

# Desarrollo de un sistema de generación de HHO para un automóvil Volkswagen de motor de combustión interna 1.6 L que brinde un auxiliar al combustible para mejorar el rendimiento de la gasolina

Cruz Morales, Viridiana

2022-12-02

---

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5574>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

# Desarrollo de un sistema de generación de HHO para un automóvil Volkswagen de motor de combustión interna 1.6 L que brinde un auxiliar al combustible para mejorar el rendimiento de la gasolina

Arsuaga Gómez Diego (séptimo semestre en Ingeniería Automotriz)<sup>1</sup>, Bustos Contreras Juan Antonios (séptimo semestre en Ingeniería Automotriz)<sup>1</sup>, Cruz Morales Viridiana (quinto semestre en Ingeniería Mecánica) \*, Hoyos Falcó Luis (séptimo semestre en Ingeniería Automotriz)<sup>1</sup>, Nájera De Gante Karen Itzel (quinto semestre en Ingeniería Mecánica)<sup>1</sup>

Juan Carlos Colin Ortega (profesor responsable)<sup>1</sup>

*Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México<sup>1</sup>*

## Resumen

Este proyecto desarrolla un sistema de generación de oxihidrógeno a demanda instalado en la cajuela del automóvil (Volkswagen Gol 2020 con motor de 1.6 L), sin interrumpir el funcionamiento y autonomía de éste; a partir del proceso de electrólisis; para que con el HHO generado y combinado con la mezcla habitual (aire y gasolina) que llega al motor se mejore el rendimiento de la gasolina. Se trabajó con HHO debido a que es una molécula estable, a diferencia de otros explosivos; y necesita una fuente de ignición externa para que se produzca la deflagración, y dentro del motor se cumple con estas características por lo que resulta ideal para el cumplimiento del objetivo. El generador produce hasta 120 cm<sup>3</sup>/min de este gas, que posteriormente es inyectado junto con la mezcla habitual que llega al motor que consiste en gasolina y aire; así se evaluó el rendimiento de la gasolina con y sin la adición de este gas auxiliar. De acuerdo con los resultados obtenidos; el gas HHO generado, al ser inyectado en el motor de combustión interna del automóvil aumenta el rendimiento de litros de gasolina por kilómetros recorridos en 4.25%, así que se reduce el costo derivado del consumo de gasolina y a su vez se ven reducidos los gases contaminantes liberados a la atmósfera como consecuencia de la quema de combustibles fósiles como la gasolina.

**Palabras clave:** generador de HHO, rendimiento, combustible, potencia.

\***Autor Corresponsal:** viridiana.cruz@iberopuebla.mx

## Introducción

Actualmente, la concentración de los automóviles en las grandes urbes implica un riesgo elevado de contaminación atmosférica para la humanidad y, a medio plazo, puede ayudar al consumo desmedido de combustibles no renovables. El agotamiento de los combustibles fósiles; ha traído consigo un gran impulso en el desarrollo de energías alternativas, sobre todo en la industria automotriz, una de ellas es el hidrógeno ya que es considerado un combustible universal, ligero y muy reactivo [1]. Al lograr mejorar el rendimiento de combustibles fósiles, también atendemos la preocupación por la limitación y el futuro agotamiento de las reservas de combustibles [2].

El hidrógeno es un elemento químico representado en la tabla periódica por el símbolo H y con número atómico de 1. En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas diatómico (conformado de dos átomos de hidrógeno es su forma gaseosa) H<sub>2</sub>, incoloro, inodoro, insípido y altamente inflamable; siendo su valor de calor específico de combustión más de dos veces mayor al de la gasolina convencional, que justamente es una de las propiedades que lo convierten en una de las potenciales alternativas sustentables para sustituir en el futuro los derivados del petróleo [3].

El hidrógeno no es explosivo, es una molécula estable; a diferencia de los explosivos, el hidrógeno necesita una fuente de ignición externa para que se produzca la deflagración.

Para que este elemento arda son indispensables tres condiciones esenciales que son: que el hidrógeno se mezcle con el oxidante, que la mezcla este dentro de los límites de inflamabilidad y que esté presente una fuente adecuada de ignición, mismas que son proporcionadas al mezclarse con la gasolina y el aire dentro del motor de combustión [4].

En la actualidad, una de las principales aplicaciones energéticas para el hidrógeno son las “celdas de combustible”, dispositivos compuestos de dos electrodos y un electrolito que permiten la conducción de iones. El principio de funcionamiento de una celda de combustible es la conversión directa de energía química a eléctrica, la cual se lleva a cabo al combinar electroquímicamente el hidrógeno como combustible y el oxígeno del aire como oxidante [5]. Existen diferentes antecedentes que apoyan el funcionamiento del hidrógeno como fuente de energía: generadores de hidrógeno para optimizar la combustión, celdas de hidrógeno entre otras.

Anteriormente, ha habido estudios y experimentos que acompañan el desarrollo del proyecto, como lo es el análisis de la implementación de una celda de combustible en una motocicleta tipo escúter e igualmente la implementación de un generador de hidrógeno de celda seca en un vehículo Chevrolet steem 1.6L de los cuales se han obtenido resultados que pueden favorecer la realización de nuestro proyecto en específico, innovando, optimizando y mejorando ciertos procesos y productos a comparación de los mencionados anteriormente [3, 6].

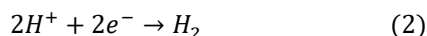
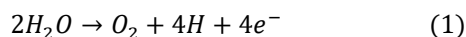
Este proyecto desarrolla un sistema de generación de oxihidrógeno a demanda instalado en la cajuela del automóvil (Volkswagen Gol 2020 con motor de 1.6 L), sin interrumpir el funcionamiento y autonomía de éste; a partir del proceso de electrólisis; para que con el HHO generado y combinado con la mezcla habitual (aire y gasolina) que llega al motor se mejore el rendimiento de la gasolina.

## Metodología

### Diseño Experimental

Para separar la molécula de agua se eligió el proceso de electrólisis, mediante una fuente de energía eléctrica conectada a cuatro electrodos sumergidos en un electrolito, de tal forma que se produzca la descomposición del agua en oxihidrógeno. Se utilizó agua destilada como solvente y bicarbonato de sodio como soluto ya que ofrece mejor eficiencia en la producción de hidrógeno. Así, cuando juntamos este reactivo con agua destilada se produce una reacción química que los transforma en los siguientes productos, agua, acetado de sodio (una sal) y dióxido de carbono (un gas). Para completar el proceso, el sistema cuenta con cuatro electrodos de varilla roscada de acero inoxidable.

En el par de electrodos con carga positiva, se extraen 4 electrones a dos moléculas de agua y así se disocian en 1 molécula de oxígeno gaseoso y 4 iones de carga positiva  $H^+$  (Eq 1) Mientras que en el par de electrodos con carga negativa cada dos cationes  $H^+$  toman 2 electrones, formando una molécula de hidrógeno gaseoso (Eq 2) [7].



Por convención el sistema de generación a demanda de HHO es potenciado directamente del alternador del automóvil, para variar el amperaje suministrado cuando las condiciones del auto así lo requieren controlando la corriente eléctrica entregada al sistema conforme se acelere o desacelere el auto, sin embargo, para las pruebas realizadas el generador se conectó exclusivamente a la batería del automóvil.

Para la alimentación del generador de HHO se dispuso de hasta 3 A de corriente (I) y 14 V en estado de ralentí. Según la ley de Ohm (Eq 3) se definió una resistencia eléctrica de  $4.67 \Omega$ .

$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

Conociendo la resistencia, para un cierto volumen de una solución de agua destilada concentrada 30% con bicarbonato de sodio con valor de resistividad ( $\rho = 0.1 M\Omega \cdot cm$ ), (Eq 4) podemos determinar la distancia teórica o estándar a la que se deben colocar los electrodos entre sí [8].

$$R = \rho \left( \frac{l}{A} \right) \quad (4)$$

El determinar esta distancia (mínimo de 2mm) es importante para no exigir más corriente o voltaje del disponible y llegar a sobrecalentar la batería o el electrolito que desencadenaría una reacción peligrosa. Sumado a esto, se consideró también en el diseño final el movimiento del generador al encontrarse en un automóvil en funcionamiento y que se debía conseguir una mayor distancia entre los electrodos para evitar un corto circuito, siendo la distancia final entre electrodos de 15 mm. El prototipo se basa en un tubo de PVC con diámetro de 2", y una altura aproximada de 35 centímetros. En la parte superior del generador se encuentra una perforación con un ducto, por el cual el HHO saldrá directamente al motor, tal como se indica en la figura 1.

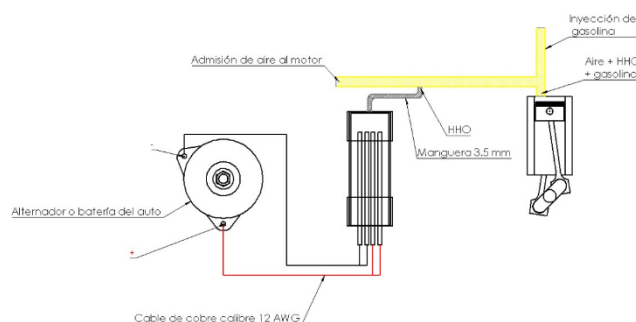


Fig. 1. Diagrama de conexiones internas del generador de hidrógeno en el automóvil.

La adición del gas HHO a la mezcla no genera corrosión ni problemas de incompresibilidad ya que, no existe periodo de tiempo en el que se forme agua en estado líquido, esto gracias a la elevada presión de 155 psi y temperatura  $2,300^\circ C$  que resulta en el momento de la compresión dentro de la cámara de combustión; únicamente se genera en estado gaseoso (esto sucede a partir de una presión de 14.64 psi y  $100^\circ C$ ) durante el ciclo de expansión y de escape, es por esto, que no hay posibilidad de que pueda ocurrir una ruptura de biela o válvula. Acerca del catalizador, éste tiene la capacidad de filtrar vapor de agua por defecto, por lo que no provoca malfuncionamientos dentro de él.

El HHO se produce solo cuando el motor está en marcha y es inmediatamente inyectado al motor, donde se mezcla con el combustible existente. Con las válvulas cerradas el pistón comienza a subir hasta llegar de nuevo a su punto muerto superior comprimiendo la mezcla de aire, combustible y HHO; con la cámara de combustión llena de mezcla y las válvulas aún cerradas se genera una detonación bien iniciada por una chispa eléctrica.

La mezcla de HHO, aire y combustible se quema de forma más eficiente, reduciendo significativamente el consumo de combustible y la cantidad de contaminantes liberados al aire.

## Resultados y Discusión

### Alimentación eléctrica experimental

El diseño del prototipo se montó e instaló en el automóvil con todas las especificaciones ya mencionadas para su prueba; en primera instancia alimentado por la corriente eléctrica directa de la batería del automóvil por la seguridad de operación que ofrece tanto para el operador como para el automóvil en sí.

El generador de HHO alimentado con la energía eléctrica proporcionada directamente de la batería logró producir hasta  $120 \frac{cm^3}{min}$  de este gas, esto de manera constante, siendo inyectado directamente a la entrada del motor.

### Rendimiento

Con la instalación del generador de HHO se obtuvo un aumento en el rendimiento que se registró directamente de la computadora del automóvil, por los datos recolectados en ella de los kilómetros rendidos por litro de gasolina.

Basado en la investigación “Efecto del uso de hidrógeno en la potencia y rendimiento de un motor de combustión interna” realizada en la Universidad Tecnológica Equinoccial (2016) cuyos resultados arrojaron un aumento en el rendimiento de la gasolina del 7%; se considera como un parámetro aceptable un aumento similar [9].

A continuación se observa el comportamiento del rendimiento de km/l, desde un estado cero cuando se sale del estado de ralentí a 2500 rpm hasta que la computadora del automóvil logra estabilizar el valor del rendimiento de kilómetros por litro de gasolina aproximadamente 3 minutos después del estado cero; en primer lugar cuando el motor se pone en marcha en condiciones habituales operando únicamente con gasolina como combustible, y en segundo lugar cuando se inyecta el gas auxiliar de HHO brindado por el generador diseñado.

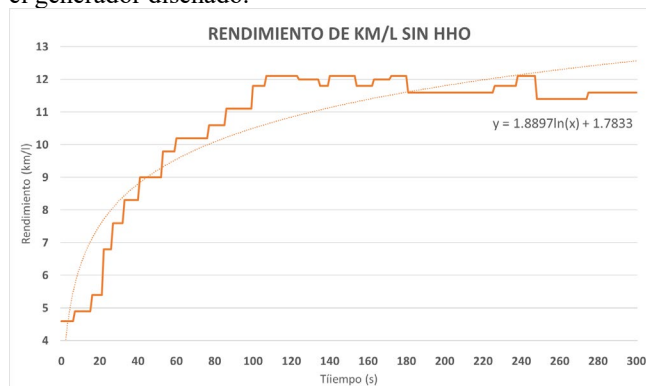


Fig. 2. Rendimiento de la gasolina en km/l.



Fig. 3. Rendimiento de la gasolina con gas HHO inyectado en km/l.

Se realizó una regresión logarítmica para el análisis numérico y estadístico del comportamiento del rendimiento (R) en kilómetros por litro; tanto del automóvil trabajando con gasolina únicamente (Eq 5) así como cuando se inyecta al motor la mezcla del gas HHO y gasolina (Eq 6) en un

rango de 5 minutos, en un ambiente controlado con el automóvil subido en un par de torres automotrices y minuciosamente regulando con el pedal la aceleración demandada por el usuario a 2500 rpm.

$$R = 1.8897 \ln(t) + 1.7833 \quad (5)$$

$$R = 2.1501 \ln(t) + 0.7942 \quad (6)$$

Con estos datos, se proyectó el comportamiento del rendimiento hasta un intervalo de 10 minutos, para obtener valores de rendimiento que respondieran a un comportamiento estable. Así se obtuvo un rendimiento de  $12.96 \text{ km/l}$  en condiciones habituales y de  $13.51 \text{ km/l}$  cuando se inyecta el gas HHO. Con el diseño e implementación del generador de HHO se logró un aumento de hasta  $0.55 \text{ km/l}$ , o lo que representa un incremento del rendimiento en un 4.25%.

### Consideraciones técnicas

Se experimentó con la corriente directa de la batería, sin embargo, no se llegó a experimentar con la alimentación eléctrica del alternador para comprobar su funcionamiento a demanda, es decir, la posibilidad de producir y por tanto inyectar más HHO cuando se acelere el automóvil y aumentar el rendimiento, por lo que esta cuestión se mantiene como hipotética.

Se trabajó con el modelo de auto seleccionado que tiene integrado un sensor de oxígeno que forma parte del sistema de control de emisiones, ubicado en el múltiple de escape cuya tarea es ayudar al motor a funcionar lo más eficiente posible y detectar una mezcla ideal de 1 parte de gasolina a 14.7 partes de oxígeno y así ajustar la cantidad de combustible necesaria para ingresar al motor.

Es por esto, que cuando el sensor detecte una mayor cantidad de oxígeno en los gases de escape, debido a la adición de HHO a la mezcla, el sensor envía una señal eléctrica a la computadora del auto, ocasionando que ésta indique que se debe inyectar más combustible, lo que hará que se consuma más gasolina de la que debería, lo que representa una limitante para incrementar de manera significativa el rendimiento de la gasolina.

### Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos, el diseño e instalación del generador de HHO mostraron que este gas derivado del proceso de electrólisis al inyectarse junto con la mezcla habitual de gasolina y aire con la que funciona el motor de combustión interna de un automóvil aumenta el rendimiento en kilometraje respecto al consumo por litro de gasolina en 4.25%, por lo tanto, se reduce el costo derivado del consumo de gasolina y a su vez se ven reducidos los gases contaminantes liberados a la atmósfera como consecuencia de la quema de combustibles fósiles como la gasolina.

Teóricamente al conectarse el generador diseñado al alternador como fuente de energía debería de responder a la aceleración requerida por el operador, es decir, aumentar la

producción de HHO conforme se solicite más potencia al motor y ver reflejado también más rendimiento.

Para posibles nuevos proyectos se recomienda considerar que es necesaria la reprogramación de la computadora del

automóvil para modificar los parámetros del sensor de oxígeno ya que así se podrá reflejar un ahorro de combustible mayor sin la limitante que el sensor de oxígeno representa; o en su defecto, trabajar con automóviles carburados.

## Referencias

- [1] Tamayo, E., Rosales, C., Guzmán, A., & Pazmiño, P. **Efecto del uso de hidrógeno en la potencia y rendimiento de un motor de combustión interna**. *Scielo*. 2016. [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1390-65422016000400043&lng=es&nrm=iso](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1390-65422016000400043&lng=es&nrm=iso) (Activo septiembre de 2022)
- [2] Riesco Ávila, J.M; Gallegos Muñoz, A; Montefort Sánchez J.M. & Martínez Martínez S. **Procesos Alternativos de Combustión en Motores de Combustión Interna**. *Acta Universitaria*. 2005. <https://doi.org/10.15174/au.2005.227> (Activo septiembre de 2022)
- [3] Quezada Romero, E. M. **Implementación de un generador de hidrógeno de celda seca en un vehículo Chevrolet Steem 1.6L**. *Universidad Politécnica Salesiana*. 2014. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7354/1/UPS-CT004305.pdf> (Activo septiembre de 2022)
- [4] Suárez Alcántara, K. **Un poco de todo sobre el hidrógeno**. *Ciencia*. 2019. [https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/70\\_1/PDF/Hidrogeno.pdf](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/70_1/PDF/Hidrogeno.pdf) (Activo septiembre de 2022)
- [5] Romero Placeres, M; Diego Olite, F. & Álvarez Toste, M. **La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud**. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 2016. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223214848008> (Activo septiembre de 2022)
- [6] Pellissier, C. **Análisis de la implementación de una celda de combustible en una motocicleta tipo escúter**. *Universidad Tecnológica de Pereira*. 2016. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/8c23b1f3-e362-44c3-8204-c03f2c5b914c/content> (Activo octubre de 2022)
- [7] Redacción. **Electrólisis del agua**. *Centro de Estudios Cervantino*. 2020. <https://www.centroestudioscervantinos.es/electrolisis-del-agua/> (Activo octubre de 2022)
- [8] Beltrán Beltrán N. & Carmen Romero, L. **Determinación de la densidad de corriente y distancia entre electrodos óptimos para la producción de hidrógeno en un reactor tubular**. Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3784> (Activo octubre de 2022)
- [9] Tamayo, E; Rosales, C; Guzmán, A; Pazmiño, P. **Efecto del uso de hidrógeno en la potencia y rendimiento de un motor de combustión interna**. Universidad Tecnológica Equinoccial. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.113> (Activo octubre de 2022)