

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Implementación de un Sistema Generador de

Hidrógeno en un Motor Carburado

Proyecto de Investigación

Jimmy Alexander León Chacón

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del
título de Licenciado en Electromecánica Automotriz

Quito, 13 de mayo de 2019

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio De Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Implementación de un Sistema Generador de Hidrógeno en un Motor Carburado

Jimmy Alexander León Chacón

Calificación:

Nombre del profesor, título académico:

Gonzalo Tayupanta MSc.

Firma del profesor:

Quito, 13 de mayo del 2019

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Jimmy Alexander León Chacón

Código: 00123300

Cédula de Identidad: 1717212649

Lugar y fecha: Quito, 13 de mayo del 2019

RESUMEN

El presente proyecto de investigación pretende demostrar si son reales los beneficios de la instalación de un sistema generador de Hidrógeno en vehículos a gasolina y evaluar el comportamiento de éste, que proyecta mejorar la eficiencia de un motor, aportando una serie de condiciones positivas con el uso de este gas combinado con el carburante. Este sistema que ofrece además de ventajas ecológicas, ventajas económicas reduciendo el consumo de combustible, entre otras. Se realizó el ensayo de este sistema en un motor convencional, pero carburado, donde se pudo constatar que la instalación es sencilla de realizar, los elementos fueron básicos. El sistema ofrece el uso del Hidrógeno que combinado con el carburante (en este caso gasolina) mejoran la eficiencia del motor, reducen gases del efecto invernadero a través de las emisiones de escape, entre otras; basta con agregar agua desmineralizada al depósito y este por un proceso interno de electrolisis separa los componentes químicos (H_2 y O_2) en Hidrógeno y Oxígeno respectivamente. El Hidrógeno se desvía o conecta a la admisión del aire para que se mezcle con el carburante y sea más eficiente la combustión, resultando así, un mejor torque mecánico y en consecuencia una mejor eficiencia.

Palabras Clave: Hidrógeno, Electrólisis, Motor.

ABSTRAC

The present research project aims to demonstrate if the benefits of installing a hydrogen generator system in gasoline vehicles are real and to evaluate the behavior of this, which aims to improve the efficiency of an engine, providing a series of positive conditions with the use of this gas combined with the fuel. This system also offers ecological advantages, economic benefits by reducing fuel consumption, among others. The test of this system was carried out in a conventional vehicle, but carbureted, where it was found that the installation is simple to make, the elements were basic. The system offers the use of the Hydrogen that combined with the fuel (in this case gasoline) improve the efficiency of the engine, reduce greenhouse gases through exhaust emissions, among others; it is enough to add demineralized water to the deposit and this by an internal process of electrolysis separates the chemical components (H₂ and O₂) in Hydrogen and Oxygen respectively. The hydrogen is diverted or connected to the air intake to be mixed with the fuel and combustion is more efficient, resulting in a better mechanical torque and consequently better efficiency.

Key Words: hydrogen, electrolysis, engine.

Tabla de Contenido

Introducción	1
Capítulo 1	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.1.1 Antecedentes.....	3
1.1.2 Justificación.....	3
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
Capitulo 2	
2.1 Marco teórico	5
2.1.1 Motor de combustión interna de cuatro tiempos.....	5
2.1.2 Ciclo teórico de la combustión interna.....	6-7
2.1.3 Principios físicos y componentes del motor.....	8-8
2.1.4 El hidrógeno.....	9
2.1.5 El hidrógeno como combustible.....	10-10
2.1.6 Generación del hidrógeno.....	10
2.1.7 Electrolisis.....	11
2.1.8 Electrolisis en agua.....	11-12-13
2.1.9 Electrolito.....	13
2.1.10 Hidróxido de sodio.....	14-14
2.1.11 Agua destilada.....	15-15
2.1.12 Componentes de los gases de escape.....	16
2.1.13 Gases inofensivos.....	17
2.1.14 Gases contaminantes y nocivos.....	17-17
2.1.15 Sonda lambda y relación aire – combustible ARF.....	18-18-19
2.2. Métodos de investigación.....	21
2.2.1 Método de observación.....	21
2.2.2. Método analítico.....	21
2.2.3 Método deductivo.....	21
2.2.4 Método científico.....	22

2.3 Técnicas.....	22
2.3.1 Instrumentos y Materiales.	22-22
2.4 Funcionamiento del sistema generador de hidrógeno.	23-23
2.5 Elementos para el sistema de hidrógeno.	24
2.5.1 Sistema Eléctrico.	24
2.5.2. Sistema Mecánico.....	25
2.6 Análisis de los parámetros básicos del motor G16 Suzuki.	25
Capítulo 3	
3 Instalación del sistema generador de hidrogeno en el motor G16 Suzuki.	27
3.1 Generalidades.	27
3.2 Precaución y seguridad.....	27
3.3. Preparación del electrolito.....	28
3.4. Proceso de Instalación.	28-28-29-30-31-32-33-34
Resultados y Discusion	36-36-37
Comparación entre los valores de los gases de escape del Motor Suzuki G16 y los valores normales de gases de escape.	39-39
Conclusiones	41
Recomendaciones	41
Bibliografía	42-43

Lista de Tablas

Tabla 1. Emisiones de gases de escape sin el uso del generador de HHO	32
Tabla 2. Emisiones de gases de escape con el uso del generador de HHO.....	33
Tabla 3. Porcentaje de variación de emisiones con y sin el uso del sistema de HHO.....	34
Tabla 4. Valores normales de los gases de escape emitidos en motores de combustión interna, solo carburados	37
Tabla 5. Comparativa de los valores reales de gases de escape del motor G16 Suzuki (con y sin la adición de Hidrógeno) con valores normales	38

Lista de Figuras

Figura 1. Fuerza del desplazamiento del pistón	5
Figura 2. Ciclo teórico motor cuatro tiempos	7
Figura 3. Electrolisis	12
Figura 4. Hidróxido de Sodio.....	15
Figura 5. Composición de los gases contaminantes de Gasolina y Diesel	16
Figura 6. Combustión ideal con mezcla estequiometrica o AFR ideal	19
Figura 7. Combustión real	20
Figura 8. Ubicación en el motor maqueta del Sistema Generador de HHO	29
Figura 9. Conexión del depósito de electrolito con la celda generadora de HHO	30
Figura 10. Conexión de las mangueras: depósito -admisión motor -cámara de combustión	31
Figura 11. Diagrama de conexión eléctrica	31
Figura 12. Verificación de las conexiones eléctricas.....	31
Figura 13. Encendido del motor.....	32
Figura 14. Análisis de los gases de escape	33

Capítulo 1

Introducción e Información General

En el presente, el consumo de carburantes derivados del petróleo es sumamente elevado acarreando como consecuencias negativas gases nocivos para la salud, efecto invernadero y cambios climáticos a gran escala, es por esto que la sociedad y los fabricantes de automóviles han buscado maneras alternativas y amigables con el objetivo de generar fuentes de energías menos agresivas con la naturaleza, una de estas maneras es la implementación del gas Hidrógeno en el sector automotriz.

En el siguiente trabajo se pretende demostrar los alcances de la implementación del Hidrógeno en los motores de combustión interna y verificar si es idealizable para promover el uso de este gas alternativo e inerte, además de ser el más abundante en el ambiente y de fácil obtención, ya que es a partir del agua que se obtiene dicho gas por medio de una tensión de 12 voltios al realizar el proceso de electrolisis y con la ayuda de un electrolito, disociar el agua en sus dos moléculas esenciales que son Hidrógeno y Oxígeno, obteniendo el carburante (H_2) que servirá para alimentar un motor. Al mismo tiempo evaluar la creación de un sistema de alimentación para que un motor funcione con ambos tipos de combustible con la intención de hacer ensayos y análisis de los gases de escape verificando de esta manera si se obtienen o no, los populares beneficios usando esta fuente de energía amigable con el medio ambiente.

Como objetivo principal se implementará un generador de Hidrógeno en una maqueta de motor de tres cilindros realizado en el taller de la Universidad, después de esta práctica se estudiará y analizará los resultados de las emisiones de gases a través de un medidor, realizando pruebas, ensayos y verificaciones con el motor en funcionamiento.

El sistema generador del Hidrogeno consta básicamente de un deposito (botella), mangueras de diversas medidas, relé, cables de distintos amperajes, depósito del electrolito y el electrolito. El agua como elemento básico y de fácil adquisición y el electrolito para la reacción química usado es el Hidróxido de Sodio.

Los resultados obtenidos fueron objeto de un análisis comparativo con el motor a gasolina y el motor a gasolina y adición del Hidrógeno.

1.1 Planteamiento del Problema

1.1.1 Antecedentes.

En la actualidad, el consumo de combustible derivado del petróleo es muy elevado arraigando consigo la mayor parte de contaminantes que se producen en la tierra, los cuales son nocivos para la salud y para el ambiente, es por esto que se investigan nuevas formas de energía que disminuyan de manera considerable la contaminación ambiental.

En el sector de la industria automotriz se requiere contar con tecnologías aplicables en la búsqueda de alternativas que contribuyan a reducir la polución generada por la emisión de gases nocivos al ambiente. El presente trabajo pretende demostrar la implementación de un sistema de hidrógeno en un motor maqueta carburado y evaluar si sus ventajas son las que este sistema ofrece en cuanto a la reducción del consumo de combustible y eliminación de gases nocivos al ambiente.

1.1 .2 Justificación.

El desarrollo de la tecnología en el mundo automotriz avanza a pasos agigantados orientados siempre a la construcción de vehículos más amigables con el ambiente, y su vez con un mayor ahorro de combustible. Esto incentiva a investigar sobre como el agua puede funcionar como fuente de energía en la implementación de un sistema generador de hidrógeno como combustible, a partir del agua, en un motor común pero carburado. Este dispositivo se instala en aproximadamente 45 minutos y solamente se debe mantener con agua limpia para su funcionamiento. Su costo se evalúa entre los 350,00 USD aproximadamente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General.

Implementación de un Sistema Generador de Hidrógeno en un Motor Carburado.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Instalar el sistema generador de Hidrógeno adquirido en el mercado y realizar las pruebas correspondientes en el motor de combustión interna antes y después de la instalación en el sistema de aire del generador de Hidrógeno.
- Evaluar la composición de los gases de escape producto de la combustión.
- Analizar y comprobar la realidad de los beneficios de este sistema.

Capítulo 2

El Motor de Combustión Interna a Gasolina

2.1 Marco teórico

2.1.1 Motor de combustión interna de cuatro tiempos.

Básicamente un motor de combustión interna es un elemento de potencia, que al generarse en su interior una reacción química de un carburante con oxígeno y fuego sometido a una alta presión que a través de un complejo proceso mecánico, esta reacción es transformada en energía mecánica o torque. Al realizarse la combustión dentro del motor se evidencia que su nombre se debe a esta reacción. Todo combustible posee una energía interna que puede ser convertida en trabajo; en los motores de combustión interna, la energía usada para que el motor realice el trabajo es la energía interna del carburante. Esta energía interna se exterioriza con un aumento de presión y de temperatura (explosión) que es lo que realizara el torque o trabajo.

En un ejemplo se tiene un cilindro dentro del cual hay un combustible mezclado con aire, si se calienta, reacciona dicho combustible con el aire y por lo tanto aumenta la presión y temperatura del gas expandiéndose y forzando a bajar al pistón.

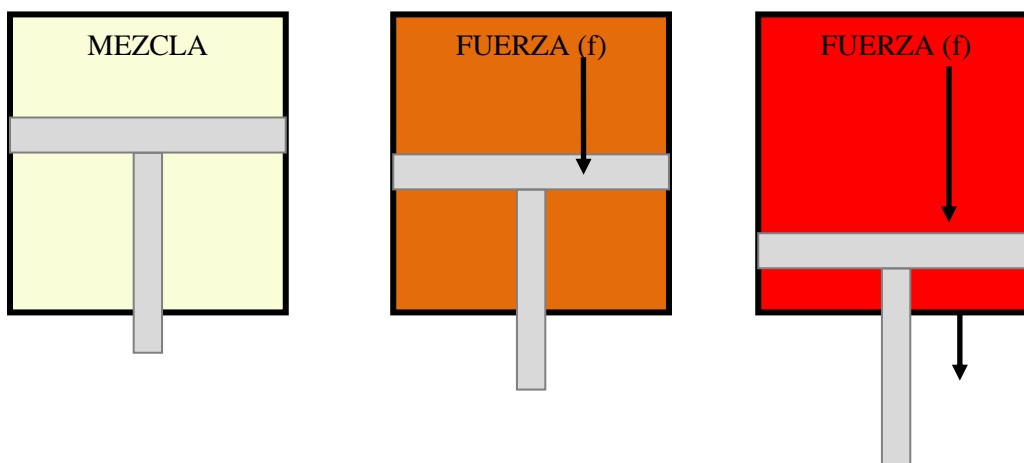


Figura 1. Fuerza del desplazamiento del pistón

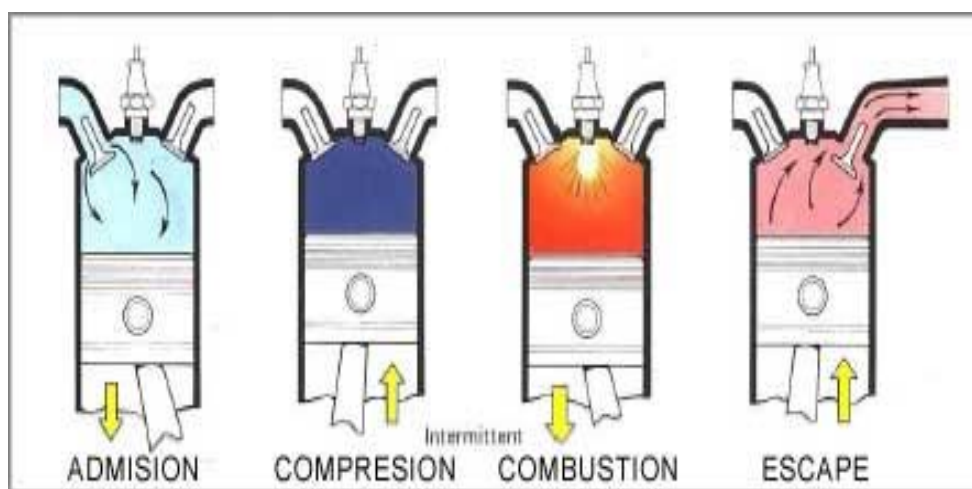
Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Ciclo teórico de la combustión interna.

La termodinámica es la ciencia que estudia los procesos de cambio de energía en los que interviene el calor y trata de los efectos mecánicos debidos al mismo en un sistema termodinámico, en este caso este sistema será un motor de combustión interna. El motor de combustión interna es una máquina térmica que transforma la energía térmica en mecánica, proporcionando un trabajo, este trabajo a la cadena cinemática del vehículo consiguiendo su movimiento. Por lo tanto, no solo basta con un proceso de explosión de combustible, sino que también hace falta un proceso de admisión para que el carburante con la cual funciona el motor, entre al cilindro, así mismo un proceso de escape de los gases resultantes de la explosión. Básicamente ya se tiene descrita tres fases: admisión, explosión y escape. El proceso de compresión se añadió tiempo después. Con este último proceso se consiguió el aumento de presión al momento de la explosión. Así entonces queda el proceso de motor de combustión interna con sus cuatro fases bien definidas: admisión, compresión, combustión y escape. En la figura 2 se apreciará el ciclo teórico del motor de combustión interna. (Hernandez, 2014).

Figura 2. Ciclo teórico motor cuatro tiempos.

En la fase de admisión la mezcla posee una presión inicial, posteriormente se tiene la etapa de compresión donde el pistón se desplaza hacia el punto muerto superior (PMS) para reducir el volumen y aumentar la presión del carburante, a continuación, la etapa de combustión o explosión, el sistema absorbe el calor, aumenta la presión y temperatura de la mezcla, ese gas a alta presión y temperatura se expande y desplaza el pistón hacia el punto muerto inferior (PMI) realizando un trabajo útil. Finalmente, el escape, los gases quemados salen del cilindro dejándolo limpio para repetir el ciclo.



Un motor convencional de cuatro tiempos se le denomina Ciclo Otto, es el más empleado en la actualidad.

La termodinámica nos sugiere que el rendimiento de un motor ciclo Otto, depende en primera instancia del grado de compresión. Esta relación en la mayoría de diseños suele ser de 8 a 1 o de 10 a 1; (8:1; 10:1). Se pueden usar proporciones mayores aumentando la eficiencia del motor, pero este diseño requiere el uso de combustibles de alto índice de octanaje para evitar el fenómeno de la detonación, que puede causar daños internos en el motor. El rendimiento de un motor Otto es de un 20 al 25%, solo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica. (Juan, 2013)

2.1.3 Principios físicos y componentes del motor.

Para poder seguir el ciclo hace falta un mecanismo capaz de producir cuatro carreras del pistón para realizar los procesos del ciclo. El mecanismo manivela - biela. En el proceso de expansión es cuando los gases empujan el pistón hacia abajo con una fuerza llamada F (**Fig. 1**), dicha fuerza es transmitida a la biela que es la pieza encargada de convertir el movimiento rectilíneo del pistón en movimiento rotativo. La biela le da la fuerza al cigüeñal que es la pieza que girará sobre sí mismo regido a la fuerza que le suministra la biela.

Los principales componentes del motor son los siguientes:

El Cilindro. Componente dentro del cual se mueve el pistón con movimiento rectilíneo alternativo, se considera como la estructura soporte del motor.

La Culata. Forma la parte superior del cilindro, al cual cierra dejando un volumen comprendido entre ella y el pistón que se denomina cámara de combustión o de compresión en la que se quema la mezcla.

El pistón. Dotado del segmento que impide la fuga de la mezcla o gas, entre él y el cilindro, transmite el empuje del gas a través del perno a la biela y de esta, a la manivela del cigüeñal.

La Biela y el Cigüeñal. Constituyen un sistema mecánico que transforman el movimiento lineal alternativo del pistón en movimiento de giro de cigüeñal, el cual para reducir el rozamiento gira sobre los cojinetes de bancada.

Admisión y Escape. Conductos a través de los cuales se carga y descarga el fluido operante del interior del cilindro.

Válvulas de Aspiración y Escape. Accionados por un sistema mecánico denominado distribución que son mantenidas en su asiento por la acción de su muelle, abren y cierran el cilindro permitiendo que los gases frescos y quemados entren y salgan en los momentos oportunos. (Carlos, 2018).

2.1.4 El Hidrógeno.

Es un elemento químico que en condiciones normales de presión y temperatura se comporta como un gas diatómico (H_2), incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable. Es el elemento químico más ligero y abundante constituyendo aproximadamente el 75% de la materia visible del universo. Sin embargo, el H no es un combustible más; por una parte, tiene unas propiedades físico-químicas diferenciadas de los demás combustibles, por otra, no es un recurso natural, es decir, no se encuentra de manera aislada en la naturaleza, sino que se encuentra combinado con otros elementos como el agua y los hidrocarburos.

La energía química del H puede ser convertida de forma directa en energía eléctrica, esta se llevaría a cabo en las pilas de combustible capaces de convertir por medio de electroquímicos, la energía química del H en energía eléctrica. Esta energía generada puede usarse tanto en fines

estacionarios como la electricidad para consumidores industriales como para uso del transporte mediante su uso en vehículos eléctricos. (Juan, 2013)

2.1.5 El hidrógeno como combustible.

Al Hidrógeno se le ha denominado “el combustible del futuro” debido a sus muchas virtudes: entra en combustión a muy altas temperaturas, contiene mucha más cantidad de energía que una cantidad de petróleo de igual peso, produce mucha menos contaminación ambiental pues condensado el vapor se transforma en líquido ya que combinado con el oxígeno de la atmósfera produce agua, es decir, su combustión solo libera vapor de agua, libre de Dióxido de Carbono (CO_2).

Las ventajas más evidentes del hidrógeno como combustible: reducción de la polución, no se expulsan hidrocarburos sin quemar, el vapor de agua generado aumenta el volumen del gas en expansión en el pistón, es decir, contribuye a que el motor transmita su energía de una manera más eficaz.

2.1.6 Generación del hidrógeno.

La electrólisis es una manera eficaz de obtener H, este elemento en el proceso de obtención no se produce en su forma molecular normal (H_2) sino como átomos aislados (H) que pueden atacar una gran gama de materiales. Los electrodos en particular están expuestos a una rápida corrosión de modo que se hacen necesarios metales nobles muy costosos como el oro y el platino. Pero en estudios recientes se ha logrado obtener aun electrolito polímero solido que permite pasar fuentes de corriente a través de membranas de plástico. (Desconocido, s. f.)

En la celda de energía, el proceso será reversible: en la misma célula se combinarán el oxígeno e hidrógeno para producir electricidad de manera eficaz. En los automóviles podrían dar como resultado el aumento de la autonomía.

2.1.7 Electrólisis.

Procede de dos radicales “electro” que hace referencia a la electricidad y “lisis” que quiere decir división. Es un proceso químico que usa la propiedad de la conductividad eléctrica de algunos materiales o sustancias para generar una reacción de oxidación - reducción no espontánea. Este concepto deriva de los electrolitos que se definen como los conductores iónicos de cargas positivas o negativas que tienen la capacidad de transportar energía eléctrica, es decir, generan conductividad eléctrica en los materiales y sustancias. La conductividad eléctrica se genera en metales (plata y cobre) y también en el agua. (Euston, 2018)

2.1.8 Electrólisis en agua.

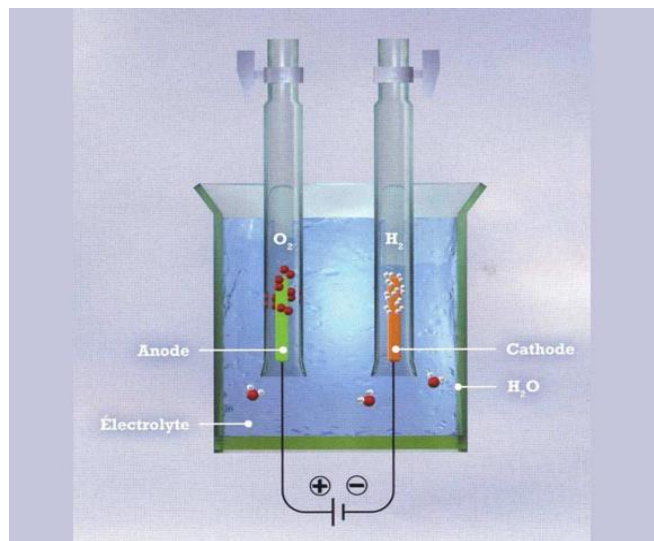
Usa la conductividad eléctrica en un medio líquido para generar la reacción química y crear oxidación - reducción, denominada también Retox. La electrólisis de agua necesita de recipientes electrolíticas que deben contener una disolución con mayor cantidad de iones o electrolitos para que su conductividad sea ideal. En dicho recipiente se sumergen electrodos conectados a una corriente continua por donde se reciben los electrones.

Es común en la disolución de electrolisis en agua, la adición de una cantidad muy pequeña de un componente químico para la reacción, pueden ser: bicarbonato de sodio, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico, entre otros. Cuando se efectúa la electrólisis de agua en este medio, se obtiene: Oxígeno (debido a la oxidación del ánodo) e Hidrógeno (debido a la reducción del cátodo).

Figura 3. Electrolisis

Fuente: <http://www.interempresas.net>

La electrólisis se genera en un productor de Hidrógeno e implica que usa la energía eléctrica del vehículo, en este caso la batería de 12 voltios de corriente directa y un amperios hora para el agua y producir muchos tipos de hidrógeno, en este caso la batería de 12 voltios de corriente directa y un amperios hora para el agua y producir muchos tipos de hidrógeno, en sumergido en agua metales, desde acero inoxidable hasta platino que producen oxígeno e hidrógeno, enviando este último por tuberías y sistemas de seguridad a diferentes entradas que alimentan el combustible del vehículo siendo la más común el filtro de aire, aunque no la más eficiente, ya que habrá que ajustar en el



tiempo el carro para sincronizarlo para la alta velocidad de combustión que posee el hidrogeno.
(Interempresas.net)

El Hidrógeno es el elemento más abundante en el universo, pero también es el combustible con mayor energía que existe (119,3 KJ/Kg) ya que contiene casi tres veces más capacidad energética que la gasolina (46 KJ/Kg). La combustión del Hidrógeno proporciona agua y energía. Por su abundancia, capacidad energética y la no contaminación, es la forma energética más conveniente para el humano y el planeta.

El generador de Hidrógeno también conocido como hidrolizador o celda de hidrógeno es un dispositivo que se usa para mejorar el rendimiento de los motores de combustión interna de gas, gasolina, diesel, etcétera. Usa como se ha explicado antes, materia prima el agua y doce voltios por medio de la electrólisis, proporcionan por separado oxígeno e hidrógeno los cuales son enviados al ducto de aire del motor para mezclarse con el combustible usado.

Básicamente, un generador de hidrógeno está compuesto por varias placas térmicas y láminas donde se conectan con el electrolito que es suministrado por un conducto proveniente del depósito de agua destilada, cuando al generador se le aplica un voltaje la corriente que por el electrolito circula hace que se separe el hidrógeno y el oxígeno del agua en forma de gas mediante el proceso ya explicado antes, electrólisis.

2.1.9 Electrolito.

Es el material que se disuelve completa o parcialmente en el agua para producir una solución que sea capaz de conducir la corriente eléctrica. La sal de mesa común (NaCl) es un electrolito, y cuando este se disuelve en agua para formar agua salada, se convierte en iones de

sodio (Na^+) y iones cloruro (Cl^-), cada uno de los cuales es un cuerpo que conduce la electricidad.

Para este proyecto
electrolito el
Sodio. (Guia, 2000)

2.1.10 sodio.

El



se usó como
Hidróxido de

Hidróxido de

hidróxido de

sodio (NaOH), hidróxido sódico o hidrato de sodio, también conocido como soda cáustica o sosa cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejido, y detergentes. A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire (higroscópico). Es una sustancia manufacturada. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%. (Quiminet, 2000).

Figura 4. Hidróxido de Sodio

Fuente: <https://www.quiminet.com>

Cuando se disuelve con agua libera una gran cantidad de calor el cual puede ser suficiente para hacer que el material combustible en contacto con hidróxido haga ignición. El proceso de electrólisis con hidróxido de sodio, se basa en la aplicación de una corriente eléctrica dentro de la celda de hidrógeno. La celda contiene agua destilada y este electrolito. Mientras que algunos utilizan bicarbonato de sodio o hidróxido de potasio (KOH), el hidróxido de sodio -más conocido como lejía, se considera superior en rendimiento al bicarbonato de sodio y más fácil de obtener que el hidróxido de potasio.

La mayoría de los coches funcionan de manera eficiente cuando producen 4 a 20 amperios de electrólisis. Esto equivale a, como máximo, un $\frac{1}{4}$ de onza (cerca de 2 cucharaditas) por litro de agua, o 1 onza (8 cucharadas) por galón (3,7 litros).

2.1.11 Agua destilada.

Es aquella cuya composición se basa en la unidad de la molécula H_2O y a la cual se le ha eliminado las impurezas mediante la destilación, debido a su elevada pureza algunas propiedades de esta agua se diferencian del agua de consumo diario. La destilación del agua hace que este líquido deje de tener una serie de minerales inorgánicos, metales y otros productos con cierta toxicidad. En este sentido, el agua destilada es agua pura, pues no incorpora ningún otro elemento.

2.1.12 Componentes de los gases de escape.

Por su forma de trabajar, los motores de combustión interna no queman en su totalidad el combustible, además si esta combustión inconclusa no es regulada correctamente mayor será la cantidad de sustancias nocivas expulsadas en los gases de escape hacia la atmosfera. Dentro de los gases generados en la combustión hay unos que son inofensivos y otros contaminantes. Estas sustancias nocivas solo representan el 1- 2% de todas las emisiones del motor de gasolina y en el caso de motores diésel el 0,3%.

Gases contaminantes de gasolina y diésel

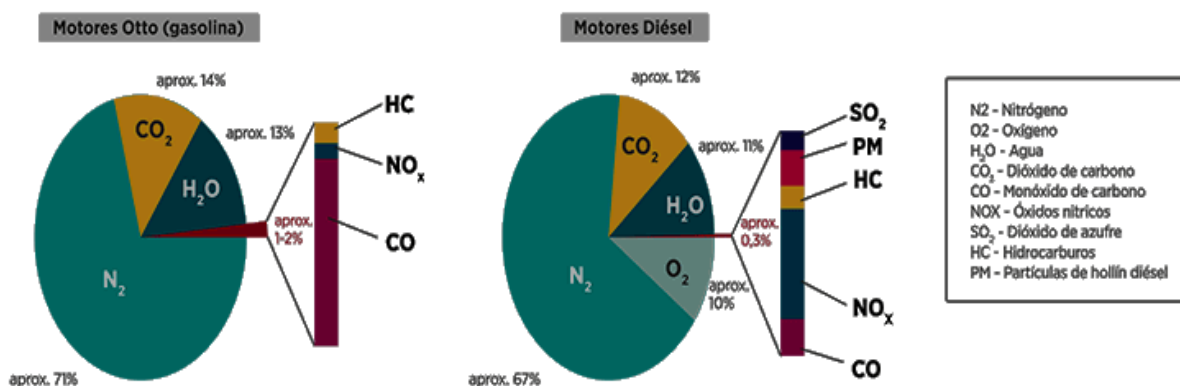


Figura 5. Composición de los gases contaminantes de Gasolina y Diesel

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net>

2.1.13 Gases inofensivos.

Nitrógeno (N_2). Es un gas no combustible, incoloro e inodoro, se trata de un componente esencial del aire que respiramos y alimenta un proceso de combustión conjuntamente con el aire de admisión. La mayor parte del nitrógeno aspirado vuelve a salir puro en los gases de escape.

Agua (H_2O). En parte es aspirada por el motor (humedad del aire) o también es producida por la combustión fría, es un sub producto de la combustión y es expulsado por el sistema de escape del vehículo.

Oxígeno (O_2). Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es el componente del aire más importante que respiramos (21%). Es imprescindible para el proceso de combustión, con una mezcla ideal el consumo de combustible debería ser total, pero en el caso de la combustión incompleta, el oxígeno restante es expulsado por el sistema de escape.

Dióxido de Carbono (CO_2). Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono como la gasolina. El Carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado, este es un gas inodoro, no combustible y constituye una fuente de alimentación para las plantas verdes, gracias a la fotosíntesis.

2.1.14 Gases contaminantes y nocivos.

Monóxido de Carbono (CO). También llamado anhídrido carbonoso se produce por motivo de la combustión incompleta del combustible que tiene carbono. Es un gas incoloro, inodoro, altamente explosivo y sumamente tóxico. Los niveles de CO en condiciones normales deben estar en 0,2 %.

Oxido y Dióxido de Nitrógeno (NOx). Se abrevia como NOx porque existen muchos compuestos posibles con diferente número de átomo: NO, NO₂, N₂O, etcétera. Los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor. Provoca una fuerte irritación en los órganos respiratorios.

Dióxido de Azufre (SO₂). Es una consecuencia del contenido de azufre en el combustible, es un gas incoloro, de olor penetrante; propicia las enfermedades de las vías respiratorias (a partir del 2005 el valor límite del contenido de azufre en ambos combustibles está por los 50ppm o partes por millón).

Plomo (Pb). Es un compuesto nocivo para la salud ya que puede acumularse en los huesos y sangre. Este elemento impedía la combustión detonante debido a la autoignición.

Hidrocarburos (HC). Son restos no quemados del combustible que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. En condiciones normales en un vehículo la concentración de HC debería estar en los 50 ppm o partes por millón. (aficionados a la mecánica, 2014)

2.1.15 Sonda lambda y relación aire - combustible AFR.

La Sonda lambda es la cantidad de aire real admitido entre la cantidad de aire teórico necesario; su símbolo es λ .

Por otro lado, se define a la relación Lambda como $\text{Relación Lambda} = R. \text{ Real} / 14.7$ Siendo R. Real la relación en peso aire- combustible real que tiene el motor en ese momento. La relación ideal aire-combustible es de 14.7 gr. de aire y 1 gr. de nafta. Supongamos que el motor está funcionando con una mezcla un poco rica, por ejemplo, con una relación 13.8:1, entonces la relación lambda será:

Relación Lambda= 13.8 / 14.7

Relación Lambda = 0.9

Relación Lambda 0,9 < 1

En resumen, una relación lambda menor que 1, significa que la mezcla aire combustible se está produciendo en una condición de riqueza.

Una relación lambda mayor que 1, significa que la relación aire combustible se está efectuando en una condición de pobreza. Se debe tener presente algo muy importante: "Una relación lambda=1, significa que el aire y el combustible han sido mezclados en la proporción exacta, lo que no implica que el motor después queme bien esos productos". Esto puede interpretarse como que a pesar que la mezcla es correcta, el motor puede tener deficiencias y quemar mal esa mezcla. (Wikipedia).

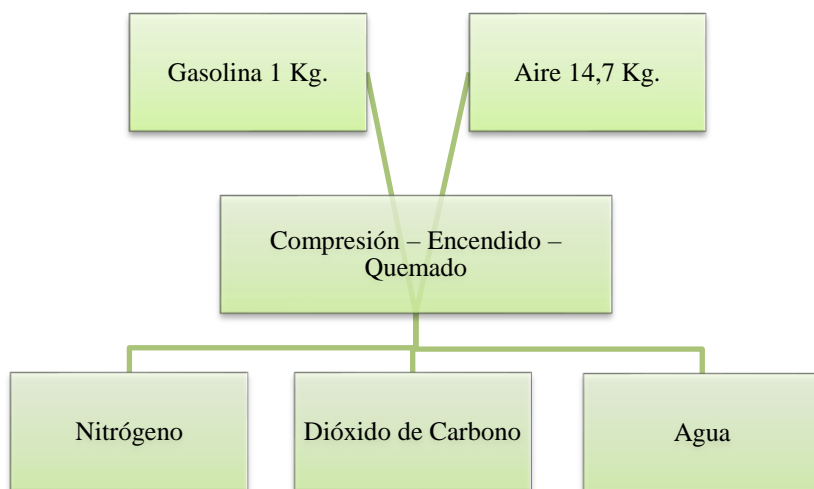


Figura 6. Combustión ideal con Mezcla Estequiometrica o AFR ideal

Fuente: Elaboración propia

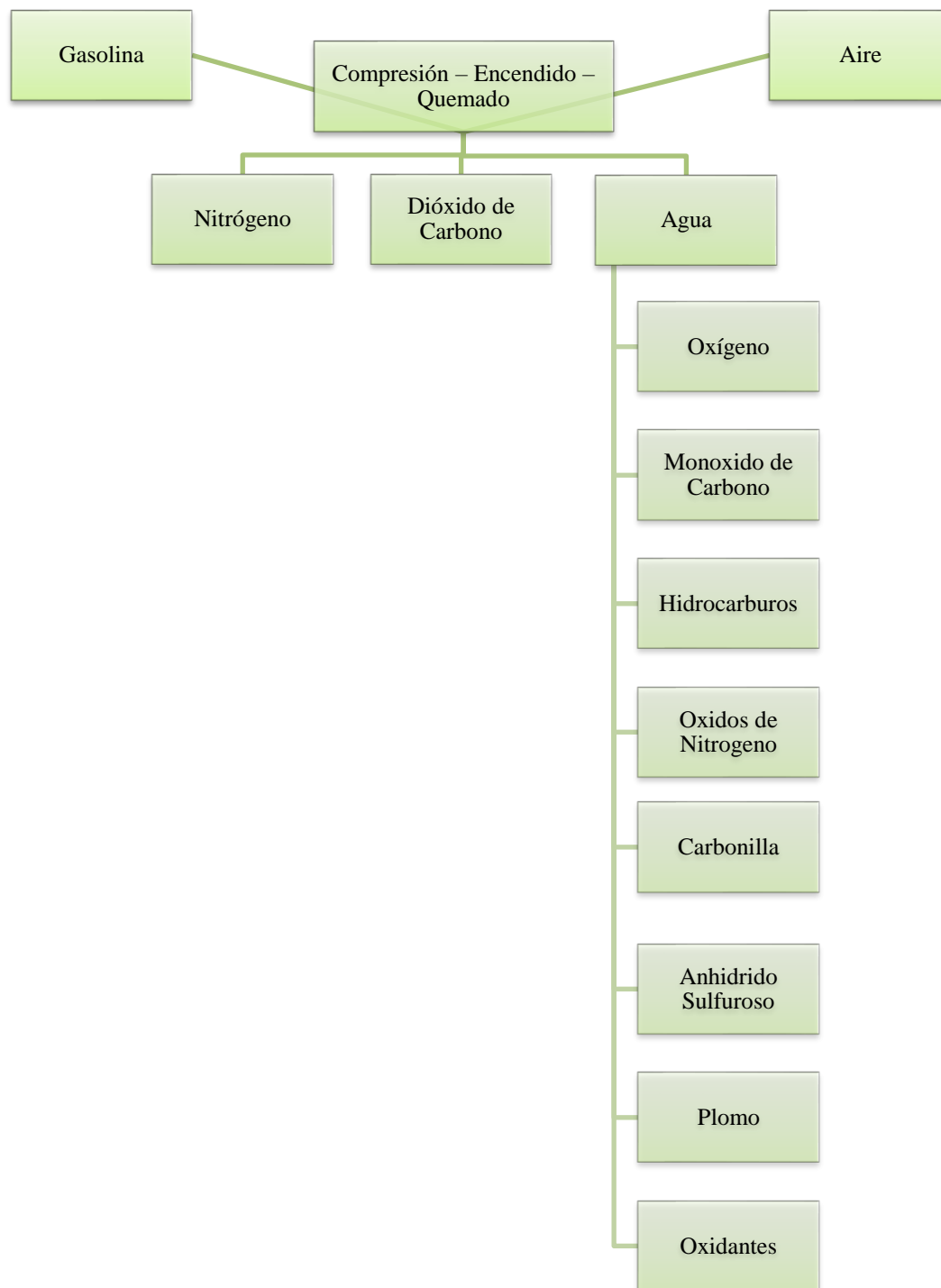


Figura 7. Combustión real

Fuente: Elaboración propia

2.2. Métodos de investigación

Durante la realización del presente trabajo, se empleó de forma continua los conocimientos adquiridos durante la formación académica, de las cátedras impartidas por los docentes de la universidad, aportando de esta manera el uso de métodos científicos, deductivos, técnica y procesos investigativos, los cuales ayudaron a construir de forma satisfactoria el presente trabajo, el cual tiene como objetivo implementar un sistema de hidrógeno en un motor carburado para comprobar sus beneficios que empieza con la necesidad de adquirir este sistema en el mercado para que posteriormente se instale en un motor maqueta y se hagan las pruebas correspondientes con el sistema de generación de hidrogeno, en donde se evalúan y se analiza sus resultados. Para el desarrollo del presente trabajo se usaron diferentes métodos en los que se aprovechan las técnicas de investigación científica. Los métodos usados son los siguientes:

2.2.1 Método de observación.

La observación permitió tener información actual acerca de la situación de la promoción de estos sistemas de generación de hidrógeno en el ramo automotriz así mismo permitió conseguir búsqueda directa para obtener un parámetro claro sobre el tema a tratar.

2.2.2. Método analítico.

Este método sirvió en la medida que se avanzaba en el análisis y desarrollo del proyecto, no solo de aspectos teóricos o científicos sino también de los resultados que se lograron en el proceso investigativo del proyecto.

2.2.3 Método deductivo.

Se aplicó de los hechos generales luego de realizar un proceso investigativo llegando a evaluar, determinar y emitir juicios de valor aplicando las conclusiones sobre el tema de investigación.

2.2.4 Método científico.

Este método es el conjunto de reglas que señalo el procedimiento para llevar a cabo la investigación cuyos resultados sean aceptados como válidos por la comunidad.

2.3 Técnicas

Las técnicas que ayudaron en el desarrollo del proyecto fueron la de investigación y obtención bibliográfica que van desde sitios web, libros, fichas técnicas y videos donde se hallaron datos de suma importancia para la investigación, elaboración y conclusiones de este trabajo.

2.3.1 Instrumentos y Materiales.

Los materiales e instrumentos usados para la realización de este trabajo se mencionan a continuación:

- Sistema generador de hidrogeno HIDROCAR: Elemento para la generación del gas hidrógeno a partir de la electrólisis.
- Relé de 12Voltios 30Amp: Conector electromecánico que hace la función de interruptor, el cual controla un circuito eléctrico, esta energía alimenta una bobina interna que posee este dispositivo, este acciona unos contactos para abrir o cerrar los circuitos electrónicos independientes.
- Bibliografía física y virtual: Herramientas de consulta usados en la investigación.
- Mangueras y abrazaderas: Elementos de uso común en el área del taller automotriz. En el caso de la manguera guiar un líquido de un lado al otro; las abrazaderas aseguran o sujetan alguna tubería.

- Acoples y cables: Los cables generalmente están hecho de cobre que es un excelente material conductor de electricidad, el grosor dependerá de la tensión a manejar.
- Amperímetro: Elemento para la medición de la intensidad de la corriente eléctrica.
- Switch y fusibles (porta fusibles): Es un elemento de seguridad utilizado para prevenir sobrecarga en los circuitos eléctricos, tanto el cableado eléctrico como en los aparatos de los vehículos. La porta fusible hace la función de soporte y conexión de los terminales del fusible a los diferentes circuitos que posee el vehículo este debe estar ubicado donde no exista humedad para que sus componentes metálicos no se sulfaten.
- Hidróxido de Sodio: Elemento químico que actuara como electrolito.
- Agua destilada: Medio usado para que se produzca la reacción química de la descomposición del hidrógeno y oxígeno.
- Batería: Elemento almacenador de energía.
- Equipo analizador de gases (Modelo WLQGA – 6000 marca Qrotech): Realiza el análisis de los gases de escape de la combustión proveniente del motor.

2.4 Funcionamiento del sistema generador de hidrógeno.

El generador de hidrógeno usa este átomo pequeño y volátil y debido a esta característica es que hace que ingrese al sistema de admisión de aire y se mezcle con la gasolina dentro del cilindro donde es adicionado en una mezcla de diminutas gotas de gasolina en una mezcla estequiométrica aire - combustible, sin embargo, lo que se enciende es la fase de vaporización ayudada por el hidrógeno. Otra característica del hidrógeno es su extrema inflamabilidad y poder detonante de empuje ya que este gas es más potente 2,5 veces que la gasolina y la velocidad de la llama es mucho mayor.

Dentro del cilindro al momento de la admisión entra una “nube” o rocío de gotas de combustible mezcladas con aire, ésta es comprimida e incendiada gracias a una chispa proveniente de la bujía; sin embargo, antes de que logre incendiarse toda la mezcla ya se ha abierto la válvula de escape y parte de la gasolina simplemente escapa sin quemarse por completo o se quema en el dispositivo del convertidor catalítico, pero por lo general sale a la atmósfera. Al instalar el generador de producción de hidrógeno, este gas ingresa rápidamente al cilindro distribuyéndose inmediatamente en todo el espacio o área de éste.

Cuando la chispa enciende la mezcla la velocidad de la llama mucho mayor del hidrógeno, hace que la llama se extienda uniforme y más rápidamente dentro del cilindro encendiendo no solo el hidrógeno sino todo lo que hay alrededor de forma tal que cuando la válvula de escape se abra esta vez ya la mezcla estará quemada totalmente.

Al ser comprimido en conjunto con el aire y el combustible tradicional refrigera la mezcla controlando la temperatura de compresión de la gasolina. Controlada dicha temperatura se elimina la contrapresión que se presenta por el fenómeno de la explosión del combustible, antes de que el pistón llegue al punto muerto superior (PMS).

2.5 Elementos para el sistema de hidrógeno.

Para un buen funcionamiento del sistema de generación de hidrógeno se necesitan dos elementos adecuados para el proceso a desarrollarse:

2.5.1 Sistema Eléctrico.

La alimentación que requiere el sistema de hidrógeno es suministrada por la batería del mismo vehículo, la energía que sale de esta debe pasar primero por un fusible que proporcionará protección eléctrica al sistema, contra los elevados picos de corriente que se puedan filtrar en el circuito eléctrico del dispositivo. Una vez que la corriente sale del fusible llegara hasta el relé el cual puede ser activado o desactivado a voluntad del usuario, mediante un interruptor que se encuentra dentro del habitáculo del vehículo, al ser activado dicho interruptor la corriente llega al generador de hidrógeno, produciéndose de esta manera la separación del hidrógeno y el oxígeno del agua destilada combinada con el hidróxido de sodio mediante la electrólisis.

2.5.2. Sistema Mecánico.

El generador tiene unos conductos: uno para la entrada del electrolito proveniente del depósito que se sitúa en una altura mayor que la del generador para que por gravedad caiga; otro conducto para la salida del oxígeno a la atmósfera y dos conductos de evacuación del hidrógeno los cuales se unen mediante conexiones que llegaran nuevamente al depósito del electrolito, solo a la parte superior de este para poder comprobar por seguridad, el ingreso de este hidrógeno de retorno al depósito. El depósito debe ser completamente hermético para que no exista la probabilidad de fugas de hidrógeno. El depósito consta de cinco conductos: uno que lleva el electrolito al generador, dos para el retorno del hidrógeno hacia la parte superior del depósito, una entrada del electrolito desde el burbujeador y uno para la salida del hidrógeno hacia el motor.

2.6 Análisis de los parámetros básicos del motor G16 Suzuki.

El motor de Suzuki G16 es un tipo del motor de combustión interna fabricado por Suzuki Motor Corporation para varios coches, principalmente basados en la General Motors, incluso el: Holden Barina, Suzuki Cultus y Pontiac entre otros. Se realizó la implementación del sistema de hidrógeno con el motor maqueta que se encuentra en los talleres de práctica mecánica de la Universidad San Francisco de Quito. Este motor es de tres cilindros Modelo G16 Suzuki Forza año 1991, a gasolina, opera con cuatro tiempos. Su cilindrada es de 1000 cm³. Es Carburado.

Capítulo 3

Instalación del sistema generador de hidrógeno en el motor

G16 Suzuki

3.1 Generalidades.

Las herramientas e insumos a usar en la instalación del sistema generador de hidrógeno en el motor G16 Suzuki son las siguientes:

- Alicates y Destornillador
- Llaves de Tuercas
- Taype
- Correas plásticas o abrazaderas
- Cables eléctricos
- Terminales eléctricos.

3.2 Precaución y seguridad.

- Realizar un mantenimiento y calibración del motor maqueta previo a la instalación del sistema.
- Verificar el estado de los terminales eléctricos para evitar que generen falsos contactos por no estar bien “remachados”.
- Las celdas que compone el sistema generador y el depósito de electrolito deberán estar perpendicular el piso.
- Chequear que la llave de ignición este en apagado (Off).
- Procurar realizar el trabajo con el motor en frío para evitar quemaduras.
- Usar el equipo de seguridad apropiado: gafas de seguridad, overol, zapatos de seguridad, guantes de goma y herramientas adecuadas.

- Realizar la instalación del sistema generador en un ambiente ventilado.

3.3. Preparación del electrolito.

Antes de preparar la mezcla que hidróxido de sodio con agua destilada, se verifica que se cuente con la seguridad necesaria ya que el hidróxido es muy corrosivo con la piel, en este caso se usa guantes de látex y mascarilla. Teniendo en cuenta que la capacidad de almacenamiento del depósito de agua hasta el máximo permitido es de un litro, se agrega 2/3 de litro en otro contenedor para facilitar la mezcla. La cantidad aproximada de hidróxido por cada litro de agua destilada es de 70 - 100 gramos de NaOH. Mezclar hasta que se disuelva completamente el electrolito en el agua y dejar reposar.

3.4. Proceso de Instalación.

- Asegurar de tener disponibles todos los elementos, insumos y herramientas necesarias para la instalación.
- Como se trabajó en un motor maqueta, verificar y establecer la mejor ubicación posible para todos los componentes del sistema, así como cuidar que no tenga contacto directo con fuentes de calor ni con partes móviles que se encuentren cerca.
- Limpiar el lugar destinado y verificar que en sector no existan cables sueltos ni fugas de ningún tipo.
- Las celdas generadoras de hidrógeno deben ubicarse lo más bajo posible alejado de fuentes de calor, en lo posible con ventilación. Procurar que la cara de las celdas donde están los conectores queden visibles para tener fácil acceso a estos.
- Una vez cumplidos estos requerimientos se procede a fijar las celdas procurando que queden perpendicular al piso.

- Con respecto al depósito debe situarse a la mayor altura posible procurando que quede cerca de la celda generadora manteniendo una conexión directa.
- Una vez fijados los componentes se procede a medir los tramos de manguera que se necesitaran cortándolos y conectándolos de la manera siguiente:
 - Del orificio de la parte inferior del depósito hacia el orificio inferior de la celda generadora, este conducto abastecerá de electrolito a las celdas.



Figura 8. Ubicación en el motor maqueta del Sistema Generador de HHO
Fuente: Elaboración propia



Figura 9. Conexión del depósito de electrolito con la celda generadora de HHO.

Fuente: Elaboración propia

- Del orificio superior de las celdas hacia el orificio hacia el orificio de la parte superior del depósito correspondiente a la entrada del burbujeador.
- De la salida del burbujeador que se encuentra en la parte superior del depósito hacia la admisión de aire del motor, desde acá se transportara el hidrógeno generado hacia la cámara de combustión.



Figura 10. Conexión de las mangueras: Depósito - admisión motor - cámara de combustión

Fuente: Elaboración propia

En

este punto se inician las conexiones eléctricas como se muestra en el esquema siguiente:

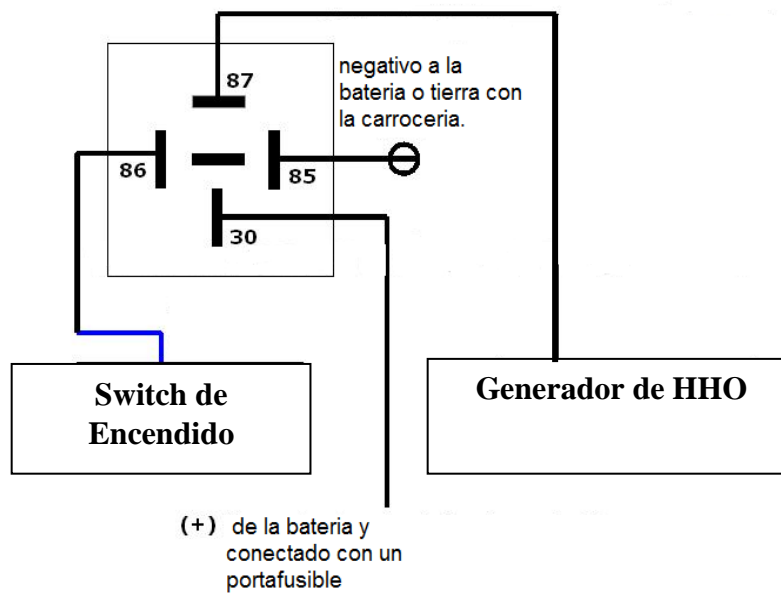


Figura 11. Diagrama de conexión eléctrica

Fuente: Elaboración Propia



Figura 12. Verificación de las conexiones eléctricas

Fuente: Elaboración propia

- Para comprobar se enciende el motor y se espera que alcance su temperatura de funcionamiento (80 – 90 °C).



Figura 13. Encendido del motor

Fuente: Elaboración propia

- Presionar el interruptor que activa el sistema generador el cual funciona con una tensión de 12 voltios, al evaluar a través de un voltímetro si tiene ese valor entonces deberá visualizarse las mangueras transparentes para comprobar el recorrido del líquido al activarse el sistema.
- Verificando los diagramas de trabajo, se realizó la correcta instalación de los conectores hacia la celda generadora de hidrogeno, chequeando su funcionamiento.
- Posteriormente para la prueba se apaga el motor y se ubica la sonda del equipo analizador de gases de escape, dicha sonda tiene como misión recoger una parte de los gases de los cuales pasan por un elemento de filtrado y luego transportarlos hacia dicho equipo de medición.



Cabe destacar que esta prueba fue estática ya que se realizó en un motor maqueta propiedad del taller de prácticas mecánicas de la Universidad San Francisco de Quito. La lectura del analizador de gases de escape se realizó con el equipo de medición Modelo G-6000 Qrotech.

- Después de realizar esta prueba sin el sistema generador de hidrógeno, se evidencian los siguientes valores en las emisiones de escape:

Gas Contaminante	1500 rpm	2000 rpm
Monóxido de Carbono (CO) %	7,73%	7,65%
Hidrocarburos (HC)	1316 ppm	1181 ppm
Dióxido de Carbono (CO ₂)%	10,9%	10,9%
Oxígeno (O ₂) %	1,20%	0,94%
λ	0,814 < 1	0,809 < 1
AFR	11,9	11,9

Tabla 1. Emisiones de gases de escape sin el uso del Generador de HHO

Fuente: Elaboración propia

- Posteriormente instalando en el motor el generador de hidrógeno en las mismas condiciones y con la lectura del sistema analizador de gases se obtendrán los siguientes valores:

Gas Contaminante	1500 rpm	2000 rpm	3000 rpm
Monóxido de Carbono (CO) %	9,20%	8,69%	7,15%
Hidrocarburos (HC)	720ppm	712ppm	632ppm
Dióxido de carbono (CO ₂)%	10,8%	10,5%	11,3%
Oxígeno (O ₂) %	0,17%	0,00%	0,44%
λ	0,770	0,767	0,818
AFR	11,3	11,2	12,0

Tabla 2. Emisiones de gases de escape con el uso del Generador de HHO

Fuente: Elaboración propia

- Posteriormente se hace los resultados comparativos de prueba de gases con analizador de gases.

Gases Medidos	Alimentado con Gasolina	Alimentado con Gasolina + Hidrógeno	Porcentaje de Variación
HC	1316ppm	632ppm	51,98% (<)
CO	7,73%	7,15%	7,5% (<)
CO ₂	10.9%	11,3%	3,6% (>)
O ₂	1,20%	0,44%	63,3% (<)
λ	0,814	0,818	0,49% (>)

Tabla 3. Porcentajes de variación de emisiones con y sin el uso del sistema de HHO

Fuente: Elaboración propia

Resultados y Discusión

- El presente proyecto se trató sobre la implementación de un sistema generador de hidrógeno en un motor de combustión interna a cuatro tiempos, carburado, con tres cilindros, su cilindrada es de mil centímetros cúbicos y es un motor maqueta ya que pertenece al taller de prácticas educativas de mecánica automotriz de la Universidad San Francisco de Quito, esto con la finalidad de demostrar las posibles ventajas o desventajas del uso y adquisición de este sistema que promete ser efectivo en sus garantías.

- Se recopiló la información necesaria para conocer acerca del sistema de producción o generación del hidrógeno, de los sistemas duales gasolina – hidrógeno y gasoil – hidrógeno, su funcionamiento, así como también los gases contaminantes efecto de la combustión.

- Usando los materiales y procedimientos previstos en este proyecto se realizó la instalación del sistema generador de hidrógeno en el motor de combustión interna. Cabe destacar que el sistema de generación de hidrógeno usado en este proyecto fue comprado en el mercado con un valor de 350,00 USD.

- Las pruebas de los análisis de gases se realizaron sin novedad alguna en el motor maqueta del taller de prácticas de la universidad, bajo normas técnicas, normas de seguridad, equipos certificados y calibrados.

- La alimentación de la mezcla aire – combustible – hidrógeno la realiza el carburador, el trabajo que realiza el sistema es normal a todos los regímenes de velocidad, es decir, a todo el rpm.

- El generador de gas hidrógeno es alimentado por una corriente de doce voltios y se mantiene la producción de este gas con un consumo aproximado de 30amp de corriente.

- Con el uso del generador de hidrógeno, la cámara de combustión está sometida a un incremento en las explosiones por la mezcla de combustible con hidrógeno y los componentes mecánicos estarán igualmente sometidos a mayor desgaste para el cual no fueron diseñados, las piezas móviles, sobre todo, estas son: biela, pistón, bulón, cigüeñal, entre otras. Por lo que es necesario mantener una óptima lubricación de estos componentes.

- Una buena razón para que el hidrógeno sea el sustituto de los hidrocarburos es que su producción se da al separar las moléculas de agua al ser electrolizada dando lugar a un combustible limpio, que, al ser usado en el motor, el único residuo que arroja es el vapor de agua. Debido a que el hidrógeno no se encuentra en estado gaseoso natural sino combinado con otros elementos, resulta algo difícil la producción de dicho combustible ya que se necesita una gran cantidad de energía.

- Los motores que pueden funcionar con combustible hidrógeno, son los ciclos Otto, con pequeñas modificaciones tanto en el encendido como en la alimentación, también está el motor rotativo Wankel, que con su diseño lo hace más apropiado para usar dicho combustible ya que no presenta riesgos de retroceso de flama.

- Con respecto a los gases y el análisis de los resultados, es el siguiente:

1.- La emisión de hidrocarburos (HC) disminuyó en un 51,98% lo que es favorable para el medio ambiente, ya que los carburos no combustionados son sustancias nocivas. Pasaron de 1316 a 632 ppm quizás el valor más considerable.

2.- El Monóxido de Carbono (CO) en un 7,5% este valor, aunque no es elevado, disminuye en algo después de la combustión con el HHO.

3.- El Dióxido de Carbono aumenta en promedio en 3,6% lo que indica una buena combustión, puesto que no hay mucha variación en las dos pruebas, la mezcla sigue siendo estequiometrica, es decir, la relación de aire - combustible se mantiene.

4.- Oxígeno 63,3%. El aumento de este gas es ventajoso para la mezcla y una completa combustión, sin embargo, acá disminuyo el consumo de este con la adición del HHO.

5.- La Onda Lambda se alteró en un 0,49%. Aunque no fue significativo el aumento, igual se mantiene menor que uno, eso significa una mezcla rica.

Si se evalúan los valores de los gases y se constata el antes y después del uso del hidrógeno en la combustión, se evidenciará que los valores no son de amplio espectro, es decir, el hidrógeno representa un cambio muy pequeño en los resultados presentados, el cambio más notable fue en los hidrocarburos.

En la siguiente tabla se mostrará la información de los valores normales de la combustión de los gases de escape en vehículos a gasolina y carburados. Cabe recordar que las pruebas para el desarrollo de este proyecto de investigación se realizaron en un motor maqueta con un motor de tres cilindros, carburado y sin catalizador.

Gases de Escape	Valores Normales en Vehículos Carburados (I)	Valores Normales en Vehículos Carburados (II)
CO	Entre el 1 y 2%	Entre el 0,5 y 1%
CO ₂	Mayor que el 11%	Del 12 al 15%
HC	Menor a 400ppm	Entre 100 y 400ppm
O ₂	Menor de 3,5%	Debajo del 2%

Tabla 4. Valores normales de los gases de escape emitidos en motores de combustión interna, solo carburados

Fuente: www.ciselectronica.com

Comparación entre los valores de los gases de escape del Motor Suzuki G16 y los valores normales de Gases de Escape.

Gases de Escape	Alimentado con Gasolina SUSUKI G16	Alimentado con Gasolina + Hidrógeno SUSUKI G16	Valores Normales en Vehículos Carburados
CO	7,73%	7.15%	Entre el 1 y 2%
CO2	10,9%	11,3%	Mayor que el 11%
HC	1316ppm	632ppm	Menor a 400ppm
O2	1,20%	0,44%	Menor de 3,5%
λ	0,814	0,818	Menor que 1

Tabla 5. Comparativa de los valores reales de gases de escape del motor G16 Suzuki (con y sin la adición de Hidrógeno) con valores normales.

Fuente: Elaboración propia

Cabe recordar que son varios factores que influyen en la emisión de gases contaminantes: temperatura de la combustión, homogeneidad de la mezcla, presión y turbulencia, forma de la cámara de combustión y tiempo de distribución de las válvulas, entre otros. De esta información se obtiene el análisis de la tabla R:

- Los valores del monóxido de carbono están sumamente elevados ya que el límite normal varía entre el 1-2%, sumado a que este motor es carburado y no tiene un catalizador (convertidor catalítico), sus causas pueden ser, combustión incompleta, proporción de aire-combustible bajo, etc.

- Con respecto al dióxido de carbono parece encontrarse en el límite bajo entre los valores aceptables, es decir, 11,3% con la adición del sistema productor de hidrógeno.
- En cambio, los hidrocarburos están fuertemente elevados traspasando por el límite recomendado que es menor a 400 ppm, lo que supera un 150% en su valor más bajo (632 ppm) con la adición del sistema de hidrógeno. Las emisiones de este gas son gasolina sin quemar y vapores de aceite. Las causas de este valor tan elevado podrían ser batería con un voltaje bajo, mezcla despareja, aceite contaminado, combustión incompleta, mala ignición (una bujía o un cable de bujía en mal estado), un pobre encendido (un incorrecto ajuste al carburador o fugas en el vacío que crean una mezcla pobre al momento del encendido), pérdida de compresión (por fuga o una válvula de escape quemada) o por un motor desgastado lo que causa que queme aceite (guías de válvulas, anillos o cilindros usados).
- El oxígeno con su valor por debajo del 3,5% puede ser indicativo que está en los parámetros normales.

Conclusiones

- Se recopiló la información necesaria acerca de los sistemas duales gasolina – hidrógeno, funcionamiento y gases producto de la combustión. El hidrógeno que es una de las sustancias más inflamables de las que se conoce, y en presencia de fuego realiza una explosión, por lo que al mismo tiempo produce una fuerza, y esta fuerza puede ser utilizada como energía.
- La implementación del sistema generador de hidrógeno en el motor maqueta, se realizó con éxito usando las herramientas y el material adecuado. Se ejecutó la lectura de los gases de escape evidenciándose que no hubo una reducción considerable de los mismos, es decir, que la relación beneficio - costo no supera las expectativas, cabe recordar que este sistema de generación de hidrógeno es un dispositivo que fue adquirido en el mercado por un valor de 350 USD, fue construido con materiales de fácil ubicación y de fabricación casera.
- Los resultados no fueron los esperados o los promovidos por el vendedor. El problema del costo de las pilas: son caras debido a que no se producen a gran escala.
- Se debe precisar que el sistema de hidrógeno no reemplaza la gasolina por hidrógeno, esto es inviable para un vehículo por los costos y dificultades de producción y almacenamiento.
- La cantidad de electricidad que se debe generar a través del alternador para mantener activo el generador de hidrógeno resulta una carga adicional para el motor que mueve el alternador y hace que consuma más gasolina.
- La implementación del hidrógeno crea un vehículo "ecológico" solo si este proviene de fuentes renovables, pero en este caso lo extraemos a través de electricidad por medio de la electrólisis, entonces no se soluciona gran cosa.

Recomendaciones

- Se recomienda no instalar un generador de Hidrógeno en el automóvil sin conocer la capacidad de amperaje del alternador pues existen restricciones tanto en seguridad como operativas.
- En base a un enfoque técnico la mayoría de los generadores de Hidrógeno no son grandes en relación al beneficio que proporciona por lo que adquirir un generador de Hidrógeno debe tenerse en cuenta de que este dispositivo merece su propio lugar sin arriesgar su funcionalidad ni seguridad.
- Deberá tenerse en cuenta el uso de todos los implementos de seguridad para evitar accidentes e incidentes durante la instalación de este sistema generador de Hidrógeno. Estos elementos pueden ser: botas de seguridad, lentes, guantes. Además de estar en un ambiente con amplia ventilación.
- Todos los sistemas de generación de Hidrógeno tienen o presentan limitaciones por lo que debe tenerse en cuenta que requieren de una cantidad considerable de potencia eléctrica por lo tanto se recomienda evaluar la relación costo - beneficio. El Alternador puede aumentar las RPM del motor cuando uno de los componentes eléctricos del auto demanda mucha energía eléctrica.

Bibliografía

Puro Motorse. (2019). ¿Cuánto hidróxido de sodio es necesario agregar al agua para un generador de HHO? Recuperado de: <https://www.puromotores.com>

Gases de Escape y Sistemas Anticontaminación. (2014). Recuperado de: www.aficionadosalamecanica.net

Wikipedia. (2019). Agua destilada. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_destilada

Descarbonizadoras. (2015). Interpretación de Análisis de Escape. Recuperado de: escarbonizadoras.com

North Shore University. (2019). Monóxido de Carbono. Recuperado de: <https://www.northshore.org>

Fundación CRANA. Monóxido de Carbono. Recuperado de: http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/monaxido-carbono

Motor Giga. (1998). RELACIÓN AIRE/COMBUSTIBLE - Definición – Significado. Recuperado de: <https://diccionario.motorgiga.com>

Electrólisis de agua. (s. f.). Recuperado de: <https://sites.google.com/site/cienciamateur/quimica/electrolisis-del-agua>

Propiedades del Hidróxido de Sodio. (2000). Recuperado de: <https://www.quiminet.com/articulos/las-propiedades-del-hidroxido-de-sodio-2788210.htm>.

Repositorio Institucional de la Universidad San Francisco de Quito. (2019).

<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7237>

Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas. (2010). Extensión

Latacunga DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

Carrera de Ingeniería en Mecánica Automotriz Tesis - Carrera de Ingeniería en Mecánica

Automotriz (ESPEL).