

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Potenciación de un motor a gasolina por medio de
un generador de hidrógeno**

Washington Daniel Borja Jarrín

Alexis Stalin Borja Terán

Daniel Rodrigo Castro Manrique

Gonzalo Tayupanta, Msc., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de
Licenciado en Electromecánica Automotriz

Quito, enero de 2014

Universidad San Francisco de Quito

“Colegio de Ciencias e Ingeniería”

HOJA DE APROBACION DE TESIS

Potenciación de un motor a gasolina por medio de un generador de hidrógeno

Washington Daniel Borja Jarrín

Alexis Stalin Borja Terán

Daniel Rodrigo Castro Manrique

Gonzalo Tayupanta, Msc.

Director de la Tesis

Diego Ortiz, Ing.

Miembro del Comité de Tesis

José Martínez, Msc.

Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, PhD

Decana de la Escuela de Ingeniería

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Quito, enero de 2014

© DERECHOS DE AUTOR

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

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

Firma:

Nombre: Washington Daniel Borja Jarrín

C. I.: 1710166685

Firma:

Nombre: Alexis Stalin Borja Terán

C. I.: 1712700028

Firma:

Nombre: Daniel Rodrigo Castro Manrique

C. I.: 1722711544

Fecha: Quito, enero de 2014

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad proporcionar información al lector sobre el análisis y estudio de factibilidad para la implementación de un generador de hidrógeno a través de la electrólisis del agua. Este proceso químico sencillo podría reemplazar al combustible fósil en un futuro no muy lejano, y de esta manera cambiar radicalmente la matriz energética del planeta. Finalmente, se expondrá brevemente las diversas alternativas energéticas: paneles solares, biocombustibles, vehículos híbridos; además de una reseña de los daños producido por los gases contaminantes.

Abstract

This paper is intended to provide information to the reader on the analysis and feasibility study for the implementation of a hydrogen generator by water electrolysis. This simple chemical process could replace fossil fuel in the near future, and thus radically change the planet's energy matrix. Finally, in this work quickly explained the some alternative energy such as solar panels, biofuels, hybrid vehicles, and a brief overview of the damage they have caused the polluting.

INDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN.....	9
CAPITULO 1. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL	11
CAPITULO 2. ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS	19
2.1 FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA	19
2.1.1 <i>Fuentes de Energías Renovables</i>	19
2.1.2 <i>Fuentes de Energías No Renovables</i>	30
CAPITULO 3. EL HIDRÓGENO COMO FUENTE COMPLEMENTARIA DE ENERGÍA	33
3.1 EL HIDRÓGENO Y SUS CARACTERÍSTICAS	33
3.1.1 <i>Hidrógeno</i>	33
3.1.2 <i>El Hidrógeno a través de la historia</i>	35
3.1.3 <i>El Hidrógeno como combustible</i>	37
3.1.4 <i>Almacenamiento de Hidrógeno</i>	38
3.2 LA ELECTRÓLISIS COMO ALTERNATIVA EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	40
3.2.1 <i>Electrólisis del agua</i>	41
3.2.2 <i>Primer Principio de la termodinámica</i>	45
3.3 EL HIDRÓGENO COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL FUTURO.....	47
3.3.1 <i>Economía del Hidrógeno</i>	48
3.3.2 <i>Principales ventajas e inconvenientes del Hidrógeno</i>	49
3.3.3 <i>Masificación de la energía</i>	51
3.4 BENEFICIOS HACIA EL MEDIO AMBIENTE	52
CAPITULO 4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	55
4.1 CONCEPTOS BÁSICOS	55
4.2 CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR	56
4.3 MATERIALES.....	59
4.4 TABLA DE COSTOS DEL GENERADOR.....	60
4.5 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS.....	61

4.6	CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR	62
4.7	MONTAJE Y AJUSTES	65
4.7.1	<i>Montaje</i>	65
CAPITULO 5.	PRUEBAS Y EVALUACIONES	79
5.1	PRUEBAS SIN GENERADOR DE HIDRÓGENO.....	79
5.1.1	<i>Ruta sin generador</i>	80
5.1.2	<i>Desempeño sin generador</i>	81
5.2	PRUEBAS CON GENERADOR DE HIDRÓGENO	81
5.2.1	<i>Ruta con generador</i>	82
5.2.2	<i>Desempeño con generador</i>	83
CAPITULO 6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
6.1	CONCLUSIONES	85
6.2	RECOMENDACIONES.....	88
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

Introducción

Con la finalidad de proporcionar una variante ecológica al funcionamiento de un motor de combustión interna y con el objetivo de desarrollar, evaluar e implementar un sistema que permita contribuir con la disminución de los gases contaminantes, se genera el propósito de la presente investigación: una nueva alternativa que evite la dependencia directa de los combustibles fósiles. A partir del presente texto, se pretende suministrar al lector información relacionada con la problemática ambiental que enfrenta el planeta; las posibles alternativas energéticas; y el hidrógeno como una alternativa viable en la industria automotriz, mediante la evaluación del proyecto.

Como primera parte se expondrá los principales datos referentes a la contaminación y las consecuencias que enfrenta actualmente la sociedad actual. Del mismo modo, se enfoca la problemática ambiental como resultado de la matriz energética vigente, que tiene como principales pilares los combustibles derivados del petróleo.

Posteriormente, se detallará de manera breve las diversas alternativas energéticas que se están desarrollando a nivel mundial, sus formas de obtención, los diferentes tipos, ventajas y desventajas de su utilización. Así como la necesidad de iniciar un cambio inmediato de la estructura energética mundial por medio del desarrollo de tecnologías verdes.

Como siguiente tema se explicará la gran importancia del hidrógeno, considerándolo como una verdadera alternativa energética; las características químicas y las razones para considerar a este elemento como el combustible del futuro.

Para concluir, se indicará por medio de fotografías y varias pruebas de ruta los beneficios de este tipo de generador, evaluando la real factibilidad de su uso en los motores de combustión interna.

Objetivo General

Desarrollar e implementar en un vehículo un dispositivo que genere hidrógeno a través del proceso de electrólisis a fin de ser utilizado como complemento para mejorar el rendimiento mecánico del motor, prolongar el tiempo de mantenimiento, disminuir el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes.

Objetivos Específicos

- Implementar un generador de hidrógeno en un vehículo Marca FIAT, modelo Fiorino 1.3 Litros, inyección mono punto, con disposición del motor transversal y ciclo de combustión Otto.
- Demostrar y comprobar las ventajas y desventajas del generador de hidrógeno en el automotor.
- Evaluar el rendimiento del generador en el vehículo.
- Evaluar si el generador de hidrógeno ayuda a disminuir los gases nocivos producto de la combustión.
- Comprobar si el generador de hidrógeno mejora la relación estequiométrica aire-combustible.

Capítulo 1. Problemática ambiental

Hoy en día se puede apreciar mayor conciencia a nivel mundial por parte de la población respecto a los graves daños y consecuencias de la contaminación ambiental, no obstante, esta actitud de una mejorada conciencia colectiva aún no es suficiente para poder evitarlos. Entristece escuchar esta respuesta a un problema global que nos atañe a todos, y que no es considerado con la seriedad que corresponde, ya que debería convertirse en un tema de gran importancia para conseguir acciones individuales y colectivas, para desterrar de la conciencia mundial la indiferencia que existe sobre el tema. Muestra de esto, son los recursos naturales que siguen siendo explotados sin medida por el hombre, ocasionado por la imparable e insaciable sed de consumo de energía y de poder de las grandes industrias, de los pueblos y de las naciones. Vemos y escuchamos en las noticias acerca de convenciones mundiales acerca de la problemática de la contaminación ambiental, se habla de reciclaje y se escucha cada vez más la palabra ecología, pero aún así sigue siendo insuficiente porque no se observan cambios significativos que demuestren una reducción de emanación de gases contaminantes, más bien todo lo contrario. Aún los estados no demuestran políticas ejemplificadoras que denoten nuevas actitudes por parte de sus ciudadanos, donde se aprecie claramente un antes y un después sobre las acciones irresponsables que todavía mantenemos, las industrias y todos los entes que de alguna u otra manera contaminamos.

La mala relación del hombre - naturaleza ha hecho que transformemos nuestro planeta y veamos cambios radicales, principalmente en el

comportamiento del clima, eventos catastróficos como maremotos, terremotos, que parecieran una consecuencia de los últimos dos siglos en donde varios hechos o inventos importantes han marcado los avances y progresos del hombre, pero que al mismo tiempo han deteriorado y desgastado los recursos naturales; inventos como: la pólvora, las armas, el papel, la imprenta, la bombilla eléctrica, el teléfono, la televisión, el motor, el tren, el neumático, el automóvil, el avión, el láser, el microchip, la computadora, el internet, las baterías, etc., la lista es interminable y sin duda muchos de estos inventos han mejorado nuestra calidad de vida, pero al mismo tiempo han sido los causantes del consumo a gran escala de los recursos naturales. (Los 64 inventos (y descubrimientos) más importantes de la humanidad , 2009)

Todo esto se origina desde el momento en que la especie humana se consolida como tal y el número de habitantes crece de manera exponencial. Por citar varias cifras, tenemos que desde el inicio de la especie humana hasta el año 1825 existían alrededor de 1.000 millones de personas. A partir de la revolución del carbón la población humana se duplicó en menos de un siglo, es decir, alcanza los 2.000 millones de personas. Después aparece la era del petróleo que logra un incremento a 3.000 millones de habitantes, esto solo hasta 1960. Quince años después, en 1975 ya existían 4.000 millones de personas y 5.000 millones para 1987. Antes del año 2000 la población mundial ya alcanzó más de 6.000 millones y el 30 de octubre del 2011, con el nacimiento de Danica Mae Camacho en Manila, Filipinas la cifra alcanzó los 7.000 millones de habitantes. (Acontecimientos Extraordinarios, 2012) (Informador.com.mx, 2013)

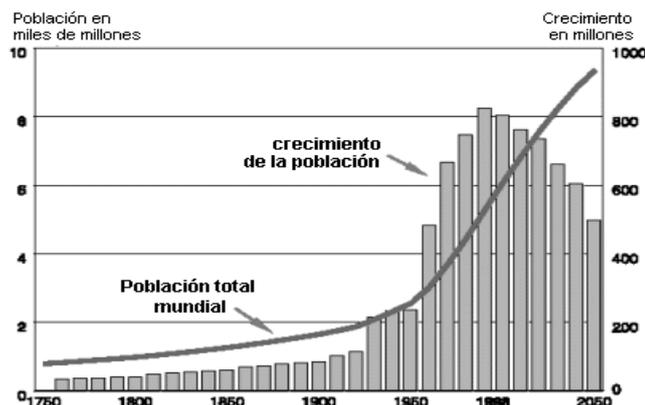


Gráfico 1.1 Población versus tiempo cada 50 años

Fuente: Evolución del crecimiento de la población. Extraído el 22 septiembre del 2012 desde http://www.portalplanetasedna.com.ar/archivos_varios2/crecimientopoblacion.gif

Esto implica que las necesidades aumentaron considerablemente en todos los aspectos: alimentos, vestimenta, salud, vivienda, educación, movilización, etc. Por consiguiente esto implica un cambio en el desarrollo tecnológico y productivo, en el modo de cultivar la tierra, crianza de animales y distribución y expansión de ciudades. Todo esto influye directamente en el uso de los suelos y del territorio; todas estas necesidades humanas generan una cadena de acontecimientos entrelazados que exige correspondientemente un consumo desproporcionado de combustibles fósiles para la obtención de energía y como consecuencia se genera el factor principal de la contaminación del medio ambiente.

Haciendo referencia a la invención del automóvil y todas sus tecnologías se puede afirmar que ha sido y sigue siendo uno de los principales desarrollos que más relacionamos cuando hablamos sobre el tema de la contaminación y de los problemas ambientales; podríamos decir sin lugar a equivocarnos que el motor de combustión interna, principal componente de un automotor, ha contribuido mayoritariamente a este problema. Por lo tanto se requiere

encontrar alternativas inmediatas que contribuyan en soluciones que involucren de forma directa o indirecta a todos quienes intervienen en la industria automotriz.

Debemos estar muy claros que éstas dos palabras: “problemática ambiental” se refieren a un dilema ocasionado a lo largo de la existencia de la humanidad y que principalmente se ha agravado y acentuado con gran fuerza en los dos últimos siglos. Pero específicamente, en el último centenario es donde iniciaron los síntomas de la problemática del calentamiento global y las variaciones climáticas que cada vez son más evidentes. Debemos concientizar de manera urgente a la sociedad sobre los graves daños que probablemente podrían ser irreparables e irreversibles para el medio ambiente.

La mayoría de actividades humanas están ligadas con la movilidad y la transportación, que va desde personas, alimentos, objetos de toda índole y hasta la transportación de los propios combustibles. En todo el mundo los medios para ésta movilización van desde las motocicletas, automóviles, autobuses, aviones, barcos, y todos éstos funcionan a través de combustibles obtenidos del petróleo. De igual forma, los mantenimientos mecánicos de todos estos elementos requieren una serie de productos basados en derivados del petróleo; además de los componentes y piezas mecánicas que son producidas con plástico proveniente de la materia fósil. Otro ejemplo también son los utensilios plásticos que utilizamos en la vida cotidiana como zapatos, chaquetas y telas. Concluyentemente muchas de las actividades modernas están basadas en función del petróleo y sus derivados, por tal razón es importante buscar alternativas que permitan reemplazar las actuales fuentes de

energía por nuevas que no afecten o interfieran en el desenvolvimiento de las actividades humanas y que mejoren todos los aspectos de la calidad de vida.

No obstante, la modernidad y el cotidiano desarrollo de las actividades humanas han causado una dependencia del petróleo que podría verse empeorada en poco tiempo por escasez del preciado mineral, ya que las reservas de combustibles fósiles a nivel mundial, según datos y estudios realizados por la OPEP, lo consideran como un recurso limitado. (Las reservas de petróleo en el mundo, 2013)

A continuación, datos de los principales países productores, exportadores e importadores del oro negro, con sus mayores reservas comprobadas en

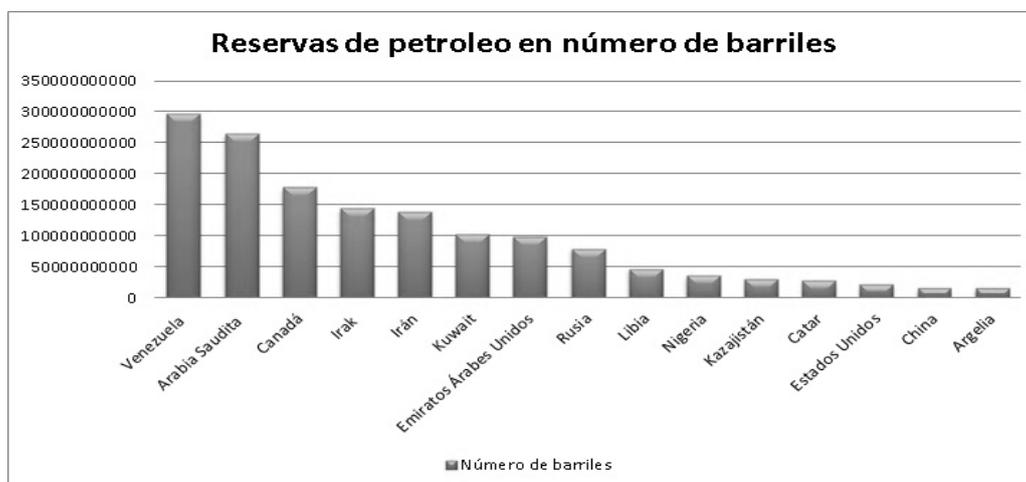


Gráfico 1.2 Reservas de petróleo en número de barriles

Fuente: <http://panelnaranja.es/el-crudo-de-venezuela/>

números de barriles: Venezuela, Arabia Saudita, Canadá, Irán, Iraq, Kuwait, Emiratos Árabes Unidos, Rusia, EEUU, por mencionar algunos de los más

importantes.

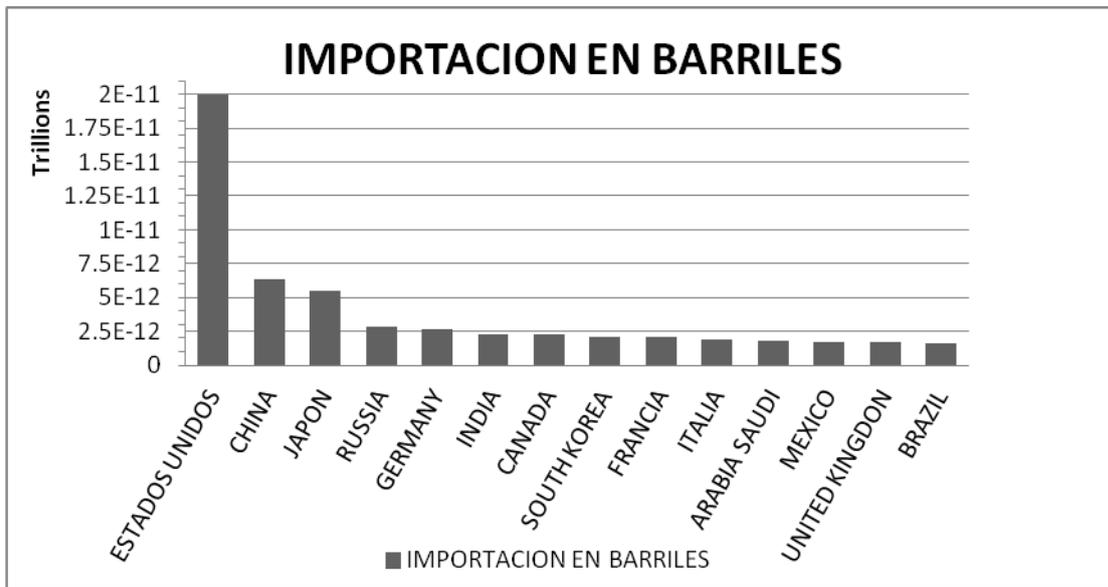


Gráfico 1.3 Importaciones en barriles

Fuente: <http://panelnaranja.es/el-crudo-de-venezuela/>

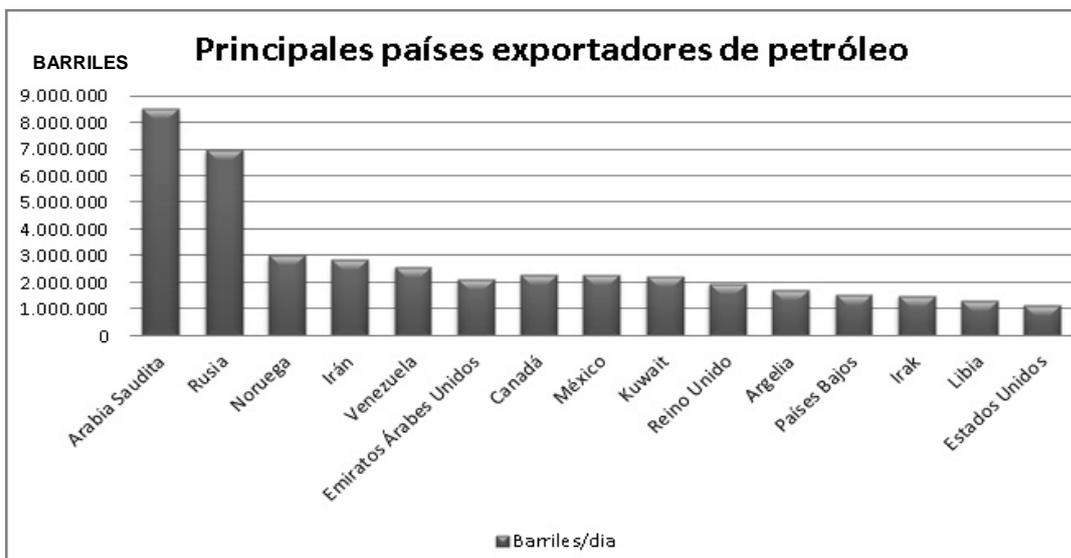


Gráfico 1.4 Principales países exportadores de petróleo.

Fuente: <http://panelnaranja.es/el-crudo-de-venezuela/>

Gracias al petróleo de estos países son muchos los productos que se fabrican diariamente, los cuales nos permiten mantener el nivel y la calidad de vida. El vehículo de combustión interna es tal vez el producto más beneficiado

del petróleo, ya que el parque automotor del mundo es el mayor consumidor de los derivados del petróleo.

Con la finalidad de concientizar acerca del consumo de combustible y la cantidad de emisiones que se generan diariamente por causa de los vehículos, se presenta la siguiente información apoyada en el estudio realizado por la empresa Plunkett Research, la cual revela que para el año 2007 había 806 millones de automotores y el número de vehículos calculados para el año 2010 fue de 1.000 millones de vehículos, sin embargo se calculaba que para el año 2012 la cifra se aproximaría a los 1.100 millones de unidades. (GUEVARA, Jesús. 2010. Parque automotor mundial).

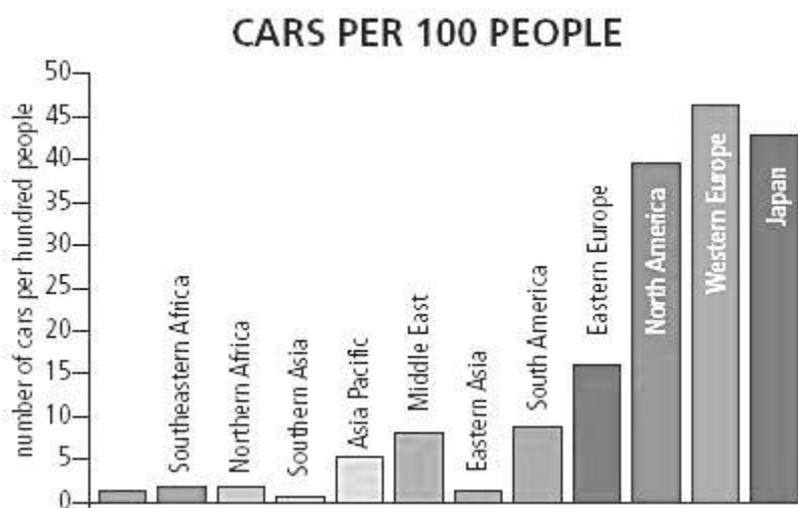


Gráfico 1.5 Autos por cada 100 personas.

Fuente: <http://industriaautomotrizdevenezuela.com/blog/2009/03/23/parque-automotor-mundial-1000-millones-de-vehiculos-para-el-ano-2010/>

En definitiva la responsabilidad del problema de la contaminación ambiental, sus efectos y consecuencias nos afecta a todos y los síntomas han

empezado a sentirse, cada vez son más evidentes las variaciones del clima, el aumento de la temperatura del planeta, el crecimiento de la desertificación de los suelos y la irreversible destrucción de la capa de ozono.

Capitulo 2. Alternativas energéticas

2.1 Fuentes alternativas de energía

Se puede definir como fuente alternativa de energía a toda aquella que no implique la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), en esta definición también debemos incluir que existen dos tipos las cuales están divididas en: fuentes de energía renovable y no renovable. (Castillo, 2011)

A continuación, se enumera las principales fuentes de energía renovable y no renovable para luego describirlas de forma breve.

Fuentes de Energía Renovable

- Biomasa
- Eólica
- Mareomotriz
- Geotérmica
- Solar
- Hidráulica
- Biocombustibles

Fuentes de Energía No Renovable

- Energía Fósil
- Energía Nuclear

2.1.1 Fuentes de Energías Renovables

Las fuentes de energía renovables son aquellas que tras ser utilizadas pueden ser regeneradas de manera natural o artificial. Algunas de estas fuentes están sometidas a ciclos que se mantienen de forma constante en la naturaleza. (Miñaro)

Hoy en día una gran parte de la humanidad depende para subsistir de sistemas que requieren de alguna forma de energía. Así, poder vivir sin calor o frío, en un espacio cerrado, moverse entre ciudades, tener actividades nocturnas en espacios iluminados o conservar y preparar alimentos. Estas acciones son posibles si se dispone de una fuente transformadora de energía que permita la obtención de luz, movimiento, calor o frío. (Eulises, 2007)

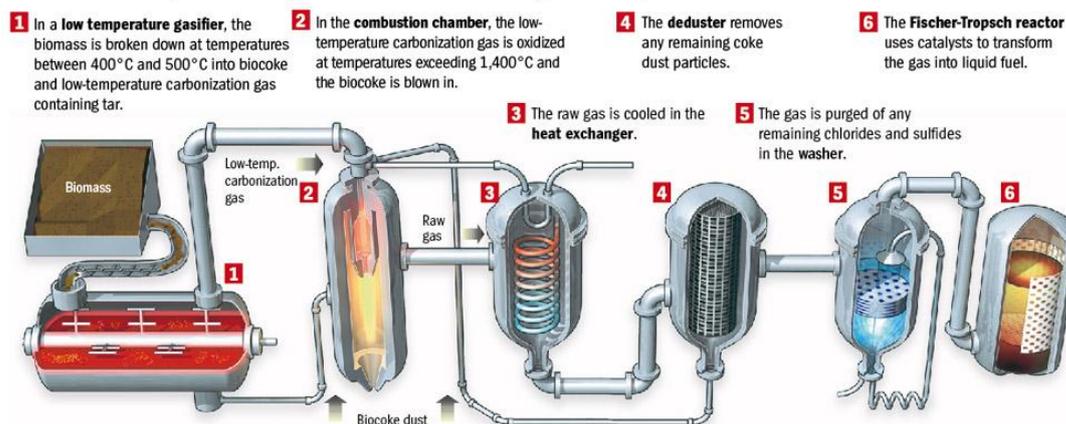
Sin embargo, una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero es el que resultado de la producción energética. El carbón, el petróleo y el gas natural, son formas de energía que para aprovecharse, tienen que quemarse y al hacerlo emiten inevitablemente gases de efecto invernadero, en particular bióxido de carbono. En la actualidad los combustibles derivados del petróleo son los más utilizados, su origen no renovable es razón suficiente para buscar nuevas fuentes de energía, además la combustión de dichos combustibles provocan mucha contaminación al medio ambiente. (Eulises, 2007)

Las nuevas alternativas energéticas son la solución para el futuro de la industria automotriz. De esta forma, se observa algunas de las alternativas existentes como Hidrógeno, biocombustibles y energía eléctrica. Los automóviles que funcionan con energía eléctrica son de gran utilidad para el ambiente ya que son muy amigables para cuidar el entorno, así como la utilización del hidrógeno y el alcohol etílico como combustibles para el transporte, pues tienen un rendimiento eficiente y es un recurso con el cual se cuenta en grandes cantidades. (Eulises, 2007)

2.1.1.1 Energía de la Biomasa

La biomasa es la utilización de la materia orgánica como fuente energética. La biomasa abarca un amplio conjunto de materias orgánicas que se caracteriza por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético, la biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado y utilizable como fuente de energía. Estos recursos pueden agruparse de forma general en agrícolas y forestales. También se considera como biomasa la materia orgánica de las aguas residuales, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y otros residuos derivados de la industria. (APPA,

SunDiesel The production of synthetic fuel from biomass using the Choren process



2009)

Gráfico 2.1 Biomasa

Fuente: Hackenberg, N. Recuperado de [http:// www.revistavirtual.redesma.org](http://www.revistavirtual.redesma.org).(2011)

2.1.1.2 Energía Eólica

Cuando se habla de energía eólica se está haciendo referencia a aquella energía contenida en el viento, pues las masas de aire al moverse contienen energía cinética, las cuales al chocar con otros cuerpos aplican sobre ellos una fuerza.

La energía eólica, no contamina el medio ambiente con gases ni agrava el efecto invernadero, es una valiosa alternativa frente a los combustibles no renovables como el petróleo. Otra característica de la energía producida por el viento es su infinita disponibilidad en función lineal a la superficie expuesta a su incidencia. (Limpias, 2004)

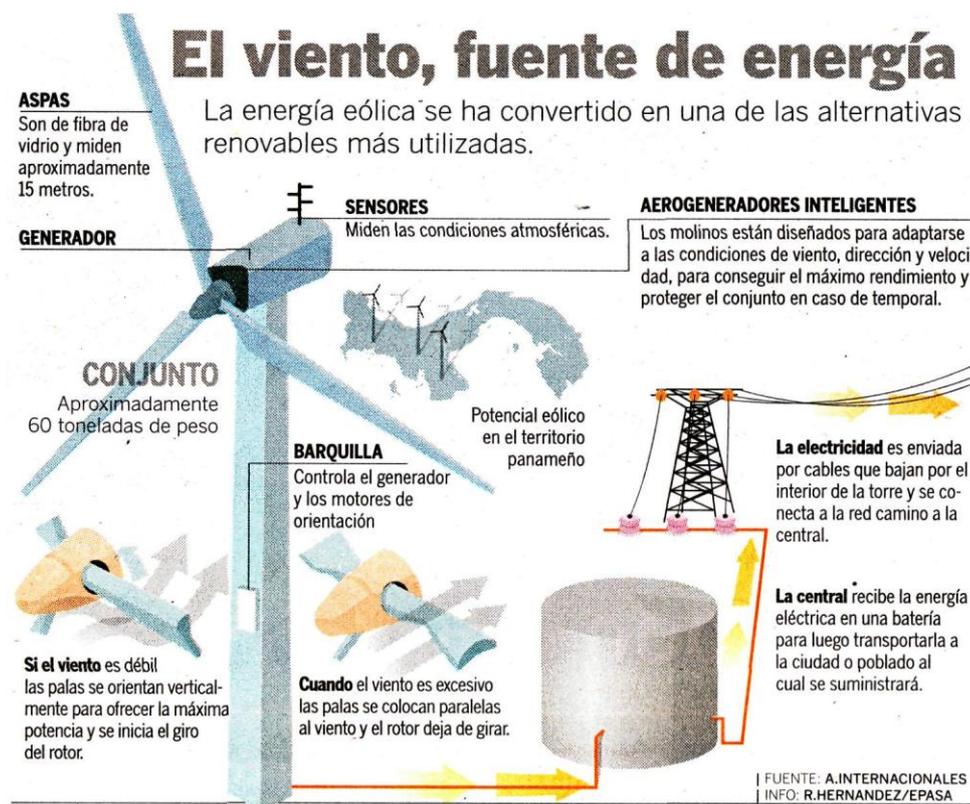


Gráfico 2.2 Energía Eólica

Fuente: Ortiz, E. Recuperado de: <http://eomtech.blogspot.com/2012/08/energia-eolica-en-puerto-rico.html>. (2012)

2.1.1.3 Mareomotriz

La energía mareomotriz se produce gracias al movimiento generado por las mareas, esta energía es aprovechada por turbinas, las cuales a su vez mueven la mecánica de un alternador que genera energía eléctrica. Finalmente, este último está conectado con una central en tierra que distribuye la energía hacia las zonas urbanas.

Al no consumir elementos fósiles ni tampoco producir gases que contribuyen al efecto invernadero, es considerada como una energía limpia y renovable. Dentro de sus ventajas el ser predecible y tener un suministro seguro con potencial que no varía de forma trascendental, ya que sólo se limita a los ciclos de marea y corrientes. La instalación de este tipo de elementos se lo realiza en ríos profundos, desembocaduras de ríos y debajo del océano aprovechando las corrientes marinas. (Energía sustentable, 2011)

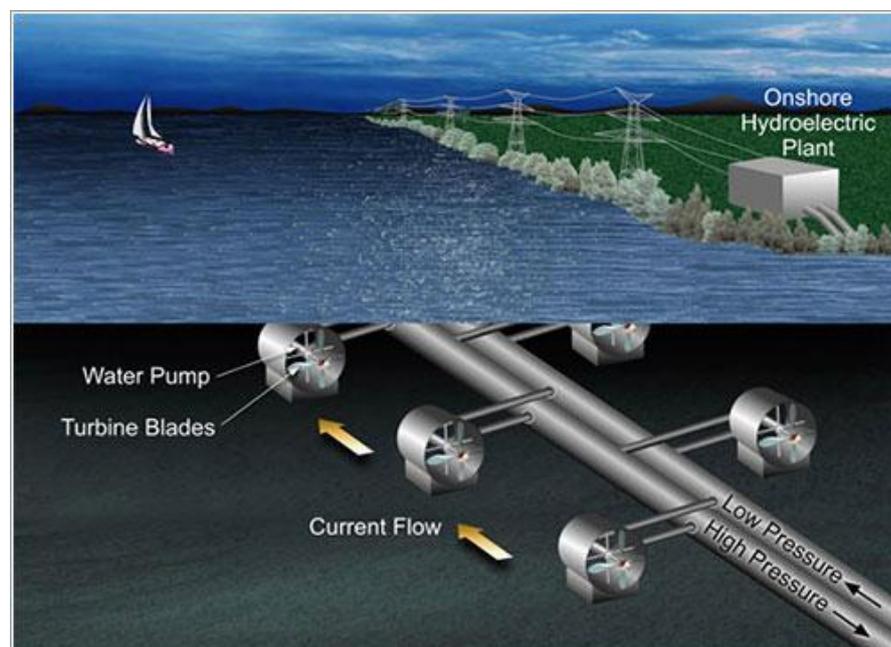


Gráfico 2.3 Energía Mareomotriz

Fuente: Zarautz, C. Recuperado de: <http://cepazarautzzientzia.blogspot.com/2012/06/energia-mareomotriz.html>. (2012)

2.1.1.4 Energía Geotérmica

La energía geotérmica se muestra como una de las energías más prometedoras y suscita un interés creciente en el conjunto de las estrategias que promueven la explotación de fuentes de energías versátiles y renovables.

La energía geotérmica es aquella que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Este calor interno calienta ciertas capas profundas de agua que al ascender, producen la evaporación de aguas subterráneas. Una manifestación de este tipo son los géiseres, fuentes termales utilizadas para calefacción desde la época de los romanos. (Llopis, 2001)

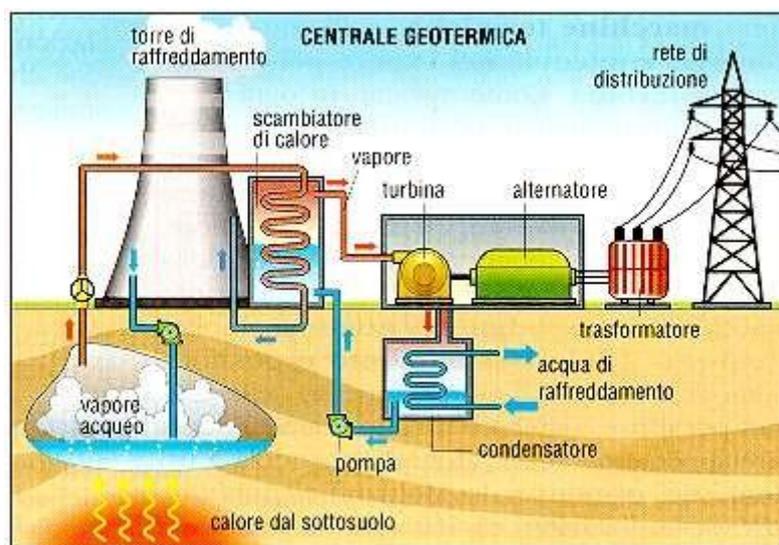


Gráfico 2.4 Energía Geotérmica

Fuente: <http://grupo02termo.wordpress.com/>

2.1.1.5 Energía Solar

La energía solar es aquella producida por el sol y es aprovechada como energía útil por el ser humano, ya sea para calentar o producir electricidad. Cada año el sol arroja 4 mil veces más energía que la que consumimos, por lo que su potencial es prácticamente ilimitado. La intensidad de energía disponible en un punto determinado de la tierra depende: del día del año, la hora y la latitud. Además, la cantidad de energía que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor. (Energía Solar, 2011)

Actualmente es una de las energías renovables más desarrolladas y usadas en todo el mundo. Ésta es utilizada principalmente en dos campos, aunque no son los únicos: primero como fuente calefactora de comida o agua, conocida como energía solar térmica, y la segunda para generar electricidad, conocida como energía solar fotovoltaica.

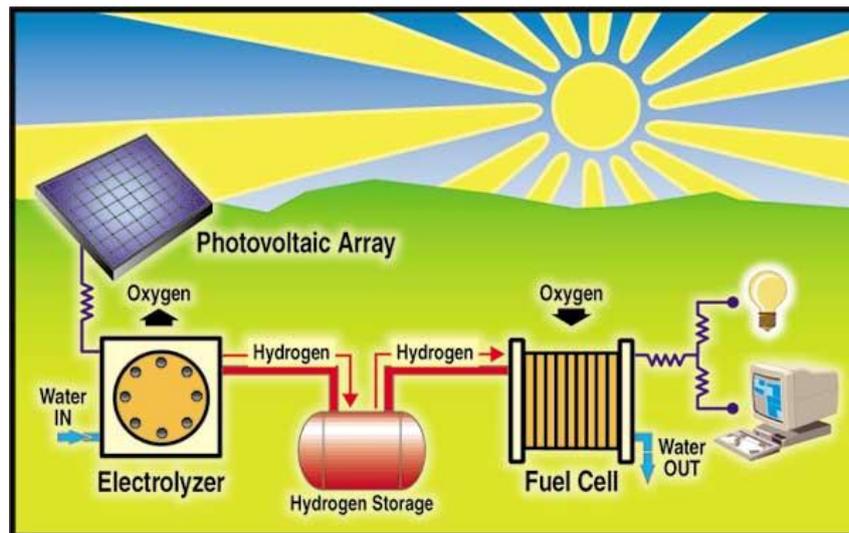


Gráfico 2.5 Energía Solar

Fuente: Ecología verde. Recuperado de <http://www.ecologiaverde.com/la-energia-concentrada-de-un-horno-solar/>. 2010.

2.1.1.6 Energía hidráulica

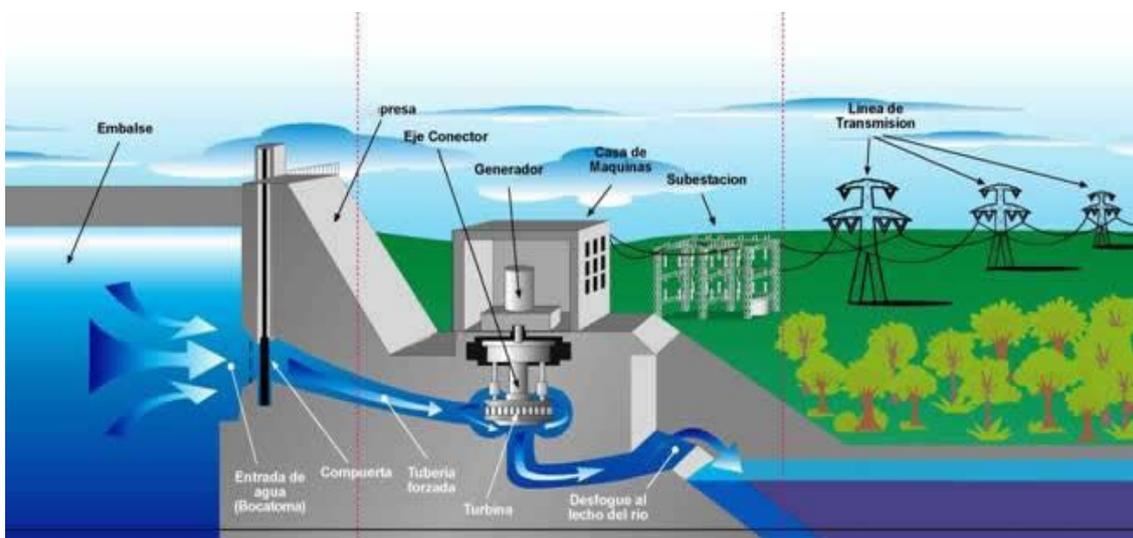
La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial, durante la caída, se convierte en cinética. El agua pasa por las turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento de rotación que finalmente se transforma en energía eléctrica por medio de generadores.

La energía hidroeléctrica es una de las más rentables. El funcionamiento básico consiste en aprovechar la energía cinética de agua almacenada de modo que accione las turbinas del generador. En el aprovechamiento de la

energía hidráulica influyen dos factores: el caudal y la altura del salto para aprovechar la energía potencial del agua. Por lo que se construyen presas para regular el caudal en función de la época del año, pues la presa sirve también para aumentar el salto.

Otra manera de incrementar la altura del salto es derivando el agua por un canal de pendiente pequeña (menor que la del cauce del río), consiguiendo un desnivel mayor entre el canal y el cauce del río. Su energía potencial se convierte en energía cinética llegando a las salas de máquinas, que albergan a las turbinas hidráulicas y a los generadores eléctricos. El agua al llegar a la turbina la hace girar sobre su eje, que arrastra en su movimiento al generador eléctrico. (Profesor en línea)

Gráfico 2.6 Energía Hidroeléctrica



Fuente: Energía Hidráulica. Recuperado de:

<http://tecnolowikia.wikispaces.com/Energ%C3%ADa+Hidr%C3%A1ulica>. (2013)

2.1.1.7 Biocombustibles

Los biocombustibles son aquellos de origen biológico obtenido a partir de restos orgánicos. Éstos proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o

semillas oleaginosas, son renovables y no tienen consecuencias medioambientales; todos ellos reducen el volumen total de CO₂ que se genera en la atmósfera, ya que lo absorben a medida que crecen y emiten prácticamente la misma cantidad que los combustibles convencionales cuando se queman, por lo que se produce un proceso de ciclo cerrado.

Los biocombustibles son a menudo mezclados con otros combustibles en pequeñas proporciones, 5 o 10%, una reducción útil pero limitada de gases de efecto invernadero. En Europa y Estados Unidos, se ha implantado una legislación que exige a los proveedores mezclar biocombustibles hasta unos niveles determinados. Esta legislación ha sido copiada luego por otros países que creen que estos combustibles ayudarán al mejoramiento del planeta a través de la reducción de gases que producen el denominado 'Efecto Invernadero'. (Biodisol, 2009)

2.1.1.7.1 Bioetanol

El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa. Las plantas crecen gracias al proceso de fotosíntesis, en el que la luz del sol, el dióxido de carbono de la atmósfera, el agua y los nutrientes de la tierra forman moléculas orgánicas complejas como el azúcar, los hidratos de carbono y la celulosa, que se concentra en la parte fibrosa la planta. (Miliarium.com, 2001)

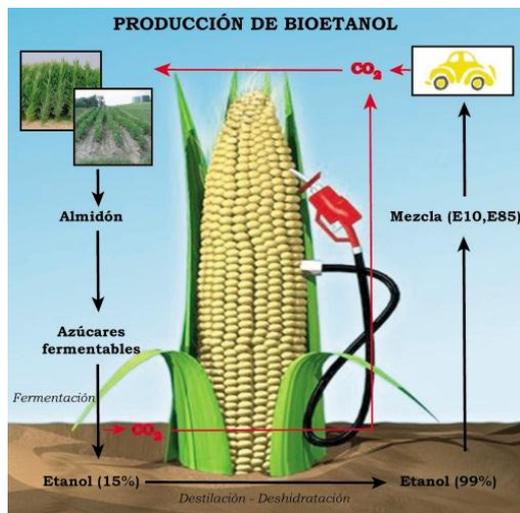


Gráfico 2.7.1 Bioetanol

Fuente: Los biocombustibles. Recuperado de <http://wwwcienciasmundo-cris2.blogspot.com/2011/04/los-biocombustibles.html>. (2011)

2.1.1.7.2 Biogás

El biogás es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono, el cual se produce como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire, por la acción de un grupo de microorganismos. En la naturaleza se encuentra una gran variedad de residuos orgánicos a partir de los cuales puede obtenerse biogás, entre ellos se encuentran: los desechos provenientes de animales domésticos como vacas, cerdos y aves, residuos vegetales como pajas, pastos, hojas secas y basuras domésticas. El biogás se utiliza con los mismos fines que los otros gases, es decir, como combustibles para la cocina. (planthogar.net, 2009)

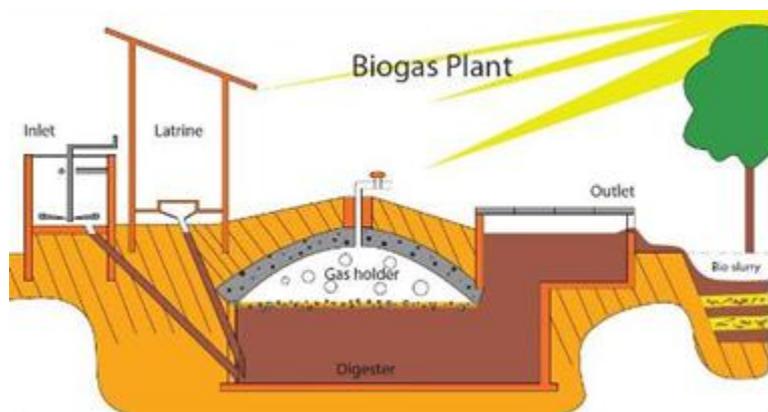


Gráfico 2.7.2 Biogás

Fuente: Especial biocombustibles: que ventajas ofrecen. Recuperado de <http://es.paperblog.com/especial-biocombustibles-que-ventajas-ofrecen-596026/>. (2011).

2.1.1.7.3 Biodiesel

El biodiesel es un biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo el girasol y la soja las materias primas más utilizadas en la actualidad para este fin. Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del diesel (gasoil) de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiesel puede mezclarse con el diesel para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan de manera convenientemente.

Se trata de un combustible que se obtiene por la transesterificación de triglicéridos. El producto resultante es muy similar al diesel obtenido del petróleo, también llamado petrodiesel, y puede usarse en motores de ciclo Diesel. Aunque algunos motores requieren modificaciones, el proceso de transesterificación consiste en combinar el aceite con un alcohol ligero, normalmente metanol, dejando como residuo glicerina que puede ser aprovechada por la industria cosmética, entre otras. (Biodisol, 2011)



Grafico 2.7.3 Biodiesel

Fuente: Biocombustibles. El ciclo de Diesel. Recuperado de <http://www.biocombustiblesceeg.blogspot.com/>. (2011)

2.1.2 Fuentes de Energías No Renovables

Son todas aquellas fuentes de energía que se encuentran de forma limitada en el planeta y cuya velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración (Miñarro, 2013).

Existen varias fuentes de energía no renovables, como son:

- Los combustibles fósiles.
- La energía nuclear.

2.1.2.1 Energía Fósil

La energía fósil se define como aquella que se obtiene a partir de materiales cuyo proceso de formación ha tenido lugar a través de millones de años por la acumulación de materia orgánica en el subsuelo. La generación de energía fósil a partir de estas fuentes tiende a causar contaminación ambiental, y contribuye a la intensificación del efecto invernadero y el calentamiento global.

Existen tres tipos principales de combustibles fósiles a partir de los cuales se genera energía, estos son: carbón, petróleo y gas natural. Los tres combustibles se formaron hace millones de años, tardándose aproximadamente dos millones de años en formarse.

Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón) o gaseosa (gas natural). En el caso del carbón se trata de bosques de zonas pantanosas, y en el caso del petróleo y el gas natural de grandes masas de materia orgánica acumulada que se descompuso parcialmente por falta de oxígeno, de forma que quedaron almacenadas moléculas con enlaces de alta energía.

En la actualidad, se ha utilizado de manera desproporcionada la energía derivada de los combustibles fósiles, que tardó más de 65 millones de años en formarse. Una vez agotados estos recursos no podrán ser fabricados nuevamente. Por lo tanto, es mejor conservarlos y protegerlos antes que se agoten. (Energíafósil.com, 2010)



Gráfico 2.2.1 Energía Fósil

Fuente: Energía fósil. Recuperado de http://sebas2177.wix.com/artesantias?_escaped_fragment=__energia-fosil. (2011)

2.1.2.2 Energía Nuclear

Es la energía del átomo y se usa entre otras cosas para producir electricidad. Para obtener electricidad de la energía nuclear, existe un proceso denominado fisión, en este proceso se rompen núcleos atómicos y así se libera la energía contenida en su interior, ésta calienta agua y la transforma en vapor que mueve turbinas y genera electricidad.

La cantidad de energía liberada por fisión nuclear es muy grande, pero peligrosa en su manejo y generación, además sus desechos presentan graves riesgos de contaminación letal por radiación. Otro de los factores críticos, es la utilización del uranio como base mineral para su producción, el que es un elemento no renovable.

Por otra parte, existe otro proceso denominado fusión nuclear el cual consiste en la unión de dos núcleos ligeros (Litio y Deuterio) en uno más pesado (Helio) aunque la suma de su masa es menor que la masa de los núcleos reaccionantes, pues esa pérdida se ha convertido en energía, obteniéndose del orden de 4 veces más energía que en la fisión. (Energía nuclear)

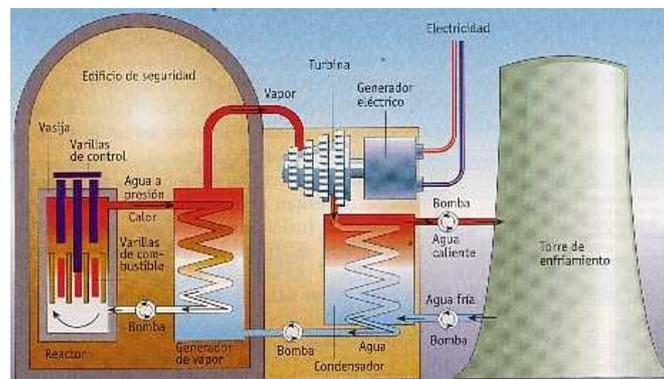


Gráfico 2.2.2 Energía Nuclear

Fuente: Energía nuclear. Recuperado de

<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/07Energ/130EnNuclear.htm>. (2011)

Capítulo 3. El Hidrógeno como fuente complementaria de energía

3.1 El Hidrógeno y sus características

En el mundo actual se produce cada año alrededor de 50 millones de toneladas de hidrógeno. No obstante, solo una mínima parte de ese hidrógeno es utilizado para producir energía, principalmente en aplicaciones espaciales. También se utiliza hidrógeno como base en la fabricación de metanol y agua oxigenada, así como para “hidrogenar” los aceites orgánicos comestibles derivados de la soya, los cacahuetes, los cereales y el pescado. Sin embargo, el uso más común del Hidrógeno es en la industria petroquímica, que lleva años utilizándolo como materia prima de una amplia gama de productos derivados del petróleo, además es empleado como reductor de partículas de azufre presentes en la gasolina. Pero ¿qué es este elemento? ¿Cuáles son sus principales características? ¿Puede ser utilizado a futuro como combustible? Estas son varias de las interrogantes que se buscará aclarar en las siguientes páginas.

3.1.1 Hidrógeno

El Hidrógeno es el átomo más ligero y simple de todos los elementos del sistema periódico. Fue descubierto en 1776 por el químico y físico inglés Henry Cavendish quien lo bautizó con el nombre de “aire inflamable”. Sin embargo su nombre actual se lo debe al químico francés Antoine Laurent de Lavoisier. Este elemento en condiciones normales de presión y temperatura es un gas incoloro, inoloro e insípido, compuesto de moléculas biatómicas de fórmula H_2 ,

no tóxico y muy inflamable (sobre todo en contacto con flúor y cloro). Tiene una gravedad específica de 0.0899g/l (el aire es 14.4 veces más pesado). Su punto de ebullición es de tan sólo -252,88 °C y su temperatura de fusión se encuentra a -259,13 °C.

El átomo de hidrógeno consta de un núcleo de unidad de carga positiva y un solo electrón. El número atómico es 1 y su peso atómico es de 1,00794 g/mol. Es uno de los constituyentes principales del agua y de toda la materia orgánica. Se encuentra distribuido de manera amplia no sólo en la Tierra, sino en todo el universo. Existen 3 isótopos de hidrógeno: 1) el protio, de masa 1, que se encuentra presente en más del 99.98% del elemento natural; 2) el deuterio, de masa 2, que se encuentra en alrededor del 0.02% del material natural, y 3) el tritio, de masa 3, que aparece en pequeñas cantidades, pero que puede producirse artificialmente por medio de varias reacciones nucleares.

3.1.1.1 Propiedades químicas del Hidrógeno

Nombre	Hidrógeno
Número atómico	1
Valencia	1
Estado de oxidación	+1
Electronegatividad	2,1
Radio covalente (Å)	0,37
Radio iónico (Å)	2,08
Radio atómico (Å)	-
Configuración electrónica	1s ¹
Primer potencial de ionización (eV)	13,65
Masa atómica (g/mol)	1,00797
Densidad (g/ml)	0,071
Punto de ebullición (°C)	-252,7
Punto de fusión (°C)	-259,2
Investigador	Boyle en 1671

Grafico 3.1 Propiedades Químicas

Fuente: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/h.htm>

3.1.2 El Hidrógeno a través de la historia

El Hidrógeno es uno de los elementos más importantes en la conformación química de la materia orgánica, se lo puede encontrar en varias moléculas como elemento constitutivo. En 1766 el científico británico Henry Cavendish descubrió las propiedades del hidrógeno, por medio de sus investigaciones sobre el calor específico de las sustancias. Además fue uno de los primeros en afirmar que existe una diferencia entre el oxígeno y el hidrógeno, y que el agua está compuesta por aire deflogistizado (oxígeno) unido al flogisto (hidrógeno), es decir, que el agua es un compuesto de estos dos elementos. Posteriormente durante el año de 1785 el científico Antoine Lavoisier repite los experimentos de Henry Cavendish y al aire inflamable descubierto le denominó hidrógeno, que significa en griego “generador de agua”.

A partir de su hallazgo el hidrógeno pasa a ser un elemento de gran importancia para el desarrollo tecnológico de la época, en menos de 10 años desde su descubrimiento los militares franceses construirían el primer generador de hidrógeno con el fin de utilizar el gas en globos de reconocimiento. Sin embargo, no es sino hasta varios años después que se lo comienza a utilizar para la aviación como combustible secundario de los zepelines, que por esas fechas cruzaban el Atlántico. Hasta entonces el hidrógeno servía únicamente para mantener la fuerza de ascensión de dirigibles y globos. Su rápido paso por la historia de la aviación tiene su fin en

1937, fecha en la que tristemente, el célebre Hindenburg se incendió justo antes de aterrizar en Nueva Jersey (EEUU).

Posteriormente, durante la década de 1950 los ingleses y alemanes experimentaron el uso del Hidrógeno en motores de combustión interna de ciclo Otto de coches, camiones, locomotoras y hasta submarinos, pero fue adquiriendo fama de inestable y extremadamente volátil. Sin embargo, durante el año de 1973 época en la que varias potencias dedicaron millones a la investigación de un potencial sustituto de los combustibles fósiles, debido principalmente a la crisis petrolera se realizaron varias investigaciones con relación al uso y aplicaciones del hidrógeno, no obstante ninguna de estas iniciativas trascendió.

Aunque la crisis del petróleo dejó como resultado innumerables estudios no se produjeron grandes cambios dentro de la matriz energética y se mantuvo el predominio de los combustibles fósiles. No obstante en varios países como Canadá, EEUU, Alemania y Japón las investigaciones no se detuvieron, especialmente, en áreas como la aeronáutica y la automoción. Pero en el año de 1992 tomará fuerza la necesidad de desarrollar alternativas energéticas que tengan un menor impacto para el medio ambiente. Estas ideas van adquiriendo validez gracias a los primeros indicios que establecen posibles alteraciones en el clima del planeta a causa de la intervención humana en los diferentes ecosistemas. Esto se ve agravado por la creciente economía del consumo que fomenta la destrucción indiscriminada de extensas áreas verdes.

3.1.3 El Hidrógeno como combustible

La utilización del hidrógeno como combustible exige un análisis minucioso de las características que este elemento posee, sus ventajas directas e indirectas, al igual que la tecnología que permita manejarlo, suministrarlo y almacenarlo. A continuación se detallan algunas de las principales características.

En primer lugar el Hidrógeno es capaz de proporcionar más energía por unidad de masa que cualquier otro combustible conocido: 33,3 kWh por kg, frente a los 13,9 kWh del gas natural o los 12,4 kWh del petróleo.

En segundo lugar se trata de un combustible limpio que al hacer combustión lo único que deja como resultado es vapor de agua, permitiendo eliminar las emisiones de CO₂, principal gas causante del efecto invernadero.

En tercer lugar, el Hidrógeno ha pasado a ser un importante intermediario energético con una eficiencia extraordinaria y casi tan versátil como la electricidad. En este punto se debe aclarar que la electricidad no es considerada como una fuente de energía, sino como un “vector energético”; es decir, aquella sustancia o dispositivo que almacena energía de tal manera que ésta pueda ser liberada posteriormente de forma controlada. Por lo tanto, existe una diferencia entre un vector energético y una fuente primaria. La primera se caracteriza por ser un producto manufacturado al que previamente se le ha invertido una cantidad de energía para su elaboración. Ejemplos típicos de vectores energéticos son baterías, pilas, condensadores, agua contenida en una represa; también se considera como variantes a los volantes inerciales, o incluso depósitos de aire comprimido o resortes; mientras que las fuentes primarias son todas las expuestas en el capítulo 2 (pág. 10) del presente texto.

En consecuencia, el hidrógeno puede ser utilizado como un vector energético y al igual que la electricidad puede obtenerse a partir de un amplio abanico de alternativas y recursos naturales. Además puede ser utilizado prácticamente en cualquier fuente de energía, tiene mayor facilidad de transformación y puede ser almacenado. Estas características permiten utilizar fuentes primarias de energía como el viento y el sol para producir hidrógeno, que sería almacenado para posteriormente utilizarlo en una pila de combustible que abastecería de energía a una casa ó a la locomoción de un coche. (www.Biodieselspain.com, 2006).

3.1.4 Almacenamiento de Hidrógeno

Debido a las propiedades físicas del hidrógeno, almacenarlo supone todo un desafío, sobre todo cuando se trata de hacerlo en un contenedor pequeño, ligero, seguro y asequible, como tiene que ser el depósito de un coche. Puede parecer extraño, pero cuando se sabe que un kilo de hidrógeno genera la misma cantidad de energía que casi tres kilos de gasolina, se dificulta el almacenamiento en un contenedor, debido a que ese kilo ocupa mayor volumen, por lo tanto, la cantidad de energía que aporta el hidrógeno por unidad de volumen es mínima. Para poder almacenar 4Kg de hidrógeno, que es la cantidad que consume un vehículo para una distancia de 400Km, se necesitaría un depósito equivalente a un globo de más de 5m. de diámetro. Naturalmente, la solución al problema pasa por reducir el volumen del hidrógeno de la misma forma que a cualquier gas: comprimiéndolo o enfriándolo hasta licuarlo. Técnicamente, lo más sencillo es comprimirlo a una presión de 200-350 bares, pero el hidrógeno sigue ocupando un gran volumen a 200 bares de presión; almacenar los 4Kg exigiría un depósito de 250

litros. Sin embargo, el desarrollo de nuevos materiales como fibras de carbono y aleaciones de aluminio ha permitido en gran medida almacenar el hidrógeno a presiones superiores a los 700 bares, permitiendo acumular una mayor cantidad en menos volumen.

Otro factor a considerar es que el hidrógeno en estado líquido ocupa 700 veces menos espacio que a temperatura ambiente, pero la problemática surge cuando se tiene que alcanzar los $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ que se requiere para cambiar de estado. No obstante para generar ese nivel de frío se consumiría alrededor del 30-40% de la energía transformada. Consecuentemente, la implementación de un depósito es extremadamente costosa y añadiríamos el problema que supone mantener líquido el hidrógeno a pesar de la temperatura del exterior.

En los últimos años se ha investigado varias alternativas, pero las dos más factibles son: el almacenamiento del hidrógeno en hidruros metálicos y el almacenamiento del hidrógeno en nanotubos de carbono. El almacenamiento en hidruros metálicos se podría utilizar combinaciones de varios metales, que una vez enfriados receptan el hidrógeno a presión; el principal beneficio de este sistema radica en que la reacción es reversible: calentando el hidruro y disminuyendo la presión, el hidrógeno se libera y puede ser utilizado como combustible; es una forma de almacenamiento estable y seguro, pero tiene el inconveniente de que los hidruros que operan a baja temperatura son muy lentos y pesados. Los nanotubos de carbono son una alternativa aparentemente viable para almacenar el hidrógeno con mejor eficiencia y permiten la operación a temperatura ambiente. Sin embargo esta tecnología todavía se encuentra en fase de desarrollo y no existen mayores detalles de su funcionamiento.

3.2 La electrólisis como alternativa en los motores de combustión interna

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, el hidrógeno es un elemento que posee un alto nivel de energía potencial por unidad de masa, alrededor de 33 kWh por kg, por lo tanto lo convierte en el primer candidato para un hipotético cambio de matriz energética. No obstante, en la actualidad el uso del hidrógeno como fuente principal de energía está lejos de ser una realidad; todavía hay un gran camino por recorrer y son varios los estudios, y experimentos que hacen referencia al uso del hidrógeno, especialmente en el área de la automoción.

Los estudios más recientes hacen cuenta que la electrólisis es uno de los procedimientos más simples, pero a la vez más efectivos en la extracción de hidrógeno. Esto ha permitido el desarrollo de varias alternativas que buscan complementar el uso de hidrógeno en los actuales automotores que utilizan como combustible los denominados hidrocarburos. Por lo tanto, ambos elementos hidrógeno y combustibles fósiles puedan complementarse y así ayudar a disminuir el creciente deterioro ambiental. Esto se podría ver reflejando en una disminución de gases de efecto invernadero y la optimización de la cantidad de combustible que un automotor consume. En las siguientes páginas se detallará cómo funciona el proceso de la electrólisis y cuáles son sus principales características.

3.2.1 Electrólisis del agua

La electrólisis del agua es uno de los procedimientos más limpios para obtener hidrógeno. Consiste en descomponer el agua en sus elementos constituyentes. Para realizar el mencionado proceso es necesario invertir una cierta cantidad de energía esta puede ser calorífica o eléctrica. La descomposición del agua a 25°C requiere una aportación de 285,83 MJ/kmol que es su entalpía de formación, pero únicamente aportará 237,19 MJ/kmol en forma de trabajo eléctrico, la diferencia la recibe el sistema en forma de calor. Por lo que, no se puede pretender que sea mayor la cantidad de energía obtenida que la invertida, dado que se generaría una contradicción con respecto al primer principio de la termodinámica. Puesto que la energía eléctrica empleada en la electrólisis debe ser de origen renovable, de otra forma el proceso jamás será rentable.

3.2.1.1 Reacción electroquímica

En este apartado trataremos de exponer de forma breve el proceso que se lleva a cabo en la electrólisis del agua. Por lo tanto, es importante iniciar recordando que el ánodo es el electrodo negativo; es decir, en este lugar es donde se produce la reacción de oxidación (cesión de electrones); mientras que en el electrodo positivo se produce la reacción de reducción (absorción de electrones). Es decir, el proceso electroquímico que sucede con electrolito ácido, se puede ver reflejando de la siguiente forma:

Ánodo	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
Cátodo	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$
Total	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2$

La ecuación que relaciona el trabajo eléctrico con la variación de la función de Gibbs,

$$W_{\text{eléc}} = -\Delta g$$

$$W_{\text{eléc}} = \text{Trabajo electrico}$$

$$\Delta g = \text{Variación función de Gibbs molar}$$

Por lo que podemos suponer que un mol de electrones que circula entre los bornes a una tención ε . En un mol hay $N = 6,0238 \times 10^{23}$ electrones, el número de Avogadro. La carga del electrón es $e^- = 1,602 \times 10^{-19} \text{C}$, por lo tanto la carga correspondiente al mol de electrones será,

$$6,0238 \times 10^{23} \times 1,602 \times 10^{-19} = 96,487 \text{C}$$

Cantidad que recibe el nombre de constante de Faraday. El trabajo eléctrico correspondiente a n moles se obtiene de la siguiente formula, (Aguer Hortal & Miranda Barreras, 2005)

$$W_{\text{eléc}} = nF\varepsilon$$

De donde podemos obtener como resultad,

$$\varepsilon = \frac{W_{\text{eléc}}}{nF}$$

$$F = \text{Constante de Faraday}$$

$$\varepsilon = \text{Voltaje}$$

$$n = \text{Número de moles}$$

En esta ecuación $-\Delta g$ se expresa de forma molar puesto que el número n corresponde al número de moles, es decir, la cantidad de electrones referidos al agua donde se producirá la electrólisis. Un ejemplo puede ser, que para

obtener la variación de la función de Gibbs para la reacción de formación de agua a 25°C y 101,325 kPA, el valor será, $-\Delta g^0 = 237,187$ kJ/kmol; en nuestro caso se trata de una reacción inversa, por tanto $-\Delta g^0 = -237,187$ kJ/kmol. Aplicando la ecuación antes expuesta, se obtiene, para 1 kmol, (Aguer Hortal & Miranda Barreras, 2005)

$$\varepsilon = \frac{W_{\text{eléc}}}{nF} = \frac{237,187}{2 \times 96,487} = 1,23 \text{ V}$$

El signo menos en el trabajo sólo nos indica que se trata de trabajo realizado dentro o sobre el sistema. Además se trata de un mínimo de trabajo y por lo tanto este potencial será mínimo. También hay que considerar las pérdidas óhmicas en el electrolito y en los propios electrodos por lo que se debe trabajar con potenciales de alrededor de 1,8 a 2,2 V por célula. Es recomendable utilizar níquel como catalizador en el ánodo y hierro en el cátodo (Aguer Hortal & Miranda Barreras, 2005).

Otro de los factores determinantes en este proceso es la temperatura, ya que el aumento de la temperatura hace disminuir Δg , con lo que reduce el trabajo, pero si aumenta la temperatura aumenta la corrosión y la evaporación; esto exige la búsqueda de un punto óptimo donde se obtenga el mejor trabajo con la menor evaporación. El electrolito que suele utilizarse más amenudo es KOH, entre un 25 y un 30%. Finalmente, se debe optimizar la densidad, ya que un aumento de ésta, aumenta la corriente de sobretensión. Se recomienda operarse con densidades de corriente entre 0,1 y 0,5 A/cm² (Aguer Hortal & Miranda Barreras, 2005).

3.2.1.2 Eficiencia

Para definir la eficiencia del proceso de electrólisis se suele utilizar varios tipos de índices. Quizás el más empleado, es el que utiliza como referencia la eficiencia energética, μ_e , como la relación entre el poder calorífico del producto obtenido y la energía consumida en su obtención.

$$\eta_e = \frac{h_{c,H2}}{e_c}$$

η_e = Sobre tensión de energía molar

h_c = Entalpia

e_c = Energía cinetica molar

El proceso de electrólisis del agua tiene una eficiencia energética de entre el 50 y el 75% (Aguer Hortal & Miranda Barreras, 2005).

3.2.1.3 Electrolitos

Los electrolizadores que se utilizan son de dos tipos: el electrolítico en disolución y los de polímero sólido. Los de disolución pueden ser de célula o de filtro- presos. En ambos tipos el electrolito se hace circular de forma continua para asegurar que su composición sea constante y para mantener la misma temperatura. Los electrolitos de célula se llaman también de tanque o de electrodos mono polares. Se trata de un tanque o cuba con dos electrodos separados por un diafragma único, que pueden envolver a cada electrodo por separado. Las células se conectan en paralelo, por lo que la diferencia de potencia de cada módulo será la misma de cada célula. Los de filtro prensa se llaman también bipolares; los electrodos están conectados en serie, funcionando como ánodo por una cara y como cátodo por la otra. La tensión de

trabajo será la suma de la que tengamos en cada uno de los elementos (Aguer Hortal & Miranda Barreras, 2005).

Los sistemas con filtro-prensa ocupan menos espacio pero son más caros incluso su mantenimiento (Aguer Hortal & Miranda Barreras, 2005).

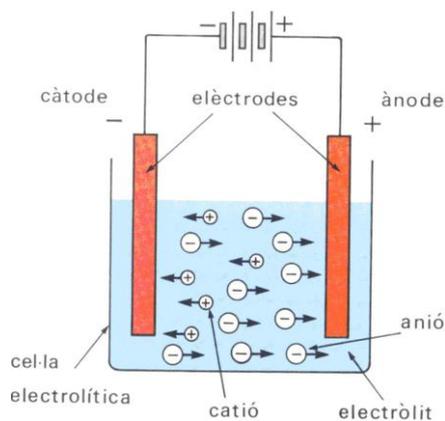


Grafico 3.2 Electrólisis

Fuente gráfico 2.1: Electrólisis. Recuperado de

<http://pepquimic.wordpress.com/2011/01/26/electrolisi-i-el-cotxe-que-funciona-amb-aigua-al-1r-carnaval-de-la-quimica/>

3.2.2 Primer Principio de la termodinámica

El primer principio de la termodinámica, es una ley de conservación de la energía y, a su vez, una definición precisa del calor. Este principio afirma que como la energía no puede crearse ni destruirse, la cantidad de energía transferida a un sistema en forma de calor, más la cantidad de energía transferida en forma de trabajo sobre el mismo sistema debe ser igual al aumento de la energía interna (U). Por lo tanto el calor y el trabajo son mecanismos que utilizan los sistemas para intercambiar energía entre sí. (Netto, 2012)

$$Q + L = U \text{ ó } \Delta Q + \Delta L = \Delta U$$

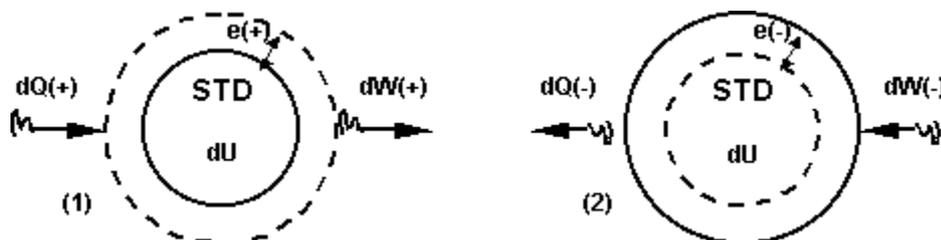
Debido a este principio cuando un sistema se pone en contacto con otro de menor nivel energético, se produce un proceso de igualación energética entre ambos sistemas. El primer principio de la termodinámica también identifica al calor como una forma de energía. Puede convertirse en trabajo mecánico y almacenarse. Debido a lo antes expuesto queda claro que una máquina requiere cierta cantidad de energía para producir trabajo; es prácticamente imposible que una máquina realice algún tipo de función sin consumir o utilizar algún nivel de energía. (Netto, 2012)

El calor al igual que el trabajo, corresponde a energía en tránsito, el calor es una transferencia de energía y puede causar los mismos cambios en un cuerpo que el trabajo. La energía mecánica puede convertirse en calor a través del rozamiento, y el trabajo mecánico necesario para producir 1 caloría se conoce como equivalente mecánico del calor. Según la ley de conservación de la energía, todo trabajo mecánico realizado para producir calor por rozamiento aparece en forma de energía en los objetos sobre los que se realiza el trabajo. James Prescott Joule fue el primero en demostrarlo de forma fehaciente en un experimento clásico: calentó agua en un recipiente cerrado haciendo girar unas ruedas de paletas y halló que el aumento de nivel energético del agua era proporcional al trabajo realizado para mover las ruedas. (Netto, 2012)

Cuando el calor se convierte en energía mecánica, como en un motor de combustión interna, la ley de conservación de la energía también es válida. Sin embargo, siempre se pierde o disipa energía en forma de calor porque ninguna máquina posee un nivel de eficiencia perfecto. (Netto, 2012)

Por lo que el primer principio de la termodinámica se expresa en forma rigurosa con la siguiente ecuación:

$$dQ = dW + dU$$



La ecuación y las figuras son válidas en cualquier sistema, conceptualmente es la síntesis del principio de conservación de la energía en un sistema cerrado (Netto, 2012).

3.3 El hidrógeno como una alternativa para el futuro

Una vez que hemos analizado las principales características del hidrógeno y como se lo puede producir, es fundamental hablar del impacto socio ambiental del uso de este elemento como una alternativa energética. No obstante el principal desafío no se encuentra en un cambio brusco y repentino de matriz energética, sino al contrario en la búsqueda de tecnologías y conocimientos que permita una transición continúa, pero constante. Por lo que se vuelve fundamental que marcas y empresas dedicadas al desarrollo automotriz sean pioneras en la búsqueda de nuevas alternativas que tengan como base un elemento tan noble, puro y abundante. En el siguiente apartado trataremos acerca de los diferentes factores que permiten visualizar al hidrógeno como una alternativa para el presente y como una realidad para el futuro.

3.3.1 Economía del Hidrógeno

El hidrógeno a pesar de ser el elemento más abundante en el universo, no constituye directamente un combustible aprovechable, y por lo tanto, no es una fuente de energía, sino un vector energético, dicho de otro modo es un portador de energía. Por eso el hidrógeno es considerado como una fuente de energía renovable, ya que éste puede producirse mediante energía solar, eólica o hidráulica o por medio de fuentes eléctricas, aunque en la actualidad aproximadamente el 95 % se obtiene a partir de combustibles fósiles. Se prevé que con el desarrollo de nuevas tecnologías este porcentaje cambie, además su gran densidad energética –tres veces superior a las de un combustible fósil– permite obtener una combustión limpia que sólo produce como resultado agua y calor (Energía sustentable, 2011).

En la tabla que se expone a continuación se puede apreciar las cifras de producción de hidrógeno en el año 2007:

Fuente	Cantidad en billones de Nm ³ por año	Porcentaje (%)
Gas natural	240	48
Petróleo	150	30
Carbón	90	18
Electrólisis	20	4
Total	500	100

Grafico 3.2 Producción de Hidrógeno

Fuente: Fuel cells. Energy Efficiency and Renewable Energy; U.S. Department Energy

3.3.2 Principales ventajas e inconvenientes del Hidrógeno

La tabla expuesta en el apartado anterior nos dejar ver que la producción de hidrógeno está adquiriendo cada día más importancia. Por lo que, este resultado supone un paso más hacia la viabilidad práctica de la generación de hidrógeno. En el siguiente cuadro se puede apreciar las principales ventajas y desventajas del uso de Hidrógeno frente a los combustibles fósiles.

Ventajas frente a otros combustibles fósiles	Desventajas frente a otros combustibles fósiles
<ul style="list-style-type: none"> • Alta densidad energética en base volumétrica. Bajo peso de combustible en los tanques de almacenamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja densidad energética en base volumétrica. Se requieren tanques contenedores grandes y pesados.
<ul style="list-style-type: none"> • Alta disponibilidad. Se puede producir a partir de distintas materias primas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte y almacenamiento costoso y de implementación compleja.
<ul style="list-style-type: none"> • Combustible limpio. La combustión del hidrógeno con oxígeno sólo produce agua (aunque con determinadas relaciones H₂/aire se producen óxidos de nitrógeno (NO_x)). 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustible secundario: se debe consumir energía para conseguirlo a partir de las distintas materias primas (agua, biomasa, combustibles fósiles).
<ul style="list-style-type: none"> • Elemento estable y no corrosivo. 	

Grafico 3.3 Cuadro de Ventajas y Desventajas

Fuente: Elaborado por los autores

Además de lo expuesto en la tabla hay que considerar los siguientes puntos como ventajas o beneficios del uso del hidrógeno

- El hidrógeno es un combustible extraído del agua, la cual es un recurso abundante en el planeta (Consumer, 2012).
- Los productos de la combustión del hidrógeno son: vapor de agua y residuos insignificantes de algunos óxidos de nitrógeno, que son creados a muy altas temperaturas de combustión (2000 °C), afortunadamente, la

temperatura de auto ignición del hidrógeno es solamente de 585 °C (Barry, 2000).

- El uso de hidrógeno en un motor de combustión interna puede producir 200 veces menos emisión de NOx, que la de los vehículos actuales (Barry, 2000).
- Bajas temperaturas y presiones de operación. Las pilas de combustible operan desde 80 °C a más de 1000 °C. Estos números parecen ser altos, pero tenemos que pensar que la temperatura dentro de los vehículos con motores de combustión interna pueden alcanzar más de 2.300 °C (Barry, 2000).
- Carácter modular, la construcción modular supone una menor dependencia de la economía de escala. La disponibilidad de las pilas de combustible como módulos independientes supone una ventaja adicional, ya que un cambio en la escala de potencia, se puede conseguir fácilmente mediante la interconexión de módulos (Barry, 2000).
- Simplicidad del dispositivo, los generadores de hidrógeno carecen de partes móviles. La falta de movimiento permite un diseño más simple, una mayor fiabilidad y operatividad y por lo tanto un sistema que es menos propenso a estropearse (Barry, 2000).
- Sin embargo, no todo es maravilloso los generadores de hidrógeno poseen varias deficiencias que deben ser consideradas al momento de analizar su eficiencia y productividad.
- Como no es un combustible primario se requiere de un gasto extra para su obtención (Consumer, 2012).

- Requiere de un sistema de almacenamiento costoso y aún poco desarrollado (Consumer, 2012).
- Elevado gasto de energía en la licuefacción del hidrógeno (Consumer, 2012).
- La obtención del hidrógeno puro supone un precio elevado. (Consumer, 2012)
- La producción de algunos componentes, al no efectuarse a gran escala, implica un costo elevado de fabricación. Se estima que un coche con pila de combustible cuesta un 30 % más que uno de gasolina o diesel con prestaciones similares (Consumer, 2012).
- Tecnología emergente, al ser una tecnología en desarrollo aún tiene que enfrentar varios problemas que todavía no han sido resueltos y afectan al funcionamiento, especialmente en lo que respecta a su vida útil (Consumer, 2012).
- Al tratarse de una tecnología en desarrollo y contar todavía con una baja demanda de unidades, su precio no puede competir con las tecnologías convencionales (Consumer, 2012).

3.3.3 Masificación de la energía

La actual economía mundial, acompañada con el asfixiante patrón energético que utiliza el planeta nos augura un futuro poco alentador. Bajo estas circunstancias se vuelve imprescindible el desarrollo de nuevas alternativas tecnológicas, económicas, sociales y energéticas. Este último factor es quizás el desafío más grande, ya que se debe transitar de un modelo energético monopolista a uno con total independencia por parte de los

consumidores; es decir, que cada persona sea capaz de generar la energía que utilizará en su casa, oficina o empresa. Esto implica un cambio total del paradigma socio tecnológico.

De esta necesidad surge la posibilidad de aprovechar el creciente desarrollo de las tecnologías, que tiene como fuente primaria el hidrógeno, para conseguir un nivel de autonomía. Debido a que el hidrógeno puede ser usado como combustible podría ser producido a nivel doméstico a través del reformado de gas natural, electrólisis del agua o fuentes renovables como eólicas o fotovoltaicas. La generación de energía a este nivel evita la dependencia de fuentes extranjeras o empresas transnacionales que monopolizan los recursos obtenidos. Una transición hacia una economía del hidrógeno es posible y evitaría los problemas asociados al agotamiento del petróleo.

Finalmente, el primer beneficiado sería el medio ambiente, ya que se lograría disminuir la contaminación producida por los gases que son emitidos por las actuales fuentes energéticas. El planeta requiere de soluciones inmediatas y que puedan irse cristalizando a corto plazo, ya que si se mantiene el actual modelo extractivista no tardaremos en destruir la totalidad de ecosistemas que conforman nuestro planeta.

3.4 Beneficios hacia el medio ambiente

En la industria se emplean actualmente diversos combustibles, sin embargo estos tienen un impacto ambiental muy severo, especialmente los combustibles utilizados por la totalidad de automotores del planeta, ya que son extremadamente nocivos para el medio ambiente y están aportando de manera

considerable para el calentamiento global. Por estas razones la obtención de fuentes alternativas de energía es fundamental y necesaria. Entre las posibles opciones se destaca la obtención de hidrógeno por medio de la electrólisis del agua, método altamente ecológico, dado que este gas una vez combustionado no emite gases potencialmente nocivos. Por ejemplo, un automóvil que utiliza como fuente de combustible los denominados carburantes fósiles envía gas carbónico a la atmósfera, mientras que uno que podría operar con hidrógeno sólo emitirá vapor de agua.

Pese al elevado costo que tiene la obtención de hidrógeno, sus beneficios hacen que este valor sea insignificante comparado con las ventajas que ofrece al medio ambiente. Entre la principal se encuentran: alta eficiencia en la utilización del combustible; el hecho de la conversión directa del combustible a energía a través de una reacción electroquímica hace que los generadores de hidrógeno puedan producir más energía con la misma cantidad de combustible si lo comparamos con una combustión tradicional; el proceso directo hace que eficiencias puedan alcanzar el 90%.

La emisión de gases contaminantes es nula, cuando el combustible es hidrógeno. Ya que los productos obtenidos en la reacción electroquímica entre el hidrógeno y el oxígeno serían únicamente agua, calor y electricidad; en lugar de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y otras partículas inherentes a la combustión de combustibles fósiles. Además se debe considerar que para extraer los combustibles fósiles se realiza primero un proceso de reformado. En este proceso las emisiones de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y otros contaminantes, son solamente

una fracción de aquellas producidas en la combustión de la misma cantidad de combustible.

Reducción del peligro medioambiental inherente a las industrias extractivas. Los generadores de hidrogeno no producen el deterioro ambiental asociado a la extracción de combustibles fósiles de la Tierra siempre y cuando el hidrógeno sea producido a partir de fuentes renovables. Además la fuga de éste gas no afecta a la atmosfera, ya que se evaporará de forma instantánea.

Finalmente, los generadores de hidrógeno poseen un trabajo silencioso; es decir, que al no tener incorporado en su funcionamiento partes móviles no producen molestos e incómodos ruidos; en varios estudios se ha estimado que el nivel de ruido a 30 metros de un generador de tamaño medio es alrededor de 55 decibelios, permitiendo la utilización de éste tipo de generadores en recintos urbanos.

Capítulo 4. Implementación del sistema

Como se pudo apreciar en la primera parte del texto, el hidrógeno es un elemento que va tomando representación en el desarrollo de nuevas tecnologías y es considerado como el vector energético del futuro; por su elevado nivel de eficiencia y la carencia de materiales contaminantes producto de su combustión. Sin embargo, muy pocas marcas han tomado la iniciativa para integrar de forma permanente sistemas que utilicen el Hidrógeno como fuente primaria energía, debido al alto costo en la producción de los sistemas de control. Por otro lado, existe una creciente tendencia en proponer el uso de generadores de Hidrógeno en vehículos particulares.

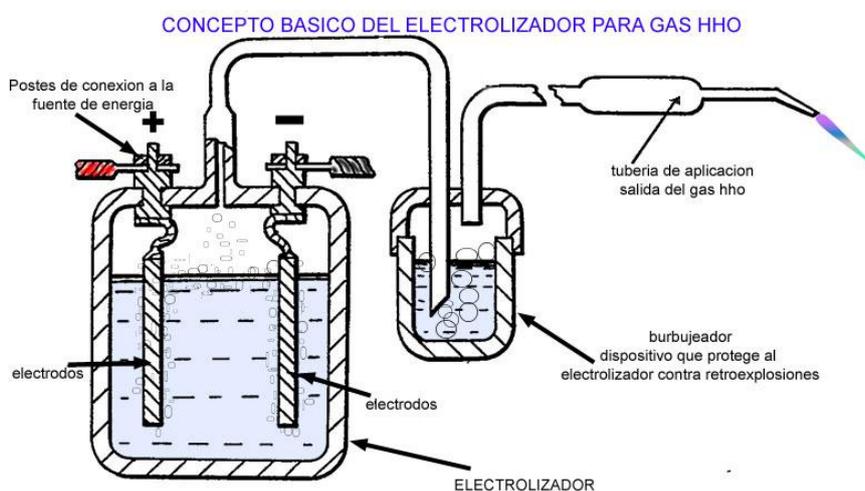
Quizás nos resulte familiar el experimento del colegio en el que se descomponía el agua en sus elementos primarios por medio del proceso denominado electrólisis, este experimento tan simple es el que da origen a los generadores de hidrógeno que se instalan en los vehículos y que ayuda al bajo consumo de combustible y a la disminución de gases contaminantes. Por lo tanto, en las siguientes páginas se dará a conocer cómo construir un generador de Hidrógeno que utiliza parte de la electricidad almacenada en la batería para descomponer el agua y aprovechar el hidrógeno generado para la optimización en la combustión del motor.

4.1 Conceptos básicos

Con la finalidad de obtener buenos resultados en la implementación de un generador de hidrógeno hay que considerar dos aspectos:

- a. Obtener una fuente buena y eficiente de hidrógeno, es decir, que genere la cantidad suficiente de hidrógeno que complemente la mezcla aire-combustible que va al motor.
- b. Definir las modificaciones que requiere el automotor en los diferentes mecanismos del motor para que acepte la mejora en la combustión y no se produzcan errores.

El análisis de estos dos parámetros permite delimitar los criterios mínimos a cumplir para una correcta implementación y funcionamiento del generador.



4.1 Grafico Sistema de Generación de Hidrógeno

Fuente: http://www.motowebr.com/hidroxigas.htm&docid=mMExbHfKsQhubM&imgurl=http://www.motowebr.com/combustibledefuturo/hho_generador_Browns_gas_bu.jpg&w=800&h=445&ei=nZD8UJKgJM10AHEqYHYBA&zoom=1&iact=rc&dur=455&sig=117015842065633248397&page=12&tbnh=133&tbnw=235&ndsp=29&ved=1t:429,r:24,s:300,i:76&tx=146&ty=52

4.2 Características del generador

Los generadores de hidrógeno por electrólisis se puede clasificar de varias maneras, pero la forma más común de identificarlos es por su funcionamiento; es decir, existen generadores húmedos y secos. Los generadores húmedos se caracterizan por tener sus celdas (ánodo y cátodo) sumergidas en agua; un ejemplo de este tipo de generadores pueden ser un

vaso lleno de agua donde se sumergen los dos cátodos, el positivo y el negativo, dentro del agua se produce el proceso de electrólisis y separación de las moléculas del agua en sus elementos básico. En los generadores secos, las celdas (ánodo y cátodo) hacen contacto con el agua pero de manera parcial, ya que sólo una parte de ésta permanece en acercamiento con el agua; un ejemplo de este tipo son aquellos en los que sus celdas están totalmente aisladas entre sí, conforman el mismo depósito por donde pasará el agua y ésta hace como agente de contacto entre las diferentes celdas.

Cabe recalcar que los dos tipos de generadores funcionan perfectamente y pueden ser utilizados sin ningún problema. Sin embargo, se optó por la implementación de un generador de tipo seco, ya que al no requerir de un envase o recipiente permite modificar el tamaño de las celdas para adaptarse al espacio disponible dentro del compartimiento del motor. A continuación se detalla las características principales del generador:

- ✓ El generador opera con 12V de corriente continua y con un amperaje máximo de 20A.
- ✓ La eficiencia del generador es de aproximadamente un 11%.
- ✓ Cuenta con 5 celdas neutras, 1 celdas positiva y 1 celda negativa.

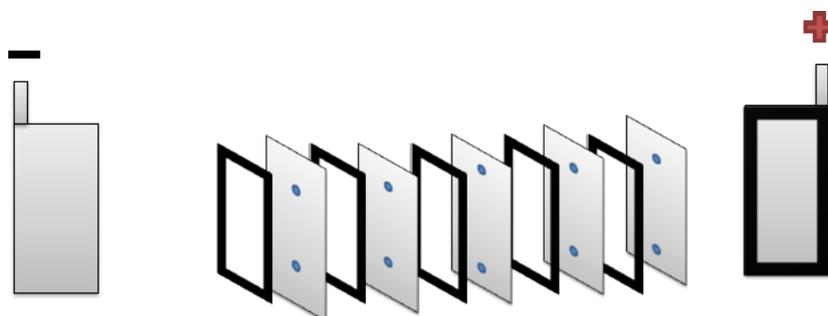


Grafico 4.2 Diagrama de estructura del generador

Fuente: Elaborado por los autores

Además de lo antes expuesto se debe considerar otros elementos y características durante el proceso de diseño y construcción para obtener un generador de hidrógeno eficiente. El primer punto a ser tomado en cuenta son las placas o celdas neutras, estas celdas no se conectan entre sí y tampoco al ánodo o al cátodo del generador, y como su nombre lo indica son neutras. El uso de dichas celdas ayuda a disminuir la aceleración de los electrones entre placa y placa permitiendo que el generador funcione a una temperatura óptima y no se vea afectado por recalentamiento.

Por otra parte, hay que considerar el espesor y la separación entre las celdas, ya que influye directamente en el funcionamiento del generador. También se debe tomar en cuenta la calidad del material con la finalidad de conseguir la mayor eficiencia. El tamaño de las celdas influye directamente con la cantidad de energía por centímetro cuadrado que el generador producirá. Se puede reducir el tamaño de las celdas, pero no aumentarlo debido a que un incremento directo en este factor requeriría un acrecentamiento en el voltaje de entrada del generador; mientras que si se reduce el tamaño de las celdas la temperatura del sistema se elevará, dando como resultado una menor producción de hidrógeno.

Finalmente, el generador que se aplicará en este proyecto tiene como única finalidad lograr un mejoramiento en el consumo y disminución de los gases producidos por un motor de combustión interna. Puesto que, para lograr producciones más altas de hidrógeno y hacer funcionar un motor de un automóvil, únicamente con hidrógeno se requiere de un sistema de mayor complejidad, más sofisticación y por ende más costoso.

4.3 Materiales

Los materiales que se utilizaron para la fabricación del generador y sus elementos constitutivos son:

- ❖ 7 placas de acero inoxidable antimagnético 316 de 0.48mm. El tamaño de las placas es de 13cm de ancho x 15cm de largo.
 - 1placa positiva,
 - 1 placa negativa, y
 - 5 placas neutras.
- ❖ Empaque de caucho de 1mm de espesor con capacidad para soportar altas temperaturas.
- ❖ 2 planchas de policarbonato transparente de 12,7mm. El tamaño de las placas es de 14cm de ancho x 17cm de largo.
- ❖ 8 tornillos de un 1/4" x 3" con tuercas y arandelas.
- ❖ 9 metros de manguera vinyl ϕ 5/8" multiuso.
- ❖ 3 Acoples plásticos para manguera ϕ 5/8".
- ❖ 30 Abrazaderas ϕ 5/8".
- ❖ 8 rollos de teflón.
- ❖ 4 súper pegamentos para plástico (brujita).
- ❖ Bicarbonato de sodio.
- ❖ 1 Reservorio de plástico de 2 litros de capacidad resistente a altas temperaturas (Depósito de refrigerante Chevrolet-Aveo).
- ❖ 1 relé 12V, 50^a, DC de cuatro terminales.
- ❖ 1 socket para relé 12V, 50^a, DC de cuatro terminales.
- ❖ 1 fusible para 12V, 20^a, DC.

- ❖ 1 porta fusible para 12V, 20A, DC.
- ❖ 10 metros de alambre número 10
- ❖ 3 metros alambre número 4
- ❖ 1 interruptor dos posiciones 12V, 20A, DC
- ❖ 1 indicador LED rojo 12V.
- ❖ 3 cintas aislantes (Taype).

4.4 Tabla de costos del generador

COSTO DE ELABORACIÓN DEL GENERADOR	
MATERIALES	VALOR
CENTRALITA	125,00
PLACAS METÁLICAS	106,96
PERNOS	4,30
BROCA	2,80
ACOPLES PLASTICOS ϕ 5/8"	11,00
MANGUERA VINYL ϕ 5/8" MULTIUSO	10,13
ABRAZADERAS ϕ 5/8"	2,95
AGUA DESTILADA	16,63
DEPÓSITO PARA LÍQUIDO	29,50
RODELAS, PERNOS, NEPLOS	3,35
PLACAS ACRÍLICAS	107,52
ADAPTADOR FLEX	2,12
CAUCHO	45,00
SUBTOTAL	465,14
MANO DE OBRA (ARMADO E INSTALACIÓN)	250
T O T A L	715,14

4.5 Herramientas y Equipos

- ✓ Taladro.
- ✓ Multímetro.
- ✓ Juego de llaves de tuercas en mm.
- ✓ Juego de copas en mm y media vuelta.
- ✓ Alicates.
- ✓ Pinza de presión.
- ✓ Pinza corta cables.
- ✓ Pinza peladora de cables.
- ✓ Desarmadores plano y de estrella.

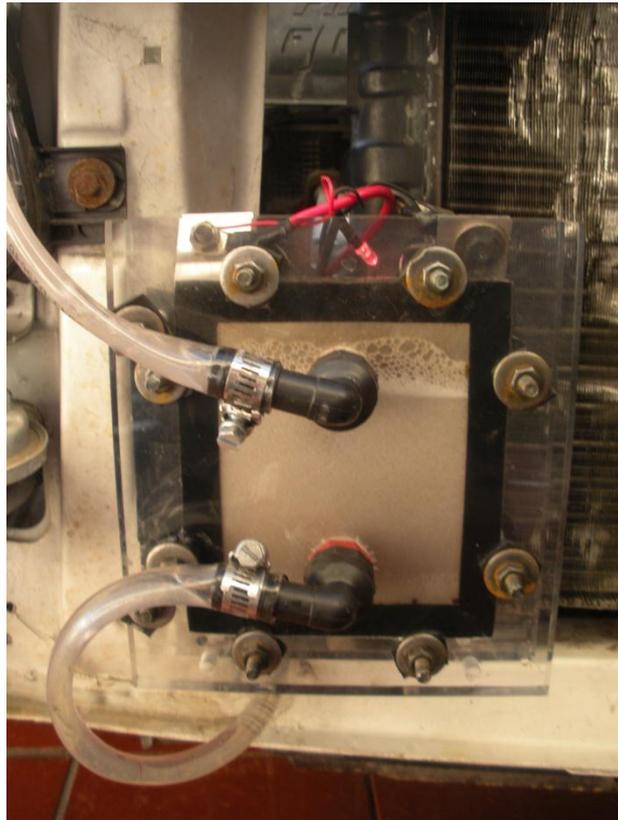
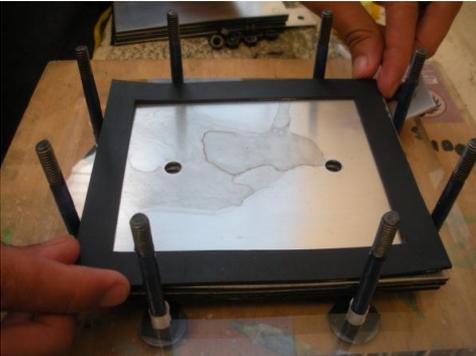
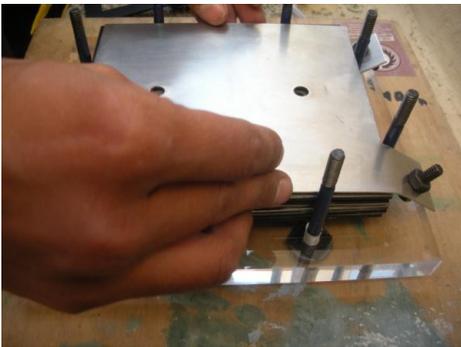
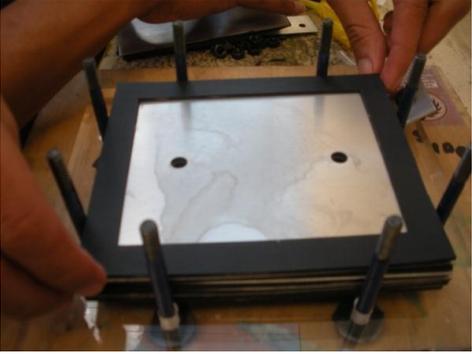
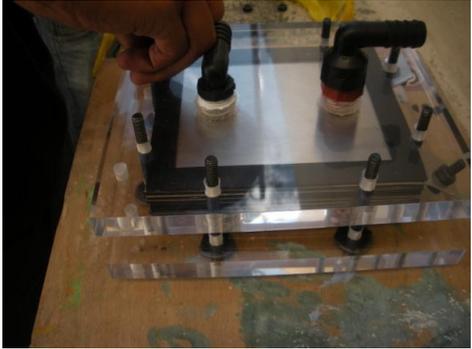


Grafico 4.3 Generado operativo

4.6 Construcción del Generador

Para el montaje y diseño se realizó un análisis de los materiales así como el tipo de vehículo en el que se instalaría el sistema. En los siguientes cuadros se explicará de manera detallada el proceso de armado y construcción de un sencillo, pero eficiente generador de hidrógeno.

 <p>Figura 1: Instalación placa positiva</p>	<p>Aislamiento de los pernos con cinta Taype.</p> <p>Colocación de pernos en la placa de acrílico.</p> <p>Ubicación de la placa negativa con separador de caucho aislante.</p>
 <p>Figura 2: Instalación placas neutras</p>	<p>Las placas deben estar limpias de grasa y lavadas en gasolina.</p> <p>Ubicación de 5 placas neutras cada una separada por un caucho aislante.</p> <p>Los orificios centrales de las placas deben coincidir.</p>
 <p>Figura 3: Montaje de placa positiva</p>	<p>Ubicar la placa positiva al final, luego del penúltimo caucho aislante.</p> <p>Verificar que los orificios del centro de la placa coincidan con las placas neutras.</p>

 <p>Figura 4: Montaje de empaque final</p>	<p>Ubicar el último caucho aislante luego de la placa positiva.</p>
 <p>Figura 5: Montaje de cubierta de acrílico.</p>	<p>Ubicación de la placa acrílica.</p> <p>Verificar que las placas y los cauchos aislantes se encuentren correctamente alineados.</p> <p>Verificar que los pernos y su envoltura aislante no hayan sufrido daños.</p>
 <p>Figura 6: Aislamiento de pernos de sujeción</p>	<p>Colocación de cauchos aislante entre la arandela y la placa de acrílico.</p> <p>Comprobación de aislamiento por medio de Multímetro entre los pernos y las diferentes placas.</p>
 <p>Figura 7: Ajuste de pernos de sujeción</p>	<p>Ajuste de los pernos de sujeción de forma circular para generar un apriete uniforme.</p> <p>Posteriormente se deberá verificar que no existan fugas.</p>

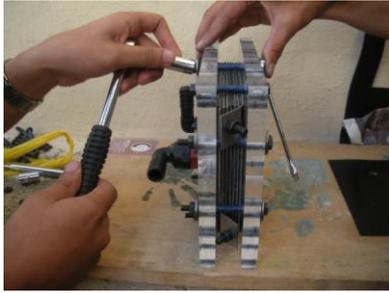
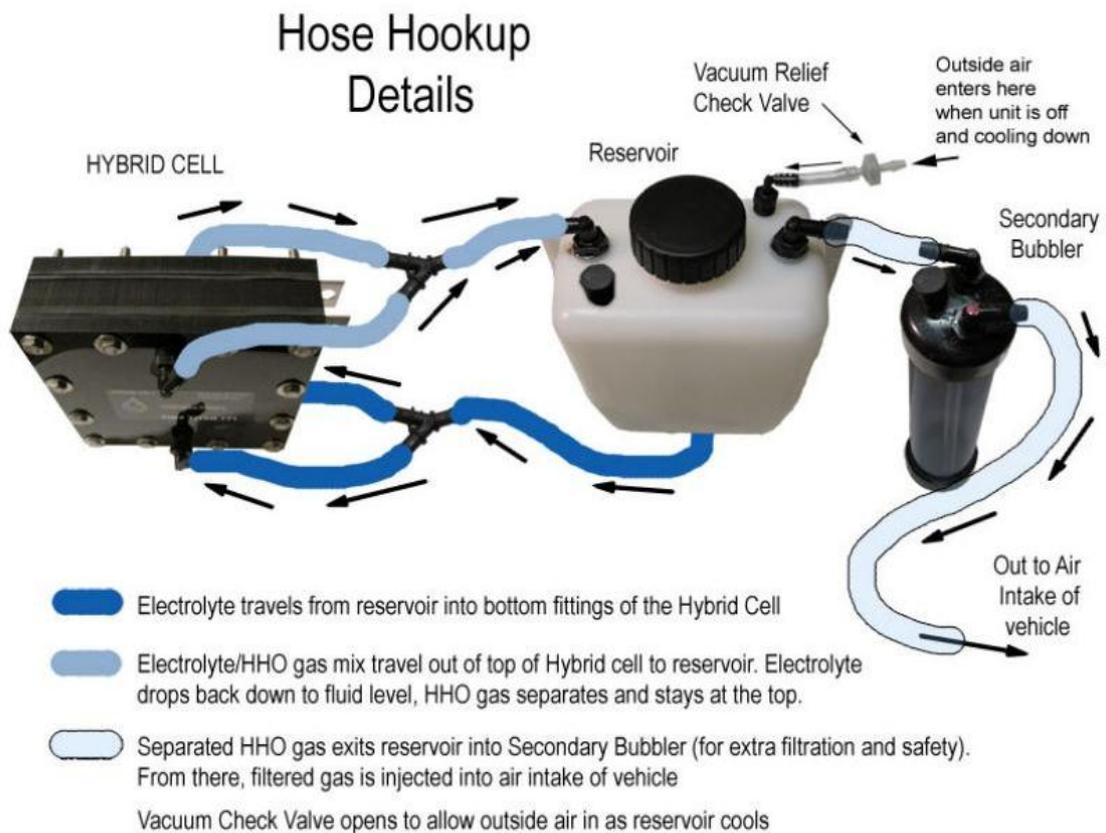


Figura 8: Preparación para el montaje

Instalar las cañerías y acoples plásticos.
 Instalación del cableado y sistema eléctrico.
 Colocación del LED de indicador de encendido.



The reservoir works best in this system if mounted above the generator and natural gravity will keep the system circulating – it's quite amazing to watch!

Grafico 4.6 Funcionamiento del sistema

Fuente: [http://4.bp.blogspot.com/-](http://4.bp.blogspot.com/-3P5m8vG6k0Y/UJhabnsJcCI/AAAAAAAAAx8/yXogEt0YEVQ/s1600/EsquemaHHO.JPG)

3P5m8vG6k0Y/UJhabnsJcCI/AAAAAAAAAx8/yXogEt0YEVQ/s1600/EsquemaHHO.JPG

4.7 Montaje y Ajustes

La primera fase fue la comprendida entre el estudio de los materiales y el diseño del generador. Posteriormente se realizó el ensamblaje de los elementos del generador. El diseño de generador se encuentra delimitado por las características y detalles expuestos en el punto 4.2 del presente texto, por lo que se optó por un diseño simple y de un tamaño pequeño que nos permitiera colocarlos en la parte frontal del compartimiento del motor de un FIAT Fiorino de las siguientes características:

CARACTERISTICAS DEL VEHICULO UTILIZADO	
Tipo de Motor	Ciclo Otto
Alimentación	Inyección electrónica multipunto
Cilindros	4 en línea
Combustible	Gasolina
Cilindraje	1242 cc
Válvulas	8
Potencia	68/5250 Cv/rpm
Torque	111/2250 Nm/r

4.7.1 Montaje

El montaje del generador se lo realizó en el interior de un estacionamiento, el cual fue adaptado como taller y dotado de todas las herramientas y equipos expuestos en páginas anteriores. El proceso de instalación se ejecutó durante aproximadamente tres días, luego de los cuales se procedió a realizar las pruebas de ruta y consumo. El generador fue instalado en la parte frontal derecha del compartimiento del motor, como se puede apreciar en las siguientes fotografías.



4.7.1.1 Sistema Eléctrico

En las siguientes páginas se explicará el proceso de instalación que se realizó para el sistema eléctrico del generador y las diferentes modificaciones realizadas en el sistema de control electrónico con la finalidad de obtener un correcto y eficiente funcionamiento del generador.

Para iniciar hay que considerar que la totalidad de cables negros van conectados a tierra o masa y todos los rojos al sistema de suministro eléctrico, es decir, conectados al positivo de la batería. Se debe tomar en cuenta que algunos puntos de masa en el vehículo no siempre funcionan, ya que hay algunas zonas aisladas por las gomas anti ruido; consecuentemente, es necesario verificar con sumo cuidado que la masa haga correcto contacto.

La primera parte del proceso fue la instalación de los cables de alimentación de la batería al generador, en este punto se debe considerar varios factores entre los más importantes están; tomar las medidas existentes entre el generador y la batería a fin de cortar los cables a la distancia correcta, identificar los cables, debido a que se utilizará un circuito de control y otro de trabajo que permita manejar altos voltajes por medio de un interruptor normal y

finalmente realizar los puentes en los diferentes sensores a fin de poder modificar la información que estos envían a la ECU.

El sistema eléctrico del generador se encuentra compuesto de dos cables de alimentación, uno que va del borne positivo de la batería a la placa positiva del generador, el cual está controlado por un relé, y otro cable que va desde la placa negativa del generador a un punto de masa en el block del motor. Además de los cables del sistema de control del relé, es decir, al borne número 85 y 86 que va conectado al interruptor principal del vehículo (Ver diagrama 1).

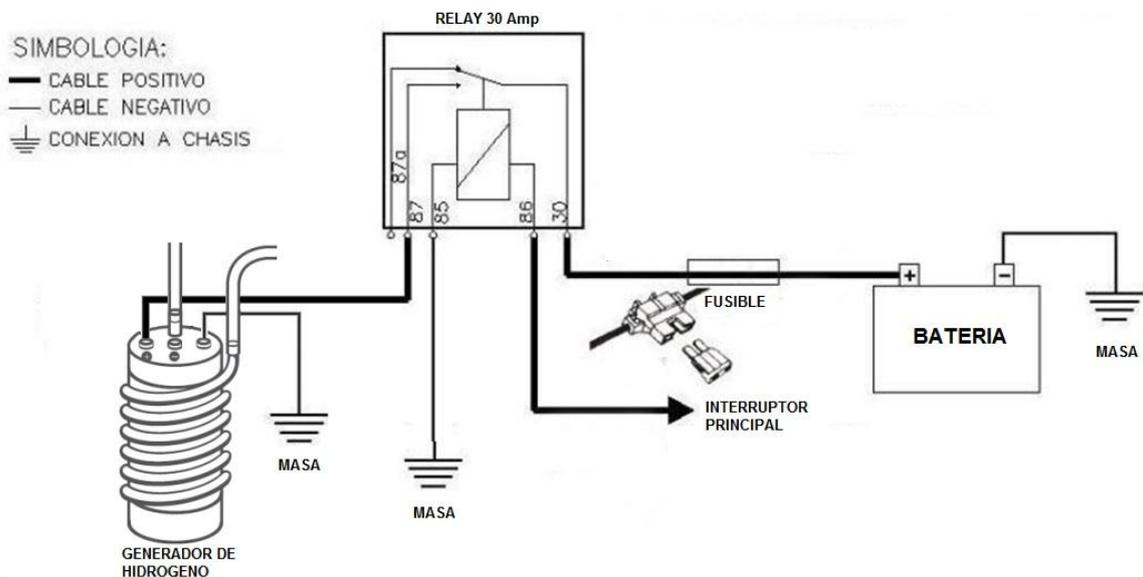


Diagrama eléctrico 1 (Sistema eléctrico generador), elaborado por los autores

También hay que considerar que la mayoría de vehículos nuevos poseen sistemas de control electrónico para optimizar el consumo de combustible. Por lo que se vuelve fundamental modificar los parámetros de los sensores, ya que al ingresar una mayor cantidad de hidrógeno en el múltiple de admisión resultante contiene mayor cantidad de oxígeno dando como resultado el envío de información errónea desde los sensores hacia la ECU. Por lo que, se debe

realizar un reajuste de los parámetros para optimizar, mejorar el consumo y eficiencia del motor. Este es el principal inconveniente a superar para conseguir que el sistema funcione eficientemente.

Los automóviles modernos utilizan una serie de sensores para calcular la relación estequiométrica de aire-combustible que determina la cantidad a ser inyectada para una combustión eficiente. Sin lugar a dudas, los más importantes son: el sensor de oxígeno (sonda lambda), el sensor MAF (masa de flujo de aire), el sensor TPS (posición del acelerador), el sensor MAP (presión absoluta), el sensor IAT y CTS (temperatura de aire y de temperatura del refrigerante). Sin embargo no todos los vehículos poseen la totalidad de sensores, algunos modelos utilizan una combinación de estos para controlar la mezcla. Lo que no cambia es la finalidad que siempre será la misma, es decir, hacer el cálculo de la cantidad de mezcla a entregar para el funcionamiento del motor. A esto hay que añadirle que si bien existen algunas variaciones en el funcionamiento de los diferentes sensores y de cómo éstos realizan su trabajo. La información básica que proporcionan a la computadora es la misma en todos los vehículos, la única variación real de un tipo de vehículo a otro es la programación de la computadora.

En referencia a este punto, la programación puede variar ampliamente entre las diferentes marcas y modelos. Por tal motivo se utiliza un dispositivo electrónico de control que permite modificar los valores emitidos por los sensores, dicho dispositivo reemplaza la necesidad de reprogramar la ECU de vehículo y permite variar la mezcla en un rango comprendido entre el 20 y el 30%. En la actualidad existen dos tipos de dispositivos electrónicos de control:

las que reprograman los valores de los sensores MAP ó MAF y las que modifican los valores que emite el sensor de oxígeno.

4.7.1.2 Los sensores de oxígeno

Casi todos los autos modernos emplean dicho sensor para proporcionar a la computadora del motor información sobre la cantidad de oxígeno que se halla en el múltiple de escape. De esta manera la ECU determina la cantidad de combustible que debe ser inyectado en la cámara de combustión a fin de mantener la proporción correcta, es decir, tratar de cumplir con los parámetros de la relación estequiométrica.

Los motores que funcionan con ciclo Otto buscan operar con una relación aire combustible de 14,7:1 gramos. Cuando estas proporciones se suministran al interior de los cilindros el motor realiza el proceso de combustión y en el escape el sensor de oxígeno busca detectar éste elemento y proporciona la información a la ECU para repetir nuevamente el ciclo. Si el sensor revela un nivel alto de oxígeno la ECU establece que la mezcla es pobre (poca cantidad de combustible) y aumentará el total de carburante que se suministrará al motor. Sin embargo, si el sensor muestra un menor nivel de oxígeno, la ECU determinará que la mezcla es rica (excesiva cantidad de combustible) y recortará el volumen de gasolina que ingresará al motor.

El problema surge cuando se instala un generador de hidrógeno, ya que dicho sistema aumenta considerablemente la cantidad de oxígeno, puesto que incrementa la eficiencia de la combustión generando como resultado un error en los valores proporcionados por los sensores. Al obtener una mayor eficiencia en la combustión la ECU tratará de establecer la relación

estequiométrica, pero al suministrar un valor mayor de oxígeno se generará una lectura equívoca que ocasionará que no se genere un ahorro de combustible, sino todo lo contrario un aumento en el consumo de combustible. Por este factor se debe instalar un dispositivo electrónico de control que nos permita alterar la información que recibe la ECU desde los sensores.

El sensor de oxígeno o sonda Lambda proporcionan información a la ECU acerca de la cantidad de oxígeno mediante cambios en los valores de la tensión (voltaje), por ejemplo cuando el sensor indica un valor inferior a 0,45 voltios, significa que la mezcla es pobre; en cambio si la tensión es mayor o superior a 0,45 voltios, significa que la mezcla es rica. Para comprobación de estos valores se debe conectar un Multímetro al cable de señal del sensor de oxígeno, con el motor encendido donde se podrá apreciar las variaciones entre 3 a 0,7 voltios.

Por lo tanto la centralita de recalibración tiene la función de ajustar el voltaje del sensor para que la ECU detecte una mezcla de aire combustible más rica. Permitiendo una menor inyección de combustible en el momento de la combustión. La idea errónea es pensar que se está tratando de engañar a la ECU. No obstante lo que realmente pasa es que el aumento en la cantidad de oxígeno en el escape debido a una combustión más completa es lo que está engañando a la computadora. Por lo que se busca restablecer nuevamente los valores de aire combustible y conseguir una relación aire-combustible 14,7:1 gramos.

4.7.1.3 Otros sensores

Otros de los sensores que pueden ser reprogramados cuando se realiza la instalación de un sistema de generación de hidrógeno son el MAP y el MAF. La mayoría de vehículos tienen alguno de los dos y son muy pocos los que vienen equipados con los dos. En el caso de que se tenga los dos, es recomendable intervenir el MAP. En cualquier caso, se debe proceder de la misma manera. El principio de funcionamiento de la centralita es igual a lo antes mencionado para el sensor de oxígeno y se aplica de la misma manera.

4.7.1.4 Ajuste de sensores

La centralita viene equipada con dos perillas, la perilla de la izquierda es para modificar los valores del sensor de oxígeno y funciona de izquierda a derecha, es decir, si movemos la perilla un poco hacia la derecha nos da la señal normal de funcionamiento del sensor, si se la gira progresivamente hacia la derecha empezará amplificar la señal y modifica los valores de la tensión que recibirá la ECU.

La perilla de la derecha regula los valores del sensor MAP o MAF se debe considerar los mismos valores de calibración en función de cada modelo de vehículo. Al contrario de la perilla del sensor de oxígeno esta funciona de derecha a izquierda se debe girar progresivamente hacia la izquierda para obtener la amplificación de los valores del sensor.

INSTALACIÓN

1. Montar la centralita en algún lugar que permita un acceso fácil y que pueda ser accionado con facilidad y comodidad desde el asiento del conductor.

2. Pasar los cables de la centralita al compartimiento del motor y conectarlos a los sensores.
3. Conectar el cable Negro a masa y el Rojo al interruptor principal, es decir, a la llave.
4. Localizar los sensores y el cable de señal. Si tiene alguna duda en cuanto a la localización de los sensores, consulte el manual del automóvil. Con el voltímetro correctamente conectado busque el cable en donde la tensión varía de 0 a 5 voltios. Una vez localizado acelere el motor, ya que los valores deben variar cuando se acelera el motor.
5. Realizar el empalme de los cables de la centralita. No existe un adecuado orden de conexión ya que es simplemente un puente.



Figura 1: Elementos constitutivos centralita

Elementos constitutivos y componentes electrónicos de las centralita.

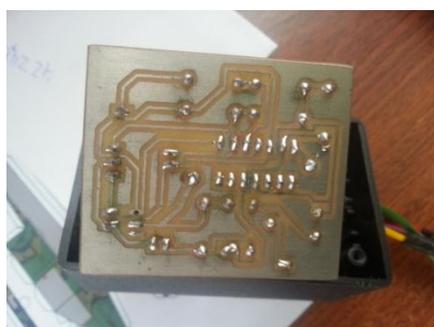


Figura 2: Placa electrónica centralita

Placa impresa con el diagrama electrónico y elementos electrónicos incorporados.

Los elementos van adheridos a la placa por medio de una suelda de estaño a la plaquilla de cobre.

 <p>Figura 3: Centralita</p>	<p>Centralita con dos potenciómetros de control, que regulan la variación de voltaje de los sensores y tres pares de cables:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Negro (masa) y Rojo (alimentación 12V). 2.- Verde y Gris (sensor MAF). 3.- Amarillo y Morado (sensor MAP).
<p>4:</p>  <p>Centralita Instalada</p>	<p>Figura</p> <p>Se instaló la centralita en el compartimiento del motor junto a la ECU.</p> <p>La ubicación fue determinada en función de que la centralita no esté expuesta a:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Humedad. 2.- Alta temperaturas. 3.- Comodidad y cercanía con los sensores. 4.- Agua o vapores propios del motor.
<p>Figura</p>  <p>Interruptor de encendido</p>	<p>5:</p> <p>El interruptor principal fue instalado en la cabina, específicamente en el lado derecho del volante.</p> <p>Consta de dos posiciones: 1) encendido y 2) apagado. El interruptor fue instalado con relación al interruptor principal del vehículo, es decir, cuando este se encontraba activo permitía el funcionamiento del generador.</p>

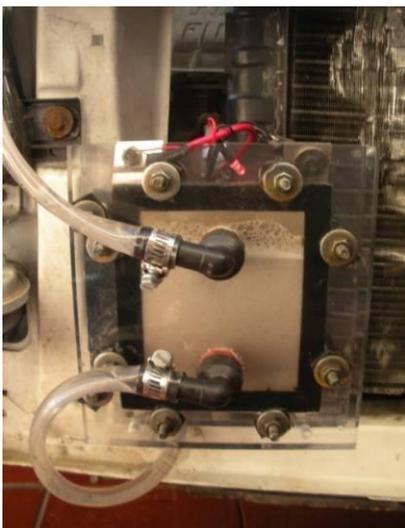
4.7.1.5 Generador

Cuando se encuentre todo instalado y con la finalidad de calibrar el generador se debe realizar las siguientes verificaciones para el correcto funcionamiento del sistema.

Primero, se debe considerar que la cantidad de hidrógeno que ingresará al motor es 2 litros por minuto y debemos ajustar el motor para un óptimo funcionamiento. Hay que encender el vehículo con el generador apagado, verificar que el voltaje de la batería se encuentre entre 13,8 - 14V; llenar el depósito con dos litros de la mezcla de agua y catalizador hasta la marca de nivel máximo. Es decir, agregar en el depósito unas 5 cucharadas de Hidróxido de Sodio (NaOH), aproximadamente 100 gramos por litro (EcoNovedades).

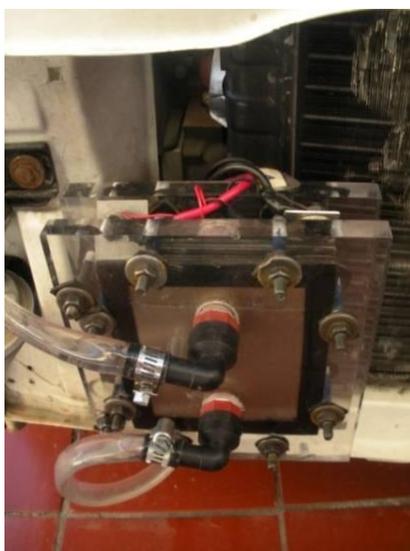
Una vez realizado dicho proceso encender el generador y verificar el valor del voltaje. Para este caso no debería haber bajado más de 0,9V Ejemplo: si el vehículo generaba en un inicio 13,8V ahora debería dar más o menos 13V, si no es así y bajó menos (por ejemplo 13,3) se debe agregar media cucharada más de NaOH, y así sucesivamente, hasta obtener el voltaje óptimo de funcionamiento, es decir, el comprendido entre 0,9V y 1V. Este valor además es el límite teórico de eficiencia del alternador (EcoNovedades).

Hay que asegurarse que la totalidad de conexiones, tubos, abrazaderas, pernos y arandelas se encuentren fuertemente ajustados para de esta manera evitar la pérdida de líquido y gas. Las conexiones entre los diferentes puntos se realizaron con mangueras de plástico, el aislamiento y cierre hermético con Tayspe, además de utilizar una válvula anti retorno (válvula check) en la entrada al múltiple de admisión con la finalidad de evitar el retroceso del gas al depósito.



Generador de Hidrógeno instalado alimentado de la mezcla agua- Hidróxido de Sodio para obtención H_2 .

El generador fue instalado en la parte frontal del vehículo delante de radiador y asegurado al frontal del auto.



La capacidad del generador es de 1 litro y permite generar hasta 2 litros de hidrógeno por minuto.

El depósito permite el almacenamiento de alrededor de 2 litros de mezcla.

La luz LED de color rojo indica que el generador se encuentra encendido.



Depósito utilizado como almacenamiento y burbujeador.

El depósito debe contar con mínimo 3 puntos para acoplar las cañerías:

- 1.- Ingreso de agua al generador.
- 2.- Retorno de agua y gas (hidrógeno).
- 3.- Salida del gas (hidrógeno) al múltiple de admisión.



Depósito instalado en la parte delantera dentro del compartimiento del motor.

Al carecer de una bomba de suministro se debe colocar el generador y el depósito a desnivel a fin de permitir el llenado del generador por fuerza de gravedad.



La cañería de salida del gas (hidrógeno) debe ir conectada al múltiple de admisión.

La cañería de salida de gas (hidrógeno) debe estar equipada con una válvula anti retorno.



Válvula anti-retorno instalada en la cañería de salida de gas.

La válvula tiene como finalidad evitar el retroceso de gas al depósito o burbujeador.



Generador en funcionamiento e instalado en el automotor.

Las burbujas que se crean en el interior del generador son producto de la electrolisis y liberan el hidrógeno del agua.

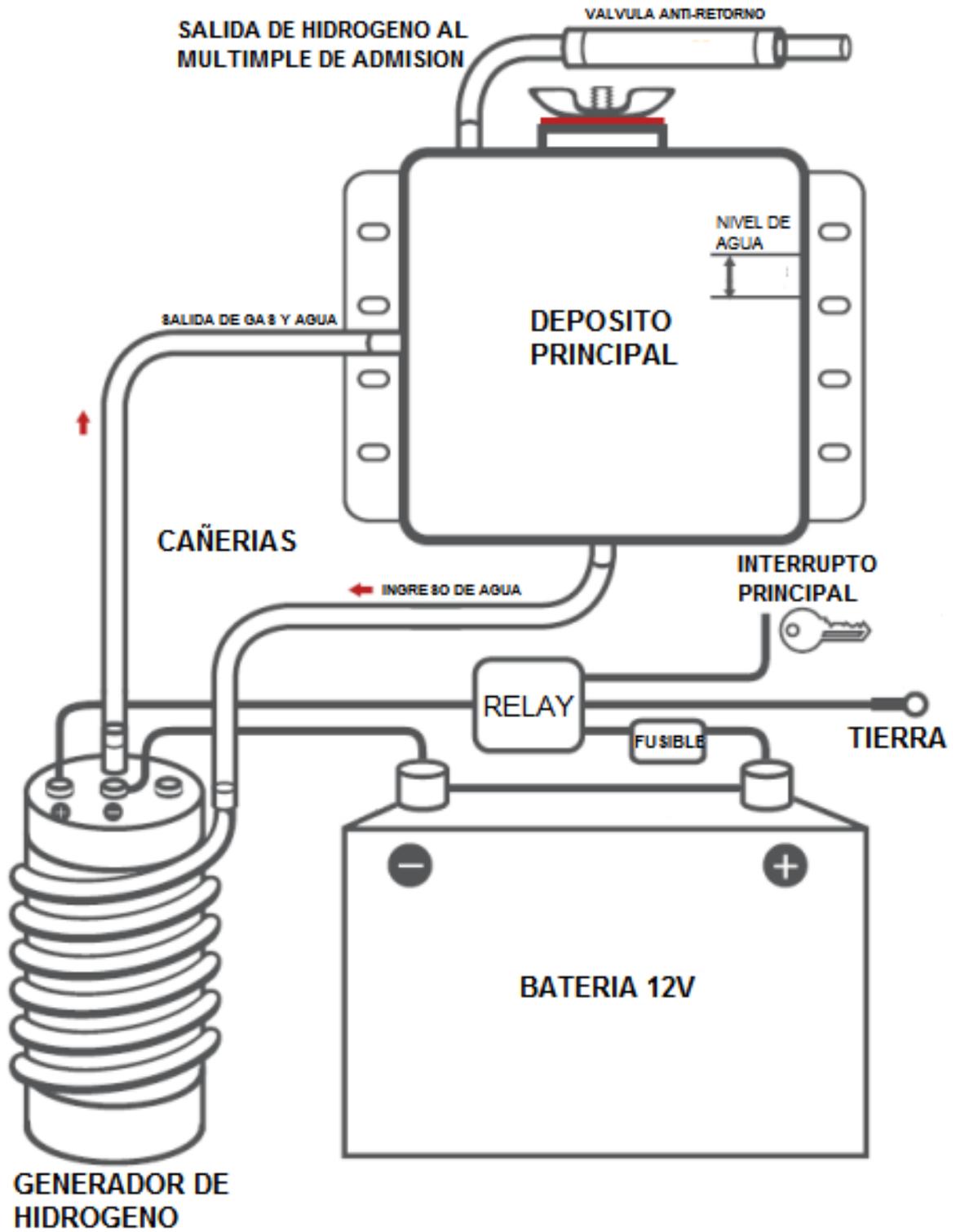


Diagrama 2: Diagrama completo del sistema H₂

Elaborado por los autores

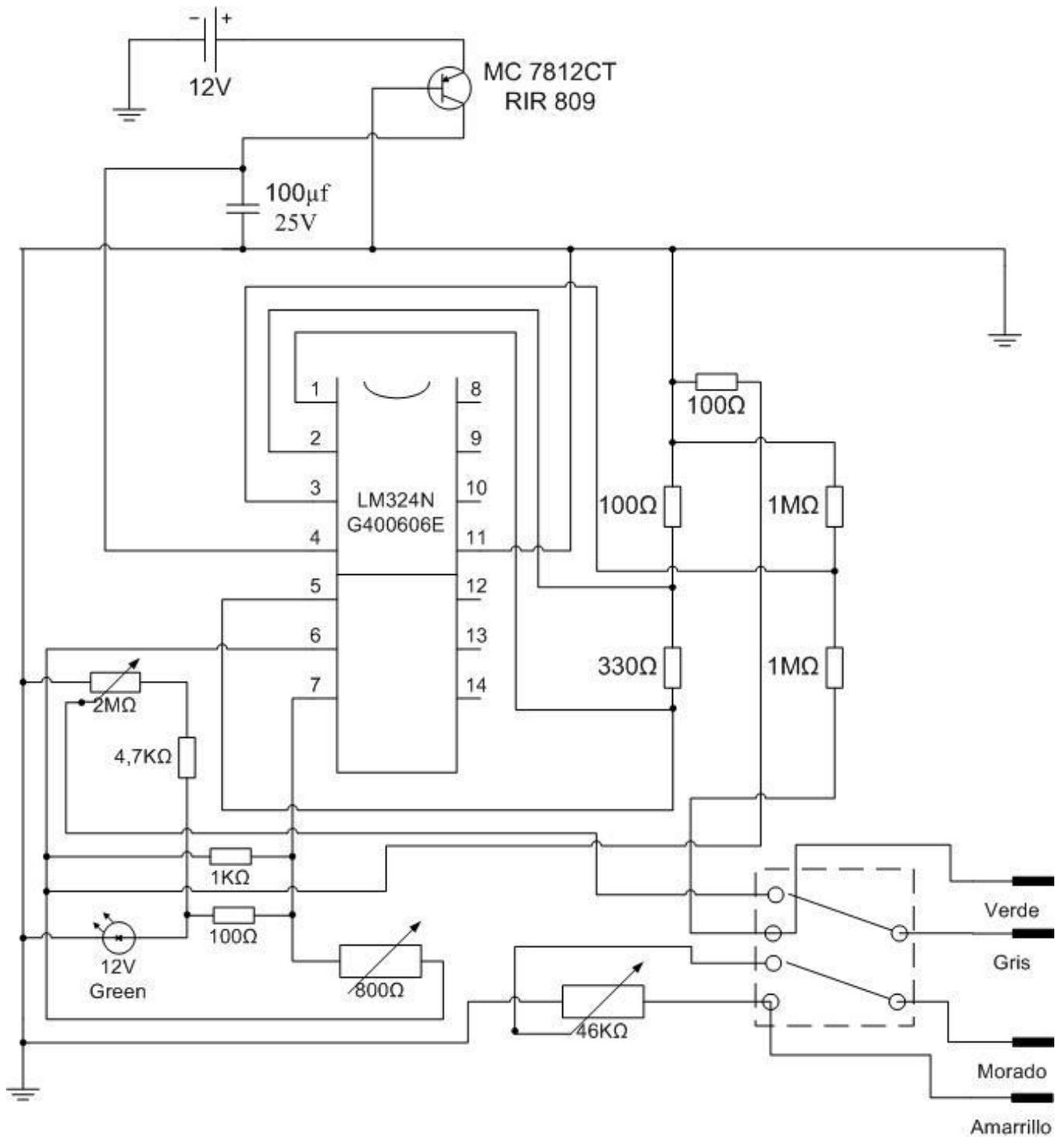


Diagrama 3: Diagrama Electrónico de la centralita

Elaborado por los autores

Capítulo 5. Pruebas y evaluaciones

Con la finalidad de obtener resultados reales relacionados con la diferencia en la optimización de las emisiones de gases contaminantes y el consumo de combustible ofrecido por varios textos y sitios Web. Además de verificar el correcto funcionamiento del generador de hidrogeno construido e implementado, se procedió a realizar varias pruebas sencillas, pero que permitieran obtener información consistente con relación al consumo y emisión de gases.

Entre los diferentes campos a ser considerados y evaluados los más importantes son: la emisión de gases de escape, con y sin generador; el rendimiento de consumo de combustible en ruta, con y sin generador.

5.1 Pruebas sin generador de Hidrógeno

La primera parte de la prueba fue realizar la medición del rendimiento de combustible. Para lo que se procedió a determinar una ruta que cumpliera con las siguientes características: un tramo con pendientes ($45^{\circ} \pm$), otro tramo con tránsito denso y una parte del tramo en vía de circulación rápida; la prueba por la ruta se realizó sin el generador y otra con el generador instalado. Además se verificó mediante el uso de una máquina gasométrica la emisión de gases en las instalaciones del CERFIN SECAP obteniendo los siguientes valores:

PRUEBA DE EMISIÓN DE GASES SIN GENERADOR DE HIDRÓGENO					
<i>RPM</i>	<i>CO</i>	<i>HC</i>	<i>CO₂</i>	<i>O₂</i>	<i>TEMPERATURA</i>
Ralentí (930)	0.013 ppm	38,5 ppm	11,24 ppm	4,25 ppm	87°C
2000	0,05 ppm	113 ppm	9,05 ppm	6,3 ppm	87°C
4000	0,37 ppm	97 ppm	10,3 ppm	4,0 ppm	87°C

Cuadro 5.1: Resultados de pruebas de emisión de gases sin generador

Elaborado por los autores

Como punto de inicio, se determinó una estación de servicio ubicada en el sector de la Kennedy; el tanque de combustible debía estar totalmente vacío y la luz testigo de nivel de gasolina encendida. Una vez cumplidas las condiciones antes expuestas se procedió a llenar el tanque con 2,5 galones de gasolina súper.

5.1.1 Ruta sin generador

Ruta establecida para realizar las pruebas:

- 1) Punto de partida Estación de Servicio de la Av. 10 de Agosto y Capitán Ramón Borja;
- 2) Av. 10 de Agosto - Av. Diego de Vásquez de Cepeda (intercambiador de Carcelén);
- 3) Av. Diego de Vásquez - Av. Occidental (intercambiador Ponciano);
- 4) Av. Occidental – Av. Moran Valverde
- 5) AV. Moran Valverde – Av. Velasco Ibarra;
- 6) Av. Velasco Ibarra - Intercambiador de Santa Rosa y Av. Simón Bolívar;
- 7) Intercambiador de Santa Rosa y Av. Simón Bolívar – Intercambiador Troncal de la sierra Ruta E35;
- 8) Intercambiador Troncal de la sierra Ruta E35 – Triangulo de San Rafael;
- 9) Triangulo de San Rafael – El Tingo;
- 10) El Tingo – Cunuyacu;
- 11) Cunuyacu – Av. Simón Bolívar;
- 12) Av. Simón Bolívar – Av. Los Granados;
- 13) Av. Los Granados – Av. Eloy Alfaro;
- 14) Av. Eloy Alfaro – Punto de partida Estación de Servicio de la Av. 10 de Agosto y Capitán Ramón Borja;



Mapa de la Ruta

Fuente: <http://maps.google.es/>

5.1.2 Desempeño sin generador

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN RUTA SIN GENERADOR			
<i>Kilometraje de ruta total</i>	<i>Cantidad de combustible</i>	<i>Costo de combustible</i>	<i>Consumo de combustible por kilometro</i>
110 Kilómetros	2,5 galones	5 dólares	0,023 Kilómetros x Galón

Cuadro 5.2: Resultados de consumo de combustible sin generador

Elaborado por los autores

5.2 Pruebas con generador de Hidrógeno

Se procede a realizar las mismas pruebas y consideraciones de la evaluación sin generador, detalladas en las páginas anteriores, la única diferencia es que las pruebas se realizaron con el generador ya instalado y operativo. Otro cambio realizado es que la medición de gases fue realizado en las instalaciones del concesionario Kia del valle de los chillos. A continuación los valores obtenidos:

PRUEBA DE EMISIÓN DE GASES CON GENERADOR DE HIDRÓGENO					
<i>RPM</i>	<i>CO</i>	<i>HC</i>	<i>CO₂</i>	<i>O₂</i>	<i>TEMPERATURA</i>
Ralentí (930)	0,011ppm	33,88ppm	9,89ppm	4,76 ppm	86°C
2000	0,044ppm	99,44ppm	8,054ppm	6,93 ppm	86°C
4000	0,336ppm	85,36ppm	9,167ppm	4,32 ppm	86°C

Cuadro 5.3: Resultados de pruebas de emisión de gases con generador

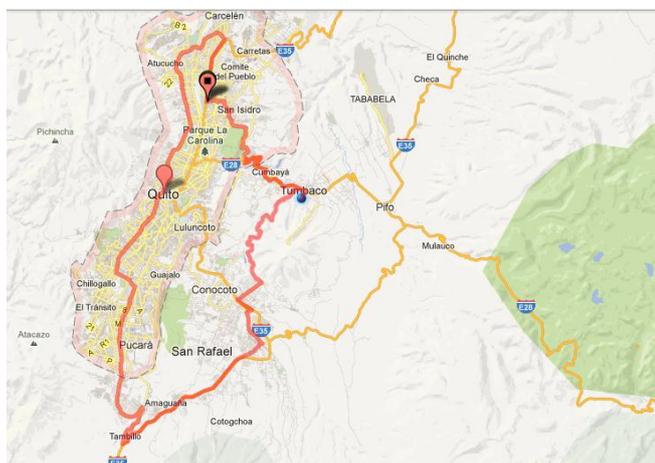
Elaborado por los autores

Nuevamente se procede a iniciar la prueba de ruta, pero con el generador instalado el punto de inicio la misma estación de servicio ubicada en el sector de la Kennedy; el tanque de combustible totalmente vacío y la luz testigo de nivel de gasolina encendida. El tanque de combustible lleno con 2,5 galones de gasolina súper.

5.2.1 Ruta con generador

Ruta establecida para realizar las pruebas:

- 1) Punto de partida Estación de Servicio de la Av. 10 de Agosto y Capitán Ramón Borja;
- 2) Av. 10 de Agosto - Av. Diego de Vásquez de Cepeda (intercambiador de Carcelén);
- 3) Av. Diego de Vásquez - Av. Occidental (intercambiador Ponciano);
- 4) Av. Occidental – Av. Moran Valverde
- 5) AV. Moran Valverde – Av. Velasco Ibarra;
- 6) Av. Velasco Ibarra - Intercambiador de Santa Rosa y Av. Simón Bolívar;
- 7) Intercambiador de Santa Rosa y Av. Simón Bolívar – Intercambiador Troncal de la sierra Ruta E35;
- 8) Intercambiador Troncal de la sierra Ruta E35 – Triangulo de San Rafael;
- 9) Triangulo de San Rafael – El Tingo;
- 10) El Tingo – Cunuyacu;
- 11) Cunuyacu – Av. Simón Bolívar;
- 12) Av. Simón Bolívar – Av. Los Granados;
- 13) Av. Los Granados – Av. Eloy Alfaro;
- 14) Av. Eloy Alfaro – Punto de partida Estación de Servicio de la Av. 10 de Agosto y Capitán Ramón Borja.



Mapa de la Ruta

Fuente: <http://maps.google.es/>

5.2.2 Desempeño con generador

PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN RUTA CON GENERADOR			
<i>Kilometraje de ruta total</i>	<i>Cantidad de combustible</i>	<i>Costo de combustible</i>	<i>Consumo de combustible por kilómetro</i>
122 Kilómetros	2,5 galones	5 dólares	0,019 Kilómetros x Galón

Cuadro 5.4: Resultados de consumo de combustible con generador

Elaborado por los autores

Como resultado y comparando los dos cuadros podemos apreciar que se obtuvo una pequeña disminución en el consumo de combustible, de igual forma en las partículas contaminantes y un incremento en la cantidad de oxígeno resultante de la combustión.

PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN RUTA CON GENERADOR			
<i>Kilometraje de ruta total</i>	<i>Cantidad de combustible</i>	<i>Costo de combustible</i>	<i>Consumo de combustible por kilómetro</i>
RESULTADOS CON GENERADO			
122 Kilómetros	2,5 galones	5 dólares	0,019 Kilómetros x Galón
RESULTADOS SIN GENERADOR			
110 Kilómetros	2,5 galones	5 dólares	0,023 Kilómetros x Galón
VARIACIONES OBTENIDA			
12 Kilómetros	2,5 galones	5 dólares	0,004 Kilómetros x Galón
Se puede apreciar un ahorro de combustible de aproximadamente el 11%, es decir, se genera una disminución mínima en el consumo.			

Cuadro 5.5: Tabla comparativa de Km/Gal

Elaborado por los autores

La tabla que se expone a continuación muestra los kilómetros registrados durante 20 días. Donde el primer registro se lo realizó con el generador apagado y el segundo registro con el generador encendido. La información que se detalla a continuación confirma que se logró un ahorro durante el mes que representa aproximadamente el 10%.

TABLA COSTO – BENEFICIO

DÍAS	GASOLINA / KM	DÓLARES PROMEDIO DIA	GASOLINA - HIDRÓGENO / KM	DÓLARES PROMEDIO DIA
1	0 - 57.1	\$ 2.50	0 - 57.9	\$ 2.10
2	57.1 - 116.6	\$ 2.50	57.9 - 117.4	\$ 2.10
3	116.6 - 174.3	\$ 2.50	117.4 - 173.8	\$ 2.10
4	174.3 - 232.4	\$ 2.50	173.8 - 231.0	\$ 2.10
5	232.4 - 290.5	\$ 2.50	231.0 - 291.4	\$ 2.10
TOTAL KM. SEMANA	290.5	\$ 12.5	291.4	-
6	290.5 - 348.7	\$ 2.50	291.4 - 347.8	\$ 2.10
7	348.7 - 405.9	\$ 2.50	347.8 - 408.0	\$ 12.5 / 2.10
8	405.9 - 464.6	\$ 2.50	408.0 - 468.9	\$ 2.10
9	464.6 - 523.0	\$ 2.50	468.9 - 526.8	\$ 2.10
10	523.0 - 580.9	\$ 2.50	526.8 - 582.9	\$ 2.10
TOTAL KM. SEMANA	290.4	\$ 12.5	291.5	-
11	580.9 - 645.2	\$ 2.50	582.9 - 644.4	\$ 2.10
12	645.2 - 698.4	\$ 2.50	644.4 - 700.2	\$ 2.10
13	698.4 - 754.0	\$ 2.50	700.2 - 757.1	\$ 12.5 / \$ 2.10
14	754.0 - 812.7	\$ 2.50	757.1 - 811.9	\$ 2.10
15	812.7 - 875.6	\$ 2.50	811.9 - 876.7	\$ 2.10
TOTAL KM. SEMANA	294.7	\$ 12.5	293.8	-
16	875.6 - 929.1	\$ 2.50	876.7 - 930.6	\$ 2.10
17	929.1 - 987.3	\$ 2.50	930.6 - 984.8	\$ 2.10
18	987.3 - 1044.9	\$ 2.50	984.8 - 1047.3	\$ 2.10
19	1044.9 - 1103.8	\$ 2.50	1047.3 - 1102.6	\$ 12.5 / \$ 2.10
20	1103.8 - 1167	\$ 2.50	1102.6 - 1168.7	\$ 2.10
TOTAL KM. SEMANA	291.4	\$ 12.5	292.0	-
TOTAL KM. MES	1167.0		1168.7	
TOTAL DINERO MES		\$ 50		\$ 37.5

Cuadro 5.6: Tabla costo por 20 días

Elaborado por los autores

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- ❖ Para concluir se puede indicar que el proceso de elaboración del proyecto se lo llevó a cabo cumpliendo con los objetivos planteados, se procedió a la construcción e implementación del generador. Así mismo se realizó varios análisis para determinar la eficiencia del sistema y poder evaluar la aplicabilidad del mismo en un motor de ciclo Otto.
- ❖ De igual manera y una vez que se realizó las evaluaciones y pruebas del caso se puede concluir que el sistema no alcanzó las expectativas deseadas, sin embargo los resultados nos permiten determinar que se requiere mayores avances y estudios que sustenten el real potenciamiento de este tipo de generadores al igual que la redirección de los sistemas de combustión, almacenamiento y control, que permitan la implementación de este tipo de sistemas, lo que evidentemente puede ser considerado como una alternativa viable, pero a largo plazo.
- ❖ Además se puede concluir en base a las evaluaciones realizadas el sistema generador de hidrógeno que no se logró un ahorro sustancial en el consumo de combustible, es decir, se consiguió una mejora del 11% en el rendimiento de kilometro por galón. Un valor muy bajo si se considera que los nuevos vehículos híbridos pueden obtener valores mayores al 35% de ahorro.
- ❖ También se puede concluir que muchos de los productos ofertados por internet y que hablan de valores de ahorro de aproximadamente 25 a 30% se alejan de los resultados obtenidos por nuestro estudio e implementación. Por lo tanto es prudente afirmar que este tipo de ofertas tiene un gran

componente de desacierto que sobredimensiona los valores reales que este elemento puede lograr.

- ❖ Además se concluye que éste tipo de generadores incluyen varios inconvenientes propios de la implementación y su funcionamiento. Entre los más importantes se destacan, el ingreso de vapores de agua al interior de la cámara de combustión que podrían ocasionar potenciales oxidaciones en los elementos internos, a más de un mayor deterioro en los pistones, válvulas y rines, incluso se generarían pequeños depósitos de agua en liquido lubricante. Además, se debe considerar que los sistemas de control electrónico actuales se encuentra configurados de tal manera que permiten obtener la mejor relación consumo potencia lo que disminuye aún más las posibilidades de modificaciones para un mayor rango de ahorro sin afectar la potencia del automotor.
- ❖ Otra de las conclusiones obtenidas durante la implementación del sistema es que el nivel de eficiencia del generador depende directamente de la carga del alternador, es decir, la energía utilizada para realizar la electrolisis será proporcionada por el sistema eléctrico del vehículo. Por lo tanto el generador vendría a ser parte de los consumidores y requeriría un porcentaje del consumo de combustible. No se encontraron estudios o pruebas fehacientes que determinen el nivel de costo beneficio, es decir, se genera mayor energía que la utilizada para su funcionamiento.
- ❖ Finalmente, se puede concluir que un generador de hidrógeno puede ser considerado y perfeccionado para en un futuro cercano utilizar el hidrógeno como combustible, lo cual permitiría pensar en un proceso de combustión más eficiente y limpio; permitiendo reducir de manera considerable los

gases contaminantes producto de la combustión. Además se debe considerar que éste elemento es uno de los más abundantes del universo.

6.2 Recomendaciones

- ❖ Es recomendable realizar un estudio detallado del tipo de motor al que se va a intervenir, ya que las consideraciones cambian en función de las características del sistema de alimentación, es decir, motor con sistemas de inyección o motor con carburador. En estos últimos el sistema de hidrógeno permite alcanzar un mayor nivel de eficiencia, ya que no existe una ECU programada.
- ❖ Es prudente recomendar que para la instalación se utilice equipos de protección y seguridad, especialmente cuando se manipula elementos catalizadores como Hidróxido de Sodio (NaOH), que es altamente tóxico y dañino. Además se debe verificar que no existan fugas del líquido por ninguna de las uniones y cañerías.
- ❖ Se recomienda al entorno social, se inicie la transición hacia una nueva matriz energética que tenga como objetivo primordial el cuidado del entorno y el medio ambiente. Proyectos como el desarrollado en el presente texto, pese a ser todavía muy primario, deben ser considerados, investigados y desarrollados por las grandes marcas automotrices.
- ❖ Se recomienda un estudio más detallado de éste tipo de generadores que permita mejorarlos y optimizarlos para una implementación que admita obtener un mejor rendimiento y mejores valores de eficiencia. Que garanticen un menor consumo de combustible, y porque no decirlo un cambio definitivo en el paradigma energético mundial.
- ❖ Así mismo, se debe recomendar que éste tipo de generadores no deberían ser comercializados, ya que se encuentran en etapa de desarrollo y

únicamente su uso debería estar supeditado al estudio, desarrollo y mejora de éste elemento. Por lo tanto no deberían ser adquiridos, ya que actualmente no existen estudios reales y determinantes que indique su efectivo funcionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Acontecimientos Extraordinarios. (02 de 09 de 2012). Obtenido de <http://acontecimientos2012.latin-foro.net/t5687-cual-a-sido-el-crecimiento-de-la-poblacion-mundial>
- ✓ Aguer Hortal, M., & Miranda Barreras, A. L. (2005). *El Hidrogeno Fundamentos de un futuro equilibrado*. España: Díaz de Santos S.A.
- ✓ Alu.ua.es. (10 de marzo de 2013). Obtenido de <http://www.alu.ua.es/v/vap/biomasa.htm>
- ✓ APPA. (2009). Obtenido de http://www.appa.es/04biomasa/04que_es.php
- ✓ Barry, D. (2000). *Hydrogena path for the future*. Obtenido de Government of Québec: http://www.mrn.gouv.qc.ca/english/publications/energy/path_future.pdf
- ✓ Benefits, F. C. (24 de 03 de 2012). *FuelCellStore.com*. Obtenido de http://www.fuelcellstore.com/information/benefits_of_fuel_cells.html
- ✓ Biodiesel. (2011). Obtenido de <http://www.biodieselspain.com/que-es-el-biodiesel/>
- ✓ Biodisol. (2009). Obtenido de <http://www.biodisol.com/energia-solar/>
- ✓ Biodisol. (Noviembre de 2009). Obtenido de <http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables/>
- ✓ Castillo, A. (16 de Junio de 2011). Obtenido de <http://www.slideshare.net/abigailcastillo/fuentes-alternativas-de-energia>
- ✓ Consumer, R. (20 de 3 de 2012). <http://revista.consumer.es>. Obtenido de <http://revista.consumer.es/web/es/20030501/medioambiente/>
- ✓ EcoNovedades. (s.f.). CONEXIONES ELECTRICAS / REGLAJE AMPERIOS DEL GENERADOR DE HHO.
- ✓ Energía Solar. (2011). Obtenido de <http://www.gstriatum.com/energiasolar/>
- ✓ Energíafósil.com. (2010). Obtenido de <http://www.energiafosil.com/>

- ✓ Energy, D. o. (05 de 04 de 2012). *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*. Obtenido de http://www.nrel.gov/hydrogen/proj_production_delivery.html
- ✓ Frers, C. (2009). *Biodisol*. Obtenido de <http://www.biodisol.com/hidrogeno-que-es-el-hidrogeno-energias-limpas-el-combustible-del-futuro-energia-infinita/>
- ✓ Las reservas de petroleo en el mundo. (23 de 01 de 2013). Obtenido de http://www.sindominio.net/singuerra/reserves_petroli.html
- ✓ Martinez, A. (21 de Mayo de 2008). Obtenido de <http://desenchufados.net/metodos-de-obtencion-del-hidrogeno/>
- ✓ Miñarro, J. R. (2013). *Newton*. Obtenido de http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/no_renovables.htm
- ✓ Netto, R. S. (24 de 03 de 2012). *www.fisicanet.com*. Obtenido de http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/ap04_primer_principio.php
- ✓ Pedroche, A. B. (2011). Obtenido de <http://www.economiadelaenergia.com/energia-solar/>
- ✓ Dinga Gustov P. Hydroegen. The ultimate fuel and energy carrier. En: *Int J. Hydrogen Energy*. Vol.14, No.11, pp777-784. 1989.
- ✓ T.N. Veziroglu, *Int. J. Hydrogen Energy* 11, 1. 1986
- ✓ J. Bockris, *Energy. The Solar Hydrogen Alternative*, Wiley, New York. 1975.
- ✓ K. Cox and K. Williamson Jr, *Hydrogen: its techology and implications*, Vol. IV, *Utilization of Hydrogen*, CRC, Boca Raton, FL. 1979.
- ✓ L. Bicelli, *Int. J. Hydrogen Energy* 11, 555. 1986
- ✓ K. Williamson Jr and F. Edeskuty, *Recent Developments in Hydrogen Technology*, Vol. II, CRC, Boca Raton, FL. 1986.
- ✓ A.H. Awad and T.N. Veziroglu, *Int. J. Hydrogen Energy* 9, 355. 1984
- ✓ T.N. Veziroglu, *Int. J. Hydrogen Energy*, part B, Plenum, New York 1975

- ✓ Technical paper: 73001- History of hydrogen fueled internal combustion engines, R. Billings and F. Lynch, the Hydrogen Energy Corporation, Kansas City, MO, 1973.