

## **Diseño para adaptar hydroxy en un motor de combustión interna diésel**

POR:

Esteban Naranjo Gómez

Juan Esteban Roza Granada

José David Lopera Barrientos

Proyecto de grado presentado como prerrequisito para optar al título de  
**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

Asesora:

María Isabel Ardila Marín

Ingeniera mecánica

Institución Universitaria Pascual Bravo

Facultad de ingeniería

Tecnología mecánica automotriz

Medellín- Antioquia

2017

## Tabla de contenido

Introducción.....	4
1. Problema.....	5
2. Justificación.....	6
3. Objetivos.....	7
3.1 General.....	7
3.2 Objetivos específicos.....	7
4. Referentes teóricos.....	7
5. Metodología.....	15
5.1 Etapa 1: Evaluación de alternativa para generación de HHO.....	15
5.1.1 Power HHO.....	15
5.1.2 Otras celdas en el mercado.....	18
5.1.3 Otras empresas y/o personas naturales que fabrican celdas:.....	19
5.1.3.1 Hidromovil de Colombia S.A.S:.....	19
5.1.3.2 Powercol. <a href="http://www.powercol.com.co">http://www.powercol.com.co</a> .....	20
5.2 Etapa 2: Diseño de montaje.....	20
6. Resultados del proyecto o diseño técnico.....	21
6.1 Selección de la mejor alternativa para la producción de hydroxy.....	21
6.1.1 Comparación sobre la importancia de las características de una celda de hidrogeno.....	21
6.1.2 Comparación del flujo de celdas de hidrogeno en distintas empresas.....	24
6.1.3 Comparación del consumo de corriente de las celdas de hidrogeno en distintas empresas.....	25
6.1.4 Comparación del tamaño de las celdas de hidrogeno en distintas empresas.....	25
6.1.5 Comparación del costo de las celdas de hidrogeno en distintas empresas.....	26
6.1.6 Comparación del tamaño del depósito de las celdas de hidrogeno en distintas empresas.....	27
6.1.7 Comparación del número de placas de las celdas de hidrogeno en distintas empresas.....	28
6.1.8 Comparación de la tecnología de las celdas de hidrogeno en distintas empresas.....	29
6.1.9 Matriz final de los resultados.....	30
6.1.9.1 POWER HHO.....	31

6.1.9.2 HHO PLUS .....	32
6.1.9.3 GREEN SOURCE.....	33
6.2 Diseño del montaje de la celda de hydroxy en un motor de combustion interna .....	34
7. Conclusiones.....	36
Bibliografía.....	37

## **Introducción**

Analizando problemáticas actuales del medio ambiente, como el calentamiento global y los efectos de gases invernadero y realizando labores investigativas del hidrogeno como combustible, se evidencia que en teoría el hidrogeno mezclado con gasolina o con acpm mejora la eficiencia del motor de combustión interna, reduciendo el consumo de combustible aprovechando más la energía calorífica de la combustión de esta, alargando la vida útil del motor debido a que el hidrogeno no maltrata las piezas de metal por el contrario barre los depósitos de carbón que se hacen al interior de la cámara de combustión y reduciendo la emisión de gases contaminantes de escape, en grandes proporciones de porcentaje de cada gas.

En la presente investigación se espera obtener resultados teóricos, de ser así se podría concientizar a las personas como una gran alternativa para reducir el consumo de combustible en motores de combustión interna, los gases de escape y mejorar la potencia de los mismos. Todo esto para ayudar a reducir el impacto negativo ambiental que en el presente generan los vehículos y posteriormente para ayudar a la economía de las personas con un menor consumo de combustible, teniendo en cuenta el elevado costo que en Colombia tienen los combustibles fósiles.

## 1. Problema

La problemática ambiental que ha desatado el incremento de las actividades humanas en los últimos cien años ha elevado los requerimientos energéticos, comprometiendo grandes cantidades de recursos naturales, generando presiones políticas y económicas sobre las naciones al provocar un desequilibrio de poder que redundan en importantes cuestionamientos sobre el futuro de la humanidad al finalizar la era del petróleo.

En este sentido existen propuestas a nivel internacional que promueven alternativas de investigación para reducir la dependencia de las fuentes convencionales entorno a un cambio en la forma como se produce y consume la energía, con menores impactos ambientales. Para que estas propuestas se hagan realidad, se requiere el desarrollo de un nuevo vector energético, el hidrógeno. Colombia se ha posicionado en América Latina como un productor importante de energía eléctrica y se está consolidando en una posición relevante en la explotación minera y petrolera, producto de los beneficios económicos que brindan los precios internacionales de cotización de cada producto.

Colombia es un país en vía de desarrollo totalmente dependiente de la economía del petróleo, actualmente las economías están de mal en peor primordialmente en Colombia por ser tan dependiente de estas, al buscar y desarrollar energías alternativas como lo son el hidrogeno, se hacen más independientes del petróleo el cual afecta tanto la economía del país.

Finalmente esto conlleva a ver el hidrogeno como una potencial fuente de energía alterna debido a que es uno de los elementos que más abundan en el mundo. Así mismo hay que tener en cuenta múltiples factores: ¿Es el hidrogeno un combustible eficiente, amigable

con el ambiente, beneficioso para el motor de combustión interna y económico?, ¿Verdaderamente este combustible podrá reemplazar al combustible fósil en todos los aspectos?

## **2. Justificación**

En la actualidad el consumo excesivo de combustibles genera cantidades masivas de CO<sub>2</sub> durante el proceso de combustión, desde un punto de vista ambiental esta combustión constituye el principal causante de la emisión de gases de efecto invernadero, responsables del efecto de calentamiento global que sufre nuestro planeta y ante un régimen energético descomunal el cual llegará a un punto que tocará fondo en poco tiempo, sin embargo, se ha acrecentado la búsqueda de alternativas que permitirían mantener el estilo de vida actual y la reducción potencial de estos gases de efecto invernadero. Una de las posibilidades, ampliamente defendida por la comunidad científica, es la energía del hidrógeno. De hecho, ya se acuñó el término de “economía del hydroxy”, que vendría a reemplazar a la actual “economía de los combustibles fósiles”. Esto supondría que en el futuro el desarrollo tecnológico residiría sobre el hydroxy y no sobre los combustibles fósiles tal como ocurre en la actualidad.

De igual manera puede representar una mejora a nivel económico de todos los propietarios de vehículos, debido a que con el hydroxy se obtiene una mayor eficiencia energética del combustible fósil, lo que significa mayor rendimiento en cuanto a potencia y menor consumo del mismo.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 General**

Seleccionar la mejor celda de hydroxy para un motor de combustión interna estableciendo su diseño de montaje

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar la mejor alternativa para la producción de hydroxy HHO para ser suministrado a un motor de combustión interna mediante la revisión bibliográfica.
- Diseñar el montaje de una celda de hydroxy HHO en un motor de combustión interna.

### **4. Referentes teóricos**

Actualmente hay una alta demanda de combustible de petróleo a nivel mundial, se pronostica que para dentro de muy poco tiempo el crudo estará en su punto más crítico de escasez, como consecuencia los precios suben cada día más y los consumidores se ven afectados por la alza del mismo. En los últimos años se ha investigado mucho sobre combustibles alternativos y entre una de las más acertadas es el HHO (combustible de hidrogeno) el cual tiene un rendimiento más óptimo utilizando la gasolina en un 100% ya que si se mezcla con el gas hidrogeno aumenta su eficiencia mecánica y reduce la perdida de energía en calor en el motor de combustión interna.

Se ha demostrado que el uso de gas hidrógeno a presión como combustible en motores de combustión interna (motores de CI) tiene muchas ventajas tales como más potencia del motor y las concentraciones de contaminantes menores en los gases de escape [1]

Una mezcla relativamente eficiente de los elementos (gasolina y de aire) en el interior del colector de admisión, mejora la economía de combustible, el aumento de la estabilidad del motor y reduce la emisión de gases. El alcance de este trabajo es dar a conocer algunas de las ventajas de hidrógeno, manteniendo las especificaciones originales del motor. Esto puede lograrse mediante la introducción de una célula de HHO al sistema de suministro de combustible, de modo que se obtiene una mezcla de combustible de gasolina y gas HHO. Una unidad compacta para la generación de gas de HHO fue diseñada para adaptarse a las especificaciones del motor y para ser instalado en el compartimento del motor, junto al radiador.[2]

El calentamiento global es uno de los principales problemas que afronta la humanidad hoy en día, es por esto que las nuevas tecnologías van enfocadas al cuidado del medio ambiente porque no es un misterio que la contaminación trae problemas de salud y calidad de vida para los seres vivos en general. Se conoce que una de las principales fuentes de contaminación mundial se debe a los vehículos automotores las cuales usan la combustión del petróleo como fuentes de energía y estos a la vez generan emisión de gases nocivos en el ambiente tales como nitrógeno (NO), hidrocarburo (HC) monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) además de oxígeno (O<sub>2</sub>) este último a pesar de no ser contaminante sirve para medir y comprender las características de combustión de ese motor.

Esto anima a los investigadores a buscar soluciones alternativas para ser utilizadas en los motores sin la necesidad de un cambio dramático en el diseño del vehículo. Entre los que usan hidrógeno (H<sub>2</sub>) como un combustible alternativo que mejora la eficiencia del motor y funciona con casi cero efectos de contaminación [4]. Sin embargo, esta no es una solución



viable desde un punto de vista comercial. La construcción de un sistema que genera H<sub>2</sub> e integrado con el sistema de motor hace que el coste de fabricación es muy caro [5], que se refleja en el precio de mercado del vehículo. De esto se puede concluir que un motor que funcione netamente a gasolina es bastante contaminante y que en su contraparte un motor que funcione solo con combustible H<sub>2</sub> es financieramente costoso para usuarios naturales, por esto es una gran alternativa equilibrar estas dos contrapartes haciendo funcionar un motor de combustión interna gasolina con una celda de hidrogeno en su proporción de HHO alcanzando rendimiento mejorado y menores emisiones de gases contaminantes.

Cabe mencionar que la instalación de la celda HHO en un motor de combustión interna (CI) es bastante simple y que con este sistema se logra un incremento en la eficiencia del motor reduciendo el consumo de combustible (gasolina) y las emisiones de gases contaminantes que de algunos puede llegar hasta un 50% en la reducción del mismo. También es notable que la concentración de hidrocarburos (HC) varíe dependiendo de la velocidad del motor y de la mezcla entre gasolina e hydroxy.

Hay un considerable esfuerzo de investigación en los Estados Unidos, Europa, Japón y dirigido hacia el desarrollo de una "economía del hidrógeno", en la que el hidrógeno será la opción para reemplazar el petróleo y el gas natural para la mayoría de aplicaciones, incluyendo combustible para el transporte [1]-[2], de acuerdo con Shinnar. También enumeró seis falacias (mencionadas por los investigadores Momirlan, y Veziroglu, Santilli, Dunn, Schulti, Hekkert, Barreto) inherentes de las supuestas ventajas de la economía del hidrógeno, en comparación con la economía eléctrica basada en una mezcla de combustibles fósiles, la energía solar y la energía nuclear. En ambos casos, la fase final sería una economía basada en energía solar y nuclear [1]-[2].

Momirlan, y Veziroglu [3][4] elaboraron sobre la tecnología del hidrógeno, la economía, impacto ambiental, aplicaciones especiales del sistema y el estado de la energía del hidrógeno en todo el mundo a finales del siglo XX. También participaron en la creación de organizaciones y asociaciones de hidrógeno, que organizan proyectos, publicaciones periódicas y llevan a cabo conferencias.

Santilli [5] mostró que los estudios sobre la separación electrolítica del agua en hidrógeno y oxígeno se remontan al siglo XIX. Más recientemente, como lo ha mencionado Santilli, ha habido una investigación considerable en la separación de agua en una mezcla de gases hidrógeno y oxígeno. Estos estudios fueron iniciados por Yull de Brown en 1977 a través de equipos generalmente conocido como electrolizadores y el gas resultante se conoce como "gas de Brown" o HHO.

Dunn en su papel importante [6] indica que la investigación y el desarrollo, incentivos y regulaciones, y asociaciones con la industria había despertado iniciativas aisladas. Pero las políticas públicas más fuertes y los esfuerzos educativos son necesarios para acelerar el proceso. Las decisiones tomadas hoy probablemente determinarán que los países y las empresas aprovechen el enorme poder político y premios económicos asociados a la edad de hidrógeno naciente ahora.

Schulti [7] , después de revisar la literatura existente sobre la aceptación, la percepción del riesgo y la satisfacción del cliente, se describe el desarrollo de un modelo que ilustra aspectos importantes para influir en la actitud de una persona hacia un nuevo producto. “Valores”, “quiere” y “percepción” son los tres componentes que se encuentran a influir en la aceptación. Los consumidores también se ven afectados por el “fondo social” y

la “experiencia”. Schulti et al. dio sugerencias sobre cómo utilizar los métodos de comercialización, proyectos de educación y exposición del producto a fin de maximizar la probabilidad de una exitosa introducción del hidrógeno como combustible alternativo.

Por otro lado, Hekkert et al. [8] analizó y evaluó el sistema de Investigación y Desarrollo de Alemania en relación con el desarrollo de la tecnología del hidrógeno para aplicaciones de automóviles durante el período 1974-2002. Su documento se centró en el análisis de las principales tendencias tecnológicas, el papel de los gobiernos en la dirección de la transición y la evaluación de la velocidad y dirección de la transición al hidrógeno. Ellos demostraron que el interés en el hidrógeno está aumentando rápidamente y que, en general la variedad de proyectos de investigación es cada vez mayor.

Barreto et al. [9] se describe un escenario basado en el hidrógeno a largo plazo del sistema energético global en términos cualitativos y cuantitativos que ilustran el papel clave de hidrógeno en una transición a largo plazo hacia un futuro de energía limpia y sostenible. Ellos mostraron que la pila de combustible (PC) y otras tecnologías basadas en hidrógeno juegan un papel importante en una transformación sustancial hacia un sistema más flexible, menos vulnerable distribuido energía que cumpla con las necesidades de energía en un producto de limpieza, de forma más eficiente y rentable. El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo [1] . Además de ser un componente de todos los seres vivos, hidrógeno y oxígeno en conjunto en el agua, que cubre el 70% de la tierra. En su forma pura, una molécula de hidrógeno se compone de dos átomos de hidrógeno ( $H_2$ ) que es un gas a temperatura y presión normal con sólo 7% de la densidad del aire. Además, no es un gas corrosivo y puede ser utilizado en motores de combustión interna. Es el segundo elemento de inflamabilidad entre otros gases, pero siempre y cuando se filtra, se

eleva de hidrógeno y se difunde a una mezcla inflamable con rapidez. El hidrógeno se inflama muy fácilmente y se quema a una temperatura alta, pero tiende a quemarse rápidamente. Una mezcla de hidrógeno y aire se quemará cuando contiene tan poco como 4% hasta tanto como 65% de hidrógeno en la mezcla.

Con el rápido aumento en el número de motores y el continuo agotamiento de los recursos de combustibles fósiles, la preservación de la calidad de la conservación del medio ambiente y la energía ha sido el centro de las preocupaciones de ancho y de investigación de todo el mundo. Cada vez más regulaciones más estrictas para vehículos se han instituido con el fin de reducir la contaminación ambiental con mayor eficacia[10].

El hidrógeno y los compuestos (el agua, los combustibles fósiles, y la biomasa) son los principales actores en el mundo de la energía. El valor calorífico del hidrógeno es mucho más alto que el de los combustibles convencionales si se toma como por unidad de peso y la combustión de hidrógeno es completamente limpio, produciendo sólo vapor de agua en el gas de escape [11].

La adición de una pequeña cantidad de hidrógeno en el gas natural puede mejorar las características de combustión y reducir las emisiones de escape.

Desde el punto de vista, el uso de hidrógeno y / o gas natural como un aditivo para mejorar el rendimiento motor diésel convencional y por la forma en la reducción de las emisiones de escape han sido investigados por varios investigadores y los resultados son muy prometedores[12]–[24].

Musmar y Al-Rousan han diseñado, integrado y probado un dispositivo compacto generador de HHO en un motor de gasolina. Sus resultados mostraron que los óxidos de

nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), y consumo de combustible se redujeron en un 50%, 20% y 30%, respectivamente, con una adición de HHO gas[1] [25] .

Han experimentado en un solo motor de gasolina que la inyección de Hidrogeno ( $\text{H}_2$ ) en el colector de admisión en las fracciones volumétricas (FV) del aire de admisión entre 5% y 25%, los resultados informaron de un aumento continuo de la eficiencia térmica, y una disminución en las emisiones de hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO), con un aumento en Hidrogeno ( $\text{H}_2$ ) por fracción. Desfavorablemente, un aumento correspondiente de NO, el cual llevo a un aumento de Hidrogeno ( $\text{H}_2$ ). Wang et al[26], Han llevado a cabo una serie de experimentos [27][28] y [29] en un motor de gasolina de 4 cilindros para investigar el rendimiento de Hidrogeno ( $\text{H}_2$ ) sobre mezclas de gasolina.

A excepción de la aplicación de hidrógeno en motores alternativos, algunos investigadores también demostraron que el hidrógeno podría ser utilizado como una alternativa para los motores rotativos [30]. Puesto que la velocidad de propagación de la llama de hidrógeno es mucho más alta que la gasolina, los motores rotativos a hidrógeno puro tienden a obtener mejor eficiencia y menores emisiones tóxicas que los motores de gasolina rotativos.

Se estudió el efecto de la mezcla de hidrógeno en la emisión de contaminantes y el rendimiento del motor del motor de explosión monocilíndrico [34] y [35]. Se encuentra que la mezcla de hidrógeno mejora la eficiencia del motor hasta una relación de mezcla de 20% en masa y también reduce la mezcla de hidrógeno, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO) y las emisiones de partículas, pero aumenta el monóxido de nitrógeno (NO) por emisión.

El hidrógeno se considera que es una alternativa para motores de combustión interna, ya que tiene muchas propiedades deseables [31], tales como bajo consumo de energía de encendido, de alta difusividad, amplia inflamabilidad, de alta velocidad de la llama y enfriamiento del bloque del motor a la adición de hydroxy[32][33].

En las últimas dos décadas, los motores de combustión interna (MCI) de la industria están impulsados al uso de sistemas de combustible alternativo para lograr una menor contaminación ambiental y una mejor combustión de los motores. Con el rápido aumento en el número de motores y el continuo agotamiento de los recursos de combustibles fósiles, la preservación de la calidad de la conservación del medio ambiente y la energía. Los combustibles alternativos en los MCI se pueden subsumir con gas natural, hidrógeno, oxígeno-hidrógeno (HHO), el biodiesel, mezclas de bio-alcohol, HCNG (hidrogenado Gas Natural Comprimido), propano y otras fuentes de biomasa. Estos combustibles tienen una importancia significativa en el rendimiento del motor y las emisiones de escape. Especialmente los combustibles de gas (hidrógeno, HHO y GNC) que utilizan catalizadores en los MCI para disminuir las emisiones. El hidrógeno y los compuestos son los principales actores en el mundo de la energía. El valor calorífico del hidrógeno es mucho más alto que el de los combustibles convencionales si se toma como por unidad de peso y la combustión de hidrógeno es completamente limpia, produciendo sólo vapor de agua en el tubo de escape. Dincer y Veziroglu [11][21]hablan sobre la tecnología del hidrógeno, la economía, impacto ambiental, aplicaciones especiales del sistema y el estado de la energía del hidrógeno en todo el mundo a finales del siglo XX.

Hoy en día, el hidrógeno puede ser aplicado para el transporte como combustible principal (o suplemento de combustible) para los MCI y de pila de combustible; y la

mayoría de las estaciones de hidrógeno en el mundo están asistiendo para alimentar los vehículos de pila. Motores de combustión interna de hidrógeno tienen una gran potencia a causa de más energía por unidad de masa, de alta eficiencia, todo esto debido a la alta velocidad de la llama que causa alta tasa de aumento de la presión en el cilindro y por lo tanto cerca de la combustión de volumen constante y también tienen emisiones próximas a cero, excepto NO x con cargas más elevadas, debido a la ausencia de carbono en la estructura molecular del combustible [13] .

## 5. Metodología

Este proyecto se desarrollará mediante las siguientes etapas:

### 5.1 Etapa 1: Evaluación de alternativa para generación de HHO

#### 5.1.1 Power HHO

##### CELDA 60 P ALTIUM para el motor diésel



gabinete



plug and play

- Mayor eficiencia del motor
- Reducción de la contaminación
- Incremento de potencia
- Alto desempeño
- Aumenta la vida útil del equipo
- Reduce los depósitos de carbón en los cilindros, cámaras de combustión, puntas de inyectores y sistema de escape
- Frente a otras soluciones no tiene efectos secundarios en el motor
- Sistemas de control electrónico para control de variables de operación como son:
- **Voltaje, Corriente, Temperatura, presión, nivel de electrolito.**
- Sistemas con posibilidad de puesta a punto y funcionamiento Plug And Play
- Módulo de Control: Este dispositivo posee un PWM con micro controlador que permite el control de corriente constante o por carga, con indicadores de nivel de electrolito y reactivo, censa el voltaje de alimentación y proporciona un control automático del sistema, cuenta con protección por sobrecarga y bajo voltaje.

## **JUSTIFICACION**

- Celda con capacidad hasta 3600cm<sup>3</sup>
- Celda en gabinete para mejor movilización del sistema y fácil acceso, el cual de otra manera se dificultaría el desplazamiento si se desea
- Cuenta con sistema plug and play el cual permite de manera electrónica saber qué porcentaje de 0 a 100% hidrogeno empleando, y cuanto es su máxima capacidad,



con otra celda no contaría con este sistema y no se determinaría de manera exacta cuanto flujo de hidrogeno se produce por lo cual los datos serian menos exactos

- El Modulo control electrónico cumple una función importante ya que es el encargado de controlar la corriente, voltaje, presión y permite saber cuánta cantidad de electrolito tiene el sistema, con otra celda sin tener un controlador de corriente el flujo de hidrogeno no sería exacto por lo cual sus resultados tampoco, este PWM electrónicamente avisa cuando adicionar agua al sistema y así tener el sistema funcionando bien durante toda la prueba.
- En la ciudad de Medellín no hay muchas empresas ya constituidas en el empleo de equipos generadores de hidrogeno por la cual esta celda cuenta con una garantía de funcionamiento ideal.
- Se cuenta con el respaldo y buenos resultados con estas celdas ya que hay un centro de instalación.
- Al hacer una prueba en un motor estacionario, la celda en el gabinete es ideal para una buena adecuación y movilización de esta.
- Elementos de buena calidad, acceso a información, celdas mejoradas, no empíricamente.

## Ficha técnica 60p altium

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO					
CARACTERISTICAS	CONDICIONES	UNIDADES	NOMINAL	MINIMO	MAXIMO
<b>OPERACIONALES</b>					
Tamaño de Motor	--	c.c.	2.000	1.000	3.000
Voltaje de Operación	--	Voltios	12	12	12
Corriente de Operación	--	Amperios	8	4	12
Consumo de Agua <sup>1</sup>	Desmineralizada	Litros/Hora	0.02	0.01	0.04
Presión de Inyección	--	PSI	1	0.5	2
Producción de Gas HHO <sup>1</sup>	--	Litros/Hora	48	24	72
Temperatura de Operación	--	Grados Celsius	40	-10	60
<b>QUIMICAS</b>					
Reducción de Gases Contaminantes <sup>2, 3</sup>	NTC 4231, NTC 5365 y NTC 4983	Hidrocarburos / CO / Opacidad	--	0	96
<b>DESCRIPTIVAS</b>					
Mangueras	Malla Nylon	Pulgadas	¼	--	--
Cableado	Certificado	AWG	10	--	--
Dimensiones del Equipo	Alto	Cm	45	--	--
	Ancho	Cm	35	--	--
	Fondo	Cm	25	--	--
Capacidad Deposito Agua	--	Litros	1.5	1.5	1.5
Protección Sobre Carga	Fusible electrónico	Amp	30	20	35
<b>CARACTERISTICAS</b>			<b>CONDICIONES</b>		
<b>ATRIBUTOS</b>					
Protección Retro Flama	Reemplazar cada 3 meses				
Luz de Alarma	Enciende cuando se presenta bajo nivel de electrolito				
Electrolito	powerEl				
Control Electrónico	Ciclo Cerrado				

### 5.1.2 Otras celdas en el mercado



- No tienen controlador electrónico el cual el flujo de hidrogeno no es exacto
- No cuentan con plug and play el cual de 0 a 100% el sistema brinda información del porcentaje real de hidrogeno utilizado
- Al no estar reguladas electrónicamente no se determina cuándo flujo se necesita para que el sistema trabaje bien o mal.

- Al no tener un controlador puede descargar la batería y ocasionar otros daños a las partes internas del motor.

### 5.1.3 Otras empresas y/o personas naturales que fabrican celdas:

#### 5.1.3.1 Hidromovil de Colombia S.A.S:



Ubicado en la ciudad de Bogotá y con desarrollo de celdas secas empezó desde hace 3 años en el sector automotriz y actualmente está desarrollando equipos para el sector industrial. Sus equipos no cuentan con electrónica y la apariencia de los mismos parece no ser la mejor dado que su fabricación es bastante artesanal. Sistema generador de hidrogeno vehicular: incrementa el rendimiento del combustible aumentando el kilometraje hasta un 50%, mejora la potencia y rendimiento general del motor.

Para motores de carburador de 2100 cm<sup>3</sup> a 5000cm<sup>3</sup>  
\$ 750.000 COP valle del cauca

Funciona con agua por electrolisis, tecnología para vehículos a gasolina, diesel o gas( este generador es para cualquier automóvil o vehículo pesado), aumenta hasta un 50% la autonomía del vehículo, no es peligroso, no hay almacenamiento de

hidrogeno, produce solo lo que el consume, aumenta la potencia del vehículo, no genera olores molestos, reducción de emisiones contaminantes, permite cumplir la exigencia legal y/o protección del medio ambiente, no necesita certificaciones anuales, vida útil de 400.000 km, todo el respaldo técnico, talleres y concesionarios autorizados, franquicia única para Colombia, generador de hidrogeno, última tecnología, garantizado 100%v y garantía de un año \$ 2.300.000 COP Bogotá.

### 5.1.3.2 Powercol. <http://www.powercol.com.co>



Empresa dedicada a la comercialización y no fabricación. Fueron distribuidor de powerHHO en Bogotá y por temas comerciales se decidió suspender el suministro de producto. Actualmente dicen comercializar equipos de España e Inglaterra, aunque en registros de importaciones solo aparece la compra de un equipo a la empresa Española Ecoenergy Fuel. Sin embargo, podrían estar haciendo la compra de equipos a través de la empresa Jupiter Elite - Mars Technology Group.

## 5.2 Etapa 2: Diseño de montaje

En esta etapa se diseñara la adaptación de la alternativa seleccionada para la generación de HHO al motor diésel, primero se harán unas adaptaciones en el múltiple de admisión del

motor estacionario para que se pueda introducir el hydroxy de la manera adecuada. Segundo se desmontara el conjunto móvil y piezas de desgaste del motor para realizar su respectiva medida, ya que se toman las medidas y evaluar el desgaste de las piezas, con esto analizar si utilizando el hydroxy se alarga la vida útil del motor. Tercero se hará el cálculo para saber que tanto flujo de hydroxy se necesita para que el motor funcione de una manera óptima realizando trabajos experimentales hasta encontrar la mezcla adecuada. Cuarto al encontrar el flujo adecuado, se realizará pruebas de desgaste del motor utilizando el hydroxy, posteriormente se desmontara el conjunto móvil del motor para evaluar las piezas de desgaste y que tanto se han dañado en su vida útil. Quinto evaluar si reduce o aumenta la contaminación en el medio ambiente por medio de una prueba de gases que es muy similar a la revisión Técnico-Mecanica que se le realizan a los vehículos.

## **6. Resultados del proyecto o diseño técnico**

### **6.1 Selección de la mejor alternativa para la producción de hydroxy**

A continuación se realiza unas tablas comparativas sobre la matriz de resultados para la selección adecuada de la celda de hydroxy:

#### **6.1.1 Comparación sobre la importancia de las características de una celda de hidrogeno**

A continuación se usara una matriz de selección para comparar las características más relevantes de las fichas técnicas de la celda de hidrogeno que ofrecen cada una de las empresas fabricantes. Las características a evaluar son:

- Flujo (F): Caudal de hidrogeno que puede entregar la celda sobre determinados regímenes de funcionamiento; entendiéndose que una celda que entregue más flujo será más eficiente.
- Consumo corriente (CC): Es el consumo de corriente eléctrica que usa la celda para su correcto funcionamiento, siendo lo ideal usar una celda con menor consumo corriente.
- Tamaño (T): Se trata de las dimensiones de la celda, siendo más conveniente usar una celda de menor tamaño debido a que esta generalmente va instalada en el compartimiento del motor.
- Costo (C): Es el valor monetario de la celda, sobreentendiéndose que una celda de menor valor sería la más conveniente.
- Tamaño de depósito (TD): Son las dimensiones del tanque que necesita la celda para almacenar agua de donde obtiene el hidrogeno para funcionar. En este caso un tamaño de depósito grande, que albergue un mayor volumen significa un menor número de recargas del tanque durante un tiempo determinado.
- Número de placas (NP): Cantidad de placas que contiene la celda, las cuales cumplen la función de separar en el agua el hidrogeno del oxígeno, por ende entre mayor sea la cantidad, mayor será la eficiencia de la celda.
- Tecnología (TE): Son los elementos que trae incorporado la celda para su correcto funcionamiento, tales como sensores y demás dispositivos electrónicos.

Se eligieron las anteriores características pues estas reúnen propiedades del dispositivo que las hacen más adecuadas para el motor, influyendo directamente en su calidad y eficiencia.

Para la realización de esta matriz se tendrá en cuenta los siguientes valores:

10 = Mucho más importante

1/5 = Menos importante

5 = Más importante

1/10 = Mucho menos importante

1 = Igual

Estos serán dados a cada una de las características anteriormente expuestas, y están representados en la siguiente tabla:

	F	CC	T	C	TD	NP	TE	Suma	Factor de ponderación (FP)
Flujo(F)		10	1	10	5	1/10	1	27.1	0.19
Consumo corriente (CC)	1/10		1/5	10	1/10	1/10	1	11.5	0.08
Tamaño (T)	1	5		5	5	1/10	10	26.1	0.183
Costo (C)	1/10	1/5	1/5		1	10	1/10	11.6	0.081
Tamaño del depósito (TD)	1/5	10	1/5	1		1/5	1	12.6	0.088
Número de placas(NP)	10	10	10	1/10	5		5	40.1	0.088
Tecnología(TE)	1	1	1/10	10	1	1/5		13.3	0.093
							Total	142.3	

$$FP: \frac{Suma}{Total}$$

Con la anterior tabla se puede observar que entre características las más importantes son: Flujo, tamaño y tecnología pues estas son las que mayor peso tienen, es decir, mayor puntaje ponderado obtuvieron. Por esto estas son los factores que más se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar la celda.

### 6.1.2 Comparación del flujo de celdas de hidrogeno en distintas empresas

Ahora se le dará un puntaje a la característica mencionada teniendo en cuenta su descripción en la ficha técnica de cada empresa y se comparará una frente a otra para así obtener un resultado que muestre cuál se destaca. Este puntaje será dado de acuerdo a la siguiente escala:

10 = Mucho mejor

1/5 = Peor

5 = Mejor

1/10 = Mucho peor

1 = Igual

<b>FLUJO</b>					
	<b>Power HHO</b>	<b>HHO plus</b>	<b>Green Source</b>	Suma	Peso de la opción
<b>Power HHO</b>		10	1/10	10.1	0.3
<b>HHO plus</b>	1/10		1/10	0.2	0.0006
<b>Green Source</b>	10	10		20	0.66
TOTAL				30.3	



### 6.1.3 Comparación del consumo de corriente de las celdas de hidrogeno en distintas empresas

Ahora se le dará un puntaje a la característica mencionada teniendo en cuenta su descripción en la ficha técnica de cada empresa y se comparará una frente a otra para así obtener un resultado que muestre cuál se destaca. Este puntaje será dado de acuerdo a la siguiente escala:

10 = Mucho mejor

1/5 = Peor

5 = Mejor

1/10 = Mucho peor

1 = Igual

<b>CONSUMO CORRIENTE</b>					
	<b>Power HHO</b>	<b>HHO plus</b>	<b>Green Source</b>	Suma	Peso de la opción
<b>Power HHO</b>		1	1	2	3
<b>HHO plus</b>	1		1	2	3
<b>Green Source</b>	1	1		2	3
TOTAL				6	

### 6.1.4 Comparación del tamaño de las celdas de hidrogeno en distintas empresas

Ahora se le dará un puntaje a la característica mencionada teniendo en cuenta su descripción en la ficha técnica de cada empresa y se comparará una frente a otra para así obtener un resultado que muestre cuál se destaca. Este puntaje será dado de acuerdo a la siguiente escala:

10 = Mucho mejor

1/5 = Peor

5 = Mejor

1/10 = Mucho peor

1 = Igual

<b>TAMAÑO DE LA CELDA</b>					
	<b>Power HHO</b>	<b>HHO plus</b>	<b>Green Source</b>	Suma	Peso de la opción
<b>Power HHO</b>		1/5	10	10.2	0.49
<b>HHO plus</b>	5		5	10	0.48
<b>Green Source</b>	1/10	1/5		0.3	0.14
TOTAL				20.5	

### 6.1.5 Comparación del costo de las celdas de hidrogeno en distintas empresas

Ahora se le dará un puntaje a la característica mencionada teniendo en cuenta su descripción en la ficha técnica de cada empresa y se comparará una frente a otra para así obtener un resultado que muestre cuál se destaca. Este puntaje será dado de acuerdo a la siguiente escala:

10 = Mucho mejor

1/5 = Peor

5 = Mejor

1/10 = Mucho peor

1 = Igual

<b>COSTOS</b>					
	<b>Power HHO</b>	<b>HHO plus</b>	<b>Green Source</b>	Suma	Peso de la opción
<b>Power HHO</b>		1/10	5	5.1	0.204
<b>HHO plus</b>	10		10	20	0.787
<b>Green Source</b>	1/5	1/10		0.3	0.011
TOTAL				25.4	

### **6.1.6 Comparación del tamaño del depósito de las celdas de hidrogeno en distintas empresas**

Ahora se le dará un puntaje a la característica mencionada teniendo en cuenta su descripción en la ficha técnica de cada empresa y se comparará una frente a otra para así obtener un resultado que muestre cuál se destaca. Este puntaje será dado de acuerdo a la siguiente escala:

10 = Mucho mejor

1/5 = Peor

5 = Mejor

1/10 = Mucho peor

1 = Igual

<b>TAMAÑO DEL DEPOSITO</b>					
	<b>Power HHO</b>	<b>HHO plus</b>	<b>Green Source</b>	Suma	Peso de la opción
<b>Power HHO</b>		5	1/5	5.2	0.236
<b>HHO plus</b>	1/5		1/10	0.3	0.014
<b>Green Source</b>	5	10		15	0.731
TOTAL				20.5	

### 6.1.7 Comparación del número de placas de las celdas de hidrogeno en distintas empresas

Ahora se le dará un puntaje a la característica mencionada teniendo en cuenta su descripción en la ficha técnica de cada empresa y se comparará una frente a otra para así obtener un resultado que muestre cuál se destaca. Este puntaje será dado de acuerdo a la siguiente escala:

10 = Mucho mejor

1/5 = Peor

5 = Mejor

1/10 = Mucho peor

1 = Igual

NUMERO DE PLACAS					
	Power HHO	HHO plus	Green Source	Suma	Peso de la opción
Power HHO		5	5	10	0.806
HHO plus	1/5		1	1.2	0.096
Green Source	1/5	1		1.2	0.096
TOTAL				12.4	

### 6.1.8 Comparación de la tecnología de las celdas de hidrogeno en distintas empresas

Ahora se le dará un puntaje a la característica mencionada teniendo en cuenta su descripción en la ficha técnica de cada empresa y se comparará una frente a otra para así obtener un resultado que muestre cuál se destaca. Este puntaje será dado de acuerdo a la siguiente escala::

10 = Mucho mejor

1/5 = Peor

5 = Mejor

1/10 = Mucho peor

1 = Igual

TECNOLOGIA					
	Power HHO	HHO plus	Green Source	Suma	Peso de la opción
Power HHO		10	10	20	0.787
HHO plus	1/10		1/5	0.3	0.011
Green Source	1/10	5		5.1	0.204
TOTAL				25.4	

### 6.1.9 Matriz final de los resultados

Se multiplica el Factor de Ponderación (FP) por el Peso de la Opción (PO) respectivo.

Luego sumar cada fila para obtener el puntaje final para cada opción. Finalmente

seleccionar la opción de mayor puntaje.

	Flujo (F)		Consumo corriente (CC)		Tamaño (T)		Costo (C)		Tamaño depo (TD)		Numero placas		Tecnología (TE)		Puntaje final
	FP.	PO.	FP.	PO.	FP.	PO.	FP.	PO.	FP.	PO.	FP.	PO.	FP.	PO.	
Power HHO	0.19 X 0.3		0.08 X 3		0.183 X 0.49		0.081 X 0.204		0.088 X 0.236		0.088 X 0.806		0.093 X 0.787		0.581
	0.073		0.24		0.089		0.016		0.02		0.07		0.073		
HHO Plus	0.19 X 0.0006		0.08 X 3		0.183 X 0.48		0.081 X 0.787		0.088 X 0.014		0.088 X 0.096		0.093 X 0.011		0.313
	1.14x10 <sup>-4</sup>		0.24		0.087		0.063		1.232x10 <sup>-3</sup>		8.448x10 <sup>-3</sup>		1.023x10 <sup>-3</sup>		
Green source	0.19 X 0.66		0.08 X 3		0.183 X 0.14		0.081 X 0.011		0.088 X 0.731		0.088 X 0.096		0.093 X 0.204		0.489
	0.125		0.24		0.025		8.91x10 <sup>-3</sup>		0.064		8.448x10 <sup>-3</sup>		0.018		

En el mercado nacional la gran mayoría por no decir que todos los dispositivos son fabricados sin ningún tipo de estándar o certificación y en forma empírica y artesanal, aparte de eso se encuentran sistemas muy rudimentarios que lo que hacen es poner una carga adicional, al no ser controlados electrónicamente no se puede tener una supervisión y

determinar datos exactos, lo que puede provocar otros problemas. Además otra problemática que se encuentran es que las empresas nacionales no tienen fichas técnicas, haciendo que **POWER HHO** sea la ÚNICA empresa colombiana en tenerla, por lo tanto esta es la mejor opción que nos lanza la matriz por tener mayor puntaje final.

Para realizar esta matriz no se pudo realizar las comparaciones con las empresas colombianas por obvias razones y se optó por hacerla internacionalmente. La empresa **HHO Plus** es española y la otra **GREEN SOURCE** es Canadiense.

A continuación las tres fichas técnicas de cada una de las empresas:

#### **6.1.9.1 POWER HHO**

##### Componentes

- Celda PWV 60P ALTIUM.
- Depósito electrolito de 2L.
- Módulo de control electrónico digital con control automático de corriente en lazo cerrado.
- Sistema de fusible electrónico programable.
- Cableado completo.
- Válvula arrestallamas.
- Filtro secador con accesorios.
- Amarres.
- Conexión plástica para admisión de 1/4".
- Manguera Venturi de 3/8".

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO					
CARACTERISTICAS	CONDICIONES	UNIDADES	NOMINAL	MINIMO	MAXIMO
<b>OPERACIONALES</b>					
Tamaño de Motor	--	HP	2000	1000	3000
Voltaje de Operación	--	Voltios	12	12	12
Corriente de Operación	--	Amperios	7	5	10
Consumo de Agua <sup>1</sup>	Desmineralizada	Litros/Hora	0.008	0.005	0.02
Presión de Inyección	--	PSI	2.5	0.8	5
Producción de Gas HHO <sup>1</sup>	--	Litros/Hora	42	30	60
Temperatura de Operación	--	Grados Celsius	40	-10	60
<b>QUIMICAS</b>					
Reducción de Gases Contaminantes <sup>2,3</sup>	NTC 4231, NTC 5365 y NTC 4983	Hidrocarburos / CO / Opacidad	--	0	96
<b>DESCRIPTIVAS</b>					
Mangueras	Malla Nylon	Pulgadas	¼	--	--
Cableado	Certificado	AWG	10	--	--
Dimensiones del Equipo	Alto	Cm	45	--	--
	Ancho	Cm	35	--	--
	Fondo	Cm	25	--	--
Capacidad Deposito Agua	--	Litros	1.5	1	1.5
Protección Sobre Carga	Fusible electrónico	Amp	30	15	35
<b>CARACTERISTICAS</b>			<b>CONDICIONES</b>		
<b>ATRIBUTOS</b>					
Protección Retro Flama	Reemplazar cada 3 meses				
Luz de Alarma	Enciende cuando se presenta bajo nivel de electrolito				
Electrolito	powerEl				
Control Electrónico	Ciclo Cerrado				

### 6.1.9.2 HHO PLUS

Especificaciones técnicas:

- Tipo de generador: dry cell ( celda seca)
- Tamaños estándar: 110x110x110 mm
- Placas : 13
- Tensión: 12V
- Conexión estándar eléctrico de la célula : + NNNNN – NNNNN + (N- PLACA NEUTRA)
- Producción de hidrogeno : 1L por minuto ( 12A)
- Electricidad optima : 6-8A





### 6.1.9.3 GREEN SOURCE

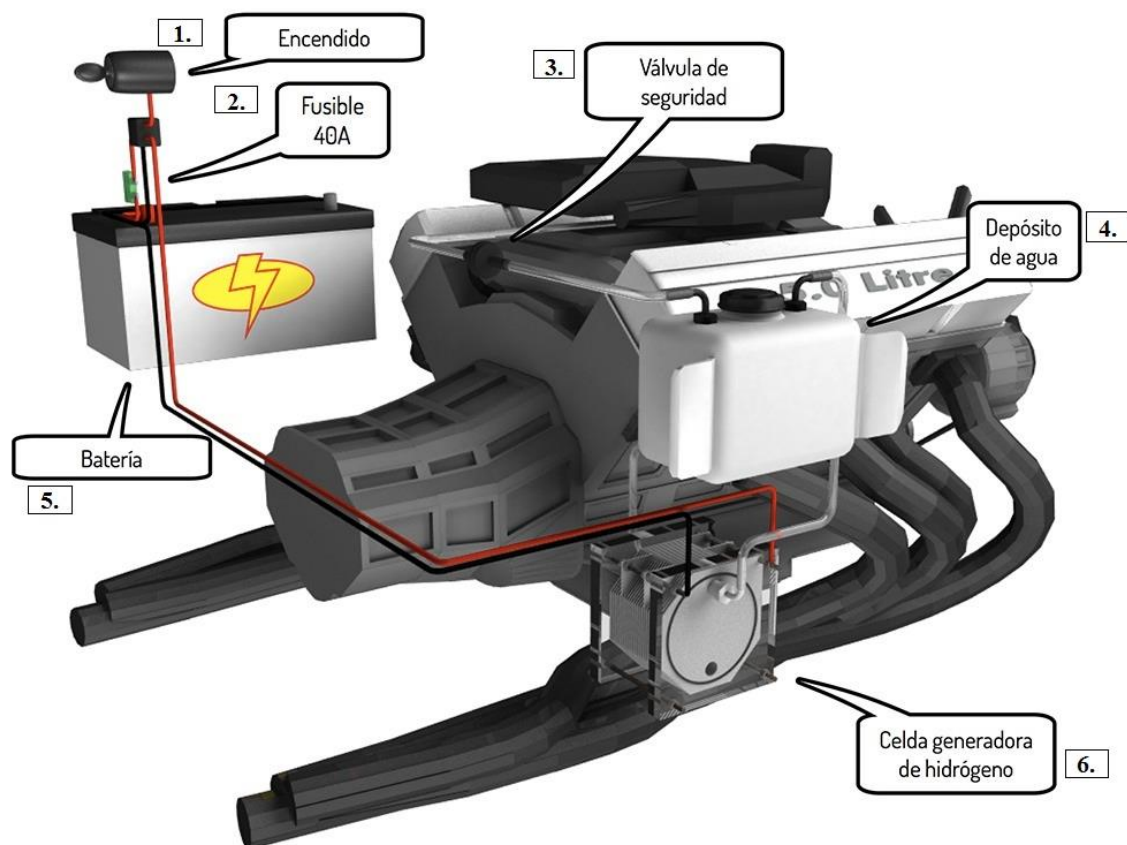
Especificaciones:

- Tamaño máximo del motor : 16L
- Máxima salida de hidrogeno : 5.8L / min
- Consumo corriente eléctrica : 1-80 A
- Corriente eléctrica recomendada para motores de 16L: 30<sup>a</sup>
- Voltaje de funcionamiento : 12V o 24V
- Configuración de electrodos : 13 placas (10 neutrales)
- Grado de intoxicación de componentes : 316 (el más alto posible )
- Tamaño del generador: 25.4 x 25.4 x 3cm
- Tamaño del depósito: 22x24x10cm



## **6.2 Diseño del montaje de la celda de hydroxy en un motor de combustion interna**

Este es un prototipo de cómo está instalada una celda de hydroxy en un motor de combustión interna, cabe resaltar que esta instalación es de carácter genérico, es decir, de esta manera se instala en cualquier motor de combustión interna; el cual cuenta con un depósito de electrolito (agua desmineralizada), una batería de 12 o 24 voltios la cual alimenta al sistema, un swiche que prende y apaga el sistema, una válvula de seguridad (arresta llamas) que es para proteger el sistema en caso de que una chispa se devuelva y el hydroxy es introducido por la admisión de aire lo más cercanamente posible al bloque del motor para hacer más rica la mezcla.



1. Encendido
2. Fusible 40Amp
3. Válvula de seguridad
4. Depósito de agua
5. Batería
6. Celda generadora de hidrogeno

*Imagen extraída de la página: <http://www.hidrocell.net/>*

## 7. Conclusiones

- El sector comercial de las celdas de hydroxy en nuestro país es muy reducido, las pocas que existen en el mercado no están a la vanguardia de la tecnología ya que no poseen un dispositivo electrónico para controlar el flujo del hidrogeno que produce la celda
- Según las investigaciones realizadas se puede decir que la implementación de este sistema en los motores de combustión interna es beneficioso a comparación de los que funcionan netamente con combustibles fósiles ya que el hydroxy reduce las emisiones contaminantes y mejora el rendimiento del motor.
- Las investigaciones de R. Shinnar mostraron que los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), y consumo de combustible se redujeron en un 50%, 20% y 30%, respectivamente, con una adición de HHO
- Según el investigador Al-Rousan dice que el tamaño óptimo de la pila de combustible es cuando el área de la superficie de un electrolito necesario para generar suficiente cantidad de HHO es veinte veces mayor que la de la superficie del pistón. Además, el volumen de agua necesario en la célula es de aproximadamente una vez y media la capacidad del motor.

## Bibliografia

- [1] A. A. Al-Rousan, "Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 23, pp. 12930–12935, 2010.
- [2] D. R. Tobergte and S. Curtis, "No Title No Title," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [3] M. Momirlan and T. . Veziroglu, "Current status of hydrogen energy," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 6, no. 1–2, pp. 141–179, 2002.
- [4] R. Shinnar, "The hydrogen economy, fuel cells, and electric cars," *Technol. Soc.*, vol. 25, no. 4, pp. 455–476, 2003.
- [5] R. M. Santilli, "A new gaseous and combustible form of water," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 31, no. 9, pp. 1113–1128, 2006.
- [6] S. Dunn, "Hydrogen futures : toward a sustainable energy system," vol. 27, pp. 235–264, 2002.
- [7] I. Schulte, D. Hart, and R. Van Der Vorst, "Issues affecting the acceptance of hydrogen fuel," vol. 29, pp. 677–685, 2004.
- [8] M. P. Hekkert, J. F. Van Giessel, M. Ros, M. Wietschel, and M. T. H. Meeus, "The evolution of hydrogen research: Is Germany heading for an early lock-in?," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 30, no. 10, pp. 1045–1052, 2005.
- [9] L. Barreto, A. Makihira, and K. Riahi, "The hydrogen economy in the 21st century:

- A sustainable development scenario,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 28, no. 3, pp. 267–284, 2003.
- [10] H. T. Arat, M. K. Baltacioglu, M. Özcanli, and K. Aydin, “Effect of using Hydroxy - CNG fuel mixtures in a non-modified diesel engine by substitution of diesel fuel,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 1, pp. 0–9, 2015.
- [11] I. Dincer, “Technical, environmental and exergetic aspects of hydrogen energy systems,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 27, no. 3, pp. 265–285, 2002.
- [12] C. Battle, C. Vázquez, M. Rivier, and I. J. Pérez-Arriaga, “Enhancing power supply adequacy in Spain: Migrating from capacity payments to reliability options,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 32, no. 15 SPEC. ISS., pp. 3555–3564, 2007.
- [13] S. Bougrine, S. Richard, A. Nicolle, and D. Veynante, “Numerical study of laminar flame properties of diluted methane-hydrogen-air flames at high pressure and temperature using detailed chemistry,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 18, pp. 12035–12047, 2011.
- [14] V. Chintala and K. A. Subramanian, “A CFD (computational fluid dynamics) study for optimization of gas injector orientation for performance improvement of a dual-fuel diesel engine,” *Energy*, vol. 57, no. x, pp. 709–721, 2013.
- [15] K. Pichayapat, S. Sukchai, S. Thongsan, and A. Pongtornkulpanich, “Emission characteristics of using HCNG in the internal combustion engine with minimum pilot diesel injection for greater fuel economy,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 23, pp. 12182–12186, 2014.
- [16] C. Park, S. Lee, G. Lim, Y. Choi, and C. Kim, “Full load performance and emission

characteristics of hydrogen-compressed natural gas engines with valve overlap changes,” *Fuel*, vol. 123, pp. 101–106, 2014.

- [17] G. K. Lilik, H. Zhang, J. M. Herreros, D. C. Haworth, and A. L. Boehman, “Hydrogen assisted diesel combustion,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 9, pp. 4382–4398, 2010.
- [18] C. Liew, H. Li, J. Nuszowski, S. Liu, T. Gatts, R. Atkinson, and N. Clark, “An experimental investigation of the combustion process of a heavy-duty diesel engine enriched with H<sub>2</sub>,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 20, pp. 11357–11365, 2010.
- [19] S. Verhelst and T. Wallner, “Hydrogen-fueled internal combustion engines,” *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 35, no. 6, pp. 490–527, 2009.
- [20] T. Korakianitis, A. M. Namasivayam, and R. J. Crookes, “Diesel and rapeseed methyl ester (RME) pilot fuels for hydrogen and natural gas dual-fuel combustion in compression-ignition engines,” *Fuel*, vol. 90, no. 7, pp. 2384–2395, 2011.
- [21] A. Boretti, “Comparison of fuel economies of high efficiency diesel and hydrogen engines powering a compact car with a flywheel based kinetic energy recovery systems,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 16, pp. 8417–8424, 2010.
- [22] M. Klell, H. Eichlseder, and M. Sartory, “Mixtures of hydrogen and methane in the internal combustion engine - Synergies, potential and regulations,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 15, pp. 11531–11540, 2012.
- [23] M. S. Lounici, A. Boussadi, K. Loubar, and M. Tazerout, “Experimental investigation on NG dual fuel engine improvement by hydrogen enrichment,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 36, pp. 21297–21306, 2014.

- [24] N. Saravanan and G. Nagarajan, "An experimental investigation of hydrogen-enriched air induction in a diesel engine system," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 33, no. 6, pp. 1769–1775, 2008.
- [25] S. A. Musmar and A. A. Al-Rousan, "Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines," *Fuel*, vol. 90, no. 10, pp. 3066–3070, 2011.
- [26] S. Wang, C. Ji, B. Zhang, and X. Liu, "Performance of a hydroxygen-blended gasoline engine at different hydrogen volume fractions in the hydroxygen," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 17, pp. 13209–13218, 2012.
- [27] S. Wang and C. Ji, "Cyclic variation in a hydrogen-enriched spark-ignition gasoline engine under various operating conditions," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 1, pp. 1112–1119, 2012.
- [28] S. Wang, C. Ji, and B. Zhang, "Starting a spark-ignited engine with the gasoline-hydrogen mixture," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 7, pp. 4461–4468, 2011.
- [29] S. Wang, C. Ji, J. Zhang, and B. Zhang, "Comparison of the performance of a spark-ignited gasoline engine blended with hydrogen and hydrogen-oxygen mixtures," *Energy*, vol. 36, no. 10, pp. 5832–5837, 2011.
- [30] F. Amrouche, P. Erickson, J. Park, and S. Varnhagen, "An experimental investigation of hydrogen-enriched gasoline in a Wankel rotary engine," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 16, pp. 8525–8534, 2014.
- [31] V. Chintala and K. A. Subramanian, "Experimental investigation of hydrogen energy share improvement in a compression ignition engine using water injection and compression ratio reduction," *Energy Convers. Manag.*, vol. 108, no. x, pp. 106–



119, 2016.

- [32] X. Zhen, Y. Wang, S. Xu, and Y. Zhu, “Study of knock in a high compression ratio spark-ignition methanol engine by multi-dimensional simulation,” *Energy*, vol. 50, no. 1, pp. 150–159, 2013.
- [33] E. Peduzzi, L. Tock, G. Boissonnet, and F. Maréchal, “Thermo-economic evaluation and optimization of the thermo-chemical conversion of biomass into methanol,” *Energy*, vol. 58, pp. 9–16, 2013.
- [34] S. Raviteja, G.N. Kumar “Effect of hydrogen addition on the performance and emission parameters of an SI engine fueled with butanol blends at stoichiometric conditions” *Int. J. Hydrogen Energy*, 40 (2015), pp. 9563–9569
- [35] K.V. Shivaprasad, S. Raviteja, P. Chitragar, G.N. Kumar “Experimental investigation of the effect of hydrogen addition on combustion performance and emissions characteristics of a spark ignition high speed gasoline engine” 2nd International Conference on Innovations in Automation and Mechatronics Engineering, ICIAME (2014)