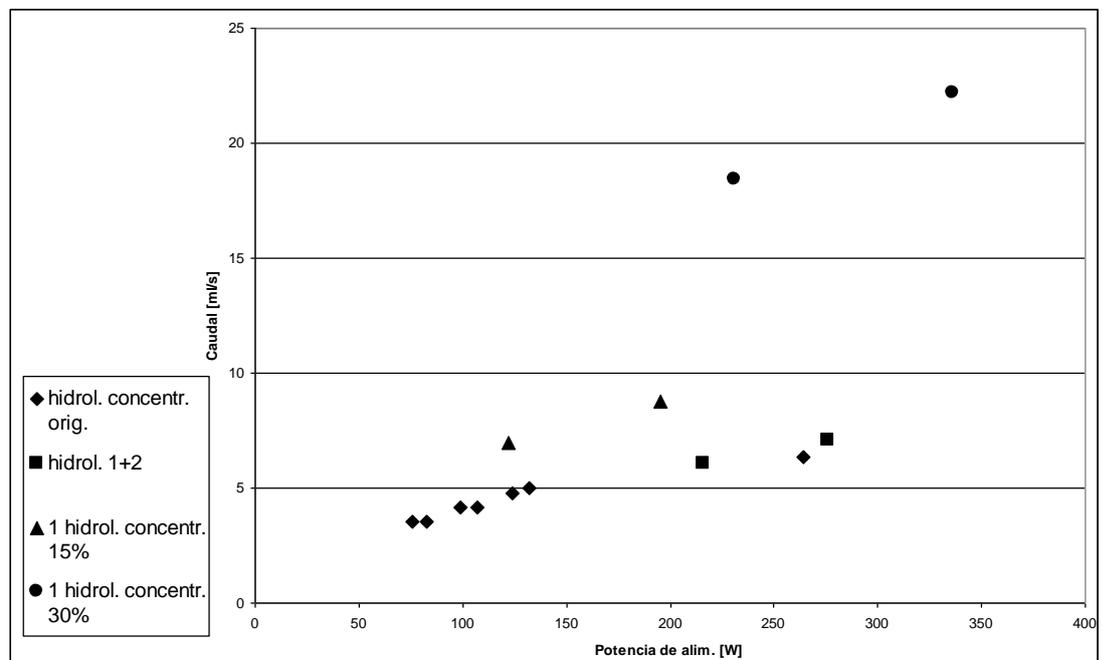


Fig. 3. Caudal de HHO producido por los hidrolizadores

Del análisis de las mediciones se aprecia que los valores de gas generado coinciden en gran medida con los especificados por los fabricantes de este tipo de hidrolizadores, que especifican aproximadamente 4 ml/s por cada 1000 cm³ de cilindrada de motor. De las pruebas con mayor tensión, mayor intensidad de corriente o mayor concentración del electrolito se observó que la cantidad de gas producido se incrementaba, pero la temperatura de funcionamiento del equipo se elevaba, se generaban muchas burbujas en las tuberías lo que restringía el flujo normal y por ende la producción, y el color de la solución se tornaba marrón, indicando oxidación y erosión de las placas metálicas. Este mismo fenómeno de oxidación se ha observado cuando el equipo estuvo un período prolongado sin uso. Se advierte también que un aumento significativo en la corriente de entrada, no genera un incremento de gas producido en la misma proporción, pero se verificó que ello ocasiona efectos poco deseados como ser un gran consumo de energía y la elevación de temperatura del sistema.

La tabla siguiente muestra los resultados de la prueba de prestaciones del motor simulando dos condiciones de marcha en ciudad.

Tabla 4. Prestaciones en motor automotriz, condición baja y media velocidad

hidrolizador en uso	n [rpm]	torque [kgm]	tiempo en consumir 50 gr. de comb. [s]
---	2000	11,7	19,4
1	2000	11,7	19,0
1+2	2000	12,0	19,8
---	3200	10,6	16,5
1	3200	10,2	16,9
1+2	3200	10,6	16,2

No se apreciaron diferencias significativas en los resultados cuando se adicionó el gas producido por los hidrolizadores al motor.

La prueba siguiente tuvo como objeto determinar si se lograban mejorar las emisiones contaminantes al utilizar los hidrolizadores. La misma se efectuó a bajas vueltas con el motor sin carga, para evaluar si en esa condición de funcionamiento la cantidad de gas producido tiene algún impacto. Adicionalmente la duración de cada prueba fue bastante mayor a las habituales para ver si se podían apreciar beneficios acumulativos en períodos prolongados con el motor estabilizado, los cuales podrían no poder advertirse en pruebas cortas.

Tabla 5. Emisiones en motor automotriz, condición ralenti

número de prueba	hidrolizador en uso	tiempo en consumir 50 gr. de comb. [s]	medición al minuto	CO [% vol.]	HC [ppm vol.]	NOx [ppm vol.]
1	---	234	0	0,245	136	55
			5	0,232	122	40
2	1	217	0	0,261	155	42
			3	0,241	130	47
			8	0,249	121	61
			10	0,250	132	59
3	2	227	0	0,233	130	58
			5	0,233	125	62
			8	0,242	134	59
			10	0,227	141	68
4	1+2	227	0	0,230	94	55
			5	0,230	124	61
			8	0,230	125	64
			10	0,228	130	58
5	1+2	229	0	0,223	135	59
			5	0,244	136	41
			10	0,238	137	63

No se observan diferencias en el consumo y las emisiones al utilizar los hidrolizadores.

Para tratar de obtener diferencias en los resultados cuando se aplicaba el gas HHO a la combustión del motor, se iniciaron las pruebas de los hidrolizadores en un motor de baja cilindrada. En este caso también se alimentó eléctricamente a los hidrolizadores de manera externa para evaluar el impacto en las emisiones contaminantes. Se pudieron apreciar algunas mejoras en el funcionamiento con la adición del gas HHO pero para que los mismos fueran percibidos la potencia suministrada tuvo que ser más elevada a la nominal de estos equipos. Es probable que el uso prolongado en esta condición acorte su vida útil de manera significativa. La instalación de este motor no está preparada para tomar mediciones de potencia o torque, pero la cantidad de nafta enviada al motor es constante, por lo tanto, en caso de ingresar más combustible debe advertirse un incremento en las rpm.

Tabla 6. Emisiones en motor de baja cilindrada

hidrolizador en uso	tensión [V]	corriente [A]	rpm	CO [% vol.]	HC [ppm vol.]
0	---	---	1500	0,235	240
1	12	8	1540	0,210	212
2	12	16	1565	0,202	208
1+2	12	20	1590	0,193	190

En estos ensayos realizados en un motor de baja cilindrada se apreció una tendencia de mejora en las emisiones contaminantes como así también un incremento en las rpm al adicionar el gas producido por los hidrolizadores, indicando una mejora en la combustión.

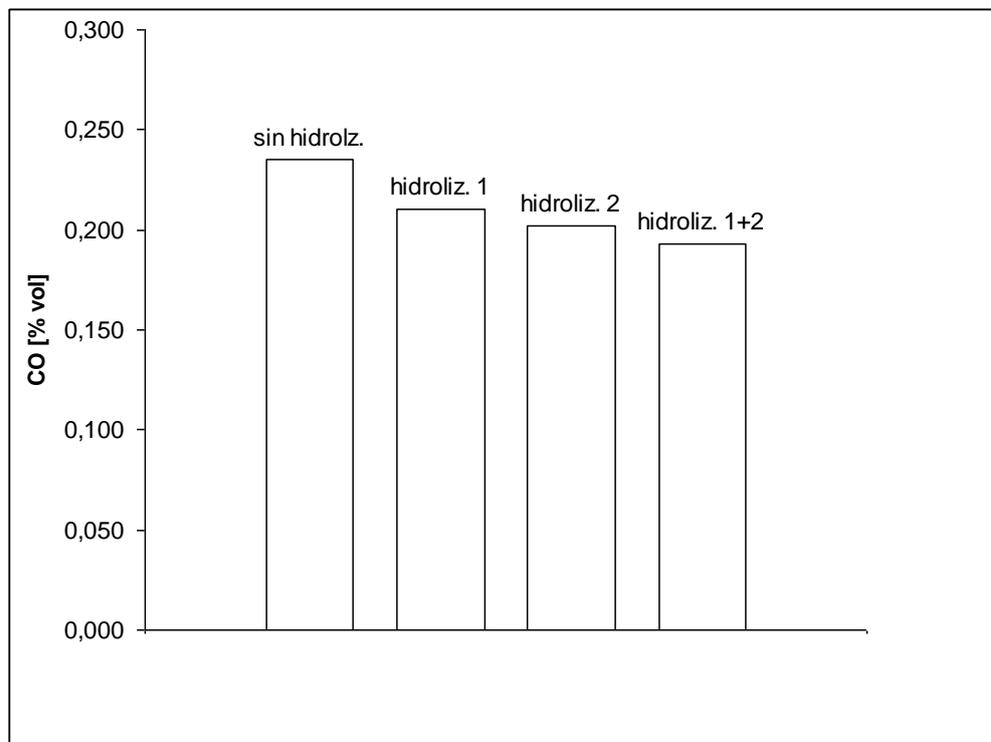


Fig. 4. Emisiones de CO del motor de baja cilindrada

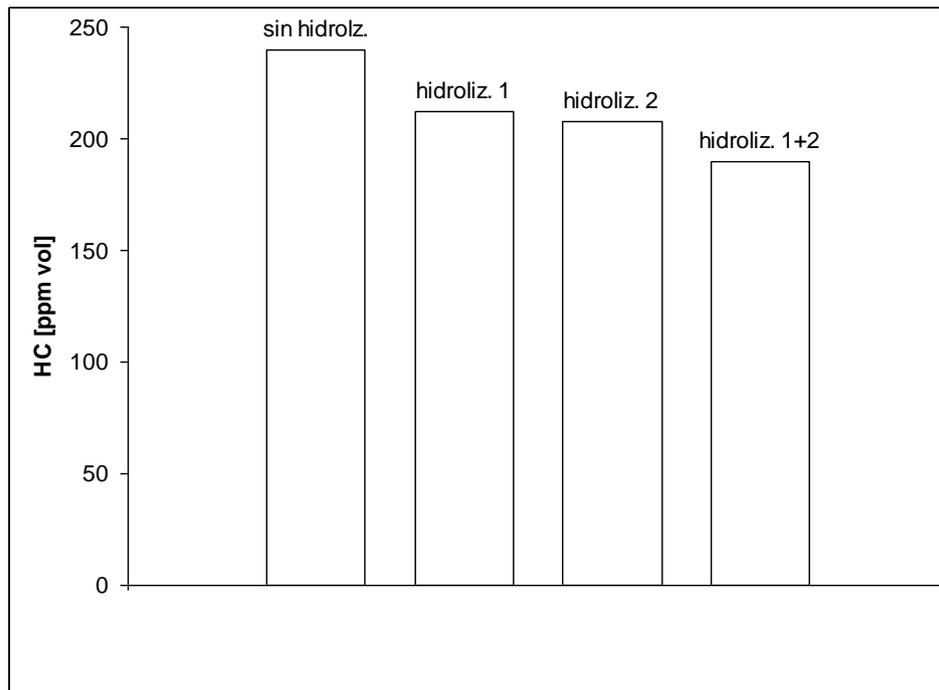


Fig. 5. Emisiones de HC del motor de baja cilindrada

Conclusiones

Del análisis de las mediciones de caudal de gas producido efectuadas en los hidrolizadores y de los ensayos practicados en el dinamómetro, es posible pensar que la cantidad de gas HHO producida es baja como para poder advertir alguna diferencia en el funcionamiento, incluso funcionando el motor en ralentí. Asimismo, los hidrolizadores ensayados producen un caudal de gas que depende de la alimentación eléctrica que reciban y de la concentración del electrolito, lo que hace suponer una cantidad de gas HHO adicionada a la combustión que no está vinculada a las diferentes condiciones de funcionamiento del motor (y por ende diferentes situaciones de combustión que ocurren). Es por ello que debiera existir algún sistema de control que dosifique el caudal de gas enviado de acuerdo a la condición de combustión reinante. Por otro lado, en caso que la energía necesaria para el funcionamiento del hidrolizador sea obtenida del mismo motor, si no se le realiza ninguna modificación como por ejemplo un aumento en la relación de compresión, la energía disponible de ese motor siempre va a ser menor cuando se utilice el hidrolizador dados los procesos termodinámicos involucrados en la generación del gas, es por ello que no son esperables mejoras en la potencia o el consumo específico de combustible.

En los ensayos realizados en el motor de baja cilindrada se han observado mejoras tanto en las emisiones contaminantes como un aumento en las rpm. Como fue dicho anteriormente si la energía de alimentación del

hidrolizador fuese tomada del mismo motor, es probable que no ocurriese el incremento de rpm, debido a que va a ser mayor la cantidad de energía necesaria para producir el gas HHO que la que éste mismo aporta cuando es combustionado. Como este motor es de baja cilindrada y su condición de funcionamiento es prácticamente constante, la adición del gas HHO ha mostrado una disminución de las emisiones contaminantes, apreciándose así el efecto del hidrógeno y del oxígeno en la combustión. El gas producido por el hidrolizador no posee carbono en su composición, pero posee oxígeno y la velocidad de llama del hidrógeno es alta por lo tanto la mezcla se quema más rápidamente y de forma completa (o en mayor medida que cuando no está presente el gas), por lo que disminuyen las emisiones de CO y HC. Cabe recordar que para advertir estas mejoras los hidrolizadores tuvieron que alimentarse con una corriente superior a la especificada por los fabricantes, lo que indicaría una baja eficiencia cuando el funcionamiento se realiza en la zona de máxima vida útil.

Se concluye que los equipos hidrolizadores generadores de gas HHO pueden inducir unas mejoras en el proceso de combustión y de esta manera disminuir las emisiones contaminantes. Hasta el momento los mismos tienen un desarrollo incipiente es por ello que deben concentrarse los esfuerzos en mejorar su rendimiento para que puedan ser aplicados en los motores convencionales de uso automotriz. Además, deberán diseñarse sistemas de control para que los mismos puedan adecuar la generación de gas a la demanda requerida por la condición de funcionamiento. Dado que estos equipos consumen una cantidad de energía mayor a la energía liberada en la combustión de su producto, es probable que no contribuyan a una disminución del uso de combustibles fósiles mientras sean aplicados a motores existentes. Luego de haber analizado la información obtenida en los ensayos, este equipo de trabajo se propone continuar con la investigación para determinar cuál es la cantidad de hidrógeno necesaria para la mejora de la combustión de un motor automotriz, y de esa manera poder establecer un horizonte para los fabricantes de los generadores de gas HHO.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dra. Patricia A. Della Rocca (U.T.N. F.R.B.A.) por su asesoramiento y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- AL ROUSAN, A. (2010) Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 35, p. 12930.
- DE SILVA, T.; SENEVIRATHNE, L.; WARNASOORIYA, T. (2015) HHO Generator – An Approach to Increase Fuel Efficiency in Spark Ignition Engines. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*. n. 2, p. 1.
- GOHAR, A. y RAZA, H., (2007) Comparative Analysis of Performance Characteristics of CI Engine with and without HHO Gas (Brown Gas). *Advances in Automobile Engineering*, v. 6, e. 4.
- GÖLLEI, A., (2014) Measuring and Optimisation of HHO Dry Crll for Energy Efficiency. *Acta Tehnica Corviniensis – Bulletin of Engineering*. T. 7, F. 4, p. 19
- MUSMAR, S.; AL ROUSAN A., (2011) Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines. *Fuel*, n. 90, p. 2011.
- SALEK, F.; ZAMEN, M. y HOUSSEINI, S., (2020) Experimental study, energy assessment and improvement of hydroxyl generator coupled with a gasoline engine. *Energy Reports*, n. 6, p. 146.
- SANTILLI, R., (2006) A new gaseous and combustible form of water. *International Journal of Hydrogen Energy*, n. 31, p. 1113.
- SHARMA, D.; PATHAK, D. y CHIKKARA K., (2015) Performance Analysis of a Four Stroke Multicylinder Spark Ignition Engine Powered by a Hydroxy Gas Booster. *JAAE*, v. 2, n. 1, p. 11.
- YILMAZ, A.; ULUDAMAR, E. y AYDIN, K., (2010) Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 35, p. 11366.