



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**TEMA: INSTALACIÓN DE UNA CELDA ELECTROLÍTICA
GENERADORA DE HIDRÓGENO EN UN VEHÍCULO CON
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA MARCA
FORD MODELO ECOSPORT FREESTYLE 2.0L PARA
MEJORAR SU EFICIENCIA**

AUTOR: CHAMORRO RUANO RICHARD DANILO

TUTOR: ING. PABLO ESPINEL

LATACUNGA

2017



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“INSTALACIÓN DE UNA CELDA ELECTROLÍTICA GENERADORA DE HIDRÓGENO EN UN VEHÍCULO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA MARCA FORD MODELO ECOSPORT FREESTYLE 2.0L PARA MEJORAR SU EFICIENCIA”** realizado por el señor **CBOS. DE E. CHAMORRO RUANO RICHARD DANILO**, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto, me permito acreditarlo y autorizar al señor **CBOS. DE E. CHAMORRO RUANO RICHARD DANILO** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, agosto del 2017

ING. PABLO ESPINEL
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **CBOS. DE E. CHAMORRO RUANO RICHARD DANILO** con cédula de identidad N° 0401587043, declaro que este trabajo de titulación **“INSTALACIÓN DE UNA CELDA ELECTROLÍTICA GENERADORA DE HIDRÓGENO EN UN VEHÍCULO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA MARCA FORD MODELO ECOSPORT FREESTYLE 2.0L PARA MEJORAR SU EFICIENCIA”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, agosto del 2017

CBOS. CHAMORRO RUANO RICHARD DANILO

CI: 0401587043



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, **CBOS. DE E. CHAMORRO RUANO RICHARD DANILO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“INSTALACIÓN DE UNA CELDA ELECTROLÍTICA GENERADORA DE HIDRÓGENO EN UN VEHÍCULO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA MARCA FORD MODELO ECOSPORT FREESTYLE 2.0L PARA MEJORAR SU EFICIENCIA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, agosto del 2017

CBOS. CHAMORRO RUANO RICHARD DANILO

CI: 0401587043

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por ser el creador de la luz de nuestra existencia y así poder edificar una obra de ejemplo a nuestros semejantes.

A mis queridos padres Manuel Chamorro y Elvia Ruano por darme la vida a cambio de nada, ya que gracias a ellos ahora puedo orientarla y hacerla que transite por el camino del bien.

A mi irremplazable esposa Grace Vallejo quien me ha acompañado y recorrido junto a mi este ciclo de vida apoyándome y con su sexto sentido previniéndome para hacer más comfortable nuestra vida.

A mi hijo Ariel Chamorro quien me ha permitido pagar la colegiatura con Dios y verme reflejado en él para existir y trascender a través del tiempo.

A mi universidad por proporcionarme los conocimientos, que moldearon mi sabiduría para ponerla al servicio de la sociedad.

Y finalmente a nuestra Patria, mi querido Ecuador por donde hemos recorrido para conocerte, amarte y defenderte, porque tú me has dado todo para ser hoy lo que soy.

Chamorro Ruano Richard Danilo

CBOS. DE E.

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar de mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es y lo justa que puede llegar a ser, y gracias por creer en mí, todo esto me ha permitido cumplir con excelencia mi gran sueño como es mi proyecto de graduación.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero con el apoyo incondicional de mis padres, esposa, hijo, hermana, facilitadores y amigos incondicionales he podido lograr esta meta.

Les presento mi gran afecto hacia todos ustedes.

Chamorro Ruano Richard Danilo
CBOS. DE E.

ÍNDICE

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	1
ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Alcance	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. El hidrógeno	6
2.1.1. El hidrógeno como combustible	7
A. Propiedades combustibles del hidrógeno	8
A1. Amplia gama de inflamabilidad	8
A2. Baja energía de ignición	9
A3. Pequeña distancia de apagado	9

A4.	Temperatura de auto-ignición elevada	9
A5.	Alta velocidad de llama	10
A6.	Alta difusividad	10
A7.	Baja densidad	10
A8.	Características de la llama	11
B.	Energía mecánica por combustión del hidrógeno	11
B1.	Motor de combustión directa	11
B2.	Motor de 4 tiempos.....	12
B3.	Motor Wankel	13
2.1.2.	Beneficios al usar hidrógeno como combustible	14
A.	Rentabilidad del hidrógeno.....	15
B.	Beneficios en el motor	17
C.	Beneficios al medio ambiente	18
2.2.	Celdas de hidrógeno	18
2.2.1.	Producción de hidrógeno por electrólisis.....	19
A.	Electrolitos.....	20
2.2.2.	Celda de combustible.....	21
2.2.3.	Celda generadora de hidrógeno.....	23
2.2.4.	Celda seca y celda húmeda	25
2.3.	Celda electrolítica generadora de hidrógeno.....	26
2.3.1.	Descripción	26
A.	Generador de hidrógeno	26
B.	Relé.....	27
C.	Tanque multifuncional para electrolito.....	27
D.	Cables y conectores.....	28
E.	Mangueras y cañerías.....	30
F.	Abrazaderas, bridas y seguros.....	30
G.	Electrolito	31
2.3.2.	Funcionamiento.....	31
A.	Abastecimiento.....	31
B.	Suministro inicial	32
C.	Fase de elaboración.....	32
D.	Burbujeador.....	32

E.	Fase de alimentación	33
CAPÍTULO III.....		34
MATERIALES Y MÉTODOS		34
3.1.	Materiales necesarios para la instalación.....	34
3.1.1.	Selección del generador.....	34
3.2.	Proceso de montaje y adaptación de la celda	35
3.2.1.	Generador de hidrógeno	35
3.2.2.	Depósito y burbujeador	36
3.2.3.	Mangueras	37
3.2.4.	Conexiones eléctricas	38
3.2.5.	Elaboración y carga del electrolito.....	40
3.3.	Pruebas.....	40
3.3.1.	Torque y potencia.....	41
3.3.2.	Emisión de gases	47
3.3.3.	Consumo de combustible	50
CAPÍTULO IV		54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		54
4.1.	Conclusiones	54
4.2.	Recomendaciones	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		56
ANEXOS.....		59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características físicas del hidrógeno	7
Tabla 2.	El hidrógeno comparado con otros combustibles.	8
Tabla 3.	Temperatura de autoencendido.	9
Tabla 4.	Comparación de resultados de torque y potencia.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Motor RS-84	12
Figura 2.	Motor de 4 tiempos	12
Figura 3.	Motor Wankel	13
Figura 4.	Molécula de agua	19
Figura 5.	Electrólisis del agua.....	20
Figura 6.	Operación de la pila de combustible.....	22
Figura 7.	Componentes del electrolizador	24
Figura 8.	Celda seca y celda húmeda	25
Figura 9.	Generador con celdas de acero 316l.....	26
Figura 10.	Relé	27
Figura 11.	Tanque multifuncional	28
Figura 12.	Cables eléctricos	29
Figura 13.	Conectores eléctricos	29
Figura 14.	Manguera	30
Figura 15.	Bridas o correas plásticas.....	30
Figura 16.	Hidróxido de potasio.....	31
Figura 17.	Ubicación del generador.....	35
Figura 18.	Generador asegurado al chasis.....	36
Figura 19.	Sujeción del depósito y burbujeador.....	37
Figura 20.	Mangueras señaladas, acopladas y sujetas	38
Figura 21.	Diagrama de conexión del relé	39
Figura 22.	Conexión eléctrica en el generador	39
Figura 23.	Conexión eléctrica en el depósito.....	40
Figura 24.	Banco de pruebas en Dinamyca Competicion.....	41
Figura 25.	Posición correcta del vehículo en el dinamómetro	41
Figura 26.	Gráfica de potencia y torque con el sistema standard.....	42
Figura 27.	Activación del sistema generados de hidrógeno	43
Figura 28.	Gráfica de potencia y torque hidrógeno.....	43
Figura 29.	Comparación de resultados.....	45
Figura 30.	Comparación de resultados de potencia	46

Figura 31.	Comparación de resultados de torque.....	46
Figura 32.	Analizador de gases de la ESPE “CARTEK”	47
Figura 33.	Preparación del vehículo para la prueba de gases.....	48
Figura 34.	Análisis de gases con el vehículo standard	48
Figura 35.	Análisis de gases con el generador de hidrógeno	49
Figura 36.	Comparación resultados obtenidos en ralentí	50
Figura 37.	Comparación resultados obtenidos en modo crucero	50
Figura 38.	Mapa de recorrido para pruebas	51
Figura 39.	Medición en modo standard	52
Figura 40.	Medición con el generador activado	52
Figura 41.	Análisis de consumo de combustible.....	52

RESUMEN

En el presente proyecto se efectúa una investigación previa para comprender la forma de trabajar del hidrógeno, comprendido desde el descubrimiento, las propiedades, las primeras aplicaciones e invenciones y también las formas de uso actuales, esto debido a que el hidrógeno es un vector energético muy amigable con el medio ambiente. La implementación del generador electrolítico de hidrógeno en un vehículo con motor de combustión interna, se lo efectúa debido a que en el Ecuador y el mundo en general existe una falta de atención hacia los combustibles alternativos y las fuentes de energía renovable, las mismas que como el hidrógeno contribuyen a la disminución de consumo de combustibles fósiles y por ende a la reducción de gases contaminantes. La ejecución del proyecto se la realiza en un automóvil Ford Ecosport de motor 2000 cc del año 2013, al que se le instala el sistema generador de hidrógeno dentro del compartimiento del motor, haciendo un previo análisis para determinar la ubicación de cada uno de los componentes y a su vez las diferentes conexiones para tener una buena producción de hidrógeno. Ya con el sistema instalado en el vehículo se efectúan pruebas en un dinamómetro, un analizador de emisión de gases y en la carretera, las mediciones se hacen antes y después de activar el generados de hidrógeno. Al analizar los datos obtenidos en cada una de las pruebas se busca encontrar una variación favorable del desempeño del motor, al incrementar su torque y potencia, disminuir la emisión de gases contaminantes y la disminución del consumo de combustible.

ABSTRACT

The research is carried out to understand the way of working of the hydrogen, included from the discovery, properties, the first applications and inventions and current ways of use, due to the hydrogen is a very friendly energy carrier with the environment. The electrolytic generator of hydrogen implementation in an internal combustion engine vehicle it makes since in Ecuador and around the world there is a lack of attention to alternative fuels and renewable energy sources, the same as the hydrogen contributes to decrease of consumption of fossil fuels and thus to reduce of polluting gases. The research was done in a Ford Ecosport car its motor 2000 cc, 2013, which it installs the generator system of hydrogen within the engine compartment, making a prior analysis to determine the location of each components and at the same time different connections to have a good production of hydrogen. The system installed in the vehicle is carried out on a dynamometer tests, an analyzer of emissions on the road, the measurements are made before and after the activation of hydrogen generator. To analyze the data obtained in each test to find a pro engine performance variation to increase its torque and power to reduce the emission of pollutant gases and decreasing of fuel consumption.

Msc. Verónica Rosales

DOCENTE UGT

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Antecedentes

A través de la historia los combustibles fósiles han sido la principal fuente de energía, consumidos para el funcionamiento de las máquinas térmicas, especialmente en motores de combustión interna, utilizados para diferentes actividades industriales y convencionales, ayudando al desarrollo de la humanidad y brindándonos facilidades en el diario vivir.

De acuerdo con (Gutiérrez Jodra, 2005), antes de que finalizara el siglo XVIII, el hidrógeno encontró su primera aplicación práctica, como ocurre frecuentemente, por el ejército francés para globos de reconocimiento. Más tarde, antes y después de la segunda guerra mundial, el hidrógeno se empleó como combustible de motores de vehículos de todo tipo, incluidos locomotoras y submarinos, pero sin gran éxito. Y ello a pesar de la predicción de Julio Verne en su novela "La isla misteriosa" de que algún día el agua, bajo la forma de sus componentes hidrógeno y oxígeno, serviría como fuente inagotable de energía.

En tal sentido una de las tecnologías que encaja muy bien con las energías renovables para el futuro a mediano y largo plazo es la del hidrógeno ya que este gas es visto como vector energético con la capacidad de aportar muchos avances, así mencionado en el trabajo de titulación desarrollado por el estudiante Oscar Aguirre (2013). Celdas de hidrógeno y su potencial de aplicación.

Con la intención de aportar con una alternativa ecológica muy eficiente para lograr menos contaminación y un mejor rendimiento en la potencia de los motores de combustión interna, se ha optado por el uso de hidrógeno como parte del combustible, así redactado en el trabajo de titulación de los señores Edwin Duque y Juan Masaquiza (2013). Implementación de un generador e

inyección de hidrógeno en un motor de vehículo Mazda BT-50 2.2l, para reducir emisiones de gases contaminantes.

No se debe confundir los motores de combustión interna de hidrógeno con los de pila de combustible de hidrógeno. En la combustión, el hidrógeno y la gasolina se queman de forma conjunta, mientras que en las pilas de combustible; el hidrógeno se convierte en electricidad y posteriormente se aprovecha para alimentar motores eléctricos, que serán los que proporcionarán movimiento al vehículo. Redactado en el trabajo de titulación de los señores Aldaz Edgar y Encalada Rubén (2010). Implementación de un dispositivo que inyecte hidrógeno a un motor a gasolina.

En el mundo y en nuestro país el ámbito automotriz es uno de los principales consumidores de combustibles fósiles y esto lo hace apto para la aplicación del sistema generador de hidrógeno por celdas electrolíticas, para de esta manera aumentar la eficiencia de los vehículos, obteniendo una disminución de la contaminación ambiental.

1.2. Planteamiento del problema

En el transcurso de los últimos siglos el crecimiento del parque automotor en las grandes ciudades y el constante consumo de energías no renovables ha provocado el aumento de la emisión de gases contaminantes elevando el efecto invernadero de manera global y produciendo catástrofes ambientales irreparables.

La falta de atención a los combustibles alternativos y las fuentes de energía renovable, nos están llevando al agotamiento de las reservas de petróleo, incrementando así los precios de sus derivados, afectando gravemente la economía de la población y el mundo.

Es clara la evolución y el desarrollo tecnológico que se ha obtenido por medio del uso de los motores de combustión interna, pero lamentablemente

el progreso y la implementación de tecnologías para que estos sean de mayor eficiencia y por ende su impacto ambiental disminuya, no se han tomado en cuenta, aumentando los niveles de dióxido de carbono y gases de invernadero en la atmósfera, generando lluvias ácidas y calentamiento global que provocan enfermedades en la población.

Es por esto que se considera vital retomar al hidrógeno como fuente de energía, ya que es uno de los combustibles más antiguos, que no generan contaminación y ayudan al desempeño de los vehículos que cuentan con un motor de combustión interna, haciéndolo más amigable con el medio ambiente.

1.3. Justificación

En el mundo y el Ecuador existe una gran perplejidad en las personas, generada por los grandes niveles de contaminación que se han alcanzado en la actualidad debido a las emisiones que generan los vehículos, considerando este gran acontecimiento mundial, el presente trabajo tiene el interés de cooperar con una alternativa contra el problema, al instalar una celda electrolítica generadora de hidrógeno se pretende que el vehículo con motor de combustión interna obtenga una mayor eficiencia energética, potenciando a los combustibles fósiles, reduciendo su consumo y disminuyendo la deyección de gases contaminantes a la atmósfera.

La energía utilizada para producir hidrógeno por medio de la electrólisis en el vehículo es ampliamente menor en comparación a la producida en el momento de combinarse el hidrógeno con los combustibles, además el electrolito con el que funciona la pila es rentable y de fácil adquisición. De este modo tanto los propietarios de vehículos como la población entera se beneficiará; de una manera económica ya que se reducirán los gastos por la compra de combustible, y la población; estará menos propensa a contraer enfermedades a causa de la contaminación, este proyecto intenta reducir la

contaminación del ambiente generada por los gases que emiten los automotores.

La instalación de una celda electrolítica generadora de hidrógeno en un vehículo con motor de combustión interna a gasolina. Es factible ya que se pretende mejorar la eficiencia del vehículo, aumentar la potencia y el torque del motor, disminuir el consumo de combustible, contribuir con la economía individual y colectiva de la población, cooperar reduciendo la producción de gases que contaminan el medio ambiente; y además concluir la formación profesional poniendo en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo del trayecto estudiantil y de este modo como en el resto del mundo estar al tanto de los avances tecnológicos del sector automotriz.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Instalar una celda electrolítica generadora de hidrógeno en un vehículo con motor de combustión interna a gasolina marca Ford modelo ECOSPORT FREESTYLE 2.0L mediante la aplicación de nuevas tecnologías alternativas de energías renovables.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar una investigación bibliográfica acerca de las celdas electrolíticas usadas en la generación de hidrógeno para uso automotriz.
- Analizar el proceso de montaje y adaptación de la celda electrolítica generadora de hidrógeno en un vehículo con motor de combustión interna a gasolina.
- Valorar los indicadores de eficiencia de la celda electrolítica generadora de hidrógeno en un vehículo con motor de combustión interna a gasolina.

1.5. Alcance

El presente trabajo técnico tiene como propósito instalar una celda electrolítica generadora de hidrógeno en un vehículo con motor de combustión interna a gasolina marca Ford modelo ECOSPORT FREESTYLE 2.0L, logrando:

- Conocer la aplicación de nuevas alternativas energéticas.
- Comprender los métodos de obtención del hidrógeno.
- Elaboración y carga del electrolito.
- Mejorar la eficiencia del vehículo con el mínimo de modificaciones.
- Aumentar los rangos de torque y potencia.
- Disminuir la emisión de gases contaminantes.
- Reducir el consumo de combustible.
- Reducir gastos por la compra de combustible.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. El hidrógeno

El hidrógeno es uno de los elementos básicos que componen el agua y por ende conforma uno de los recursos más abundantes que conforman el planeta.

(Hortal & Barreras, 2007) Parece por ahora ser el candidato idóneo para producir energía mediante la combustión electroquímica, pero no debe confundirse la utilización del hidrógeno como si éste se tratara de una fuente energética, que no lo es. El hidrógeno se postula como vector energético, es decir, un transportador de energía. Los expertos están de acuerdo en que los recursos que sustituyan a los combustibles fósiles, y que permitan la obtención del hidrógeno deben ser las llamadas energías renovables. Como la energía eólica, la geotérmica, la biomasa, la hidráulica y con la de las olas o las mareas.

(Piqué, 2010) Una de las primeras personas en darse cuenta de las posibilidades energéticas del hidrógeno fue Sir William Robert Grove (1811-1896). Su relación con el hidrógeno tuvo lugar entre 1839 y 1842, cuando ideó su «batería de gas», poco después de que el científico suizo Christian Friedrich Schonbein (1799-1868) el descubridor del ozono, descubriera en 1838 que el hidrógeno y oxígeno podían combinarse para formar agua y electricidad. La batería de Grove se basaba en el hecho conocido de que, al pasar una corriente a través de agua, ésta se descomponía en sus elementos constituyentes, es decir, en hidrógeno y oxígeno. Es lo que llamamos la electrólisis del agua y que fue descubierta tan solo unos años antes, en 1800, por William Nicholson (1753-1815) y Anthony Carlisle (1768-1842). A pesar del interés que despierta hoy en día, en su momento el descubrimiento de Grove pasó bastante inadvertido y tuvo que transcurrir más de un siglo antes que su invento fuera mejorado.

Tabla 1.

Características físicas del hidrógeno

ORDEN	CARACTERÍSTICA	EQUIVALENCIA
1	Peso Molecular	2.016 g/mol
2	Peso Atómico	1.008 g/mol
3	Número Atómico	1
4	Valencias	+1, -1
5	Densidad	0.0695 kg/m ³ (gas) 0.070 g/cm ³ (liquido)
6	Punto de Fusión	-259.2°C (13.95°K)
7	Punto de Ebullición	-252.7°C (20.45°K)
8	Calor Específico	3.388 kcal/kg°C (14047.6 J/kg°C)
9	Isótopos	¹ ₁ H hidrógeno estable ² ₁ H deuterio ³ ₁ H tritio
10	Configuración Electrónica	1s ¹
11	Electronegatividad	2,1

Fuente: (Solís García, 2014)

2.1.1. El hidrógeno como combustible

Desde hace poco tiempo ataras se ha empezado la investigación de un nuevo combustible para el beneficia del planeta y de todos los que habitamos en él.

Este combustible es el hidrógeno:

(Hortal et al., 2007) El hidrógeno, como es sabido, es un gas incoloro, inodoro y completamente inofensivo. Es 14,4 veces más ligero que el aire y condensa a -252,77°C (tabla 1). Proporciona, al quemarse, una energía más alta que el resto de combustibles. Las emisiones nocivas en la combustión de hidrógeno con aire en motores y turbinas resultan insignificantes. El único producto de la combustión es el agua cuando el comburente es oxígeno puro.

Como líquido, el hidrógeno es pequeño en masa ya que este tiene que estar a muy bajas temperaturas para lograr este estado, pero al encontrarse en su estado natural (gaseoso) es grande en volumen ocupando 3.8 veces el

volumen que ocupa la gasolina, y en estado gaseoso, 3.6 veces el volumen ocupado por el gas natural. (Solís García, 2014),

Tabla 2.

El hidrógeno comparado con otros combustibles.

Propiedad	Unidad	H ₂	Metano	Propano	Gasolina
Límite de inflamabilidad en aire	%	4-75	5.3-15	2.1-10.4	1.4-7.6
Temperatura de combustión	°C	2318	2148	2385	2470
Mínima energía de encendido	MJ	0.02	0.29	0.305	0.24
Rango de detonación	%	18-59	6.3-13.5	3.4-35	1.1-3.3
Difusividad	cm ² /s	0.61	0.16	0.1	0.05
Velocidad de combustión en aire	cm/s	346	37-45	43-52	37-43
Valor calorífico bajo	kw-h/l	0.003	8.9	0.026	8.8
	kw-h/kg	33.48	13.1	13.6	12.1
Densidad	g/l	0.0899	0.718	1.88	~ 4.4
Octanaje	octanos	130	125	105	87

Fuente: (Solís García, 2014)

A. Propiedades combustibles del hidrógeno

A1. Amplia gama de inflamabilidad

(Fábrega Ramos, 2008) El hidrógeno dispone de una amplia gama de inflamabilidad en comparación con el resto de combustibles. Como consecuencia, el hidrógeno puede ser quemado en un motor de combustión interna sobre una amplia gama de mezclas aire/combustible. Una ventaja significativa de esto es que el hidrógeno puede funcionar aún en una mezcla pobre, es decir, donde la cantidad de combustible es menor que la cantidad teórica, estequiométrica o químicamente ideal necesaria para la combustión con una cantidad dada de aire. Generalmente, la economía del combustible es mayor y la reacción de combustión es más completa cuando un vehículo funciona con una mezcla pobre de aire/combustible. Además, la temperatura final de la combustión es generalmente más baja, reduciendo así la cantidad de agentes contaminantes, tales como óxidos de nitrógeno, emitidos a través del escape.

A2. Baja energía de ignición

(Fábrega Ramos, 2008) El hidrógeno tiene una energía de ignición muy baja. La cantidad de energía necesitada para prender el hidrógeno es mucho menor que en el caso de la gasolina. Esta característica permite a los motores de combustión interna de hidrógeno quemar mezclas pobres y asegurar una rápida ignición.

A3. Pequeña distancia de apagado

(Fábrega Ramos, 2008) El hidrógeno, cuando se quema, tiene una distancia de apagado muy pequeña, más pequeña que en el caso de la gasolina. Por este motivo, las llamas de hidrógeno circularán más cerca de las paredes del cilindro que otros combustibles antes de extinguirse. Por lo tanto, resultará más difícil apagar una llama de hidrógeno que una llama de combustible.

A4. Temperatura de auto-ignición elevada

(Fábrega Ramos, 2008) El hidrógeno dispone de una temperatura de auto-ignición relativamente elevada (tabla 3). Esto tiene implicaciones importantes cuando se comprime una mezcla de aire e hidrógeno. De hecho, la temperatura de auto-ignición es un factor importante en la determinación de la relación de compresión que debe tener un motor, puesto que el aumento de temperatura durante la compresión está relacionado con la relación de compresión.

Tabla 3.

Temperatura de autoencendido.

Orden.	COMBUSTIBLE	TEMPERATURA DE AUTOENCENDIDO
1	Hidrógeno	585 °C
2	Metano	540 °C
3	Gasolina	230 – 480 °C
4	Propano	490 °C
5	Diesel	250 °C

Fuente: (Aldás et al., 2010)

A5. Alta velocidad de llama

(Fábrega Ramos, 2008) El hidrógeno tiene una alta velocidad de llama en condiciones estequiométricas. Bajo estas condiciones, la velocidad de llama del hidrógeno es bastante más elevada que en el caso de la gasolina (tabla 2). Esto significa que los motores de combustión interna de hidrógeno podrán acercarse más al ciclo termodinámico ideal del motor. No obstante, con mezclas pobres de aire/hidrógeno, la velocidad de la llama disminuye significativamente.

A6. Alta difusividad

(Fábrega Ramos, 2008) El hidrógeno tiene una difusividad muy alta. Esta capacidad para dispersarse en el aire es considerablemente mayor que en el caso de la gasolina u otros combustible líquidos, resultando ventajoso por dos razones principales. En primer lugar, facilita la formación de una mezcla uniforme del combustible con el aire. En segundo lugar, en caso de producirse una fuga de hidrógeno, éste se dispersará rápidamente en el aire perdiendo su concentración y evitando una posible combustión.

A7. Baja densidad

(Fábrega Ramos, 2008) El hidrógeno tiene una densidad muy baja. Esto da lugar a dos problemas cuando se utiliza como combustible en un motor de combustión interna. En primer lugar, afectará al volumen que ocupará el combustible en el interior del cilindro de almacenaje previo a la combustión, siendo necesario un gran volumen de dicho cilindro como para que el vehículo pueda ofrecer unas buenas características de conducción. En segundo lugar, el aumento de volumen del combustible reducirá la cantidad de aire que se puede introducir en el cilindro (y por tanto la densidad de energía de la mezcla aire/hidrógeno), hecho que repercutirá directamente en una disminución de la potencia obtenida. Además, este hecho se convierte en un problema aún mayor al saber que, para conseguir reducir las emisiones de NOx se deben usar mayores cantidades de aire.

A8. Características de la llama

(Fábrega Ramos, 2008) Las llamas de hidrógeno presentan un color azul muy claro y resultan casi invisibles a la luz del día debido a la ausencia de hollín. La visibilidad es realzada por la presencia de humedad o impurezas (tales como sulfuro) en el aire. En cambio, las llamas de hidrógeno son fácilmente visibles en la oscuridad o bien con luz artificial. Una combustión de hidrógeno puede ser indirectamente visible al observar la emanación de una especie de “ondulaciones” y la radiación termal, especialmente en los grandes fuegos

B. Energía mecánica por combustión del hidrógeno

Existen dos tipos básicos de motor de combustión que emplean hidrógeno como combustible. El primero y más importante es el motor de combustión de hidrógeno de cuatro tiempos, que es en esencia un motor típico de combustión interna, y el segundo se trata del motor Wankel. El motor de combustión directa no estaría considerado básicamente como motor ya que este es prácticamente una turbina o un cohete, el cual es totalmente diferente a los dos motores mencionados anteriormente, tanto en su funcionamiento y en lo que a partes o elementos que a estos corresponde.

B1. Motor de combustión directa

(Padilla Martínez, García Valverde, Fernández Romero, & Urbina Yeregui, 2010) Una de las aplicaciones tradicionales del hidrógeno, ha sido como combustible de cohetes y transbordadores espaciales, que lo consumen en su combustión directa (figura 1). Los principales consumidores de hidrógeno líquido son las agencias espaciales, que en sus distintos programas importantes de la historia han adquirido una gran experiencia en su manejo, experiencia que puede ser la base de futuros desarrollos en otros campos aplicativos, como el automotriz y la generación de energía para cualquier tipo de consumo pequeño o grande.



Figura 1. Motor RS-84

Fuente: (Redondo Calle, 2009)

B2. Motor de 4 tiempos

(Carrasco Mora & Rodríguez Cardo, 2010) El diseño del motor de 4 tiempos es básicamente el mismo que el de un motor a gasolina, es decir, un motor que sigue el ciclo Otto, con sus pistones, válvulas y demás sistemas (figura 2). Esta clase de motores permiten aprovechar las especiales características que presenta el hidrógeno como combustible, a saber: - Alta velocidad de llama en flujo laminar. - Alto número de octanos efectivo - Ninguna toxicidad y no llega a formar ozono. Por esto, con un adecuado diseño podemos conseguir un motor con un rendimiento energético mayor que el equivalente en gasolina y totalmente ecológico.



Figura 2. Motor de 4 tiempos

Fuente: (Carrasco et al., 2010)

B3. Motor Wankel

(Carrasco et al., 2010) El motor Wankel es un motor rotativo que brinda buenos resultados al emplear hidrógeno como combustible, según lo atestiguan ensayos realizados con dinamómetro y una vez resueltos los problemas que presentaba en lo que a estanqueidad se refiere. Estos buenos resultados se deben a la configuración de este motor (figura 3), el cual minimiza las dificultades de combustión que se dan en otros tipos de motores. Al ser un motor rotativo no suele dar problemas de autoencendido pues, la cámara de combustión presenta una geometría adecuada para la combustión del hidrógeno, o sea, presenta una relación volumen/superficie muy elevada. De todos modos, suponiendo que los gases de escape fueran responsables del autoencendido, tampoco plantearían problemas en el motor Wankel ya que, cuando los gases frescos entran, la cámara ya se encuentra vacía y los gases de escape se encuentran lejos.



Figura 3. Motor Wankel

Fuente: (Carrasco et al., 2010)

(Carrasco et al., 2010) En el motor Wankel es posible el aprovechamiento de la alta temperatura de ignición del hidrógeno. Se está investigando la posibilidad de incluir agua pulverizada en la mezcla de entrada, la cual se evapora al quemarse el hidrógeno llegando a ejercer presiones muy altas de forma elástica, a diferencia de lo que ocurre en el pistón, en el cual se da una detonación. Actualmente se está tratando de conseguir que la mayor parte de la potencia se deba a la acción del vapor de agua y no al hidrógeno.

2.1.2. Beneficios al usar hidrógeno como combustible

(Padilla et al., 2010) Hay que recalcar que el hidrógeno no es una fuente energética, sino un vector energético. Un automóvil que funcione con hidrógeno como combustible y emita únicamente vapor de agua por el tubo de escape, no es la solución para finalizar con la era de los combustibles fósiles, ya que en este caso no hay emisiones en el lugar donde se utiliza el hidrógeno, y esto puede ser parte de la solución, pero ¿de dónde viene ese hidrógeno?, el proceso de obtención del hidrógeno a partir de otras moléculas puede suponer las mismas emisiones, e incluso mayores, que mover el vehículo con diesel o gasolina, aunque estas emisiones se produzcan en el lugar de generación del hidrógeno y no en el tubo de escape del vehículo.

(Piqué, 2010) En el planeta Tierra el hidrógeno rara vez se encuentra en forma libre, la mayoría de las veces está combinado con el oxígeno formando agua. Por ello se dice que las auténticas minas de hidrógeno son los océanos, el agua dulce y los glaciares, los hidrocarburos también son una fuente importante de hidrógeno. El metano (CH₄) tiene cuatro átomos de hidrógeno por cada uno de carbono. La biomasa, que son restos de plantas y animales, también contiene hidrógeno.

(Linares Hurtado & Moratilla Soria, 2007) Existe un amplio abanico de posibilidades para producir hidrógeno: procedimientos químicos, disociación del agua por calor (termólisis), disociación del agua por electricidad (electrólisis), fermentación y disociación del agua mediante luz (fotólisis). Dichos procedimientos pueden ser implantados desde diferentes recursos energéticos: combustibles fósiles, energía nuclear y energías renovables.

(Familiar Xaudaró, 2011) Los avances sobre motores de combustión interna de hidrógeno y motores basados en mezclas hidrógeno/hidrocarburos también están sufriendo avances importantes. El hidrógeno puede contribuir potencialmente en la reducción de emisiones de los motores de combustión interna, a la vez que desplazan una fracción de combustible fósil. El uso de carburantes alternativos ha sido explorado en su mayoría para los motores diesel, y en menor medida para motores de ignición mediante chispa (gasolina) incluyendo estrategias de combustión conjunta (en inglés “dual-fuel systems”) con hidrógeno como uno de los combustibles. La preferencia de uso de motores diesel respecto al Otto es debida a que los motores diesel tienen un consumo de combustible (y por lo tanto emisiones de CO₂) menor en comparación con los motores de gasolina.

(Solís García, 2014) La tecnología es sencilla y viable actualmente; el hecho de adicionar hidrógeno a los motores de combustión interna de los vehículos actuales, en principio, aumenta la capacidad energética del combustible que utiliza el vehículo (gas natural, gasolina o diesel), lo cual proporciona mayor potencia por la cantidad de hidrógeno agregado. Al mismo tiempo, se tiene un ahorro en el consumo, debido al alto poder calorífico inferior de 120 MJ/kg, comparado con los del gas natural, de 47.141 MJ/kg; gasolina convencional, de 43.448 MJ/kg y diesel, de 42.612 MJ/kg, así como por la reducción de emisiones contaminantes, ya que se quema mejor el combustible.

A. Rentabilidad del hidrógeno

(Linares et al., 2007) Una de las propuestas que más auge está tomando en los últimos años, y que en la actualidad se encuentra en plena expansión, como se comentará en el punto siguiente, es la llamada “economía del hidrógeno”. Este término, empleado por primera vez por General Motors en 1970 [RIFK02], supone modificar totalmente el modelo energético actual basado en combustibles fósiles, reemplazando éstos por el hidrógeno. Esta visión se basa en que el hidrógeno pueda producirse a partir de recursos autóctonos, de forma económica y respetuosa con el medio ambiente, logrando además que las tecnologías de uso final del hidrógeno alcancen una penetración en el mercado importante. Si esto se logra, la economía del hidrógeno

proporcionará una mayor seguridad en el suministro y una mayor calidad ambiental.

(Fábrega Ramos, 2008) La principal ventaja de utilizar el hidrógeno en motores de combustión interna es que podemos aprovechar toda la experiencia tecnológica acumulada en este campo. Tengamos en cuenta que la configuración del propio motor de hidrógeno es conceptualmente la misma que la de los motores de combustión interna alternativos de combustibles clásicos (con sus cilindros, pistones, cigüeñal, sistema de refrigeración y demás elementos constructivos).

De esta manera, al usar un generador de hidrógeno electrolítico incorporado en el vehículo, para producir hidrógeno y oxígeno (gaseosos) sobre requerimiento para consumirlos de inmediato en la combustión interna del vehículo, se sustituye una parte del consumo del combustible fósil normal, se economiza combustible y contamina mucho menos. Todo esto basado en el conocimiento de los motores de combustión interna ya desarrollado durante ya hace muchas décadas atrás.

(La Visión Real del Mundo, 2012) Las aplicaciones actuales, como el generador de hidrógeno vehicular son fáciles de instalar, sin producir perforaciones, ni cortes o soldaduras del chasis, no se hacen modificaciones o conexiones que no estén programadas en el computador original del vehículo, no hay modificaciones en la combustión. Permiten ahorros en el consumo de combustible desde el 40 por ciento dependiendo del tipo de manejo que le dé a su vehículo y hasta del 80 por ciento en algunos motores. Refrigerera y además se limpian los depósitos de carbón de su vehículo aumentando la potencia. Agregar hidrógeno a un motor por medio de una unidad portátil, hace que trabaje en un rango de temperatura menor, permitiendo más durabilidad a todas las partes internas del mismo. Además, aporta a la mezcla aire combustible 120 octanos más para reforzar la explosión interna.

(Llanos Arboleda & Recalde Campos, 2013) Hay personas que dicen que se usa más energía para producir el hidrógeno que la energía que libera. Nada más erróneo y apartado de la realidad, de hecho, ya hay miles de generadores de hidrógeno disponibles

y en uso actualmente en el mundo. Usted puede producir hidrógeno con tan solo 1.5 voltios de DC y 1 amperio de corriente. No es solo la forma de cómo se produce sino la forma en la cual el generador de hidrógeno está configurado para permitir una útil producción con mínimo consumo de potencia. Usted puede insertar dos cables desnudos en una tina de agua y electrolito y producir una pequeña cantidad de hidrógeno con tan solo poner una pequeña cantidad de corriente directa (dc) a través de los alambres. La primicia del generador es producir tanto hidrógeno como sea posible con la menor cantidad de energía eléctrica de suministro. En realidad, una vez que el generador de hidrógeno ha sido cargado, este actúa como una batería de celda húmeda.

B. Beneficios en el motor

(La Visión Real del Mundo, 2012) Al trabajar el combustible fósil junto con el hidrógeno en el mismo motor, el gas hidrógeno entra rápidamente dentro del cilindro distribuyéndose inmediatamente en todo el espacio disponible. Al ser comprimido en conjunto con el aire y el combustible tradicional refrigera la mezcla, controlando la temperatura de compresión del combustible usado (Gasolina, Diesel o Gas natural vehicular). Cuando la chispa prende la mezcla, la velocidad de flama mucho mayor del hidrógeno, hace que la llama se extienda mucho más rápidamente dentro del cilindro, encendiendo, no solo al hidrógeno sino a todo lo que hay alrededor, de tal forma que cuando la válvula de escape se abra, esta vez ya estará quemada y habrá ejercido su tarea para la cual entró al cilindro. Al ser controlada la temperatura de compresión se elimina la contrapresión que se presenta por el fenómeno de explosión del combustible, antes que el pistón llegue al punto muerto superior (PMS), aumentando la potencia del motor hasta en un 30 por ciento. Evita en un 70 por ciento que los gases que se producen en la explosión traspasen la barrera de los anillos y pasen al cárter contaminando el aceite con residuos de carbón. Aumenta la vida útil del motor protegiendo los bujes de biela, los casquetes de biela los casquetes de cigüeñal, los casquetes de bancada, las camisas o cilindros del motor y además protege la viscosidad del aceite haciéndolo durar mucho más. Hace posible que el combustible que entra en la cámara sea quemado hasta en un 98 por ciento optimizando su uso, que antes era del 60 por ciento, quedando el 40 por ciento incombustos, ya con la

presencia del hidrógeno en la combustión solo quedan incombustos el 5 por ciento del combustible fósil. Y finalmente los motores quedan más frescos y limpios, esto le da más vida al aceite y con el tiempo un motor más limpio.

C. Beneficios al medio ambiente

(Borja Jarrín, Borja Terán, & Castro Manrique, 2014) 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. Ya que los productos obtenidos en la combustión entre el hidrógeno y el oxígeno serían únicamente vapor de agua, calor y electricidad. Al trabajar en un motor con una combinación de carburantes fósiles e hidrógeno se reducen drásticamente las emisiones comunes de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y otras partículas inherentes a la combustión de combustibles fósiles. 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 este tipo de generadores en recintos urbanos, y con un ruido casi nulo e indetectable en los generadores pequeños que están diseñados para el montaje y funcionamiento en los vehículos.

2.2. Celdas de hidrógeno

Existen diversos dispositivos y aplicaciones que utilizan la tecnología de las celdas de hidrogeno y se las ha identificado dependiendo su funcionamiento o manera en la cual se efectúa la electrólisis en su interior.

2.2.1. Producción de hidrógeno por electrólisis

La electrólisis consiste en un proceso electroquímico que se lleva a cabo dentro de un electrolizador, el cual permite la ruptura de la molécula de agua (figura 4) por acción de una corriente eléctrica, disociando el hidrógeno y el oxígeno presentes en la molécula de agua. (Linares et al., 2007)

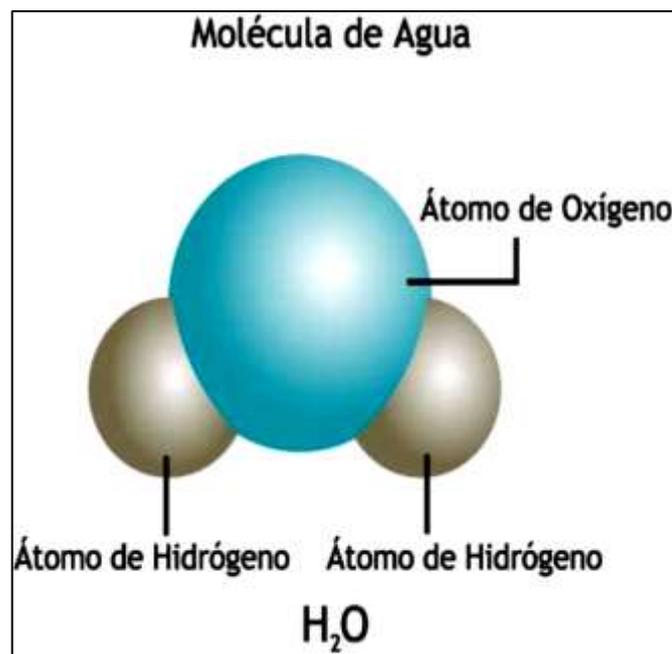


Figura 4. Molécula de agua

Fuente: (Hortal et al., 2007)

(Hortal et al., 2007) Debido a que este proceso es el que reviste mayor interés en la obtención de hidrógeno de manera sustentable, o sea, de manera limpia y sin necesidad de utilizar fuentes no renovables, sin olvidar la abundante presencia de agua y su ciclo iterativo en nuestro planeta, entonces resultaría importante profundizar con mayor detalle en dicho procedimiento.

(Linares et al., 2007) Para que la electrólisis se efectúe la electricidad necesaria para disociar 1 mol de H_2O líquido a $25^\circ C$ es 237,75 kJ, resultando 1 mol de H_2 . Como el poder calorífico inferior del hidrógeno es de 241,82 kJ/mol resulta que se consumen 237,75 kJ eléctricos por cada 241,82 kJ contenidos en el hidrógeno, es decir, se producen 1,02 kJ de hidrógeno por cada

kJ eléctrico consumido. Sin embargo, si la reacción transcurre con vapor de agua a 1.000°C se producen 1,36 kJ de hidrógeno por cada kJ eléctrico consumido.

(Gámez Franco, 2010) La electrólisis del agua pura requiere un exceso de energía en forma de sobretensión para superar diversas barreras de activación (figura 5). Sin el exceso de energía, la electrólisis del agua pura se produce muy lentamente o ni tan sólo se produce, a causa de la limitada auto-ionización del agua y de su baja conductividad eléctrica, que es aproximadamente una millonésima parte de la del agua marina. Esto es debido a que el agua marina presenta sal diluida en ella, que actúa como electrolito, un requisito indispensable para que la reacción se produzca rápidamente.

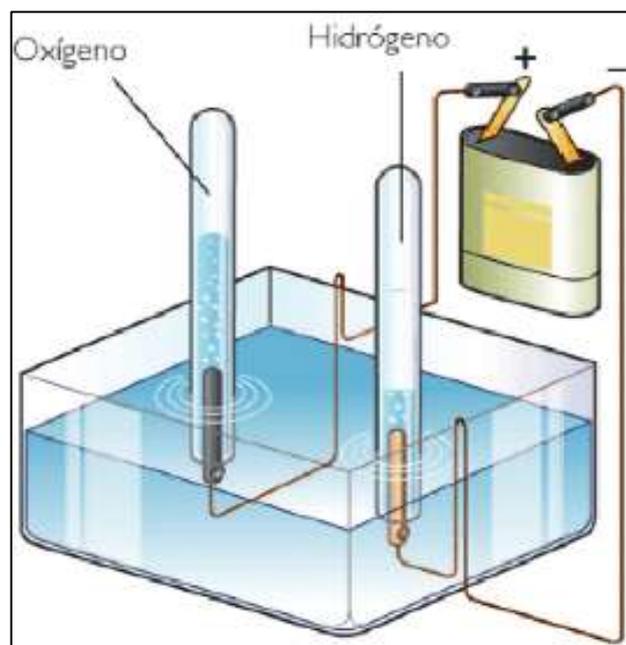


Figura 5. Electrólisis del agua

Fuente: (Hortal et al., 2007)

A. Electrolitos

(Hortal et al., 2007) El electrolito una sustancia que facilita el paso de los iones. Es tan importante este componente que en general da nombre a la pila. Los electrolizadores que se utilizan son del tipo electrolito en disolución y los de polímero sólido, los de

disolución pueden ser de célula o de filtro-prensa. En ambos tipos el electrolito se hace circular de forma continua para asegurar que su composición sea constante y para mantener la misma temperatura.

(Gámez Franco, 2010) El electrolito se debe escoger con precaución, puesto que sus aniones compiten con los iones de hidróxido para dar un electrón, por tanto, un anión electrolítico con menos potencial estándar de electrodo que el hidróxido será ionizado en su lugar, y por ende se producirá menos oxígeno. De la misma manera, un catión con mayor potencial estándar de electrodo que el ión hidrógeno será reducido en su lugar y se producirá menos hidrógeno. Además, si el producto escogido como electrolito participa en la reacción, puede originar otras sustancias no deseadas en lugar de hidrógeno, algunas de las cuales pueden ser tóxicas. Los siguientes cationes tiene menos potencial estándar de electrodo que el H^+ y, por tanto, son adecuados para utilizarlos como cationes electrolitos: Li^+ , Rb^+ , K^+ , Cs^+ , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ y Mg^{2+} . El potasio, el sodio y el litio son usados frecuentemente ya que forman sales solubles económicas. Ácidos fuertes como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y bases fuertes como el hidróxido de potasio (KOH) y el hidróxido de sodio (NaOH) son frecuentemente usados como electrolitos. También existen electrolitos sólidos poliméricos, como NAFION, que dan buenos resultados.

2.2.2. Celda de combustible

(Dirección General de Investigación e Innovación; Comisión Europea; Dirección General de Movilidad y Transportes; Dirección General de Energía;, 2003) Las pilas de combustible (figura 6) se utilizarán en una amplia variedad de productos: desde dispositivos portátiles tales como teléfonos móviles y laptops, que utilizarán pilas de tamaño muy pequeño, pasando por aplicaciones móviles como coches, vehículos de transporte, autobuses y buques, hasta los generadores de calor y energía en aplicaciones estacionarias en los sectores doméstico e industrial. Los futuros sistemas energéticos incluirán asimismo conversores de energía convencional mejorados basados en el hidrógeno (p. ej., motores de combustión interna, motores de Stirling o turbinas), así como otros vectores energéticos (p. ej., calor y electricidad producidos

directamente a partir de energía renovable y biocarburantes para el transporte).

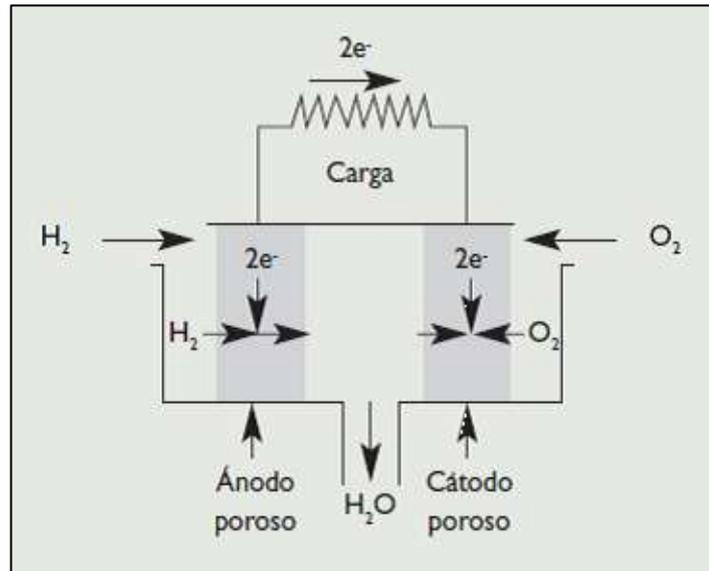


Figura 6. Operación de la pila de combustible

Fuente: (Linares et al., 2007)

(Solís García, 2014) A diferencia de los motores de combustión interna, cuya eficiencia está regida por el ciclo de Carnot y limitada por la temperatura, la eficiencia teórica de las celdas de combustible está dada por las leyes de Faraday, que relacionan directamente la corriente producida en una reacción electroquímica con la cantidad de hidrógeno alimentado. Una de las ventajas de estos dispositivos es el hecho de que no están limitados por la temperatura, lo cual presenta el gran beneficio de alcanzar altas eficiencias durante la generación de electricidad. En principio, una celda de combustible opera como una batería. A diferencia de las baterías comunes, una celda de combustible no se agota ni requiere recarga; producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea de combustible; el único subproducto que genera es agua 100 % pura, presenta cero emisiones contaminantes no hay presencia de CO_2 .

(Dirección General de Investigación et al., 2003) Los beneficios del hidrógeno y de las pilas de combustible son numerosos, pero no se apreciarán plenamente mientras no se utilicen de forma generalizada. En los sistemas de pilas de combustible basados en el hidrógeno, las emisiones de carbono son nulas o muy bajas, y

nulas las emisiones de sustancias nocivas para el aire ambiente tales como el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre o el monóxido de carbono. Dado su bajo nivel de ruido y su elevada calidad de energía, los sistemas de pilas de combustible son ideales para su uso en hospitales, centros de TI (tecnología de información) y aplicaciones móviles. Ofrecen rendimientos elevados que son independientes del tamaño. Los grupos motopropulsores de pilas de combustible pueden aportar una reducción significativa del consumo de energía y de las emisiones reguladas. Las pilas de combustible pueden utilizarse también como unidades auxiliares de potencia (APU) en combinación con motores de combustión interna, o en sistemas de reserva estacionarios, cuando funcionan con reformadores para conversión a bordo de otros combustibles, ahorrando energía y reduciendo la contaminación atmosférica, especialmente en el congestionado tráfico urbano.

(Gámez Franco, 2010) Como ya se ha mencionado antes, existen diversos tipos de pilas de combustible, cada una con unas características que la diferencia de las demás en distintos aspectos: materiales de construcción, tamaño, peso, rendimiento, coste de producción, combustibles que puede utilizar. No obstante, y de acuerdo con un estudio realizado por Arthur D. Little Inc., no se puede considerar ninguna de ellas como la mejor, puesto que cada una es apropiada para ciertas aplicaciones. Algunos ejemplos de tipos de pilas y/o celdas de combustible pueden ser: alcalinas (AFC), de borohidruro directo (DBFC), de carbón directo (DCFC), de etanol directo (DEFC), de metanol directo (DMFC), electro galvánicas (EGFC), de ácido fórmico (FAFC), de hidruro metálico (MHFC), microbianas (MFC), de carbonatos fundidos (MCFC), de ácido fosfórico (PAFC), fotoquímicas (PEC), de membrana intercambiadora de protones (PEMFC), protónica cerámica (PCFC), de óxido sólido (SOFC)¹

2.2.3. Celda generadora de hidrógeno

(Pesántez Pesántez, 2014) La descomposición electroquímica del agua o electrólisis se usa extensivamente para la producción industrial de grandes volúmenes de hidrógeno, por lo tanto, no se utilizan dispositivos que requieran partes móviles y son bastantes silenciosos.

La celda generadora de hidrógeno es prácticamente una celda de combustible, ya que esta tiene la misma función que un motor eléctrico, el que puede funcionar como generador de energía y como motor eléctrico dependiendo de lo que se requiera.

Es por esto que el electrolizador o celda generadora de hidrógeno es una celda de combustible (figura 7) que, en este caso en vez de consumir el hidrógeno junto con el oxígeno para producir energía y agua, ahora se le administrara energía para realizar una electrólisis permitiendo disociar los componentes del agua que se encuentra dentro de la celda, obteniendo hidrógeno y oxígeno en forma gaseosa para el consumo.

Al ser la misma celda de combustible con proceso inverso, entonces los componentes de la celda generadora de hidrógeno son los mismos, las partes y el funcionamiento de estos se describen en la siguiente figura.

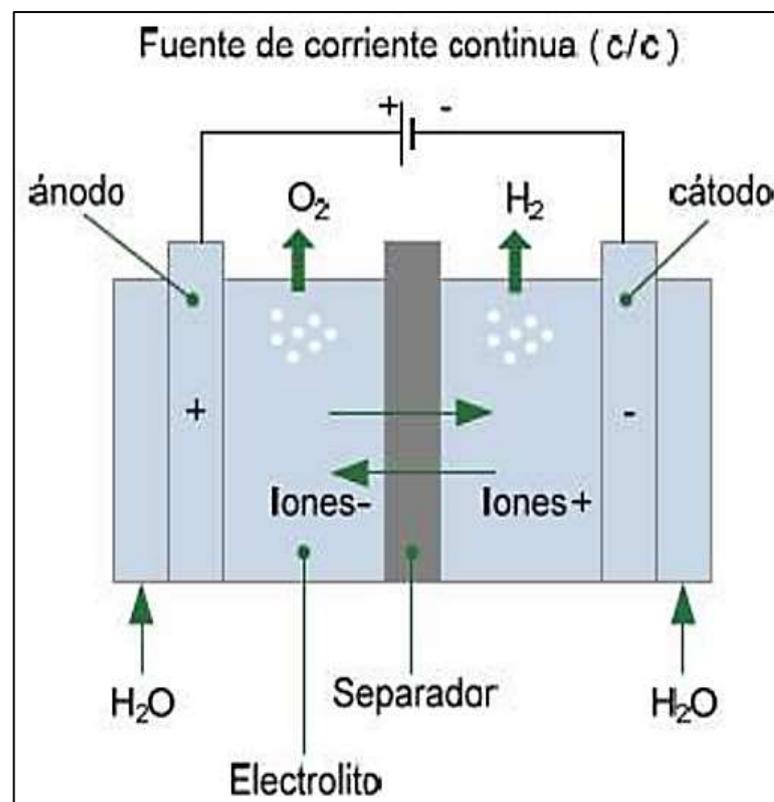


Figura 7. Componentes del electrolizador

Fuente: (Pesántez Pesántez, 2014)

2.2.4. Celda seca y celda húmeda

(Quezada Romero & Torres Gualan, 2014) La celda húmeda como la seca cumplen el mismo funcionamiento, y se les llama de esta manera no porque la una tenga agua y la otra no, si no que la celda húmeda se encuentra sumergida en agua, a diferencia de la celda seca que en este caso el agua circula por la parte interior de la celda (figura 8), en la siguiente figura se aprecia a la izquierda una celda húmeda sumergida en su depósito y con sus respectivas conexiones eléctricas, y a su derecha se observa la celda seca de igual manera con sus conexiones eléctricas (la flecha azul indica la entrada de agua y la flecha roja la salida del hidrógeno con el oxígeno).

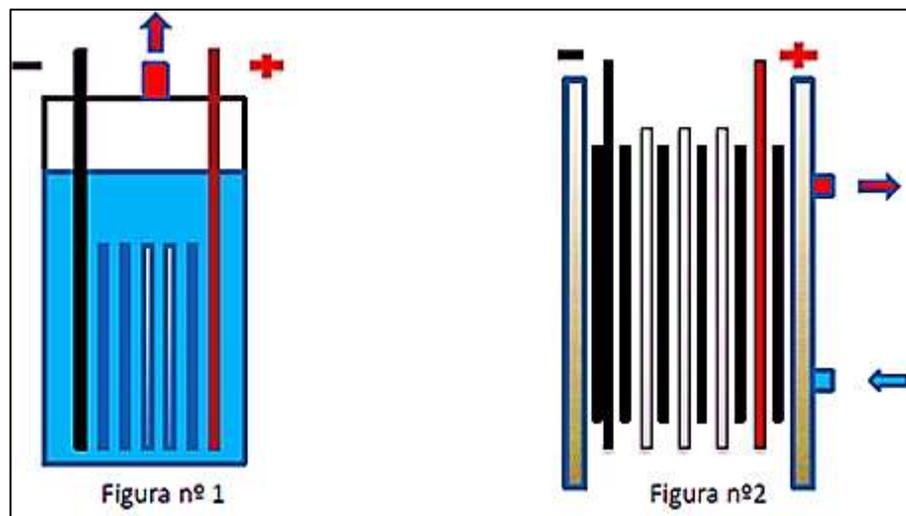


Figura 8. Celda seca y celda húmeda

Fuente: (Lopez, 2017)

(Borja et al., 2014) Nos brindan unos ejemplos cotidianos y de mayor comprensión por la comparación que hacen. 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; unos ejemplos 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.

2.3. Celda electrolítica generadora de hidrógeno

2.3.1. Descripción

A. Generador de hidrógeno

(Yuquilema Campoverde & Vintimilla Calderón, 2012) En el interior de la celda es donde se produce la reacción química de descomposición de la molécula del agua (H_2O) en hidrógeno gaseoso (H_2) y oxígeno gaseoso (O_2). Consta de un determinado número de placas de acero inoxidable y cauchos aislantes que conforman la celda (figura 9). Al ser aplicada la corriente en mayor o menor medida, se produce la electrólisis.



Figura 9. Generador con celdas de acero 316l

Fuente: (HIDROXIECUADOR, 2017)

(Yuquilema et al., 2012) Todo conjunto de celdas debe cumplir con los siguientes requisitos.

- Pequeño y compacto para facilidad de la instalación en el vehículo.
- Debe ser capaz de producir hidrógeno a través de electrólisis.

- Que el sistema eléctrico tenga la facilidad de funcionar y cerrar el circuito de manera segura.
- Que internamente no presente riesgos de contacto entre polos diferentes y se puede producir incendios o cortos.
- El generador debe ser hermético para evitar fugas del líquido o fugas del hidrógeno producido.
- Los materiales utilizados necesitan cumplir ciertas características en cuanto a calidad y durabilidad para asegurar un óptimo desempeño a cualquier régimen.

B. Relé

(Duque et al., 2013) Es un relé de 12 voltios que trabaja en un rango de 30 a 40 amperios (figura 10), este es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico, permitiendo abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.



Figura 10. Relé

Fuente: (Quezada et al., 2014)

C. Tanque multifuncional para electrolito

(Yuquilema et al., 2012) El deposito (figura 11) es construido de cloruro de polivinilo (PVC), ya que el circuito de hidrógeno trabaja a baja presión. Además, ofrece otros beneficios al ser un material

liviano, resistente a la corrosión, tiene buenas propiedades de permeabilidad y prestan condiciones de auto lavado, además, de que el sistema de hidrógeno es de baja presión.

(Benítez Gaibor & Ramos Valle, 2013) El recipiente posee 5 orificios los cuales sirven para:

- Abastecimiento de agua con electrolito al tanque o deposito
- Abastecimiento de hidrógeno y oxígeno al motor
- Entrada de hidrógeno
- Entrada de oxígeno
- Abastecimiento de solución acuosa a la celda.



Figura 11. Tanque multifuncional

Fuente: (HIDROXIECUADOR, 2017)

D. Cables y conectores

(Duque et al., 2013) Los cables (figura 12) cuyo propósito es conducir electricidad se fabrican generalmente de cobre, debido a la excelente conductividad de este material, o de aluminio que, aunque posee menor conductividad es más económico. Generalmente cuenta con aislamiento en el orden de 500 μ m hasta los 5cm; dicho aislamiento es plástico, su tipo y grosor

dependerá del nivel de tensión de trabajo, la corriente nominal, de la temperatura ambiente y de la temperatura de servicio del conductor.

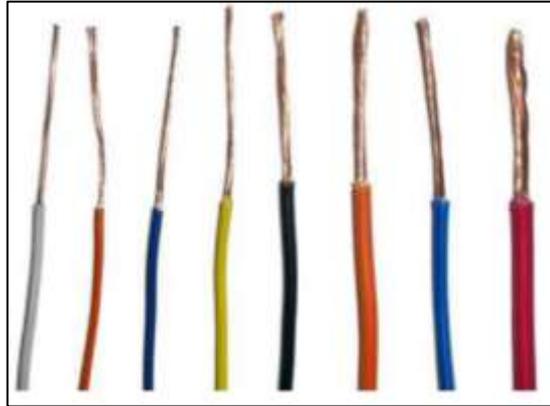


Figura 12. Cables eléctricos

Fuente: (Duque et al., 2013)

(Duque et al., 2013) Los conectores (figura 13) son empleados en las instalaciones eléctricas de los automóviles, para la conexión de distintos cables entre sí, así como los cables de los bornes al receptor se realiza por medio de terminales adecuados, pero en general los más utilizados son los terminales de lengüeta (faston), los cilíndricos y los de anillo redondo.



Figura 13. Conectores eléctricos

Fuente: (Duque et al., 2013)

E. Mangueras y cañerías

(Quezada et al., 2014) Son mangueras (figura 14) huecas fabricadas para extrusión, diseñadas para transportar fluido de un lugar a otro a baja presión. Están construidas por un material plástico llamado (Policloruro de Vinilo) teniendo como características principales el ser duradero, resistente al envejecimiento y a las variaciones de temperatura.



Figura 14. Manguera

Fuente: (HIDROXIECUADOR, 2017)

F. Abrazaderas o correas plásticas

Las abrazaderas o correas plásticas (figura15) se usan para fijar tubos, generador de hidrógeno, cables y si se desea algún elemento principal. (HIDROXIECUADOR, 2017)



Figura 15. Abrazaderas o correas plásticas

Fuente: (VERELECTRICO, 2017)

G. Electrolito

(Jama Jara & Martínez Anangonó, 2015) El electrolito (figura 16) empleado en nuestro generador es el hidróxido de potasio (hidróxido potásico, potasa cáustica, potasa lejía o hidrato de potasio). Para este fin se ejecutará una mezcla de 20 gr de hidróxido de potasio (KOH) por cada litro de agua destilada.



Figura 16. Hidróxido de potasio

Fuente: (Benítez et al., 2013)

2.3.2. Funcionamiento

A. Abastecimiento

En la etapa de abastecimiento está comprendido todo el proceso que se encarga de proporcionar constantemente un flujo equitativo de solución a cada una de las celdas generadoras. Para esta etapa se requiere de los siguientes elementos:

- Depósito
- Tuberías
- Acoples

B. Suministro inicial

(Benítez et al., 2013) Para la carga inicial del sistema en primer lugar es necesario asegurar que todos los conductos y acoples se encuentren correctamente conectados para así evitar cualquier tipo de fuga, con la ayuda de un embudo se carga la solución a través del orificio más grande del depósito, la cual debe llegar hasta las celdas generadoras y ocupar las 2/3 partes de la capacidad total del reservorio. Se verifica que no exista ninguna fuga y se tapa el reservorio. Es importante no olvidar revisar periódicamente el nivel de la solución en el reservorio, donde el nivel en el depósito no debe ser menor a los 2/3 y las recargas deben ser únicamente con agua destilada y desmineralizada.

C. Fase de elaboración

(Benítez et al., 2013) Cuando la electricidad fluye a través del agua, entre dos placas metálicas que se encuentran sumergidas en la solución, la molécula del agua (H_2O) es dividida en átomos HHO, mediante un proceso que se llama electrólisis, para esto se utilizará corriente directa (DC) que fluye de la batería del vehículo. En términos generales el agua destilada y desmineralizada no es conductor por sí mismo, por esta razón se le añade un catalizador llamado electrolito, permitiendo que la electricidad fluya entre las placas positivas y negativas. Utilizando agua desmineralizada y destilada, normalmente no fluiría la corriente, esto significa que sin electrolito no habría conductividad. Por otra parte, añadiendo una pequeña cantidad de electrolito al agua, entonces la electrólisis comienza y la electricidad hace que se separe el hidrógeno del oxígeno, posterior a este proceso es necesario filtrar este gas por medio de un burbujeador ya que puede contener partículas no favorables para la combustión.

D. Burbujeador

(Benítez et al., 2013) El burbujeador básicamente cumple tres funciones:

- Válvula antirreflujo. Los gases que entran por el tubo sumergido en el líquido, burbujan a través del mismo y ascienden hacia la superficie, quedando por encima del nivel de la solución, de esta manera los gases no pueden retornar a las celdas generadoras, quedando atrapados en el depósito.
- Filtro. Con el pasar de los gases generados en las celdas a través de la solución, se consigue un depurado de los gases eliminando posibles restos de electrólito, evitando además que cualquier agente extraño fuera arrastrado hacia las cámaras de combustión, permitiendo únicamente el paso de hidrógeno.
- Cortafuegos. El burbujeador cuenta con una cama de líquido no inflamable, en este caso la solución, entre el conducto que llega al motor y el generador de hidrógeno, que servirá para extinguir el caso poco probable de una retro llama, evitando que esta llegue al generador donde existe un mayor volumen de hidrógeno.

E. Fase de alimentación

(Benítez et al., 2013) El hidrógeno generado ingresa al motor por la admisión, aprovechando la aspiración o vacío generado por el motor, allí se combina con el combustible del vehículo para posteriormente en las cámaras de combustión quemarse conjuntamente con el aire aspirado por el motor. El hidrógeno hace las veces de comburente (O_2) y combustible (H_2), obteniendo de esta forma una mezcla más eficiente y una mejor combustión.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales necesarios para la instalación.

Para una adecuada instalación y para evitar cualquier inconveniente o accidente hay que tener presente a todo momento las normas de seguridad, de igual forma hay que tener todas las herramientas apropiadas para optimizar el desempeño y la eficacia de una buena instalación.

- Desarmadores planos y de estrella
- Alicates.
- Pinza de presión.
- Pinza corta cables.
- Pinza peladora de cables.
- Teflón
- Taladro
- Juego de llaves de tuercas en mm
- Juego de copas en mm y media vuelta.
- Mandil
- Cinta aislante

3.1.1. Selección del generador

El funcionamiento del sistema debe ser el mejor y de esta manera tener una producción adecuada de hidrógeno para nuestro vehículo, para asegurar que estos requerimientos se cumplan los materiales del generador deben ser de la mejor calidad. HidroxiEcuador es una empresa nacional localizada en la ciudad de Quito, esta empresa se dedica a la producción de generadores de hidrógeno adecuados para cada tipo de motor de acuerdo a su cilindrada.

Para la elaboración de cada uno de los elementos del generador, la empresa selecciona los materiales de construcción basándose en el Reglamento Europeo CE 79/2009 del 14 de enero del 2009 Artículo 5, garantizando un óptimo rendimiento del generador de hidrógeno.

Basado en la información otorgada por la ficha técnica del vehículo (anexo) en el cual se efectuará la instalación del generador, se efectuó la adquisición a la HidroxiEcuador de su generador de hidrógeno HE2-2500, para motores a gasolina con inyección electrónica de hasta 2500 cc de cilindrada

3.2. Proceso de montaje y adaptación de la celda

3.2.1. Generador de hidrógeno

El generador se lo ubicó en un punto bajo del compartimento del motor. Considerando que el generador debe estar en un lugar ventilado y alejado de fuentes de calor, se consideró ideal ubicarlo en la parte delantera del radiador (entre la persiana y el radiador, figura 17).



Figura 17. Ubicación del generador

Para asegurar el generador, se lo sujeto a la parte delantera del chasis, usando las abrazaderas plásticas (figura 18), de tal manera que el generador tenga el menor rango de movimiento posible para evitar cualquier tipo de problema cuando el vehículo se encuentre en movimiento. También se debe considerar que debe quedar un espacio disponible entre el generador y el radiador para que la manguera por donde sale el hidrógeno hasta el burbujeador se pueda instalar libremente y no roce en ninguna superficie caliente.

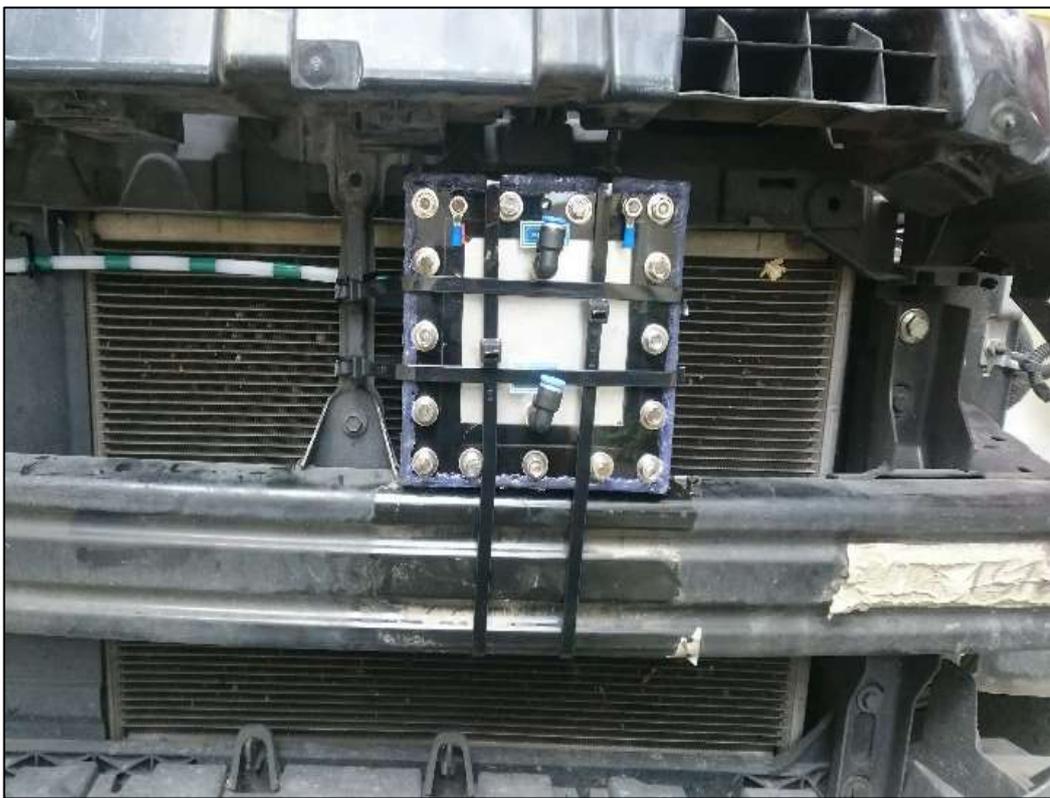


Figura 18. Generador asegurado al chasis

3.2.2. Depósito y burbujeador

Para la colocación del depósito y burbujeador se tomó en cuenta un punto a mayor altura con relación al generador debido a que el suministro se efectúa mediante la acción de la gravedad. Se optó como lugar apropiado sujetarlo en la parte superior derecha del compartimento del motor, tras el faro y frente al reservorio del refrigerante (figura 19).



Figura 19. Sujeción del depósito y burbujeador

3.2.3. Mangueras

Se midió e identificó cada una de las mangueras:

- Azul con blanco: Lleva el agua más electrolito desde el deposito hacia el generador.
- Verde con blanco: Lleva el hidrógeno gas hacia el burbujeador.
- Amarillo con blanco: Lleva el oxígeno gas hacia el burbujeador
- Rojo con blanco: Leva el hidrógeno más el oxígeno depurados hacia la admisión de aire del motor



Figura 20. Mangueras señaladas, acopladas y sujetas

Ya con las mangueras debidamente señaladas se procedió al acoplamiento de estas en sus respectivos conductos (figura 20) tanto en el depósito, en el generador y finalmente a la manguera de la admisión de aire del motor. Para mayor seguridad se sujetó las mangueras al compartimento del motor por medio de abrazaderas plásticas.

3.2.4. Conexiones eléctricas

Terminada la instalación de todos los elementos principales del equipo generador de hidrógeno, continuamos con las conexiones eléctricas. Tomando en cuenta que el sistema solo debe funcionar cuando el vehículo este en marcha, se conectó la entrada de señal del relé del equipo a la salida de energía que se dirige hacia la bomba de combustible, permitiendo accionar el generador conjuntamente con este elemento cuando inicie su ciclo de trabajo, evitando la producción innecesaria de hidrógeno cuando el equipo no lo requiera. De igual manera para las conexiones del relé se consideró el siguiente diagrama de la figura 21.

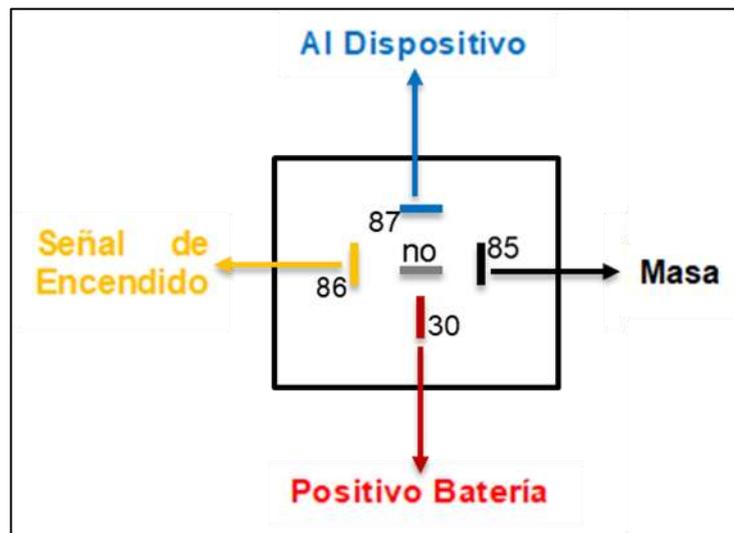


Figura 21. Diagrama de conexión del relé

Las conexiones en el generador se realizaron con ayuda de terminales redondos. Conector de la izquierda (+) (figura 22) se conecta con el cable proveniente desde el relé identificado con el color blanco (azul en la figura 21) y el conector negativo se lo conecta directamente a masa.



Figura 22. Conexión eléctrica en el generador

Las conexiones en recipiente en el deposito o burbujeador son similares a las del generador (figura 23).



Figura 23. Conexión eléctrica en el depósito

3.2.5. Elaboración y carga del electrolito

Ya con todos los elementos del sistema correctamente instalados y asegurados, se procedió a preparar la solución electrolítica, diluyendo una cantidad de 80 gr hidróxido de potasio (KOH) en un galón de agua destilada.

Con la mezcla preparada, surtimos el depósito hasta que se encienda el foco rojo; es decir, la marca del máximo, esperamos a que baje el líquido hasta el generador y completamos el líquido nuevamente en el depósito, pero esta vez es mejor dejarlo a un nivel un poco más abajo entre 3 o 4 centímetros por debajo del nivel máximo.

3.3. Pruebas

Las pruebas realizadas se lo hicieron sin instalación del dispositivo y luego con el dispositivo instalado, para lo cual a continuación describimos el procedimiento utilizado para estas pruebas.

3.3.1. Torque y potencia

La prueba se la realizó en la ciudad de Quito, en las instalaciones de la empresa Dinamyca Competicion (figura 24). El dinamómetro utilizado para la medición es de la marca DYNOMITE el mismo que utiliza el software DinoMax para el registro de los datos recopilados por el equipo.



Figura 24. Banco de pruebas en Dinamyca Competicion

Antes de realizar las pruebas se debe tomar en cuenta las respectivas normas seguridad (figura 25). Se coloca en este caso las llantas delanteras del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro y posteriormente se lo sujeta por medio de correas para que este quede totalmente inmobilizado y evitando perder el control. Es primordial colocar un ventilador frente al vehículo para evitar sobrecalentamientos del motor.



Figura 25. Posición correcta del vehículo en el dinamómetro

La primera prueba se efectuó sin activar el generador de hidrógeno, para que de esta manera el dinamómetro compute las características de torque y potencias originales o estándar del vehículo (figura 26)

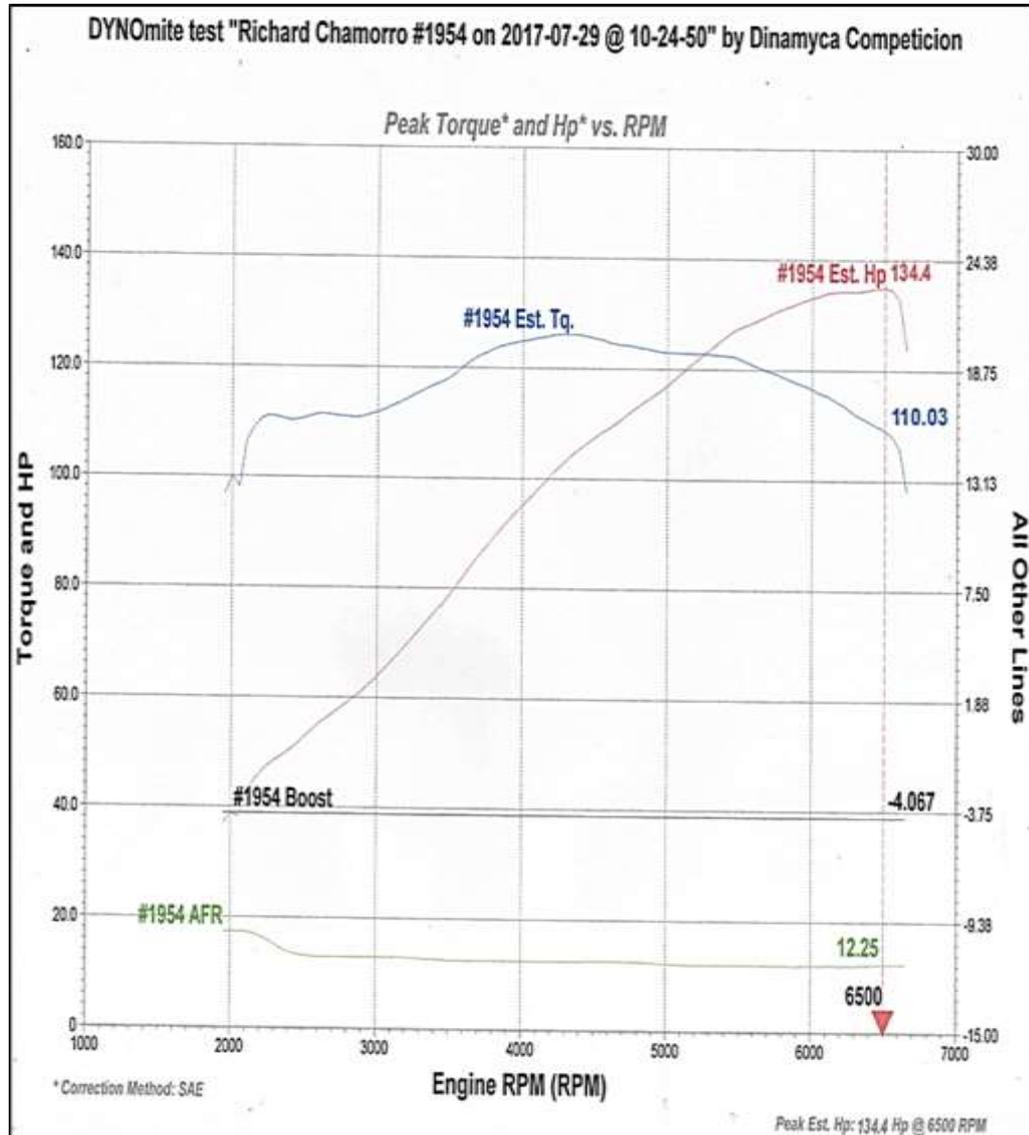


Figura 26. Gráfica de potencia y torque con el sistema standard

Fuente: (Dinamyca Competicion, 2017)

Con la primera recopilación de datos, se procede a activar el generador (figura 27) de hidrógeno por medio de la conexión del relé, dejándolo trabajar el equipo por un lapso mínimo de 30 minutos para que las celdas del generador se calienten y los datos recopilados en el dinamómetro (figura 28) sean más consistentes.



Figura 27. Activación del sistema generador de hidrógeno

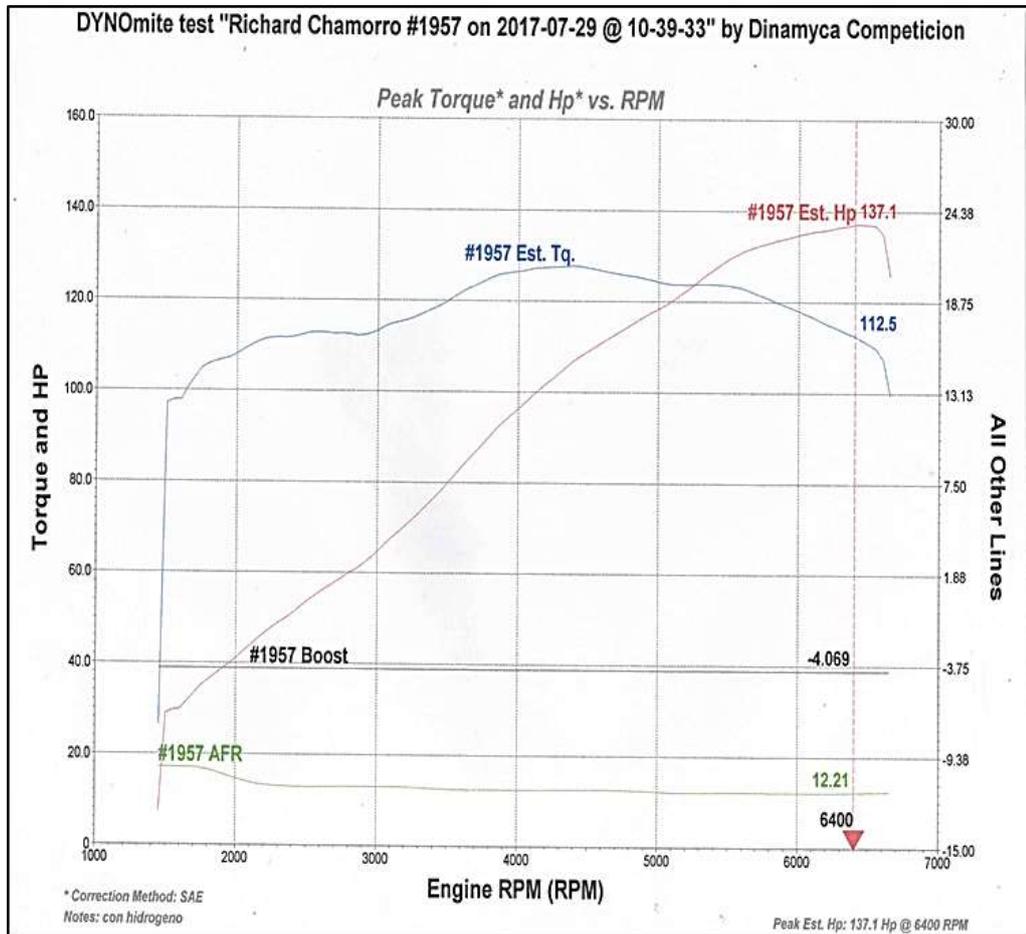


Figura 28. Gráfica de potencia y torque con hidrógeno

Fuente: (Dinamyca Competicion, 2017)

Una vez efectuadas las dos pruebas se obtuvieron datos comparativos (tabla 4) en donde se puede identificar claramente la variación de los datos de cada una de las ejecuciones.

Tabla 4.

Comparación de resultados de torque y potencia

RPM	Con generador			Standard		
	Potencia (Hp)	AFR (A/F)	Torque (ft-lb)	Potencia (Hp)	AFR (A/F)	Torque (ft-lb)
1500	28.92	17.11	97.12	11.43	15.26	38.57
1600	29.81	17.10	97.84	22.53	14.98	71.85
1700	33.26	17.02	102.8	27.46	14.80	84.94
1800	36.24	16.55	105.7	35.02	14.27	102.2
1900	38.64	15.66	106.8	37.67	13.76	104.1
2000	41.11	14.65	108.0	40.33	13.37	105.9
2100	43.93	13.79	109.9	43.07	13.09	107.7
2200	46.62	13.27	111.3	45.70	12.88	109.1
2300	48.91	13.03	111.7	47.95	12.76	109.5
2400	51.05	12.93	111.7	50.07	12.71	109.6
2500	53.60	12.90	112.6	52.33	12.69	109.9
2600	55.86	12.91	112.8	54.12	12.74	109.3
2700	57.85	12.96	112.5	55.74	12.81	108.4
2800	60.00	13.00	112.5	57.70	12.84	108.2
2900	61.98	13.02	112.2	60.02	12.87	108.7
3000	64.72	13.03	113.3	62.81	12.91	110.0
3100	67.83	13.01	114.9	65.88	12.91	111.6
3200	70.47	12.94	115.6	68.65	12.83	112.7
3300	73.43	12.79	116.9	71.24	12.69	113.4
3400	76.56	12.63	118.3	74.68	12.56	115.4
3500	79.92	12.50	119.9	78.20	12.44	117.3
3600	83.56	12.41	121.9	81.60	12.38	119.0
3700	86.98	12.42	123.5	85.03	12.38	120.7
3800	90.45	12.46	125.0	88.11	12.42	121.8
3900	93.57	12.46	126.0	91.16	12.43	122.8
4000	96.27	12.46	126.4	93.95	12.43	123.3
4100	99.17	12.47	127.0	96.63	12.43	123.8
4200	101.8	12.47	127.3	99.43	12.43	124.3
4300	104.4	12.48	127.5	102.1	12.43	124.8
4400	107.0	12.51	127.7	104.4	12.45	124.6
4500	109.1	12.56	127.3	106.2	12.52	123.9
4600	110.9	12.59	126.7	107.9	12.55	123.2
4700	112.9	12.54	126.1	110.1	12.52	123.0
4800	114.8	12.45	125.6	111.9	12.43	122.4
4900	116.7	12.34	125.1	113.5	12.30	121.7
5000	118.3	12.22	124.3	115.5	12.17	121.3
5100	120.2	12.11	123.8	117.7	12.07	121.2
5200	122.5	12.05	123.7	119.9	12.04	121.0
5300	125.0	12.07	123.8	121.7	12.05	120.6
5400	127.2	12.12	123.7	123.7	12.04	120.3
5500	129.4	12.14	123.5	126.1	12.02	120.4

CONTINÚA →

RPM	Con generador			Standard		
	Potencia (Hp)	AFR (A/F)	Torque (ft-lb)	Potencia (Hp)	AFR (A/F)	Torque (ft-lb)
5600	131.0	12.14	122.9	128.0	12.02	120.1
5700	132.1	12.15	121.7	129.3	12.03	119.2
5800	133.0	12.11	120.4	130.6	12.02	118.3
5900	133.9	12.05	119.2	131.7	11.99	117.2
6000	134.8	12.05	118.0	132.4	12.02	115.9
6100	135.5	12.11	116.6	133.0	12.08	114.5
6200	135.8	12.12	115.1	133.8	12.13	113.4
6300	136.6	12.13	113.8	134.4	12.22	112.0
6400	137.1	12.21	112.5	134.4	12.28	110.3
6500	137.0	12.30	110.8	134.4	12.31	108.7
6600	134.8	12.35	107.4	133.2	12.36	106.2

Fuente: (Dinamyca Competicion, 2017)

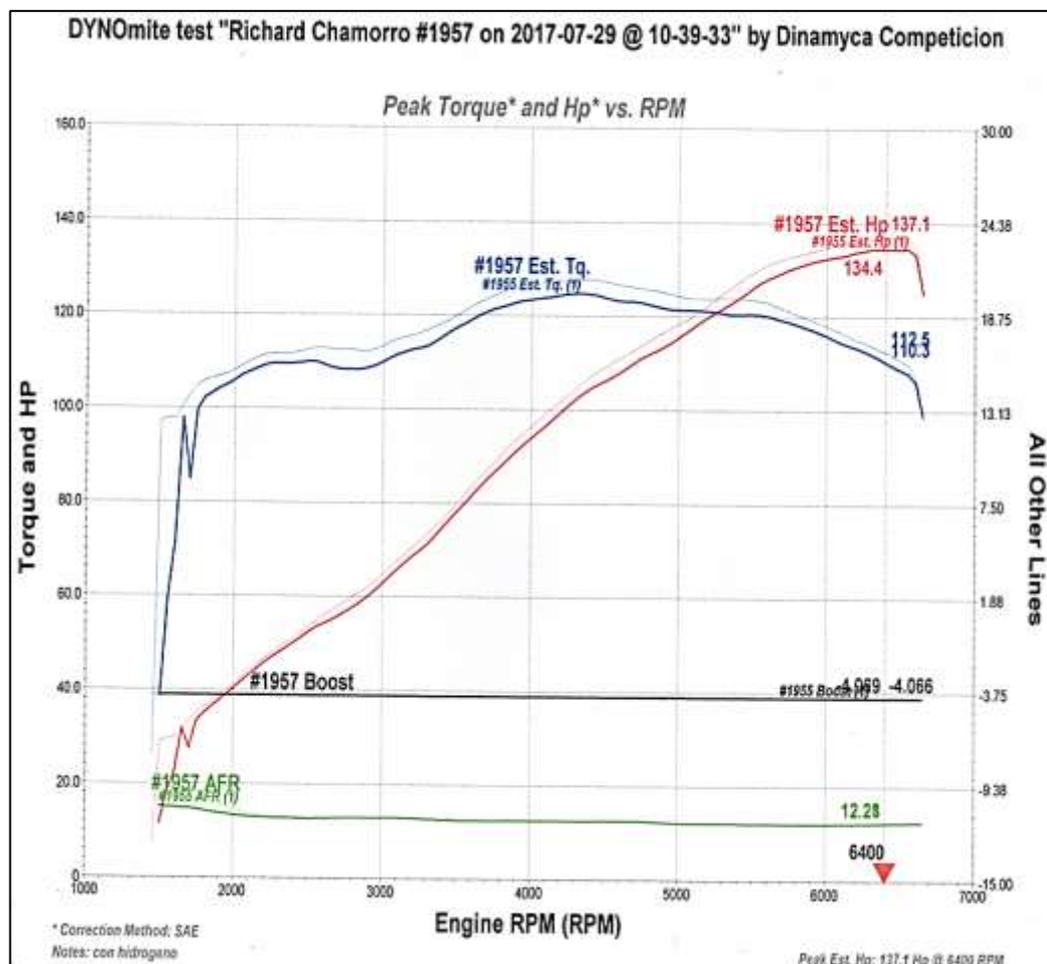


Figura 29. Comparación de resultados

Fuente: (Dinamyca Competicion, 2017)

La potencia máxima a 6400 rpm (figura 29) con el vehículo en condiciones standard es de 134,4 (HP) y al estar activado el generador de

hidrógeno se obtuvo una potencia máxima de 137,1 (HP) a las mismas 6400 rpm, obteniendo 2,7 (HP) más al activar el generador (figura 30).

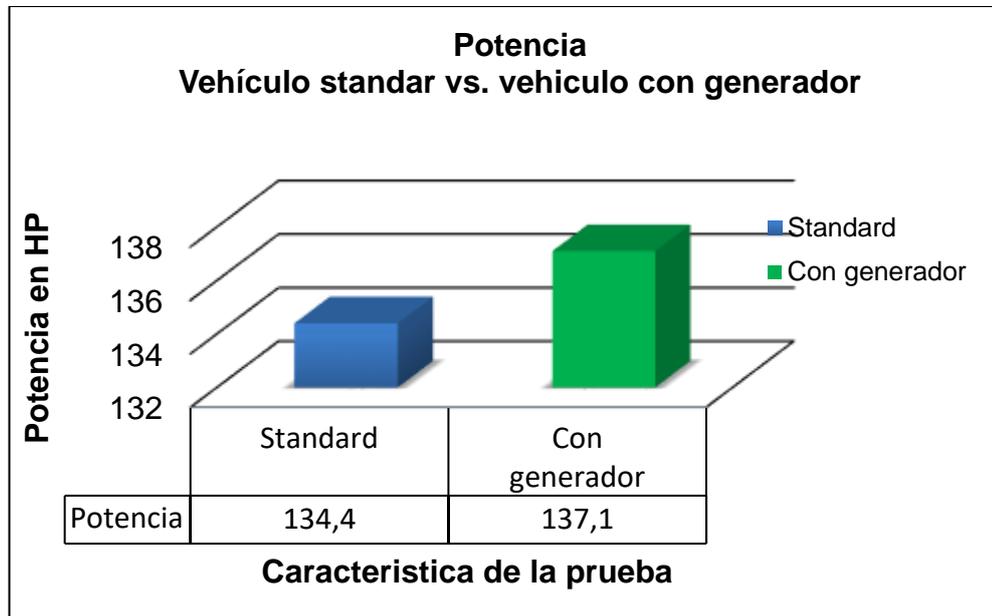


Figura 30. Comparación de resultados de potencia

El torque máximo a 6400 rpm con el vehículo en condiciones estándar 110,3 (ft-lb) y al estar activado el generador de hidrógeno se obtuvo un torque máximo de 112,5 (ft-lb), obteniendo 2,2 (ft-lb) más al activar el generador (figura 31).

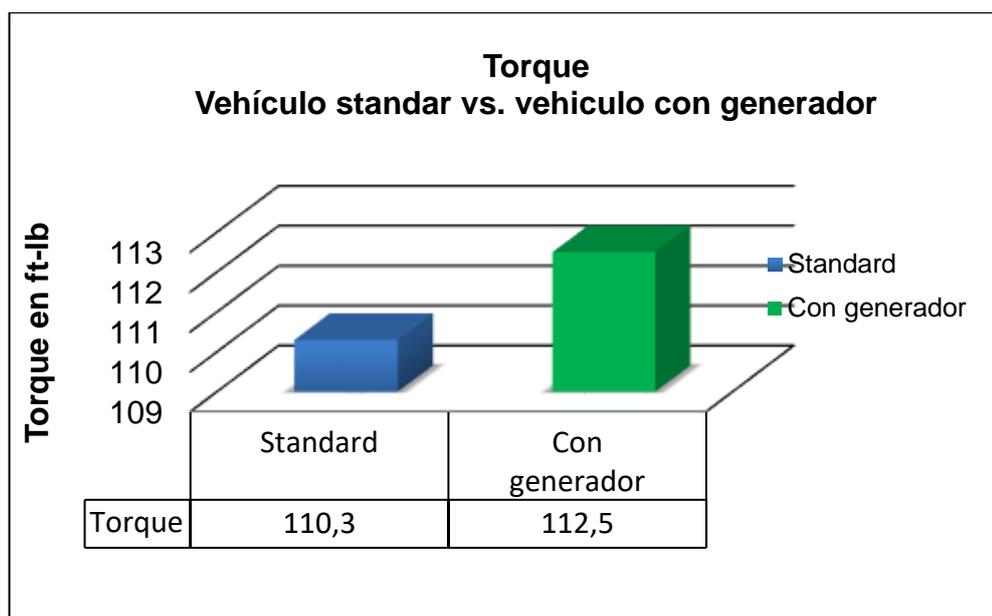


Figura 31. Comparación de resultados de torque

3.3.2. Emisión de gases

Las pruebas de emisiones de gases al vehículo en donde se encuentra conectado nuestro generador de hidrógeno se realizaron en el laboratorio de autotrónica de la ESPE, con ayuda del analizador de gases CARTEK-HORIBA BE 140.



Figura 32. Analizador de gases de la ESPE “CARTEK”

De igual forma que en la prueba de torque y potencia, en esta ocasión también se efectuó primero una prueba sin activar el sistema de hidrógeno. Con el equipo correctamente conectado al vehículo (figura 33) se obtuvo datos tanto en ralentí como también a más de 2500 rpm.

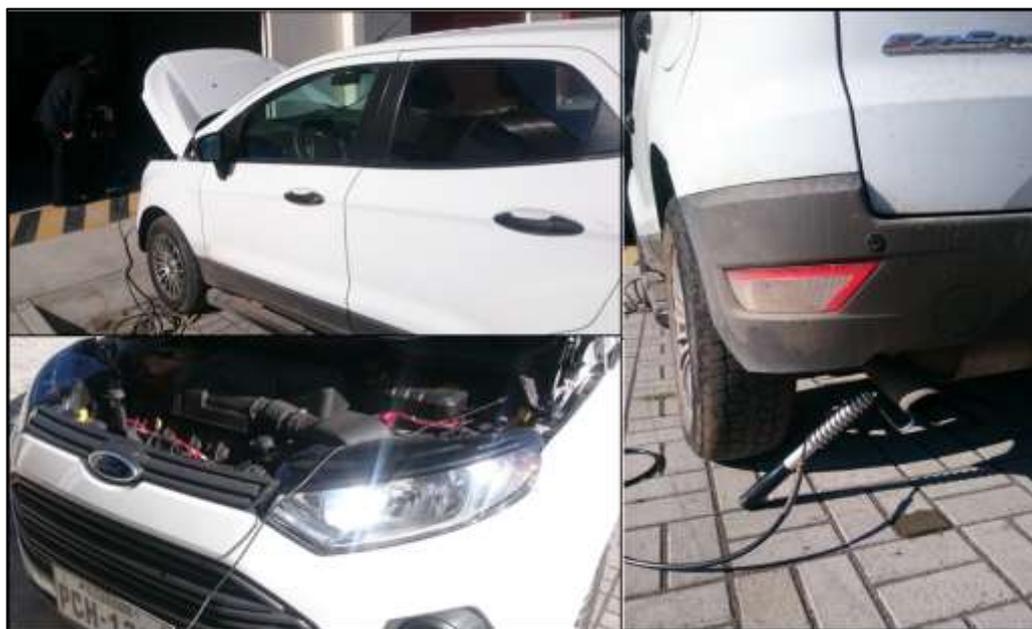


Figura 33. Preparación del vehículo para la prueba de gases

Los valores recopilados en la primera prueba (figura 34) nos indica que el vehículo se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento, ya que las medidas son muy favorables a lo establecido por la norma INEN.

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		ESPE LATACUNGA Tel: 0990953985 Email: ch.richy.d@gmail.com																																																																								
DATOS DEL CLIENTE NOMBRE: RICHARD DANILO APELLIDO: CHAMORRO RUANO IDENTIFICACION: 0401587043 DISPOSITIVO: COD001		DATOS DEL VEHICULO PLACA: PCH1238 MODELO: 2013 MARCA: FORD LINEA: ECOSPORT MOTOR: 2000 cc COMBUSTIBLE: GASOLINA VIN: 9BFZB55F5D8779744																																																																								
DATOS DE LA PRUEBA <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">RALENTI</th> <th colspan="4">CRUCERO</th> </tr> <tr> <th colspan="2">RESULTADOS</th> <th colspan="2">NORMA</th> <th colspan="2">RESULTADOS</th> <th colspan="2">NORMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HC:</td> <td>59.00</td> <td>HC LIMITE:</td> <td>200.00 ppm</td> <td>HC:</td> <td>54.00</td> <td>HC LIMITE:</td> <td>200.00 ppm</td> </tr> <tr> <td>CO:</td> <td>0.36</td> <td>CO LIMITE:</td> <td>1.00 %</td> <td>CO:</td> <td>0.15</td> <td>CO LIMITE:</td> <td>1.00 %</td> </tr> <tr> <td>CO2:</td> <td>14.12</td> <td>CO2 MINIMO:</td> <td>7.00 %</td> <td>CO2:</td> <td>14.21</td> <td>CO2 MINIMO:</td> <td>7.00 %</td> </tr> <tr> <td>O2:</td> <td>0.43</td> <td>O2 MAXIMO:</td> <td>5.00 %</td> <td>O2:</td> <td>0.10</td> <td>O2 MAXIMO:</td> <td>5.00 %</td> </tr> <tr> <td>RPM:</td> <td>765</td> <td>RPM MIN:</td> <td>500 rpm</td> <td>RPM:</td> <td>2,509</td> <td>RPM MIN:</td> <td>2,000 rpm</td> </tr> <tr> <td>TEMP:</td> <td>0</td> <td>TEMP MIN:</td> <td>0.00 °</td> <td>TEMP:</td> <td>0</td> <td>TEMP MIN:</td> <td>0.00 °</td> </tr> <tr> <td colspan="4">RESULTADO APROBADA</td> <td colspan="4">RESULTADO APROBADA</td> </tr> </tbody> </table>		RALENTI				CRUCERO				RESULTADOS		NORMA		RESULTADOS		NORMA		HC:	59.00	HC LIMITE:	200.00 ppm	HC:	54.00	HC LIMITE:	200.00 ppm	CO:	0.36	CO LIMITE:	1.00 %	CO:	0.15	CO LIMITE:	1.00 %	CO2:	14.12	CO2 MINIMO:	7.00 %	CO2:	14.21	CO2 MINIMO:	7.00 %	O2:	0.43	O2 MAXIMO:	5.00 %	O2:	0.10	O2 MAXIMO:	5.00 %	RPM:	765	RPM MIN:	500 rpm	RPM:	2,509	RPM MIN:	2,000 rpm	TEMP:	0	TEMP MIN:	0.00 °	TEMP:	0	TEMP MIN:	0.00 °	RESULTADO APROBADA				RESULTADO APROBADA				RESULTADO GENERAL: APROBADA
RALENTI				CRUCERO																																																																						
RESULTADOS		NORMA		RESULTADOS		NORMA																																																																				
HC:	59.00	HC LIMITE:	200.00 ppm	HC:	54.00	HC LIMITE:	200.00 ppm																																																																			
CO:	0.36	CO LIMITE:	1.00 %	CO:	0.15	CO LIMITE:	1.00 %																																																																			
CO2:	14.12	CO2 MINIMO:	7.00 %	CO2:	14.21	CO2 MINIMO:	7.00 %																																																																			
O2:	0.43	O2 MAXIMO:	5.00 %	O2:	0.10	O2 MAXIMO:	5.00 %																																																																			
RPM:	765	RPM MIN:	500 rpm	RPM:	2,509	RPM MIN:	2,000 rpm																																																																			
TEMP:	0	TEMP MIN:	0.00 °	TEMP:	0	TEMP MIN:	0.00 °																																																																			
RESULTADO APROBADA				RESULTADO APROBADA																																																																						
FECHA DE LA PRUEBA: 8/11/2017 08:15:26		OPERARIO RESPONSABLE: _____ LEONIDAS QUIROZ																																																																								

Figura 34. Análisis de gases con el vehículo standard

Los datos obtenidos en la segunda prueba de gases (figura 35) en la cual el vehículo cuenta ya con el funcionamiento del generador de hidrógeno, nos reflejada una clara disminución en lo que corresponde a las emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono, tanto en ralentí y en el modo crucero (2500 rpm).

 ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA		ESPE LATACUNGA Tel: 0990953985 Email: ch.richy.d@gmail.com																											
DATOS DEL CLIENTE NOMBRE: RICHARD DANILO APELLIDO: CHAMORRO RUANO IDENTIFICACION: 0401587043 DISPOSITIVO: COD001		DATOS DEL VEHICULO PLACA: PCH1238 MODELO: 2013 MARCA: FORD LINEA: ECOSPORT MOTOR: 2000cc COMBUSTIBLE: GASOLINA VIN: 9BFZB55F5D8779744																											
DATOS DE LA PRUEBA																													
RALENTI		CRUCERO																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RESULTADOS</th> <th>NORMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HC: 46.00</td> <td>HC LIMITE: 200.00 ppm</td> </tr> <tr> <td>CO: 0.24</td> <td>CO LIMITE: 1.00 %</td> </tr> <tr> <td>CO2: 14.27</td> <td>CO2 MINIMO: 7.00 %</td> </tr> <tr> <td>O2: 0.38</td> <td>O2 MAXIMO: 5.00 %</td> </tr> <tr> <td>RPM: 755</td> <td>RPM MIN: 500 rpm</td> </tr> <tr> <td>TEMP: 0</td> <td>TEMP MIN: 0.00 °</td> </tr> </tbody> </table>	RESULTADOS	NORMA	HC: 46.00	HC LIMITE: 200.00 ppm	CO: 0.24	CO LIMITE: 1.00 %	CO2: 14.27	CO2 MINIMO: 7.00 %	O2: 0.38	O2 MAXIMO: 5.00 %	RPM: 755	RPM MIN: 500 rpm	TEMP: 0	TEMP MIN: 0.00 °	<table border="1"> <thead> <tr> <th>RESULTADOS</th> <th>NORMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HC: 14.00</td> <td>HC LIMITE: 200.00 ppm</td> </tr> <tr> <td>CO: 0.03</td> <td>CO LIMITE: 1.00 %</td> </tr> <tr> <td>CO2: 14.43</td> <td>CO2 MINIMO: 7.00 %</td> </tr> <tr> <td>O2: 0.10</td> <td>O2 MAXIMO: 5.00 %</td> </tr> <tr> <td>RPM: 2,534</td> <td>RPM MIN: 2,000 rpm</td> </tr> <tr> <td>TEMP: 0</td> <td>TEMP MIN: 0.00 °</td> </tr> </tbody> </table>	RESULTADOS	NORMA	HC: 14.00	HC LIMITE: 200.00 ppm	CO: 0.03	CO LIMITE: 1.00 %	CO2: 14.43	CO2 MINIMO: 7.00 %	O2: 0.10	O2 MAXIMO: 5.00 %	RPM: 2,534	RPM MIN: 2,000 rpm	TEMP: 0	TEMP MIN: 0.00 °
RESULTADOS	NORMA																												
HC: 46.00	HC LIMITE: 200.00 ppm																												
CO: 0.24	CO LIMITE: 1.00 %																												
CO2: 14.27	CO2 MINIMO: 7.00 %																												
O2: 0.38	O2 MAXIMO: 5.00 %																												
RPM: 755	RPM MIN: 500 rpm																												
TEMP: 0	TEMP MIN: 0.00 °																												
RESULTADOS	NORMA																												
HC: 14.00	HC LIMITE: 200.00 ppm																												
CO: 0.03	CO LIMITE: 1.00 %																												
CO2: 14.43	CO2 MINIMO: 7.00 %																												
O2: 0.10	O2 MAXIMO: 5.00 %																												
RPM: 2,534	RPM MIN: 2,000 rpm																												
TEMP: 0	TEMP MIN: 0.00 °																												
RESULTADO APROBADA		RESULTADO APROBADA																											
FECHA DE LA PRUEBA: 8/1/2017 08:28:19		RESULTADO GENERAL: APROBADA																											
OPERARIO RESPONSABLE: _____ <div style="text-align: right;">LEONIDAS QUIROZ</div>																													

Figura 35. Análisis de gases con el generador de hidrógeno

Una vez finiquitado con la ejecución de las pruebas en el vehículo, se comprobó que existe un cambio favorable en el funcionamiento del motor y por ende en las emisiones que este produce, haciéndolo más amigable con el medio ambiente, al reducir las emisiones de HC (hidrocarburos no combustionados) y CO (monóxido de carbono) (figuras 36 y 37), ya que con la presencia del hidrógeno en la mezcla aire combustible que ingresa al motor, podemos lograr que los residuos de combustible se quemen y no sean desechados en los gases del escape.

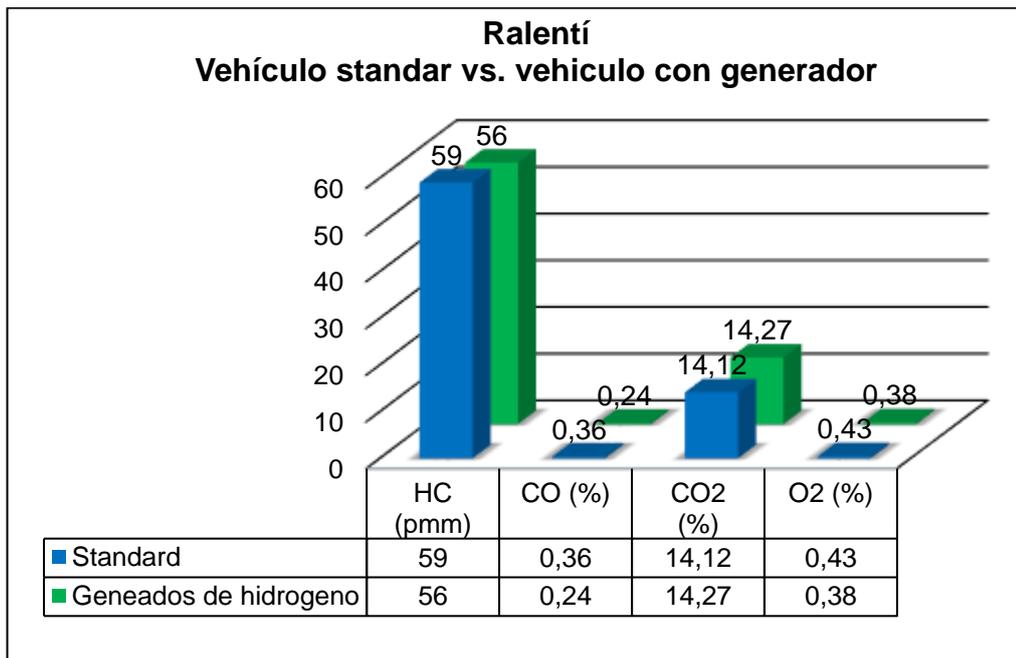


Figura 36. Comparación resultados obtenidos en ralentí

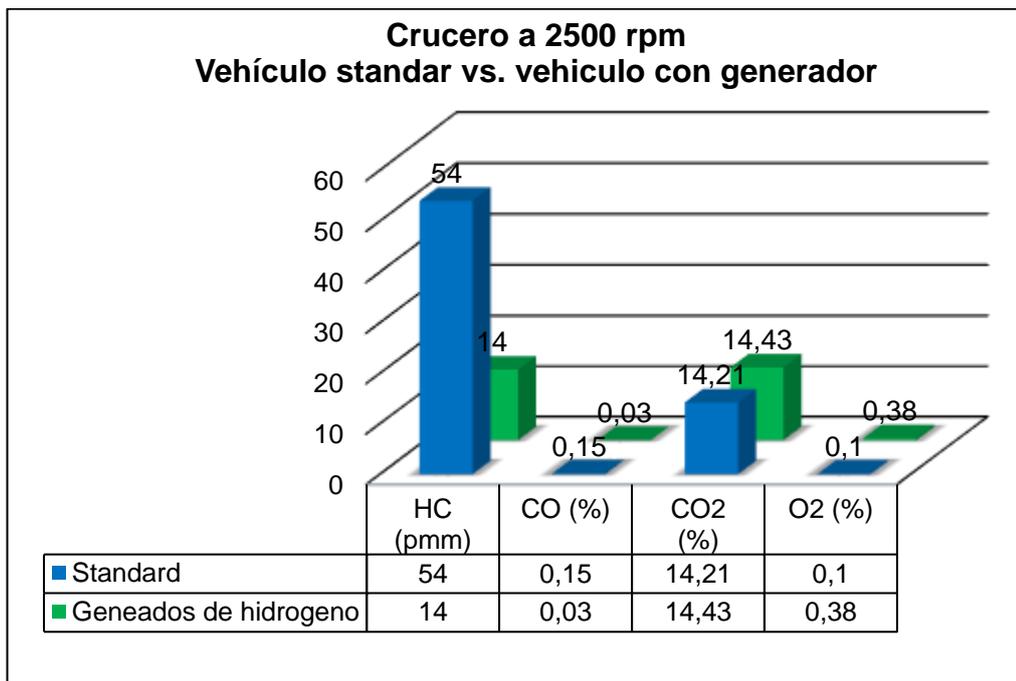


Figura 37. Comparación resultados obtenidos en modo crucero

3.3.3. Consumo de combustible

Para las pruebas de consumo de combustible del vehículo se elaboraron una ruta previamente establecida de 105 kilómetros (figura 38), empezando

la prueba en la estación de servicio “LOS SAUCES - LATACUNGA” de Petroecuador, para posteriormente dirigirse a la entrada del Parque Nacional Cotopaxi, retornando por la misma vía hasta Salcedo y finalmente regresando al punto de partida en la estación de servicio. Las dos pruebas de consumo se ejecutaron con el depósito de combustible lleno a toda su capacidad de almacenamiento, es decir 13,7369 galones equivalente a 52 litros de gasolina extra de 82 octanos. Una vez terminado el recorrido se procede a llenar nuevamente el tanque hasta su punto máximo y así obteniendo la cantidad de combustible consumido en cada uno de los recorridos.

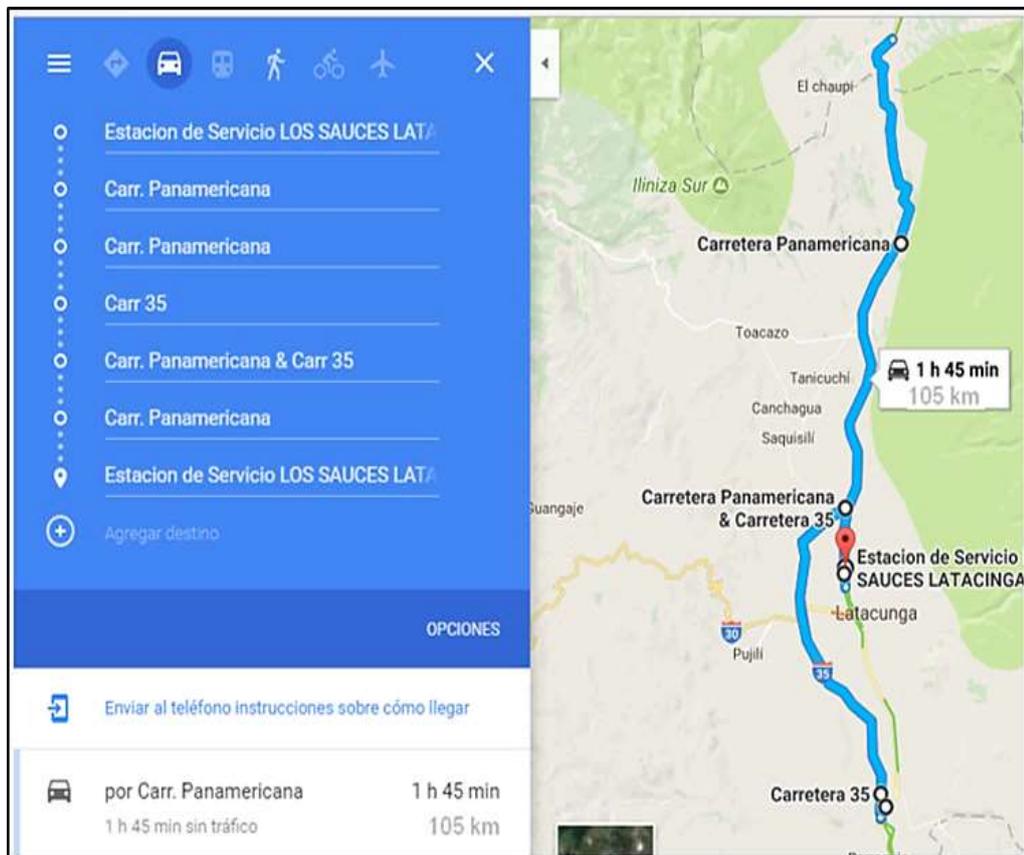


Figura 38. Mapa de recorrido para pruebas

Fuente: (<https://maps.google.com/>, 2017)

En la primera prueba, en el trayecto de 105 km se consumió una cantidad de 1,755 galones de combustible, equivalente a \$2,60 de gasolina extra (figura 39).



Figura 39. Medición en modo standard

En la segunda prueba, en el trayecto de los 105 km se consumió una cantidad de 1,22 galones de combustible, equivalente a \$1,81 de gasolina extra (figura 40)



Figura 40. Medición con el generador activado

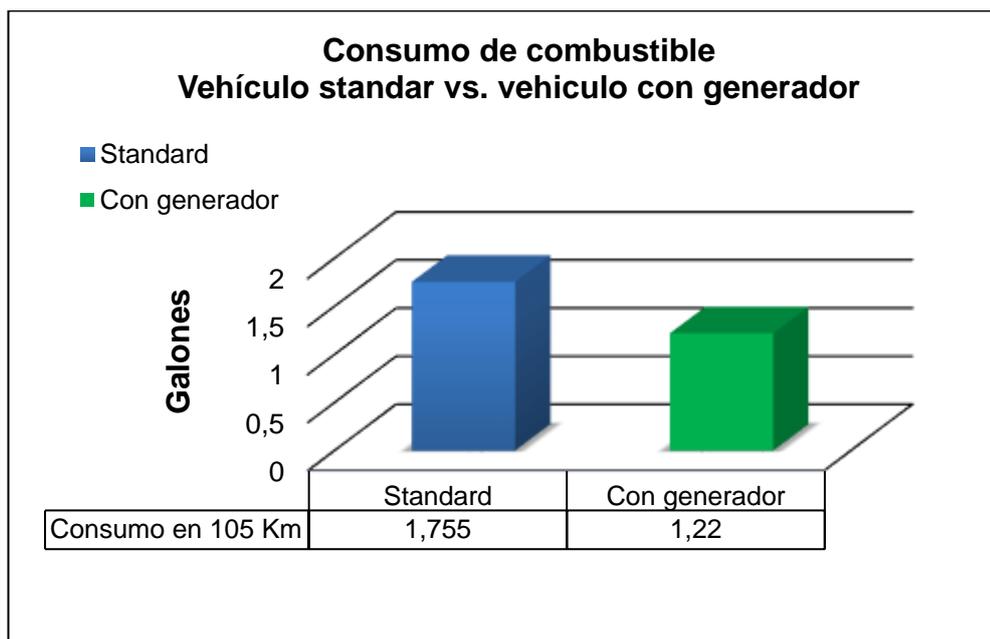


Figura 41. Análisis de consumo de combustible

Al obtener los resultados de las dos pruebas realizadas con el vehículo standard y con el sistema de hidrógeno se obtuvieron valores de 1,755 y 1,22 galones en los 105 km respectivamente. Obteniendo una disminución en el consumo de 0,535 galones (2,0252 lt), que simboliza \$0,79 (figura 41), una clara disminución de consumo de combustible al usar el generador de hidrógeno.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Con la instalación del generador electrolítico se determinó que el equipo puede adaptar a cualquier tipo de vehículo automotor con el debido análisis de espacio disponible para la correcta ubicación de cada uno de los componentes del sistema.
- Se realizaron las pruebas de emisión de gases, torque-potencia y consumo de combustible con el generador electrolítico de hidrógeno y en condiciones standard del vehículo logrando evidenciar una mejora en el vehículo.
- La potencia máxima aumentó en total de 2,7 HP con el sistema generador de hidrógeno, mientras que el torque máximo tuvo un incremento de 2,2 ft-lb.
- Se redujo 0,01929 litros de gasolina consumida por cada kilómetro recorrido, una baja de 40 pmm de hidrocarburos no combustionados y se disminuyó 0,12% de CO emanado al medio ambiente.
- Con los resultados obtenidos se justifica la adquisición del generador electrolítico de hidrógeno ya que se vio una clara reducción del consumo de combustible y reducción de gases contaminantes.

4.2. Recomendaciones

- Hacer un mantenimiento completo al vehículo previo a la instalación del equipo generador.
- Comprobar que el generador electrolítico se encuentre correctamente instalado para evitar inconvenientes en el momento de ejecutar las pruebas con equipos especiales.

- Asegurarse que en el sistema de mangueras no exista ninguna fuga de electrolito y menos de hidrógeno.
- Es recomendable desconectar la alimentación eléctrica del sistema de producción de hidrógeno antes de apagar el automóvil, para consumir los residuos de gas hidrógeno existentes en las mangueras.
- Al trabajar con el electrolito (hidróxido de potasio) se debe utilizar guantes quirúrgicos y mascarillas.
- El uso de agua destilada en el generador es indispensable ya que el agua potable puede dañar las placas internas debido a que posee minerales que disminuyen la vida útil del generador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldás Acosta, E. D., & Encalada Terán, R. G. (2010). *IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO QUE INYECTE HIDRÓGENO A UN MOTOR A GASOLINA*. Latacunga: ESPE.
- Benítez Gaibor, Á. V., & Ramos Valle, M. A. (2013). *Implementación de un Sistema Dual Fuel, Hidrógeno/Gasolina en un Vehículo de Motor de Combustión Interna*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Borja Jarrín, W. D., Borja Terán, A. S., & Castro Manrique, D. R. (2014). *Potenciación de un Motor a Gasolina por Medio de un Generador de Hidrógeno*. Quito: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.
- Cando Piarpuezan, H. F., & Quelal Manosalvas, H. R. (2012). *CONSTRUCCION Y ADAPTACION DE UN SISTEMA GENERADOR DE GAS DE HIDRÓGENO PARA SUMINISTRARLO A UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA*. Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- Carrasco Mora, C. F., & Rodríguez Cardo, J. F. (2010). *EL HIDRÓGENO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE*. México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Dinamyca Competicion. (2017). *Richard Chamorro #1954 on 2017-07-29 @ 10-24-50*. Quito: DYNOMite Dynamometer .
- Dirección General de Investigación e Innovación; Comisión Europea; Dirección General de Movilidad y Transportes; Dirección General de Energía;. (2003). *La energía del hidrógeno y las pilas de combustible - Una visión para nuestro futuro*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Obtenido de La Energía del Hidrógeno y las Pilas de Combustible - Una Visión Para Nuestro Futuro.
- Duque Cabrera, E. J., & Masaquiza Masaquiza, J. P. (2013). *Implementación de un Generador e Inyector de Hidrógeno en un Motor de Vehículo Mazda BT-50 2.2L, Para Reducir Emisiones de Gases*

Contaminantes. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

EDGAR, A. (s.f.).

Fábrega Ramos, M. (2008). *HIDRÓGENO APLICACIÓN EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Familiar Xaudaró, C. (2011). *INYECCIÓN DE HIDRÓGENO COMO POTENCIAL MEJORA DE LOS MOTORES ACTUALES*. BARCELONA: Universidad Politécnica de Cataluña.

Gámez Franco, D. (2010). *EL Hidrógeno y sus Aplicaciones Energéticas*. Barcelona: INS La Ferreria.

Gutiérrez Jodra, L. (2005). EL HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO. *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 49-67.

HIDROXIECUADOR. (06 de Junio de 2017). *HIDROXIECUADOR*. Obtenido de http://www.redtienda.net/storeimages/hidroxiecuador/pro/262074.file_b.w300.jpg

Hortal, M. A., & Barreras, A. M. (2007). *EL HIDRÓGENO, Fundamento de un futuro equilibrado*. Madrid: Diaz De Santos.

Jama Jara, D. A., & Martínez Anangonó, H. W. (2015). *DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN GASOLINA – HHO EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO BUGGY DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE PATIO DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA*. Latacunga: ESPE.

La Visión Real del Mundo. (14 de Mayo de 2012). *La Visión Real del Mundo*. Obtenido de Sistema de combustible basado en hidrógeno: <https://lavisionrealdelmundo.wordpress.com/2012/05/14/sistema-de-combustible-basado-en-hidrogeno/>

Linares Hurtado, J. I., & Moratilla Soria, B. Y. (2007). *El hidrógeno y la energía*. Madrid: Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI .

- Llanos Arboleda, M. A., & Recalde Campos, C. D. (2013). *CONSTRUCCIÓN Y ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE ELECTROLISIS DE AGUA PARA INYECTAR HIDRÓGENO A UN MOTOR GENERAL MOTORS 1300CC PARA MEJORAR SU EFICIENCIA*. Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- Lopez, M. (06 de Junio de 2017). *Deus y energias limpias*. Obtenido de Armado de celda seca: <http://tecverde.mex.tl/imagesnew2/0/0/0/1/1/9/9/2/2/9/C%20dry.png>
- Padilla Martínez, J., García Valverde, R., Fernández Romero, A. J., & Urbina Yeregui, A. (2010). *Polimeros Conductores*. Barcelona: Reverté.
- Pesántez Pesántez, L. F. (2014). *Análisis del Fucnionamiento de los Vehículos con Celdas de Combustible de Hidrógeno y con Paneles Solares*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Piqué, J. L. (2010). *El Hidrógeno y Nuestro Futuro Energetico*. Barcelona: Edicions UPC.
- Quezada Romero, E. M., & Torres Gualan, D. F. (2014). *Implementación de un Generador de Hidrógeno de Celda Seca en un Vehículo Chevrolet Steem 1,6L*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Redondo Calle, C. (2009). *MOTOR COHETE DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO*. Madrid: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- Solís García, J. (2014). *HIDRÓGENO Y ENERGIAS RENOVABLES*. México: Trillas.
- VERELECTRICO. (06 de Junio de 2017). *Verelectrico*. Obtenido de BRIDAS 4,8X287 NEGRAS UNEX 2247-0 (100 BRIDAS): <https://www.verelectrico.com/archivos/201510/bridas-negras-260xXx80.jpg?1>
- Yuquilema Campoverde, P. F., & Vintimilla Calderón, G. E. (2012). *Implementación en un Vehículo con Motor OTTO de un sistema Mixto de alimentación de Combustible Nafta - Hidrógeno*. Cuenca: UNIVERSIDAD DEL AZUAY.

ANEXO

ANEXO A
FICHA TÉCNICA FORD ECOSPORT 2013



Jorge Cortés
le pone la firma



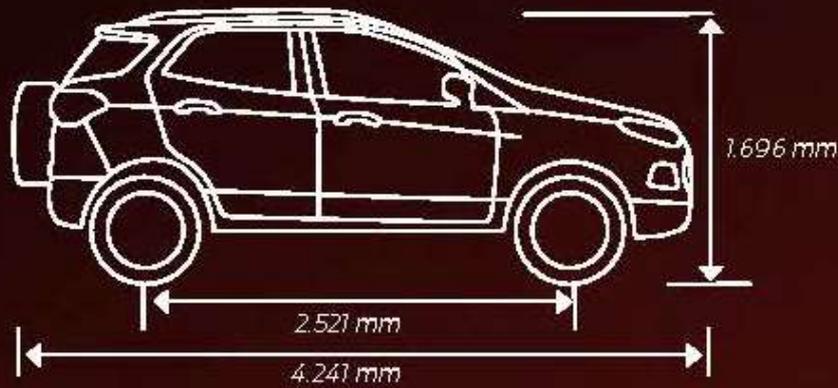
PBX: 601 6767
www.jorgecortes.com.co

**NUEVA
ECOSPORT**

ciudad y servicio
Avenida Norte No. 1B - 89 / PBX: 601 6767
CIMA No. 53 - 31 / PBX: 600 500 ext. 140

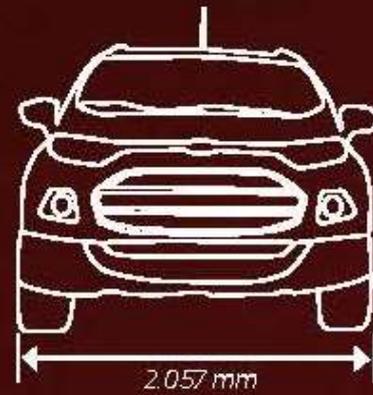


Go Further



DIMENSIONES

Longitud total	4.241 mm
Ancho total sin espejos	1.765 mm
Ancho total con espejos	2.057 mm
Trocha delantera	1.519 mm
Trocha trasera	1.524 mm
Altura total	1.696 mm
Distancia entre ejes	2.521 mm



CAPACIDADES Y PESOS

	S 4X2
Peso bruto vehicular máximo (GVW)	1.676 kg
Peso vacío total	1.261 kg
Capacidad de carga	415 kg
Número de pasajeros	5
Capacidad de tanque de combustible	52 L
	FREESTYLE 4X2
Peso bruto vehicular máximo (GVW)	1.676 kg
Peso vacío total	1.274 kg
Capacidad de carga	402 Kg
Número de pasajeros	5
Capacidad de tanque de combustible	52 L

COLORES



GRIS
CAMBURI



BEIGE
RIVIERA



PLATA
METÁLICO



BLANCO
ARTICO



NEGRO
EBANO

MOTOR

<i>Tipo</i>	2.0L I4 PFI
<i>Posición</i>	Transversal
<i>Desplazamiento</i>	1.999 c.c.
<i>Cilindros</i>	4
<i>Diámetro por carrera</i>	87.5 x 83.1 mm
<i>Potencia máxima</i>	138 caballos de potencia @ 6.250 r.p.m.
<i>Torque máximo</i>	135 lb/ft de torque @ 4.250 r.p.m.
<i>Relación de compresión</i>	10.8:1
<i>Sistema valvular</i>	DOHC
<i>Combustible</i>	Gasolina

MANUAL (1B5+) DE 5 VELOCIDADES

TRANSMISIÓN

RELACIONES	
1ª	3.545:1
2ª	2.045:1
3ª	1.281:1
4ª	0.951:1
5ª	0.756:1
Reversa	3.615:1
Relación final	4.07:1
Tracción	4x2 FWD

DIRECCIÓN

<i>Tipo</i>	Hidráulica asistida eléctrica (EPAS)
-------------	--------------------------------------



SERVICIO AL CLIENTE

SUV DE CLASE MUNDIAL

ESCULTURAL Y SÓLIDA

La Nueva EcoSport hace parte de un proyecto global en el que participaron más de 900 ingenieros y diseñadores de 16 países. Es el primer modelo de Ford que llega a Colombia bajo la nueva corriente de diseño Kinetic Design 2.0, proveniente de los rasgos del prototipo Evos.

En la Nueva EcoSport, además de los faros estrechos y la parrilla trapezoidal, elementos característicos del Kinetic Design 2.0, el capó cuenta con detalles que asemejan músculos y le dan al carro fuerza y personalidad. Los elementos expresan movimiento y la silueta aerodinámica de las superficies esculpidas realiza un juego de luces y sombras.

FLUJE CON EL VIENTO

La Nueva EcoSport es más robusta y con líneas más atléticas que su antecesora, lo cual le da una sensación de movimiento y la hacen 17% más aerodinámica que su versión anterior. Aspectos exteriores como los ángulos del pilar delantero (A), espejos aerodinámicos, racks longitudinales de techo, spoiler trasero y deflectores de aire traseros, hacen de la Nueva EcoSport una camioneta ágil, atlética y con una notable economía de combustible.



		S 4X2
SISTEMA DE FRENOS	TIPO	Frenos de potencia ABS
	DELANTEROS TRASEROS	Discos ventil. 278 mm x 23 mm tambor 9" diámetro
		FREESTYLE 4X2
TIPO	Frenos de potencia ABS/ESC/TSC asistente en subidas	
DELANTEROS TRASEROS	Discos ventil. 278 mm x 23 mm tambor 9" diámetro	

		S 4X2
LLANTAS Y RINES	LLantas	205/65 R15 - BSW
	Rines Rin y llanta de repuesto	Acero 15" Igual
		FREESTYLE 4X2
LLantas	205/60 R16 ATR 92H - BSW	
Rines Rin y llanta de repuesto	Aluminio 16x6J color gris Igual	

Hoja de vida

DATOS PERSONALES

NOMBRE: Chamorro Ruano Richard Danilo

NACIONALIDAD: ecuatoriana

FECHA DE NACIMIENTO: 07 de abril de 1991

CÉDULA DE CIUDADANÍA: 0401587043

TELÉFONOS: 0990953985

CORREO ELECTRÓNICO: ch.richy.d@gmail.com

DIRECCIÓN: Carchi-Bolívar-García Moreno-Pueblo Viejo



ESTUDIOS REALIZADOS

PRIMARIA: Escuela Fiscal Mixta “José Mejía Lequerica” (Pueblo Viejo 1996-2002)

SECUNDARIA: Colegio Nacional “El Ángel” (El Ángel 2002-2008)

SUPERIOR: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (2009-2011)

TÍTULOS OBTENIDOS

- Técnico Operador de Computadoras
- Bachiller en Físico Matemático
- Tecnología en Ciencias Militares UFA-ESPE

EXPERIENCIA PROFESIONAL O PRÁCTICAS PRE PROFESIONALES

- Prácticas Pre profesionales: centro de mantenimiento automotriz Golden Autoservice Latacunga -Mantenimiento preventivo y correctivos de vehículos livianos.
- Practicas Pre profesionales: Centro de Mantenimiento automotriz Automotores de la sierra Latacunga (ASSA), Mantenimiento preventivo y correctivos de vehículos livianos.

CURSOS Y SEMINARIOS

- Los “V CURSOS VACACIONALES” organizados por el gobierno municipal de Bolívar, en disciplina TAEK WON DO 2002
- Talleres sobre: “Manejo Y Distribución De Agua De Consumo, Manejo De Cuencas Hidrográficas, Producción De Plantas Nativas Y Manejo De Zonas De Altura” PUEBLO VIEJO 2006.
- Curso de “Capacitación a Capacitadores (CdC)”: La Asociación de Promotores Para el Desarrollo Integral Comunitario (APRODIC), el Consorcio Andino, Corporación Grupo RNDI RANDI y el Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca del Ecuador 2009
- Taller de “Elaboración de Proyectos”: La Asociación de Promotores Para el Desarrollo Integral Comunitario (APRODIC), el Consorcio Andino y la Corporación Grupo RNDI RANDI 2009
- Formación Militar en la Escuela de Formación de Soldados del Ejército Ecuatoriano ESFORSE.
- Suficiencia en el Idioma Inglés (UFA-ESPEL)
- Seminario de “PRIMERAS JORNADAS TECNOLÓGICAS INTERNACIONALES EN ELECTROMECAÁNICA 2016 (UGT-ESPEL)”

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE
RESPONSABILIZA EL AUTOR**

CHAMORRO RUANO RICHARD DANILO

CBOS. DE E.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. PABLO ESPINEL

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA
AUTOMOTRIZ**

ING. PABLO ESPINEL

Latacunga, agosto de 2017