



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: 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**

**AUTORES: DIEGO ALONSO JUMA YAR
HOLGUER WLADIMIR MARTÍNEZ ANANGONÓ**

**DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO
CODIRECTOR: ING. JUAN CASTRO**

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ****CERTIFICADO**

ING. GERMÁN ERAZO (DIRECTOR)

ING. JUAN CASTRO (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el proyecto titulado “**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**”, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Debido a que constituye un proyecto de excelente contenido científico que servirá para la enseñanza/aprendizaje, a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, por lo que si recomendamos su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto los cuales contienen los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF). Autorizan a los señores: DIEGO ALONSO JUMA YAR y HOLGUER WLADIMIR MARTINEZ ANANGONÓ que lo entregue al ING. JUAN CASTRO, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Abril del 2015.

Ing. Germán Erazo
DIRECTOR

Ing. Juan Castro
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros: Diego Alonso Juma Yar
Holguer Wladimir Martínez Anangonó

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “**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**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra exclusiva autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Abril del 2015.

Diego Alonso Juma Yar
C.I.: 100321392-1

Holguer Wladimir Martínez Anangonó
C.I.: 171331974-5

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
AUTORIZACIÓN

Nosotros: Diego Alonso Juma Yar
Holguer Wladimir Martínez Anangón

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución el proyecto de grado denominado **“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”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Abril del 2015.

Diego Alonso Juma Yar
C.I.: 100321392-1

Holguer Wladimir Martínez Anangón
C.I.: 171331974-5

DEDICATORIA

Primeramente a Dios por guiarme cada día por el camino del bien y por alcanzar esta meta, en ocasiones existieron caídas pero solo fueron para tomar más fuerza y seguir adelante para cumplir este sueño.

A mis padres Marianita Yar y Alonso Juma quienes me apoyaron incondicionalmente, cuando más los necesite siempre estuvieron ahí dándome la mano y una voz de aliento, supieron enseñarme a alcanzar todos mis sueños con humildad y honradez sin importar el obstáculo y con perseverancia se hicieron realidad.

A mi hermana Gaby Juma y Francisco Y. que sin llevar la sangre en las venas somos hermanos, que de una manera u otra siempre estuvieron ayudándome cuando necesité y por brindarles consuelo en los momentos de tristeza a mis padres en el tiempo que me ausenté de mi querido hogar.

Diego Juma

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Holguer Martínez y Teresa Anangonó, los pilares fundamentales de mi vida, que con su diario esfuerzo y sacrificio me permitieron salir adelante a pesar de las adversidades que se me presentaron. Gracias a ellos pude obtener mi título de ingeniería.

A mis hermanos Marco, Iván y Christian que desde que era niño se convirtieron en mi ejemplo a seguir y siempre me han apoyado brindándome un apoyo incondicional

A mi mejor amigo, Edison Salazar, que con sus sueños de ser piloto de Fórmula Uno me inspiró a seguir la carrera que siempre anheló y a quien considero mi hermano.

A Danny Sierra, por brindarme su inagotable amor durante mis años de universidad.

Wlady M.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y la salud para culminar este proyecto, por darme el privilegio de compartir momentos maravillosos con unos padres tan buenos, por haberme dado la oportunidad de conocer distintas clases de amigos y aprender de ellos que para ser feliz no hace falta tener mucho dinero.

A mis padres por enseñarme a ser humilde con los demás, el camino que recorrí en la vida universitaria fue difícil y que el esfuerzo y perseverancia fue gracias a ellos que me supieron inculcar los valores positivos para alcanzar la meta.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE por abrirme las puertas y brindarme todos los conocimientos y enseñanzas que tienen los maestros para llegar hacer un líder.

Al Ing. Leonidas Quiroz por brindar sus consejos y enseñanzas para terminar este proyecto y que a más de ser un maestro me ha brindado su amistad.

A los ingenieros Germán Erazo como Director y Juan Castro como codirector que compartieron sus experiencias y enseñanzas para direccionar la elaboración de este proyecto.

A mis tíos, tías, primos, en si toda mi familia que siempre me estuvieron apoyando, brindándome la mano y con palabras de aliento que me sirvió para levantarme ante las caídas.

A mi compañero de tesis Wladimir Martínez y a su familia por el apoyo en los momentos más difíciles que se presentaron en el trayecto del proyecto.

A mis amigos y compañeros que encontré en el trayecto de mi vida profesional que supieron brindarme su amistad y que los chistes y las risas, las malas noches y amanecidas de estudio, las anécdotas, las cosas malas y buenas que pasamos serán un álbum de recuerdos que siempre perduraran en nuestras mentes.

Diego Juma

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por brindarme el privilegio de darme la vida para poder vivir hermosos momentos junto a ellos.

A los ingenieros German Erazo y Juan Castro tutores del presente proyecto y docentes de excelencia que fueron parte fundamental para la culminación de esta meta.

A mi compañero de tesis, Diego Juma con quien aprendí y compartí un sinnúmero de buenas y malas experiencias, las cuales fomentaron nuestra amistad.

A mis compañeros de carrera Edu Guevara y Andrés Moreno porque con el pasar del tiempo se convirtieron más que en compañeros de aula en amigos incondicionales que siempre me brindaron su apoyo.

A mis grandes amigos, Edison Salazar y Carlos Fustillos a quienes conozco hace muchos años atrás y que me han enseñado que pase lo que pase la amistad de un amigo dura toda la vida.

A mi amiga Lore Moya por siempre brindarme su sincera amistad durante mi etapa de estudiante y después de la misma.

A mi tío Franklin quien aportó desinteresadamente con sus conocimientos, tiempo y paciencia en el desarrollo de este proyecto

A todos mis amigos, compañeros, familiares y conocidos que desinteresadamente hicieron posible que este proyecto pueda concluir de forma exitosa.

Wlady M.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
1. CAPÍTULO I	
INVESTIGACIÓN DEL USO DEL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE	
EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 HIPÓTESIS	4
1.5 ÁREA DE INFLUENCIA	4
1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	4
1.7 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.7.1. Variable Independiente	6
1.7.2. Variable Dependiente.	7

2. CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO 8

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MOTOR KAWASAKI ZX 750F 8

2.1.1 Identificación del motor 8

2.1.2 Sistema de alimentación de combustible..... 10

2.2 EL HIDRÓGENO 11

2.2.1 Antecedentes del uso del hidrógeno 11

2.2.2 Propiedades del hidrógeno 12

2.2.3 Métodos de obtención del hidrógeno 13

2.2.4 Almacenamiento 17

2.2.5 Usos del hidrógeno en automoción..... 21

2.3 SISTEMA DE GENERACIÓN DE GAS HHO..... 23

2.3.1 Gas Brown 23

2.3.2 Celdas electrolizadoras..... 24

2.3.3 Tipos de celdas electrolizadoras..... 26

2.3.4 Reactivos y materiales seleccionados 28

2.4 GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN DE LA GASOLINA 32

2.4.1 PARTES INTEGRALES PRINCIPALES 33

2.4.2 Partes integrales secundarias..... 34

2.4.3 Niveles permitidos de gases contaminantes 35

3. CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE GAS HHO PARA EL VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO BUGGY 38

3.1 DESARROLLO DEL DISEÑO DEL GENERADOR DE GAS HHO 38

3.1.1 Levantamiento de requerimientos..... 38

3.1.2 Volumen interno del generador de gas HHO 39

3.1.3 Flujo de gas HHO 40

3.2 MATEMATIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO 43

3.2.1 Cálculo del volumen interno.....	43
3.2.2 Cálculo de flujo del gas HHO.....	44
3.3 CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR DE GAS HHO	46
3.3.1 Elaboración de las placas neutras	50
3.3.2. Elaboración de placas positivas y negativas.....	51
3.3.3 Elaboración de las placas para topes	52
3.3.4 Elaboración de los separadores de las placas.....	54
3.4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO Y DEL BURBUJEADOR.....	58
3.4.1 Especificaciones técnicas del depósito y burbujeador	58
3.4.2 Componentes del depósito y del burbujeador.....	59
3.4.3 Construcción del depósito y del burbujeador	60
3.5 DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO	63
3.6 COMPONENTES DEL CIRCUITO ELÉCTRICO	65
4. CAPÍTULO IV	
INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE HHO EN EL VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO BUGGY	68
4.1 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD	68
4.2 CONSIDERACIONES INICIALES.....	68
4.3 COMPONENTES DEL SISTEMA PARA LA INSTALACIÓN	69
4.4 PROCESO DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA.....	70
4.4.1 Generador de hho.....	70
4.4.2 Depósito y burbujeador.....	71
4.4.3 Sistema de control	72
4.4.4 Mangueras.....	72
4.5 PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA.....	72
4.6 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE GAS HHO..	73
4.6.1 Nivel de agua destilada.....	73

4.6.2 Mangueras y acoples.....	73
4.6.3 Limpieza del generador.....	74
5. CAPÍTULO V	
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	75
5.1 PRUEBAS DE POTENCIA Y TORQUE.....	75
5.2 PRUEBAS DE AUTONOMÍA (CONSUMO DE COMBUSTIBLE).....	80
5.3 EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES.....	82
6. CAPÍTULO VI	
MARCO ADMINISTRATIVO.....	86
6.1 RECURSOS.....	86
6.1.1 Recursos humanos.....	86
6.1.2 Recursos tecnológicos.....	87
6.1.3 Recursos materiales.....	87
6.2. COSTO DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE HHO.....	88
CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....	94
NETGRAFÍA.....	94
ANEXOS.....	97
ANEXO A: FICHA TÉCNICA - ACERO INOXIDABLE 316L	
ANEXO B: HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD– AGUA DESTILADA	
ANEXO C: HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD–HIDRÓXIDO DE POTASIO	
ANEXO D: PLANOS	
ANEXO E: ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Operacionalización de la variable independiente.....	6
Tabla 1.2 Operacionalización de la variable dependiente.....	7
Tabla 2.1 Especificaciones técnicas del motor Kawasaki Zx 750F	9
Tabla 2.2 Características del hidrógeno	13
Tabla 2.3 Características del agua destilada	29
Tabla 2.4 Características del hidróxido de potasio	30
Tabla 2.5 Tabla de umbrales (Rangos de calificación	36
Tabla 3.1 Ficha técnica del generador de gas HHO	38
Tabla 3.2 Dimensiones de los componentes	39
Tabla 3.3 Resultado de área y volumen	40
Tabla 3.4 Disociación del agua	42
Tabla 3.5 Cálculo de variables.....	42
Tabla 3.6 Volumen de gas HHO obtenido	42
Tabla 3.7 Componentes del generador de hidrógeno.....	47
Tabla 3.8 Ficha técnica del depósito y burbujeador.....	58
Tabla 3.9 Componentes del depósito y del burbujeador.....	60
Tabla 3.10 Características de cables eléctricos.....	64
Tabla 3.11 Componentes del circuito eléctrico	65
Tabla 4.1 Componentes del sistema para la instalación.....	69
Tabla 5.1 Resultados de torque y potencia.....	78
Tabla 5.2 Resultados de consumo de combustible obtenidos	81
Tabla 5.3 Resultados de autonomía obtenidos.....	83
Tabla 5.4 Resultados obtenidos prueba de gases (ralentí).....	83
Tabla 6.1 Recursos humanos	86
Tabla 6.2 Recursos tecnológicos	87
Tabla 6.3 Recursos materiales	88
Tabla 6.4 Costo de construcción e instalación del sistema HHO.....	89
Tabla 6.5 Gasto total del proyecto presentado	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Emisiones de CO ₂ per cápita en Ecuador	1
Figura 1.2 Árbol del problema	2
Figura 1.3 Disminución de concentración de contaminantes atmosféricos. 5	
Figura 2.1 Motor Kawasaki ZX 750F.....	8
Figura 2.2 Nomenclatura Kawasaki	9
Figura 2.3 Elementos del sistema de alimentación por gravedad.....	10
Figura 2.4 Ilustración del globo de Jacques Charles	11
Figura 2.5 Pila de combustible de Grove	12
Figura 2.6 Fuentes de obtención del hidrógeno.....	14
Figura 2.7 Producción de hidrógeno por combustibles fósiles	15
Figura 2.8 Esquema de un electrolizador alcalino de dos celdas	16
Figura 2.9 Concentrador solar de Odeillo Francia	17
Figura 2.10 Almacenamiento de hidrógeno	18
Figura 2.11 Tanque de almacenamiento de hidrógeno presurizado	19
Figura 2.12 Depósito criogénico de hidrógeno del Saturno V	19
Figura 2.13 Pequeña unidad de almacenamiento de hidruros metálicos.....	20
Figura 2.14 Nanoestructuras de carbono.....	21
Figura 2.15 Rendimientos de distintos sistemas de producción de energía en función de su potencia	22
Figura 2.16 Antorcha de soldadura con gas Brown	23
Figura 2.17 Principio de electrólisis del agua.....	25
Figura 2.18 Principio de electrólisis del agua.....	25
Figura 2.19 Representación de celda húmeda y celda seca	26
Figura 2.20 Celda generadora seca.....	27
Figura 2.21 Celda generadora húmeda	27
Figura 2.22 Agua destilada comercial.....	28
Figura 2.23 Hidróxido de potasio en polvo.....	31
Figura 2.24 Planchas de acero inoxidable 316l	31
Figura 2.25 Poliuretano.....	32
Figura 2.26 Gases producto de la combustión	33

Figura 3.1 Diagrama de flujo de elaboración de las placas positivas, negativas y neutras.....	49
Figura 3.2 Señalado y corte de las placas	50
Figura 3.3 Corte del chaflán de las placas neutras	50
Figura 3.4 Placa neutra con los orificios de fijación	51
Figura 3.5 Placa neutra.....	51
Figura 3.6 Placa negativa y positiva con chaflán	51
Figura 3.7 Placa positiva y negativa con perforaciones de sujeción y de alimentación de energía.....	52
Figura 3.8 Placas positivas y negativas	52
Figura 3.9 Topes posterior y frontal con chaflán	53
Figura 3.10 Tope posterior.....	53
Figura 3.11 Tope frontal.....	53
Figura 3.12 Placa frontal con los conectores rápidos	54
Figura 3.13 Diagrama de flujo de elaboración de los separadores	54
Figura 3.14 Poliuretano.....	55
Figura 3.15 Separador con chaflán.....	55
Figura 3.16 Separador con corte interno	55
Figura 3.17 Separador de las placas	56
Figura 3.18 Distribución de las placas	56
Figura 3.19 Polos positivos y negativos del generador de gas HHO	57
Figura 3.20 Generador de gas HHO	57
Figura 3.21 Tubo PVC (policloruro de vinilo)	61
Figura 3.22 Tapón, neplo y tuerca	61
Figura 3.23 Tapón con orificios de 0,032 m, 0,008 m y 0,0095 m	61
Figura 3.24 Parte superior del depósito	62
Figura 3.25 Parte inferior del depósito	62
Figura 3.26 Depósito y burbujeador.....	62
Figura 3.27 Esquema eléctrico	63
Figura 3.28 Módulo de control	67
Figura 4.1 Diagrama de alimentación del gas HHO.....	70
Figura 4.2 Ubicación del generador del gas HHO.....	70
Figura 4.3 Fijación del generador del gas HHO	71
Figura 4.4 Fijación del depósito y burbujeador	71

Figura 5.1 Pruebas en el dinamómetro de rodillos.....	75
Figura 5.2 Pantalla del software DynoRace	76
Figura 5.3 Lámpara estroboscópica SNAP-ON	76
Figura 5.4 Gráfica de potencia y torque con el sistema de gasolina convencional	77
Figura 5.5 Gráfica de potencia y torque con el sistema dual gasolina -HHO.....	78
Figura 5.6 Análisis de potencia máxima	79
Figura 5.7 Análisis de torque	79
Figura 5.8 Mapa de recorrido para pruebas de autonomía.....	80
Figura 5.9 Análisis de consumo de combustible	81
Figura 5.10 Medición de gases contaminantes.....	82
Figura 5.11 Emisiones de CO	84
Figura 5.12 Emisiones de HC	84
Figura 5.13 Emisiones de CO ₂	85
Figura 5.14 Emisiones de O ₂	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Proceso inverso a la electrólisis	12
Ecuación 2.2 Reacción de la combustión completa de combustible.....	32
Ecuación 3.1 Área del rectángulo	39
Ecuación 3.2 Área del triángulo rectángulo	39
Ecuación 3.3 Ley de Faraday	40
Ecuación 3.4 Peso equivalente.....	41
Ecuación 3.5 Intensidad de corriente.....	41
Ecuación 3.6 Ley de los gases ideales	41

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como propósito diseñar, construir e implementar un sistema de generación a bordo de gas HHO también conocido como Gas Brown, obteniéndose como resultado un práctico y eficiente carburante complementario a la gasolina aplicado en la industria automotriz el cual en un futuro cercano podría reemplazar a los combustibles derivados del petróleo. El gas HHO producido a demanda se suministró de forma directa al sistema de alimentación del motor de cuatro tiempos marca Kawasaki modelo ZX 750F del vehículo monoplaza tipo Buggy, en el cual se combina con la mezcla aire combustible, sin la necesidad de realizar modificaciones y sin la utilización de un depósito de almacenamiento de hidrógeno. El mencionado gas se obtuvo mediante el principio de electrólisis del agua. Se utilizó una solución electrolítica que permite separar el agua en sus elementos constitutivos, hidrógeno y oxígeno en forma gaseosa. El proceso de disociación molecular del agua se realizó dentro de la celda generadora, alimentada por la corriente eléctrica que suministra la batería del vehículo. Una vez instalado el sistema y con la finalidad de estudiar los efectos del gas HHO, se analizó el rendimiento del motor de combustión interna del monoplaza mediante el estudio de las curvas características del motor como potencia, torque, autonomía (consumo de combustible) y emisión de gases contaminante para verificarla factibilidad técnica del uso del hidrógeno como combustible alternativo.

PALABRAS CLAVES

- **GAS BROWN**
- **HIDRÓGENO (COMBUSTIBLE)**
- **AUTOMÓVILES - EMISIÓN DE GASES**
- **COMBUSTIBLE ALTERNATIVO**

ABSTRACT

This research project aims to design, build and implement an on board-system that generates HHO gas also known as Brown Gas, resulting in a practical and efficient supplemental to gasoline fuel applied in the automotive industry which in the near future could replace to petroleum fuels. The HHO gas produced on demand was supplied directly to the feed system of four-stroke engine brand Kawasaki ZX 750F of the vehicle Buggy type, which is combined with the mixture air-fuel without the need for modifications and without using a hydrogen storage tank. The gas obtained by the water electrolysis principle. An electrolytic solution allows separating water into its constituent elements in gaseous form, hydrogen and oxygen. Molecular dissociation of water process was performed within the generating cell, fed by electric current supplied by the vehicle battery. Once installed the system in order to study the effects of HHO gas, the performance of internal combustion engine of the car was analyzed by studying the characteristic curves of the engine as power, torque, range (fuel consumption) and emission of pollutant gases to verify the technical feasibility of using hydrogen as an alternative fuel.

KEYWORDS

- **BROWN GAS**
- **HYDROGEN (FUEL)**
- **GAS EMISSIONS – AUTOMOBILE**
- **ALTERNATIVE FUEL**

CAPÍTULO I

INVESTIGACIÓN DEL USO DEL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

1.1. ANTECEDENTES

El consumo de petróleo como fuente de energía en motores de combustión interna a gasolina y el agotamiento de los hidrocarburos debido a la creciente demanda en la industria han incidido directamente sobre el aumento de la contaminación global.

En el año 2013 se matricularon en el país 1.717.886 vehículos (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC, 2013) y al finalizar el año 2014 esta cifra superó los 1.8 millones de vehículos a escala nacional (Agencia Nacional de Tránsito, 2014). Por otra parte, las emisiones de dióxido de carbono derivadas de la quema de combustibles fósiles en Ecuador han alcanzado las 2.2 toneladas métricas per cápita en el año 2010, cifra similar establecida para el año 2014 (Grupo Banco Mundial, 2015)

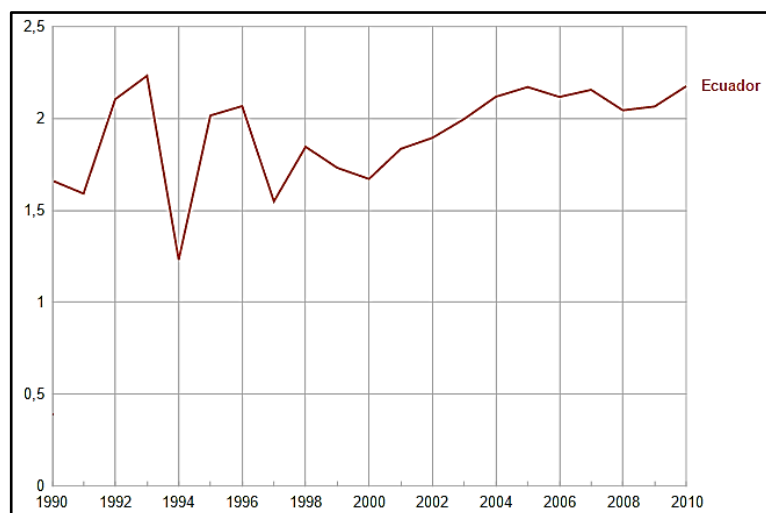


Figura 1.1 Emisiones de CO2 per cápita en Ecuador

Fuente: (Banco Mundial, 2015)

Ambas problemáticas han generado un interés por buscar nuevas alternativas como fuentes de energía. En este contexto, el hidrógeno constituye una importante alternativa para complementar a los hidrocarburos, el cual actualmente es utilizado en vehículos como pila de combustible o como combustible propiamente dicho, pudiéndose obtener a partir del agua o de compuestos químicos como el metanol.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La marcada dependencia hacia los combustibles fósiles en los últimos años (carbón, petróleo y gas natural) plantea un difícil inconveniente ya que éstos no representan un recurso infinito. Con el tiempo, el planeta se quedará sin combustibles fósiles o el costo por obtenerlos será demasiado elevado. Adicionalmente, los combustibles fósiles hacen que la contaminación del aire, agua y suelo provoque gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global. Todos estos factores negativos traen consigo efectos negativos en la salud de los seres vivos.

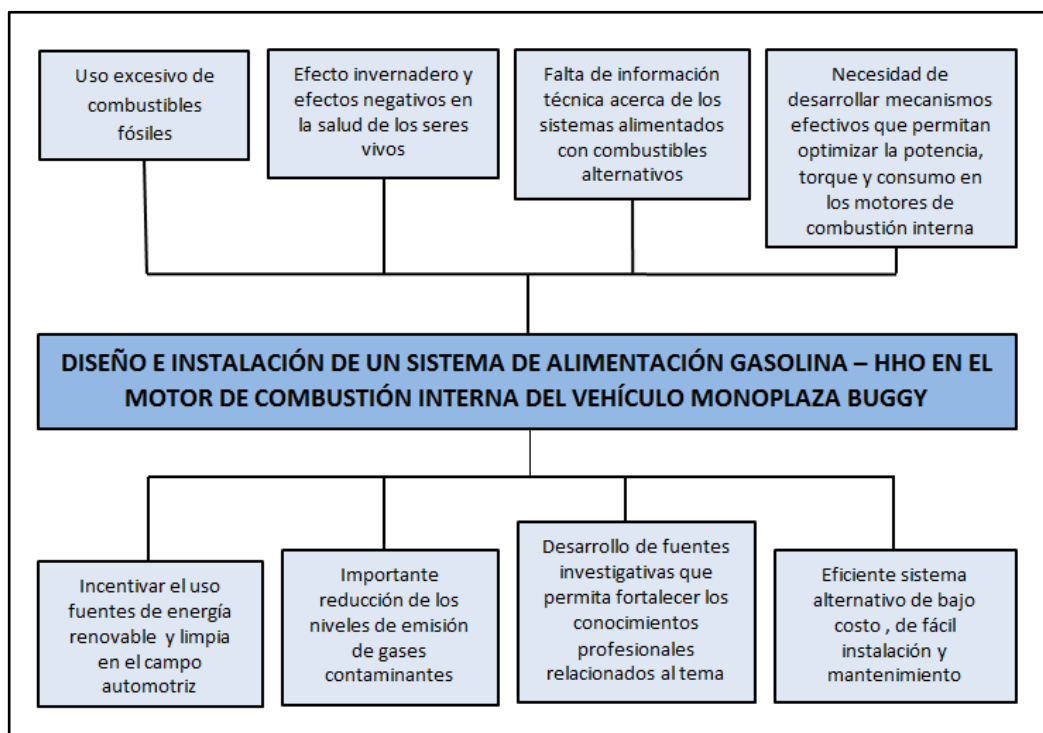


Figura 1.2 Árbol del problema

Por otro lado, no existe la suficiente información técnica y académica en lo que respecta al tema de los combustibles alternativos debido a que la investigación dentro de este campo es muy limitada. Además existe la imperiosa necesidad de desarrollar mecanismos efectivos y eficientes que permitan optimizar los principales parámetros de los motores de combustión interna: potencia, torque y consumo de combustible.

Esto ha incentivado a impulsar el desarrollo y ejecución de este proyecto vinculado con la energía alternativa por medio de la utilización de combustibles amigables con el medio ambiente. De esta manera se pretende desarrollar un sistema eficiente que, mediante mínimas modificaciones, busca principalmente mejorar las condiciones de funcionamiento del motor de combustión interna y así reducir las emisiones contaminantes que éste genera.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e instalar un sistema de alimentación gasolina – HHO en el motor de combustión interna del vehículo monoplaça tipo Buggy para reducir la contaminación ambiental a causa del uso de combustibles fósiles.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los componentes necesarios para construir el generador HHO para la producción de hidrógeno.
- Adaptar al sistema de alimentación los elementos de control para el funcionamiento del motor Kawasaki ZX 750 del monoplaça Buggy con dos carburantes.
- Utilizar el gas HHO en el motor de combustión interna como combustible de uso automotriz.
- Realizar las pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y autonomía del vehículo monoplaça tipo Buggy.

1.4 HIPÓTESIS

La utilización del hidrógeno como combustible alternativo en vehículos automotrices permitirá reducir las emisiones de gases contaminantes sin afectar las características mecánicas de funcionamiento del motor de combustión interna.

1.5 ÁREA DE INFLUENCIA

- **Provincia:** Cotopaxi
- **Cantón:** Latacunga
- **Parroquia:** Matriz
- **Departamento:** Energía y Mecánica
- **Laboratorio de:** Mecánica de Patio

1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El desarrollo de las principales ciudades en el Ecuador en los últimos años ha sido muy notable, así como también el crecimiento del parque automotor y el uso excesivo del petróleo como fuente principal de combustible para los vehículos con motores gasolina y diesel.

A pesar de que en la última década en nuestro país los niveles de concentración de contaminantes han ido disminuyendo, mostrándose mejoras en la calidad del aire, aún no se ha podido cumplir con los estándares de calidad ambiental. Las fuentes móviles, cuyo crecimiento anual es superior al 7%, originan la emisión principal que afecta la calidad del aire. El crecimiento del parque automotor en el Ecuador origina un aumento del tráfico vehicular dificultando el cumplimiento de las normas ambientales de calidad, que a su vez ocasiona una contaminación directa del medio ambiente, afectando por ende de la salud humana (Secretaría de Ambiente, 2014)

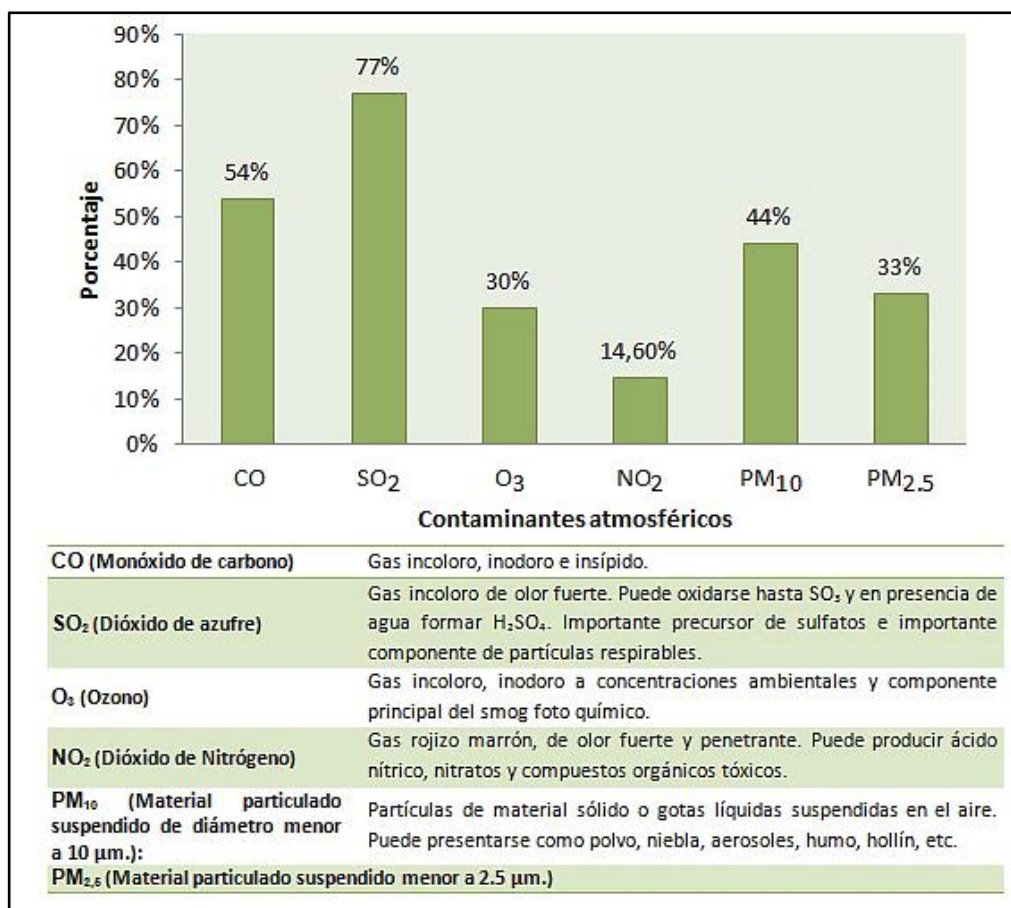


Figura 1.3 Disminución de concentración de contaminantes atmosféricos

Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2014)

Con la ejecución de esta idea se espera obtener beneficios a corto y largo plazo, mediante la instalación de un generador de gas HHO, intentando obtener un mayor recorrido del vehículo con menor cantidad de gasolina, además de disminuir el alto grado de contaminación que producen los vehículos, con el fin de aminorar el índice de enfermedades causadas por la polución. La principal ventaja de usar hidrógeno como fuente de energía en el proceso de combustión es que no genera emisiones contaminantes debido a que como resultado de la combustión se genera vapor de agua, disminuyendo de esta manera el impacto al medio ambiente producido por motores y el funcionamiento de sus sistemas de alimentación.

1.7 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

Diseñar e instalar un sistema de alimentación gasolina – HHO en el motor de combustión interna del vehículo monoplaza tipo Buggy para reducir la contaminación ambiental a causa del uso de combustibles fósiles.

1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Sistema de alimentación gasolina – HHO.

Tabla 1.1

Operacionalización de la variable independiente

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN GASOLINA – HHO			
Concepto	Categoría	Indicador	Preguntas
Sistema de alimentación gasolina – HHO	Tecnológica	Número de placas del generador de gas HHO ≥ 22	¿Cuántas placas son necesarias para el diseño del generador de gas HHO?
		Almacenamiento de agua en el depósito 0.5 L \leq capacidad ≤ 2 L	¿Cuál es la capacidad de almacenamiento de agua en el depósito?
		Intensidad de corriente de alimentación del generador de gas HHO = 12 A	¿Qué intensidad de corriente de alimentación produce el generador de gas HHO?
		Proporción de electrolito por litro de agua = 20 gr/l	¿Cuál es la proporción ideal de electrolito por litro de agua?
		Fuentes de alimentación para el proceso de electrolisis = 1	¿Cuántas fuentes de alimentación se necesitan para el proceso de electrolisis?

1.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE.

Contaminación ambiental

Tabla 1.2

Operacionalización de la variable dependiente

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN GASOLINA – HHO			
Concepto	Categoría	Indicador	Preguntas
Contaminación ambiental	Tecnológica	Cantidad de CO generada $\geq 0,4 \%$	¿Cuál es la cantidad de CO generada en el proceso de combustión?
		Cantidad de HC no combustionados ppm ≥ 250	¿Cuántas ppm de HC no combustionados se producen en el proceso de combustión?
		Cantidad de CO ₂ generada $\geq 14,5\%$	¿Qué intensidad de corriente de alimentación produce el generador de gas HHO?
		Proporción de electrolito por litro de agua = 20 gr/l	¿Cuál es la proporción ideal de electrolito por litro de agua?
		Fuentes de alimentación para el proceso de electrolisis = 1	¿Cuál es el porcentaje de la cantidad de CO ₂ generada en el proceso de combustión?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MOTOR KAWASAKI ZX 750F

El motor utilizado para el desarrollo del proyecto pertenece a una motocicleta marca Kawasaki modelo ZX 750 F, fabricada en el año 1987. Según datos proporcionados por el Manual de Servicio Kawasaki (1987) es un motor tipo DOHC de cuatro tiempos con cuatro cilindros en línea (4 válvulas por cilindro), con un sistema de refrigeración por agua. Es ligero, pequeño y potente en comparación a los motores con 750 c.c. de potencia del resto de constructores. Es ideal para realizar recorridos largos y de baja velocidad.



Figura 2.1 Motor Kawasaki ZX 750F

2.1.1 IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR

Es el código de información único para cada motor Kawasaki, en este caso va impreso junto a la tapa de llenado del aceite de motor en la parte izquierda del mismo. En Estados Unidos se utilizan las letras E / F / G / H para denominar el año de fabricación. En otros países, en este caso específicamente la motocicleta Kawasaki ZX 750F es conocida como GPX 750R.

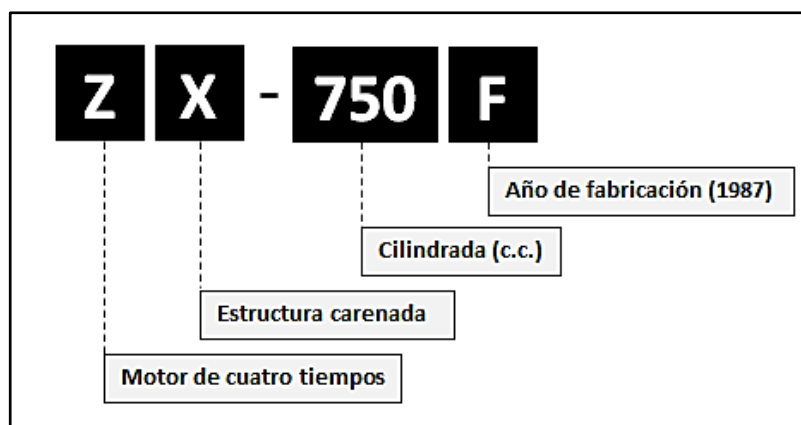


Figura 2.2 Nomenclatura Kawasaki

Fuente: (Manual de Servicio Kawasaki, 1987)

Tabla 2.1

Especificaciones técnicas del motor Kawasaki ZX 750F

APLICACIÓN	ESPECIFICACIÓN
Tipo	Cuatro tiempos, cuatro cilindros, doble árbol de levas
Sistema de enfriamiento	Refrigeración por agua
Cilindraje	742 cm ³
Compresión	11,2:1
Potencia	73,6 kW (100 CV) a 10500 rpm
Torque Máximo	70,6 Nm (7,2 kgm) a 8500 rpm
Sistema de combustible	Carburador, Keihin CVK34x4
Sistema de arranque	Arranque eléctrico
Sistema de encendido	Encendido transistorizado
Bujías	NGK DR8ES o ND X27ESR-U
Numeración de los cilindros	De izquierda a derecha, 1-2-3-4
Orden de encendido	1-2-4-3
Sincronización de válvulas	Avance de la Apertura de Admisión: 35 ° antes del PMS Retraso del Cierre de Admisión: 65 ° después del PMI Avance de la Apertura de Escape: 65 ° antes del PMI Retraso del Cierre de Escape: 35° después del PMS
Lubricación	Forzada (cárter húmedo con enfriador)
Viscosidad del aceite	SAE10W40, 10W50, 20W40 o 20W50

Fuente:(Manual de Servicio Kawasaki, 1987)

2.1.2 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE

El sistema de alimentación de combustible correspondiente al motor del prototipo en el que implementó el sistema de generación de gas Brown funciona por el principio de gravedad.

(Crouse & Anglin, 1992) mencionan que en este tipo de sistema, que es el más utilizado en motores de motocicletas, la gasolina circula desde el depósito (con capacidad de almacenamiento de 5 galones) hasta la llave de paso, la cual permite regular la cantidad de gasolina que continuará su recorrido hacia el filtro de combustible.

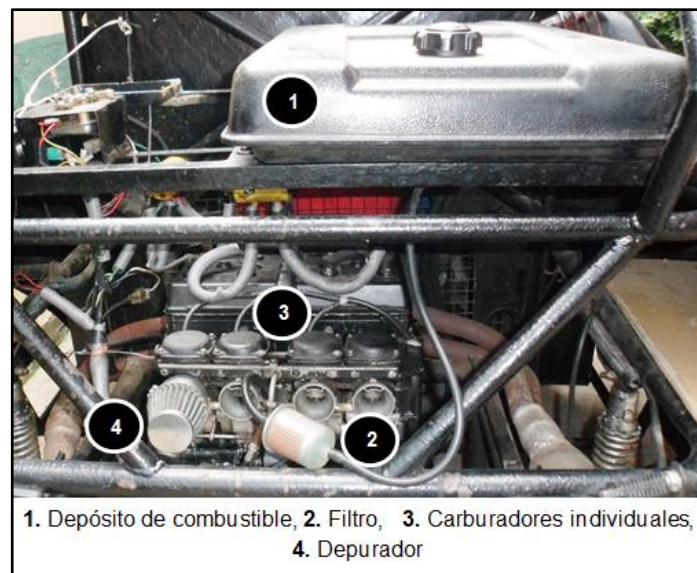


Figura 2.3 Elementos del sistema de alimentación por gravedad

El depósito en su parte interna posee un pequeño prefiltro que es el encargado de retener pequeñas partículas de suciedad presentes en el combustible o en el mismo depósito. Finalmente el combustible ingresa a los carburadores individuales que se encargan de dosificar y suministrar la mezcla correcta de aire combustible a los cilindros. Generalmente los sistemas de alimentación de motocicletas poseen un carburador por cilindro.

2.2 EL HIDRÓGENO

2.2.1 ANTECEDENTES DEL USO DEL HIDRÓGENO

(Llorca, 2010) manifiesta que en el año 1788 Antoine Lavoisier empleó por primera vez el término hidrógeno haciendo referencia de la capacidad del hidrógeno para producir agua (hidrógeno en griego significa agua). Sin embargo el primer uso del hidrógeno fue en el año 1783 cuando Jacques Alexandre Charles construyó el “Charliere”, un globo aerostático de hidrógeno que alcanzó los tres metros de altura, mejorando posteriormente su diseño con un prototipo no tripulado el cual contaba con un dispositivo que producía hidrógeno en grandes cantidades a partir de ácido sulfúrico y limaduras de hierro como elementos iniciales.



Figura 2.4 Ilustración del globo de Jacques Charles

Fuente: www.nationalgeographic.com.es

Según (Llorca, 2010) las propiedades energéticas del hidrógeno fueron descubiertas por William Robert Grove. Entre los años 1800 y 1842 creó la llamada “batería a gas”. Esta batería se basaba en el principio de la electrólisis, que consiste en pasar corriente a través del agua con la finalidad de separarla en sus componentes constitutivos, es decir, en hidrógeno y oxígeno.

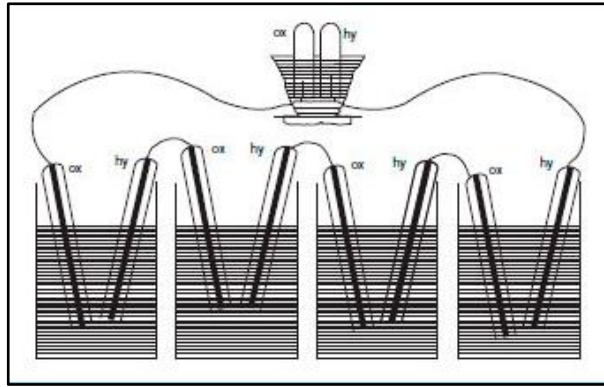
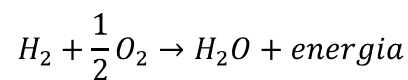


Figura 2.5 Pila de combustible de Grove

Fuente: (Llorca, 2010)

Grove creó su batería en función al proceso inverso de la electrólisis, es decir, recombinando el hidrógeno y el oxígeno y obteniendo como resultado agua y electricidad.



Ecuación 2.1 Proceso inverso a la electrólisis

Fuente: (Llorca, 2010)

2.2.2 PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO

En su estudio (Guervós, 2003) concluye

Las principales características de la molécula de hidrógeno son que es inodoro, incoloro, insípido, inflamable y en condiciones ambiente se encuentra en estado gaseoso. Además es el elemento más simple, ligero y abundante ya que, como átomos, constituye aproximadamente el 11% de la masa del agua y el 75% del sol. También es muy abundante en la corteza terrestre, ya que lo podemos encontrar en todos los hidrocarburos, en los ácidos, en la materia viva y en muchos minerales. (p. 19)

Tabla 2.2

Características del hidrógeno

PROPIEDADES GENERALES DEL HIDRÓGENO	
Punto de fusión	-259,1 °C
Punto de ebullición	-252,7 °C
Temperatura crítica	-239,8 °C
Densidad del líquido	0,0709 g/cm ³
Densidad del gas	0,0899 kg/m ³
Solubilidad en el agua (en 100 partes)	a 0° C: 2,1 cm ³ a 80° C: 0,85 cm ³
Isótopos	H-1 H-2 (deuterio) H-3 (radioactivo, periodo 12, 26 años)
PARÁMETROS DE SEGURIDAD	
Límites de inflamabilidad en el aire, % volumen	4,0 – 75,0
Límites de detonación en el aire, % volumen	18,3 – 59,0
Límites de inflamabilidad en oxígeno, % volumen	4,5 – 94,0
Límites de detonación en oxígeno, % volumen	15,0 – 90,0
Temperatura de ignición en el aire	585 °C
Temperatura de ignición en el oxígeno	560 °C
Temperatura de la llama en el aire	2045 °C
Calor de combustión	285,8 KJ/mol

Fuente:(Gutiérrez, 2005)

2.2.3 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DEL HIDRÓGENO

(Llorca, 2010) “El hidrógeno puede obtenerse a partir de fuentes renovables (eólica, solar, biomasa, etc.) y no renovables (combustibles fósiles y nuclear) mediante diversos métodos, siendo los procesos termoquímicos de reformado y la electrolisis del agua los más comunes.” (p.32)

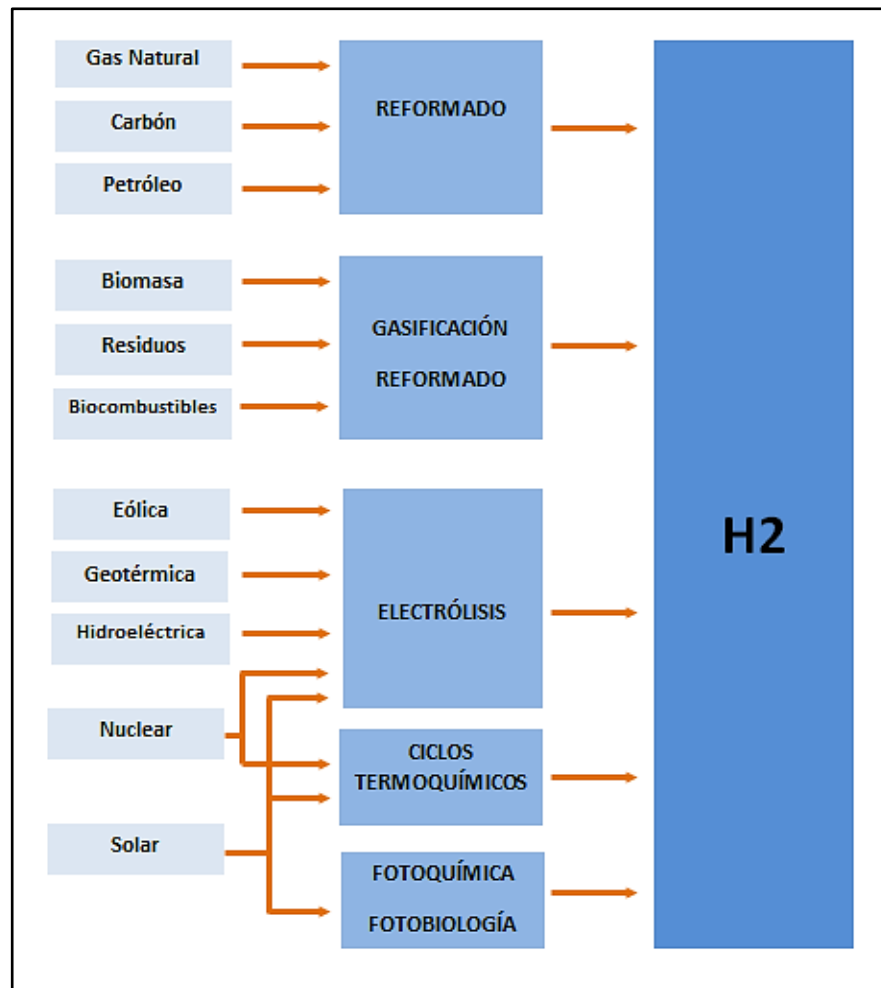


Figura 2.6 Fuentes de obtención del hidrógeno

Fuente: (Llorca, 2010)

a. A PARTIR DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

Según (Llorca, 2010) el principal método de obtención es el reformado. Se producen alrededor de ciento treinta mil toneladas de hidrógeno a partir de los combustibles fósiles. Es sin duda en la actualidad la forma más económica de obtener hidrógeno (95% de la producción mundial) dejando de lado a la obtención de hidrógeno por electrólisis del agua (4% de la producción mundial de hidrógeno) a pesar de la simplicidad de su proceso. Es importante destacar que la obtención del hidrógeno a partir del carbón es muy antigua y se realiza al poner en contacto el carbón con el agua a una temperatura de 1000° C aproximadamente. Sin embargo la mayor parte de hidrógeno se obtiene por medio del gas natural ya que es un combustible cuya extracción, transporte y distribución resultan relativamente económicos.

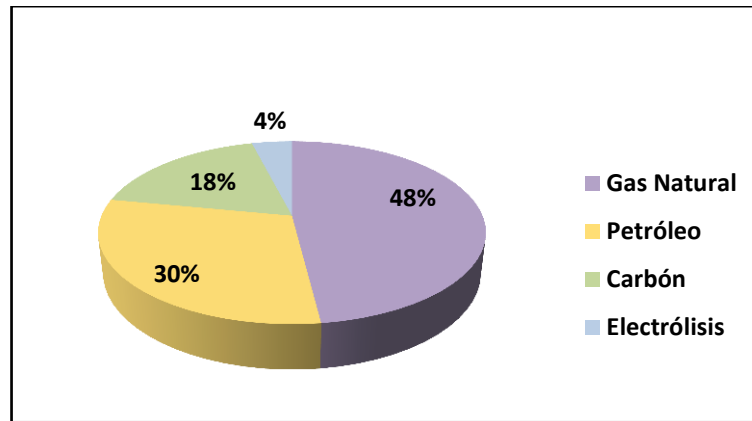


Figura 2.7 Producción de hidrógeno por combustibles fósiles

Fuente: (Llorca, 2010)

b. A PARTIR DE LA BIOMASA

(Llorca, 2010) menciona que los métodos de obtención directos que se utilizan para obtener hidrógeno a partir de la biomasa. El primer método es la gasificación que resulta un proceso sencillo que requiere una preparación previa de la biomasa pero la cantidad de hidrógeno es muy baja. También se puede obtener hidrógeno a partir de biocombustibles, el cual resulta mucho más eficiente que la gasificación pero con la desventaja de que se necesita un procesamiento previo de la biomasa.

c. A PARTIR DE LA ELECTRÓLISIS

El hidrógeno obtenido por este método es de alta pureza en comparación con los otros métodos.

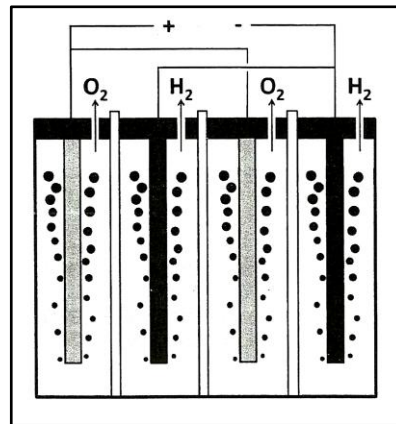


Figura 2.8 Esquema de un electrolizador alcalino de dos celdas

Fuente: (Llorca, 2010)

(Llorca, 2010) detalla

En la electrólisis de agua no se utiliza agua pura ya que ésta no es un buen conductor iónico, resulta necesario variar el pH del electrolito mediante la adición de un ácido o una base, de modo que aumente la concentración de protones o grupos hidroxilo, respectivamente, y la movilidad iónica sea lo suficientemente grande como para disminuir la resistencia eléctrica y no contribuir de manera apreciable al sobrepotencial. Normalmente se utiliza un medio alcalino porque el medio ácido conlleva problemas de corrosión más importantes. Las bases que se añaden acostumbran a ser hidróxido de sodio, NaOH, o de potasio, KOH. (p. 19)

d. A PARTIR DEL SOL

En el 2010, Llorca menciona que las formas más importantes para obtener hidrógeno a partir del sol son a partir de la electrólisis del agua, donde la energía eléctrica proviene de celdas fotovoltaicas. El otro método es la fotólisis en la cual se produce una rotura del agua a través de radiación solar en la zona visible del espectro.



Figura 2.9 Concentrador solar de Odeillo Francia

Fuente: www.asme.org

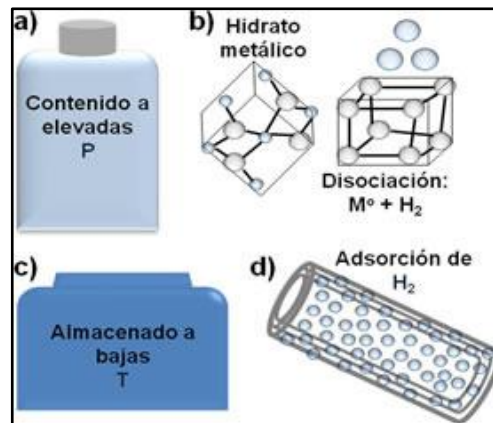
e. A PARTIR DE ENERGÍA NUCLEAR. CICLOS TERMOQUÍMICOS

(Llorca, 2010) manifiesta en su investigación que la electrólisis del agua a elevada temperatura se realiza con la ayuda de importantes cantidades de calor generadas en las centrales nucleares. Se puede también desarrollar ciclos termoquímicos para la producción de hidrógeno. En estos procesos es posible realizar la separación del agua en oxígeno e hidrógeno pero a bajas temperaturas a través del enlace de distintas reacciones químicas.

2.2.4 ALMACENAMIENTO

(Botas, Calles, Dufour, & San Miguel, 2005) explican

En la actualidad existen distintas formas de almacenar hidrógeno, tanto para aplicaciones estacionarias como para el sector del transporte (en forma gaseosa, líquida, combinado químicamente o adsorbido en sólidos porosos), dependiendo su elección de diferentes factores como el proceso final en el que se vaya a emplear, la densidad energética requerida, la cantidad a almacenar y la duración del almacenamiento, la existencia de otras posibles formas de energía disponibles, los costes y necesidades de mantenimiento de la instalación, y los costes de operación (S. Dunn, 2002). (p. 7)



a) Comprimido, b) Hidratos metálicos, c) líquido, d) Nanotubos de carbono

Figura 2.10 Almacenamiento de hidrógeno

Fuente: (Proa, 2011)

(Botas et al., 2005) concluyeron

En el caso del empleo de hidrógeno como combustible para el transporte, uno de los principales problemas a resolver es la falta de los medios adecuados para su almacenamiento en el propio vehículo, cumpliendo los requisitos de seguridad, costos, y las características de suministro requeridas (S. Hynek y col., 1997; H. Cheng y col., 2001). (p. 8)

a. ALMACENAMIENTO EN FORMA GASEOSA

(Botas et al., 2005) “Este tipo de almacenamiento (presiones superiores a 20 MPa) requiere que los depósitos sean pesados y voluminosos, además de plantear cuestiones de seguridad tanto en los vehículos como en los depósitos de almacenamiento, distribución y carga de hidrógeno.”

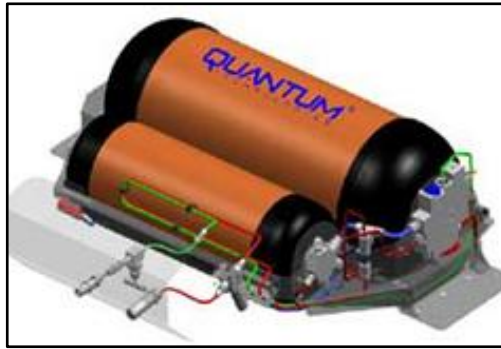


Figura 2.11 Tanque de almacenamiento de hidrógeno presurizado

Fuente: www.fuelcell.no

b. ALMACENAMIENTO EN FORMA LÍQUIDA

(Botas et al., 2005) mencionan

La opción del almacenamiento de hidrógeno en estado líquido en recipientes criogénicos requiere alcanzar temperaturas de almacenamiento muy bajas (21,2 K), haciendo inevitable su pérdida por volatilización incluso empleando las mejores técnicas de aislamiento. Además, el alto consumo energético asociado al enfriamiento, aproximadamente el 30% de la energía almacenada, hace que esta opción resulte inviable en la práctica, desde el punto de vista económico, salvo en aquellas aplicaciones donde el coste de hidrógeno no sea un factor crítico y éste sea consumido en cortos periodos de tiempo (por ejemplo, en aplicaciones aeroespaciales) (L. Zhou, 2004; A. Züttel, 2004). (p. 8)



Figura 2.12 Depósito criogénico de hidrógeno del Saturno V

Fuente: www.agrupasuma.com

c. COMBINACIÓN QUÍMICA (HIDRUROS METÁLICOS)

(Botas et al., 2005) precisan

Numerosos metales de transición, y sus aleaciones, pueden ser utilizados para almacenar hidrógeno en forma de hidruros metálicos. Estos hidruros se forman por reacción con hidrógeno, siendo éste absorbido en la estructura metálica, y pudiendo ser desorbido gracias a pequeñas variaciones de presión (E. Fakioglu y col., 2004). (p. 9)



Figura 2.13 Pequeña unidad de almacenamiento de hidruros metálicos

Fuente: www.fuelcell.no

d. ADSORCIÓN EN SÓLIDOS POROSOS (NANOESTRUCTURAS DE CARBONO)

(Botas et al., 2005) en su investigación concluyen

Los primeros trabajos publicados basados en nanoestructuras de carbono mostraban almacenamientos excepcionales de hasta el 60% en peso. Desde entonces y hasta el momento, se está dedicando un gran esfuerzo al estudio de nanoestructuras de carbono con elevada superficie específica (fibras, nanotubos y carbones activos) concluyendo que la cantidad de hidrógeno adsorbida a baja temperatura (77 K) es proporcional a la superficie específica BET de la nanoestructura de carbono, independientemente de la estructura geométrica del carbón, con valores máximos muy inferiores a los anteriormente indicados (M. Conte y col., 2004; M. Ritschel y col., 2002; G.G. Tibbetts y col., 2001). (p. 9)

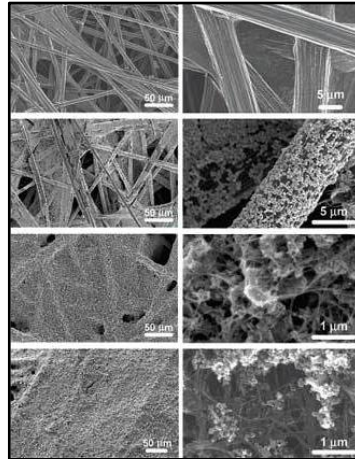


Figura 2.14 Nanoestructuras de carbono

Fuente: arquitecturacarbono.wordpress.com

2.2.5 USOS DEL HIDRÓGENO EN AUTOMOCIÓN

(Hernández & Rodríguez, 2010) sugieren

El hidrógeno se puede emplear en automoción de dos formas distintas. Se puede emplear como combustible de un motor de combustión interna alternativo (M.C.I.). En este caso su rendimiento máximo sobre el poder calorífico inferior (P.C.I.) es del 27% aproximadamente (rendimiento medido como el cociente entre la energía mecánica a la salida de la salida de la salida del motor y la energía entregada por el combustible. También se puede emplear como combustible de una pila de combustible. En este caso el rendimiento está en torno al 60% sobre el P.C.I. (rendimiento medido como el cociente entre la energía entregada por el eje del motor eléctrico y la energía entregada por el combustible de la pila).

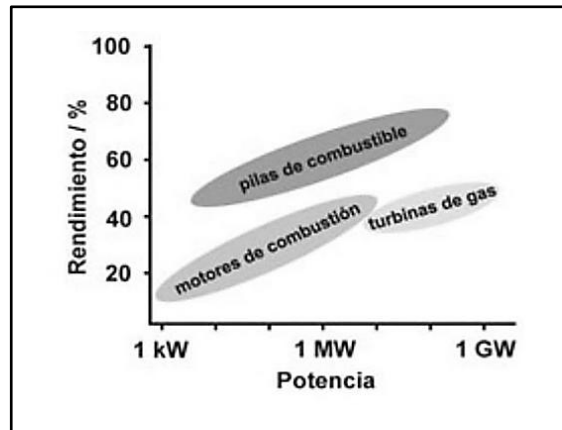


Figura 2.15 Rendimientos de distintos sistemas de producción de energía en función de su potencia

Fuente: (Llorca, 2010)

a. VENTAJAS

(Hernández & Rodríguez, 2010) mencionan entre las principales ventajas:

- Es tres veces más ligero que la gasolina
- Su combustión es muy "limpia", ya que la reacción del hidrógeno con oxígeno sólo produce agua, aunque con determinadas relaciones hidrógeno-aire se producen óxidos de nitrógeno (NOx).
- Al obtener hidrógeno mediante electrólisis disminuye el impacto medioambiental provocado por la extracción de petróleo.
- Al utilizarse en pilas de combustible su rendimiento energético es mayor (convertir el combustible en energía eléctrica es más eficiente que quemarlo al estar este último sujeto a la segunda Ley de la Termodinámica).
- Permite aprovechar la energía cinética del vehículo cuando éste se detiene al convertirla en energía eléctrica mientras que un vehículo con M.C.I. la convierte en calor en los frenos.

b. DESVENTAJAS

(Hernández & Rodríguez, 2010) expresan que existen ciertas desventajas del hidrógeno como combustible con respecto a combustibles de origen fósil o biocombustibles:

- Requiere grandes recipientes de almacenamiento ya que posee un bajo P.C.I. por unidad de volumen.
- Su transporte y almacenamiento son complejos y costosos.
- Es un combustible secundario, es decir se debe consumir energía para su obtención a partir de las distintas materias primas (agua, biomasa, combustibles fósiles) ya que no existe en estado elemental.
- Al ser una tecnología emergente se dificulta su comercialización.
- Tiene una demanda pequeña, por lo que su precio no puede competir con el de las tecnologías convencionales.

2.3 SISTEMA DE GENERACIÓN DE GAS HHO

2.3.1 GAS BROWN

Según (Zaki, 2012) el gas HHO es conocido también como gas Brown, en honor a Yull Brown, a quien se le acredita la patente de producción del gas HHO en el año 1974. Yull desarrolló un método para electrolizar el agua en una mezcla estequiométrica exacta obteniendo como resultado una sustancia utilizada en procesos de soldadura, la cual es altamente inflamable pero no es combustible, cuando se utiliza correctamente.



Figura 2.16 Antorcha de soldadura con gas Brown

Fuente: www.watertorch.com

Diez años después de que Brown hizo su descubrimiento en Australia, el estadounidense William A. Rhodes declaró patentes internacionales por un método similar de creación de gas HHO (o hidroxígeno como también es denominado) que se utiliza en la industria de la soldadura. Sin embargo Yull Brown fue el pionero y principal promotor de su descubrimiento, el cual en la actualidad se emplea en la industria automotriz.

En los últimos años se han desarrollado dispositivos que bajo este principio generan el gas Brown a demanda, siendo utilizado como combustible complementario a la gasolina, mejorando su rendimiento y reduciendo además el nivel de emisiones. De esta manera se puede electrolizar pequeñas cantidades de agua en un sistema a bordo del vehículo y convertirla en gas HHO, el cual se envía de forma directa al sistema de admisión del motor ayudando a que la combustión sea más completa y limpia.

2.3.2 CELDAS ELECTROLIZADORAS

La celda de combustible utilizada en este proyecto funciona bajo el principio de la electrólisis.

(Boyce, 2013) en su investigación establece que en la tecnología de producción de hidrógeno por electrólisis se divide el agua en sus componentes: hidrógeno y oxígeno al cargarla con corriente eléctrica continua. La carga rompe el enlace químico entre el hidrógeno y el oxígeno y se obtienen los componentes atómicos por separado. Los iones resultantes se forman en dos polos: el ánodo, cargado positivamente y el cátodo que está cargado negativamente. Los iones de hidrógeno se juntan en el cátodo y reaccionan con éste para formar el gas hidrógeno. El oxígeno pasa por un proceso similar en el ánodo.

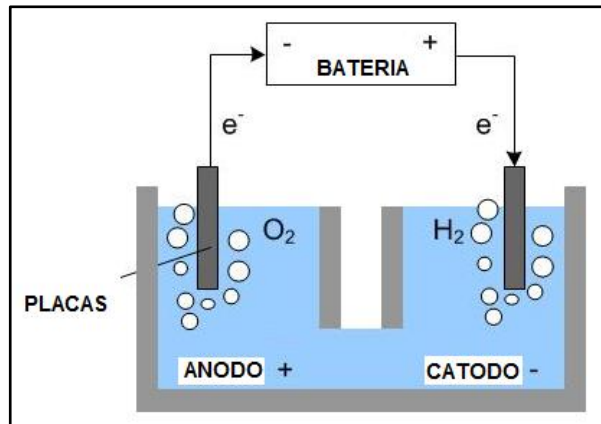


Figura 2.17 Principio de electrólisis del agua

Fuente: www.viewzone.com

(Boyce, 2013) menciona que el principal problema inconveniente de la electrólisis convencional para la producción de hidrógeno a gran escala es la cantidad de electricidad necesaria para realizar el proceso. Se utilizan múltiples placas de acero inoxidable las cuales se encargan de disipar el calor. Es técnicamente más sencillo liberar el gas hidrógeno en múltiples placas. Para el efecto se utiliza una solución electrolítica de hidróxido de sodio.

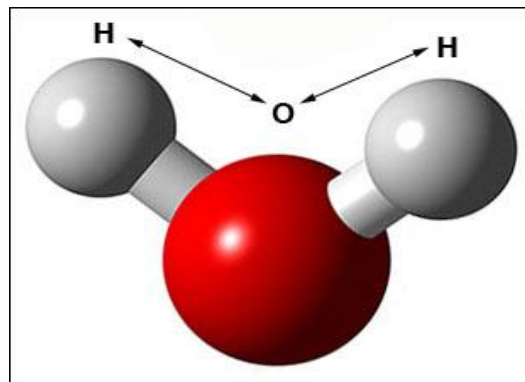


Figura 2.18 Principio de electrólisis del agua

Fuente: (www.viewzone.com)

2.3.3 TIPOS DE CELDAS ELECTROLIZADORAS

Existen dos tipos de celdas electrolizadoras que se utilizan en el campo automotriz. Ambos diseños por lo general se fabrican en acero inoxidable.

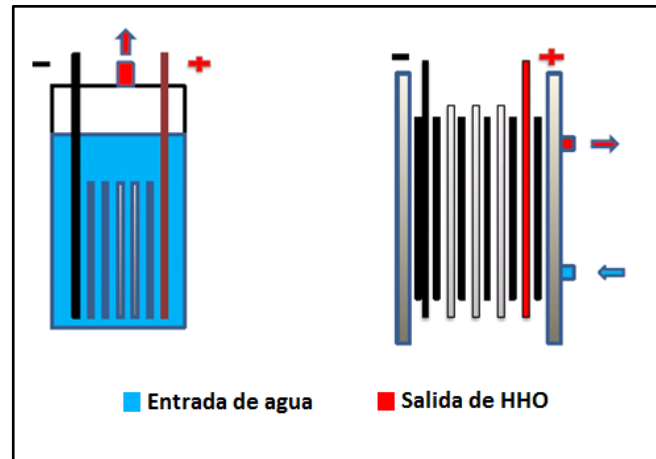


Figura 2.19 Representación de celda húmeda y celda seca

Fuente: tecverde.mex.tl

a. CELDAS SECAS

Son celdas más fáciles de manejar y diseñar. Las celdas secas o conocidas como dry cells se caracterizan porque, a diferencia de las celdas húmedas, no se encuentran sumergidas en agua, es decir, la misma celda es el contenedor. Los electrodos de este tipo de celdas están separadas por juntas (generalmente de caucho) las cuales evitan que el agua se escape de la celda hacia las conexiones eléctricas o que el electrolito se ponga en contacto con los bordes de dichas placas.

Las ventajas de este tipo de celdas con respecto a las celdas húmedas radica en que, teniendo en cuenta su superficie, se puede utilizar menos electrolito, por lo tanto el volumen y el peso de la celda es menor.



Figura 2.20 Celda generadora seca

b. CELDAS HÚMEDAS

También llamadas sumergibles, se caracterizan porque los electrodos van sumergidos en la solución de electrolito dentro de un contenedor. Es un diseño poco eficiente ya que trae consigo varios inconvenientes de funcionamiento. El oxígeno producido en el proceso empieza a reaccionar con la superficie metálica del ánodo provocando oxidación, erosionándola. Otro inconveniente radica en que no se puede disipar el calor producido por la electrólisis, produciéndose vapor de agua que se mezcla con el gas HHO.

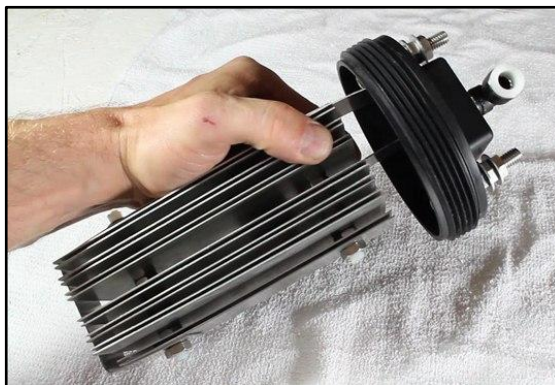


Figura 2.21 Celda generadora húmeda

Fuente: mad-science.wonderhowto.com

2.3.4 REACTIVOS Y MATERIALES SELECCIONADOS

La eficiencia y el correcto funcionamiento de la celda diseñada dependen en gran medida de los reactivos utilizados en el proceso químico de electrólisis.

a. AGUA PURIFICADA

(Dvorak & Skipton, 2013) manifiestan que se conoce como purificada al agua que proviene de cualquier fuente y que se procesa físicamente con la finalidad de eliminar las impurezas. El agua destilada ha sido una de las formas más comunes y más comerciales de agua purificada utilizada en laboratorios e industrias. El agua destilada elimina todas las impurezas a través de la destilación. La destilación consiste en hervir el agua para posteriormente condensar el vapor en un recipiente, separando todos los contaminantes sólidos.



Figura 2.22 Agua destilada comercial

(Santilli, 2005) menciona que erróneamente suele utilizarse en el proceso de electrólisis agua de lluvia, agua mineral o agua potable las cuales presentan minerales, sólidos en suspensión y otros contaminantes en su composición. Estas impurezas se precipitan fuera del agua cuando se somete a electrólisis y suelen aparecer en forma de espuma color marrón, negro o verde. Las consecuencias de utilizar agua potable o de lluvia en el sistema de producción de gas Brown son la obstrucción de las placas del generador por acumulación y la contaminación del medio ambiente ya que las impurezas en forma de sólidos acompañan a los gases conocidos que se

mezclan con el gas HHO, creando reacciones químicas desconocidas y tóxicas. De esta manera el agua destilada debe ser utilizada en la producción de gas HHO en cualquier tipo de generador.

Tabla 2.3

Características del agua destilada

Usos	Laboratorio, análisis, investigación y química fina.
Aspecto	Líquido transparente e incoloro.
Olor	Inodoro
Punto de ebullición	100°C
Punto de fusión	0°C
Presión de vapor	(20°C) 23 hPa
Densidad	1,00
Solubilidad	Soluble en etanol
pH	5,0 – 6,5
Conductividad	1,5-4,0 µmhos/cm
Dureza	< 1,0 ppm
Materias que deben evitarse	Metales alcalinos. Formación de hidrógeno (riesgo de explosión). Metales alcalinotérreos en polvo. Anhídridos. Ácidos fuertes.
Efectos peligrosos para la salud	No son de esperar características peligrosas.

Fuente:(CTR SCIENTIFIC, 2015)

b. HIDRÓXIDO DE POTASIO

Según (Biggs, 2003) en el proceso de electrólisis, el agua destilada no puede conducir la electricidad suficiente por sí sola. Incluso utilizando agua potable, agua de lluvia o agua mineral se puede llevar a cabo el proceso de electrólisis ya que contienen minerales en su composición, pero la producción de gas HHO sería baja. Por esta razón es primordial el uso de electrolitos que se encargan de transportar corriente eléctrica de placa a placa, acelerando la producción de HHO. La mejor opción de electrolito se juzga por su capacidad de permanecer sin cambios en la reacción en la que tiene lugar. Se han realizado pruebas empíricas donde se ha encontrado que el hidróxido de potasio (KOH) y el hidróxido de sodio (NaOH) son dos

sustancias que catalizan de manera eficiente. Dichas pruebas han demostrado que se produce una mezcla limpia en el generador de gas HHO al utilizar uno de estos dos catalizadores con el agua destilada, por lo tanto se obtendrá una mezcla más homogénea de dicho gas. El hidróxido de potasio es el electrolito de mejor calidad ya que es más estable y no se consume durante el proceso de electrólisis.

Tabla 2.4

Características del hidróxido de potasio

Usos	Laboratorio, análisis, investigación y química fina.
Aspecto	Sólido
Olor	Inodoro
Color	Blanco, delicuescente
Punto de fusión/punto de congelación	360°C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	1.327 °C
Densidad relativa	2,04
Solubilidad	1.120 g/l agua 20 °C
pH	13,5
Materias que deben evitarse	Metales. Metales ligeros Formación de hidrógeno (riesgo de explosión). Ácidos fuertes. Metales alcalinotérreos en polvo. Compuestos amoniacales
Efectos peligrosos para la salud	En contacto con la piel: quemaduras Por contacto ocular: quemaduras trastornos de visión Por ingestión: Irritaciones en mucosas de la boca, garganta, esófago y tracto intestinal. Riesgo de perforación intestinal y de esófago.
Métodos de limpieza	Recoger en seco y depositar en contenedores de residuos para su posterior eliminación de acuerdo con las normativas vigentes. Neutralizar con ácido sulfúrico diluido.
Manipulación	Sin indicaciones particulares.
Almacenamiento	Recipientes bien cerrados. Ambiente seco. Temperatura ambiente. No almacenar en recipientes metálicos.

Fuente:(CTR SCIENTIFIC, 2015)

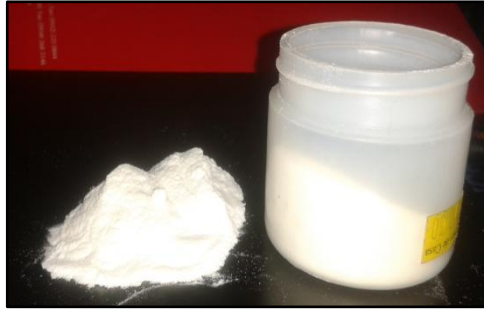


Figura 2.23 Hidróxido de potasio en polvo

c. ACERO INOXIDABLE 316 L

(Mang, Barrera, Siss, & Paya, 2013) mencionan que el acero inoxidable grado 316L es ideal para la construcción de celdas electrolíticas debido a la resistencia a la corrosión y sus excelentes propiedades mecánicas. Estas celdas son similares al diseño de Stan Meyer, pionero en procesos de electrólisis. Su celda se construye con 12 tubos concéntricos de acero sin soldadura y con separadores de acero inoxidable 316L.



Figura 2.24 Planchas de acero inoxidable 316L

Fuente: www.stainless-stainless-steel.com

d. POLIURETANO

El caucho cumple la función de separar las placas de acero inoxidable, además de brindar hermeticidad al generador. Por lo general en la construcción del generador de gas HHO se utiliza un material no conductor como el caucho o el plástico.

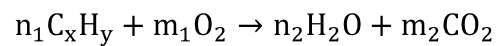


Figura 2.25 Poliuretano

Fuente: solutions.3m.com

2.4 GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN DE LA GASOLINA

Según (BOSCH, 2003) en la siguiente fórmula la reacción de la combustión completa de combustible en forma ideal (en combinación con suficiente oxígeno). Las sustancias secundarias nocivas son producidas principalmente a factores como la composición del combustible y las condiciones no ideales de combustión.



Ecuación 2.2 Reacción de la combustión completa de combustible

Fuente: (BOSCH, 2003)

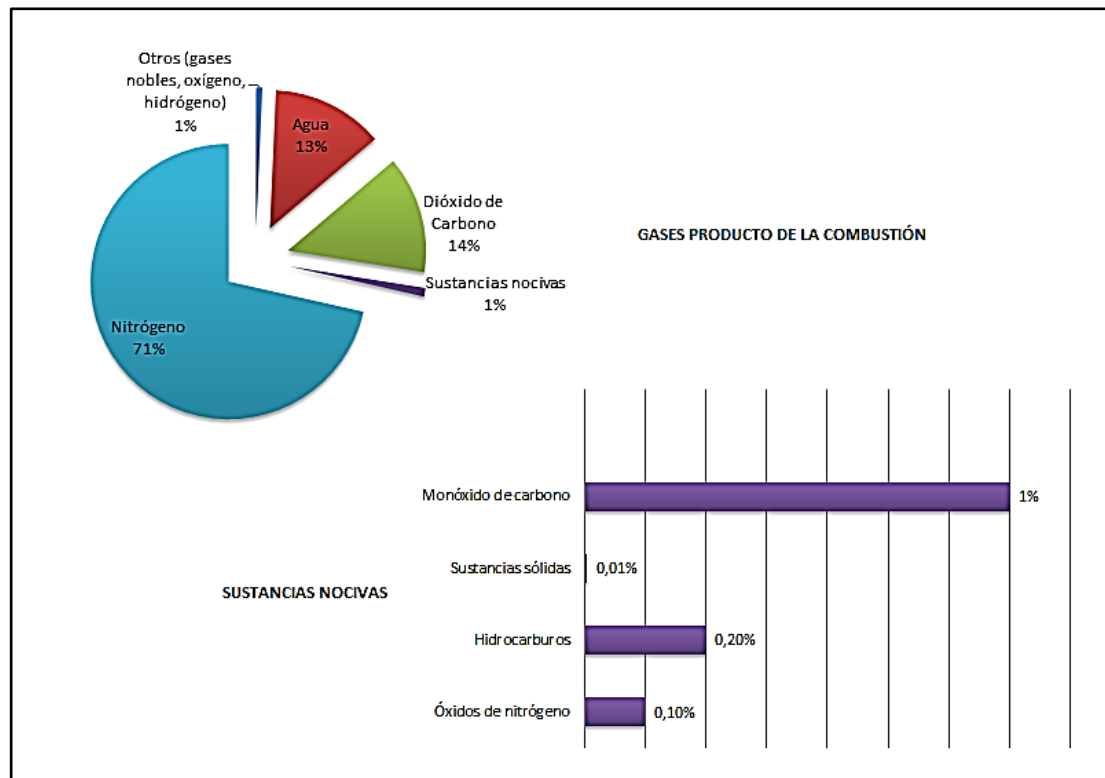


Figura 2.26 Gases producto de la combustión

Fuente: (BOSCH, 2003)

2.4.1 PARTES INTEGRALES PRINCIPALES

a. AGUA (H₂O)

El hidrógeno químicamente ligado contenido en el combustible se quema formando vapor de agua, que al enfriarse se condensa en su mayor parte. En días fríos es visible como nube de vapor que sale del tubo de escape. Su contenido en los gases de escape es aproximadamente de un 13,1 %.

b. DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

El carbono químicamente ligado contenido en el combustible forma, en caso de una combustión completa, dióxido de carbono (CO₂) con una parte de aprox. un 13,7% en los gases de escape. La cantidad de dióxido de carbono liberada es directamente proporcional al consumo de combustible. La emisión de dióxido de carbono sólo se puede reducir a través del consumo de combustible.

c. NITRÓGENO (N₂)

El nitrógeno como parte integrante principal (78%) del aire aspirado por el motor no participa en la combustión del carburante. Con un 71,5% aproximado representa empero la parte integrante mayor de los gases de escape.

2.4.2 PARTES INTEGRALES SECUNDARIAS

Al efectuarse la combustión de la mezcla de aire y combustible, se producen una serie de sustancias integrantes secundarias. La parte de estas sustancias asciende en los gases de escape brutos (gases de escape después de la combustión, antes del tratamiento posterior), teniendo el motor la temperatura de servicio y con una composición estequiométrica de la mezcla ($\lambda = 1$), a aprox. el 1% de la cantidad total de gases de escape.

a. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Se origina monóxido de carbono en caso de una combustión incompleta de una mezcla de aire y combustible rica a causa de falta de aire. Pero también se origina monóxido de carbono (aunque sólo en medida muy pequeña) en una combustión con exceso de aire, a causa de "excursiones" ricas o una mezcla de aire y combustible no homogénea. Gotitas de combustible no evaporadas forman zonas ricas que no se queman por completo. El monóxido de carbono es un gas incoloro y sin olor.

b. HIDROCARBUROS (HC)

Por hidrocarburos se entiende el concepto colectivo de todos los compuestos químicos de carbono C e hidrógeno H. Las emisiones de HC hay que atribuirles a una combustión incompleta de la mezcla de aire y combustible por falta de oxígeno. En la combustión pueden originarse empero también nuevos compuestos de hidrocarburos que no se encontraban originariamente en el combustible.

c. ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

Se forman como consecuencia de reacciones secundarias en todos los procesos de combustión con aire, que contiene nitrógeno. En el motor de combustión se produce principalmente óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), y en reducida medida también óxido nitroso (N₂O). El óxido de nitrógeno (NO) es incoloro y sin olor; en el aire se transforma lentamente en dióxido de nitrógeno (NO₂). El NO₂ es en su forma pura un gas venenoso pardo rojizo, de olor penetrante. En concentraciones como las que se presentan en caso de estar muy viciado el aire, el NO₂ puede causar irritaciones de la membrana pituitaria. Los óxidos de nitrógeno son corresponsables de los daños forestales (lluvia ácida) y junto con los hidrocarburos, de la formación de smog.

d. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

Los compuestos de azufre en los gases de escape (ante todo el dióxido de azufre) son la consecuencia del contenido de azufre en el combustible. Con una proporción relativamente pequeña, estas emisiones de contaminantes hay que atribuir las al tráfico rodado. El dióxido de azufre no puede experimentar una conversión por un catalizador. Se deposita empero fijamente en él o reacciona con el recubrimiento del catalizador y reduce su efecto de depuración frente a otros componentes de los gases de escape.

2.4.3 NIVELES PERMITIDOS DE GASES CONTAMINANTES

La Agencia Metropolitana de Tránsito, a través de la Revisión Técnica Vehicular, en su instructivo emitido en el año 2014, tiene como uno de sus principales objetivos mantener el nivel de emisiones contaminantes por debajo de los límites máximos establecidos en dicho reglamento con la finalidad de garantizar las condiciones mínimas de seguridad de los vehículos. Para ello se ha establecido umbrales máximos permitidos de emisiones de gases contaminantes en función del año de fabricación y del tipo de vehículo.

Tabla 2.5

Tabla de Umbrales (Rangos de Calificación)

DESC. UMBRAL	AÑO MODELO	CALIF.	UMBRAL	UNIDAD	CATEGORIA VEHÍCULO
HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS - HC	x≥2000	1	160≤x<180	ppm	
		2	180≤x<200	ppm	
		3	x≥200	ppm	
		0	0≤x<160	ppm	
	1990≤X≤1999	1	650≤x<700	ppm	TODOS
		2	700≤x<750	ppm	EXCEPTO
		3	x≥750	ppm	MOTOS
		0	0≤x<650	ppm	
	X≤1989	1	950≤x<1100	ppm	
		2	1100≤x<1200	ppm	
		3	x≥1200	ppm	
		0	0≤x<950	ppm	
	1000	1	2000≤x<4000	ppm	
		2	4000≤x<6000	ppm	
		3	x≥6000	ppm	MOTOS
		0	0≤x<2000	ppm	
MONÓXIDO DE CARBONO – CO	x≥2000	1	0.6≤x<0.8	%	
		2	0.8≤x<1	%	
		3	x≥1	%	
		0	0≤x<0.6	%	
	1990≤X≤1999	1	3.5≤x<4	%	TODOS
		2	4≤x<4.5	%	EXCEPTO
		3	x≥4.5	%	MOTOS
		0	0≤x<3.5	%	
	X≤1989	1	6≤x<6.5	%	
		2	6.5≤x<7	%	
		3	x≥7	%	
		0	0≤x<6	%	
	1000	1	4≤x<6	%	
		2	6≤x<8	%	
		3	x≥8	%	MOTOS
		0	0≤x<4	%	

CONTINÚA →

OXÍGENO – O ₂	x ≥ 2000	1	3 ≤ x < 4	%	TODOS EXCEPTO MOTOS
		2	4 ≤ x < 5	%	
		3	x ≥ 5	%	
		0	0 ≤ x < 3	%	
	1990 ≤ X ≤ 1999	1	3 ≤ x < 4	%	
		2	4 ≤ x < 5	%	
		3	x ≥ 5	%	
		0	0 ≤ x < 3	%	
	X ≤ 1989	1	3 ≤ x < 4	%	
		2	4 ≤ x < 5	%	
		3	x ≥ 5	%	
		0	0 ≤ x < 3	%	

Defectos Tipo 1: Son aquellos que no involucran un riesgo inminente para la seguridad de los ocupantes del vehículo, para las demás personas y/o para el ambiente, pero que podrían, posteriormente, convertirse en defectos Tipo 2 o Tipo 3, debido al deterioro natural o provocado. No son reconsiderados en las presentaciones subsecuentes del mismo período de revisión.

Defectos Tipo 2: Son aquellos que implican un riesgo potencial para la seguridad de los ocupantes del vehículo, para las demás personas y/o para el ambiente, si es que están sumados a otros defectos de la misma especie. Serán reconsiderados en las presentaciones subsecuentes del mismo período de revisión pudiendo desaparecer o cambiar a Tipo 1 o 3.

Defectos Tipo 3: Son aquellos que representan un riesgo inminente para la seguridad de los ocupantes del vehículo, para las demás personas y/o para el ambiente, lo que a su vez genera la obligación de llevar nuevamente el vehículo al Centro de RTV para comprobar que el defecto ha sido corregido.

Fuente: (Agencia Metropolitana de Tránsito, 2014)

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE GAS HHO PARA EL VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO BUGGY

3.1 DESARROLLO DEL DISEÑO DEL GENERADOR DE GAS HHO

3.1.1 LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS

Con los requerimientos planteados se procedió a diseñar y construir el sistema de generación de gas HHO para el prototipo del Laboratorio de Mecánica de Patio, el cual consta de componentes mecánicos y eléctricos que luego de ser ensamblados se procedió a instalar y adaptar en el sistema de admisión del vehículo. El generador de gas HHO diseñado para el motor del vehículo monoplaza posee las siguientes características:

Tabla 3.1

Ficha técnica del generador de gas HHO

ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR DE GAS HHO	
Número de placas	19
Número de placas negativas	4
Número de placas positivas	3
Número de placas neutras	12
Número de separadores	20
Cámaras generadoras	6
Toma de abastecimiento	1
Toma de salida de gas al burbujeador	2
Voltaje	12 V DC
Consumo eléctrico	12 A
Caudal	$1,33 \times 10^{-8} m^3_s$
Capacidad de agua	$6,132 \times 10^{-4} m^3$

3.1.2 VOLUMEN INTERNO DEL GENERADOR DE GAS HHO

Para realizar los cálculos se muestra a continuación los siguientes datos de las dimensiones:

Tabla 3.2

Dimensiones de los componentes

DIMENSIÓN DE LA PLACA	
Base	0,2 m
Altura	0,12 m
Espesor	1×10^{-3} m
Chaflán	0,03 m ; 0,03 m
DIMENSIÓN DE LOS SEPARADORES	
Base externa	0,2 m
Base interna	0,1964 m
Altura externa	0,12 m
Altura interna	0,1164 m
Espesor	3×10^{-3} m
Chaflán	0,03 m ; 0,03 m

Las siguientes fórmulas son necesarias para los cálculos de áreas y volúmenes.

$$A = b \times h$$

Ecuación 3.1 Área del rectángulo

Fuente: (Sullivan, 2006)

$$A = \frac{b \times h}{2}$$

Ecuación 3.2 Área del triángulo rectángulo

Fuente: (Sullivan, 2006)

Los resultados obtenidos se detallan en la siguiente tabla

Tabla 3.3

Resultados de área y volumen

NOMBRE	RESULTADO
Área interna	$A_{in} = 0,02286 \text{ m}^2$
Área del chaflán	$A_t = 7,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
Área de la placa	$A_p = 0,022716 \text{ m}^2$
Volumen de cada cámara	$V_c = 2,044 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
Volumen de agua	$V_{agua} = 6,132 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
Volumen de HHO	$V_{HHO} = 6,132 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

La mitad del volumen de la cámara esta designado para ocupar el agua destilada con el electrolito mientras que la otra mitad lo ocupa el gas HHO. El generador aloja en su parte interna $6,132 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ de agua y $6,132 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ de gas HHO. Sumando ambos valores se obtiene un volumen total de $1,2264 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

3.1.3 FLUJO DE GAS HHO

Para realizar los cálculos de producción de gas HHO, se calcula cuánto gas genera en 1 minuto (60s), con una intensidad de 12 A y en condiciones de presión y temperatura normales, es decir a 1 atm y 25°C (298°K) respectivamente . También es necesario utilizar las siguientes ecuaciones:

$$m = \frac{E \times I \times t}{F}$$

Ecuación 3.3 Ley de Faraday

Fuente: (Jaramillo, 2004)

Dónde:

m= Masa de la sustancia alterada (g)

E= Peso equivalente (g/mol)

I= Intensidad de corriente (A)

t= Tiempo (s)

F= Constante de Faraday= $96500 \frac{C}{mol}$

$$E = \frac{Pa}{V}$$

Ecuación 3.4 Peso equivalente

Fuente:(Gayoso, 1991)

Dónde:

P_a= Peso atómico (g)

V= Valencia (mol)

$$I = \frac{Q}{t}$$

Ecuación 3.5 Intensidad de corriente

Fuente:(Fowler, 1994)

Dónde:

I= Intensidad (A)

Q= Carga eléctrica (Coulomb)

t= Tiempo (s)

$$P \times V = n \times R \times T$$

Ecuación 3.6 Ley de los gases ideales

Fuente:(Atkins & Jones, 2005)

Dónde:

P= Presión (atm)

V= Volumen (l)

n= Numero de moles (mol)

R= constante universal de los gases $0,082 \frac{atm \times l}{mol \times ^\circ K}$

T= Temperatura (°K)

Se realiza la disociación de la solución

Tabla 3.4

Disociación del agua

CÁTODO	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^- - 2\text{e}^-$ (Reducción)
ÁNODO	$2\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ (Oxidación)

Fuente: (Llorca, 2010)

Con los datos necesarios se realizó los cálculos y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 3.5

Cálculo de variables

NOMBRE	FÓRMULA	VARIABLE	RESULTADO
Intensidad de corriente	$I = \frac{Q}{t}$	Q	Q = 720 C
Peso equivalente	$E = \frac{Pa}{V}$	E	E = 0,5 mol
Ley de Faraday	$m = \frac{E \times I \times t}{F}$	m	$m = 3,73 \times 10^{-3}$ (mol)
Ley de los gases ideales	$P \times V = n \times R \times T$ $m = n$	V	$V_H = 9,1 \times 10^{-8} \text{ m}^3$

Con los datos anteriores se puede realizar el cálculo el flujo de gas que produce el generador.

Tabla 3.6

Volumen de gas HHO obtenido

Volumen de hidrógeno en cada celda	$V_H = 9,1 \times 10^{-8} \text{ m}^3$
Volumen total de hidrógeno	$V_{\text{totalH}} = 5,46 \times 10^{-7} \text{ m}^3$
Volumen de oxígeno en cada celda	$V_O = 4,55 \times 10^{-8} \text{ m}^3$
Volumen total de oxígeno	$V_{\text{totalO}} = 2,73 \times 10^{-7} \text{ m}^3$
Volumen de HHO producido	$V_{\text{HHO}} = 8 \times 10^{-7} \text{ m}^3$

3.2 MATEMATIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

Para corroborar los datos mostrados en las tablas anteriores, se muestra en este apartado los procesos matemáticos de los parámetros requeridos.

3.2.1 CÁLCULO DEL VOLUMEN INTERNO

Se calcula el área total de la placa con el fin de obtener el área de trabajo:

$$\begin{aligned}
 A &= b \times h \\
 b_{in} &= 0,1964 \text{ m} \\
 h_{in} &= 0,1164 \text{ m} \\
 A_{in} &= b_{in} \times h_{in} \\
 A_{in} &= 0,1964 \text{ m} \times 0,1164 \text{ m} \\
 A_{in} &= 0,02286 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Se calcula el área del triángulo (chaflán):

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{b \times h}{2} \\
 b_t &= 0,017 \text{ m} \\
 h_t &= 0,0085 \text{ m} \\
 A_t &= \frac{b_t \times h_t}{2} \\
 A_t &= \frac{0,017 \text{ m} \times 0,0085 \text{ m}}{2} \\
 A_t &= 7,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Para determinar el área de la placa que está en contacto con el agua y electrolito se resta el área total de la placa y las áreas de los chaflanes:

$$\begin{aligned}
 A_p &= A_{in} - 2(A_t) \\
 A_p &= 0,02286 \text{ m}^2 - 2(7,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2) \\
 A_p &= 0,022716 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Con el área de contacto que va a producir el gas HHO se determina el volumen de cada cámara:

$$\text{espesor}_c = 9 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$V_c = A_p \times \text{espesor}_c$$

$$V_c = 0,022716 \text{ m}^2 \times (9 \times 10^{-3}) \text{ m}$$

$$V_c = 2,044 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

La mitad del volumen de la cámara esta designado para ocupar el agua destilada conjuntamente con el electrolito mientras que la otra mitad ocupa el gas producido.

3.2.2 CÁLCULO DE FLUJO DEL GAS HHO

Se sabe el consumo de corriente y el tiempo para calcular la carga eléctrica Q del generador:

$$Q = I \times t$$

$$Q = 12\text{A} \times 60\text{s}$$

$$Q = 720 \text{ C}$$

Cálculo del peso equivalente del hidrógeno:

$$E = \frac{Pa}{V}$$

$$E = \frac{1(g)}{2(mol)}$$

$$E = 0,5 \text{ mol}$$

Utilizando la fórmula de la ley de Faraday y con todos los datos se calcula el número de moles que posee el hidrógeno:

$$m = \frac{E \times I \times t}{F}$$

$$m = \frac{0,5(\text{mol}) \times 12(\text{A}) \times 60(\text{s})}{96500(\frac{\text{C}}{\text{mol}})}$$

$$m = 3,73 \times 10^{-3}(\text{mol})$$

Sabiendo el número de moles se calcula el volumen de gas hidrógeno generado en cada celda con la fórmula de los gases ideales:

$$P \times V = n \times R \times T$$

$$V = \frac{n \times R \times T}{P}$$

$$n = m$$

$$V_H = \frac{3,73 \times 10^{-3}(\text{mol}) \times 0,082(\frac{\text{atm} \times \text{l}}{\text{mol} \times \text{K}}) \times 298(\text{K})}{1\text{atm}}$$

$$V_H = 0,091 \text{ l (en cada celda)}$$

$$V_H = 9,1 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

El volumen total de gas hidrógeno generado se obtiene multiplicando el número de celdas:

$$V_{\text{totalH}} = 6 \times 0,091(\text{l})$$

$$V_{\text{totalH}} = 0,546 \text{ (l)}$$

$$V_{\text{totalH}} = 5,46 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

El volumen del gas de oxígeno que se genera, es la mitad del volumen de gas hidrógeno entonces:

$$V_O = \frac{V_H}{2}$$

$$V_O = \frac{0,091 \text{ (l)}}{2}$$

$$V_O = 0,0455 \text{ l (en cada celda)}$$

$$V_O = 4,55 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

Multiplicando el volumen del gas oxígeno por el número de celdas se obtiene el volumen total de gas de oxígeno:

$$V_{\text{totalO}} = 6 \times 0,0455 \text{ (l)}$$

$$V_{\text{totalO}} = 0,273 \text{ (l)}$$

$$V_{\text{totalO}} = 2,73 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Finalmente, se suman los volúmenes totales de ambos gases con la finalidad de obtener el flujo de gas HHO suministrado por el generador:

$$V_{\text{HHO}} = V_{\text{totalH}} + V_{\text{totalO}}$$

$$V_{\text{HHO}} = 0,546 \text{ l} + 0,273 \text{ (l)}$$

$$V_{\text{HHO}} = 0,819 \text{ l} \approx 0,800 \text{ (l)}$$

$$V_{\text{HHO}} = 8 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

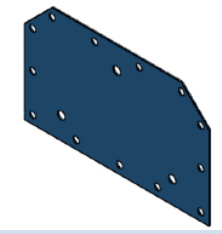
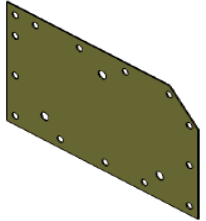
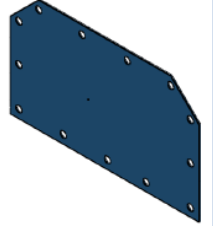
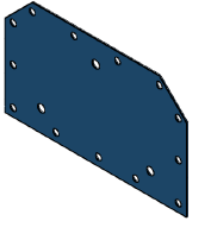

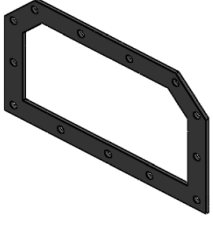

Entonces, el volumen generado de gas HHO es de $8 \times 10^{-7} \text{ m}^3$ (0,8 l) en un minuto, el cual es enviado directamente hacia la admisión del motor.

3.3 CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR DE GAS HHO



Se eligió un mayor número de placas negativas debido que en la reacción de la electrólisis el oxígeno se genera en las placas positivas y el hidrógeno en las placas negativas, Estas placas están situadas a los extremos del generador antes de las placas tope, de esta manera el gas producido sale con facilidad.

Tabla 3.7

Componentes del generador de hidrógeno

NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	IMAGEN
Placas neutras	Acero inoxidable 316L Dimensión: 0,2 m × 0,12 m Espesor: 1×10^{-3} m	12	
Placas positivas y negativas	Acero inoxidable 316L Dimensión: 0,2 m × 0,12 m Espesor: : 1×10^{-3} m	7	
Tope posterior	Acero inoxidable 316L Dimensión: 0,2 m × 0,12 m Espesor: : 1×10^{-3} m	1	
Placa frontal	Acero inoxidable 316L Dimensión: 0,2 m × 0,12 m Espesor: : 1×10^{-3} m	1	
Racores neumáticos	Acero inoxidable Diámetro: 0,008 m	3	
Separadores	Poliuretano Dimensión: 0,2 m × 0,12 m Espesor: 3×10^{-3} m	20	
Pernos de sujeción	Acero inoxidable Largo: 0,12 m Diámetro: 5×10^{-3} m	13	

CONTINÚA →

Pernos de conexión	Acero inoxidable Largo: 0,12 m Diámetro: 8×10^{-3} m	2	
Tuercas de conexión	Acero inoxidable Diámetro ex: 0,01 m Diámetro in: 8×10^{-3} m	16	
Tuercas de sujeción	Acero inoxidable Diámetro ex: 7×10^{-3} m Diámetro in: 5×10^{-3} m	26	
Arandelas de conexión	Acero inoxidable Diámetro in: 8×10^{-3} m	4	
Arandelas de sujeción	Acero inoxidable Diámetro in: 5×10^{-3} m	26	
Manguera aislante	PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro ex: 6×10^{-3} m Diámetro in: 5×10^{-3} m Altura: 0,09 m	13	

Para la elaboración de las placas que constituyen el generador es necesario los procesos que se muestran a continuación.

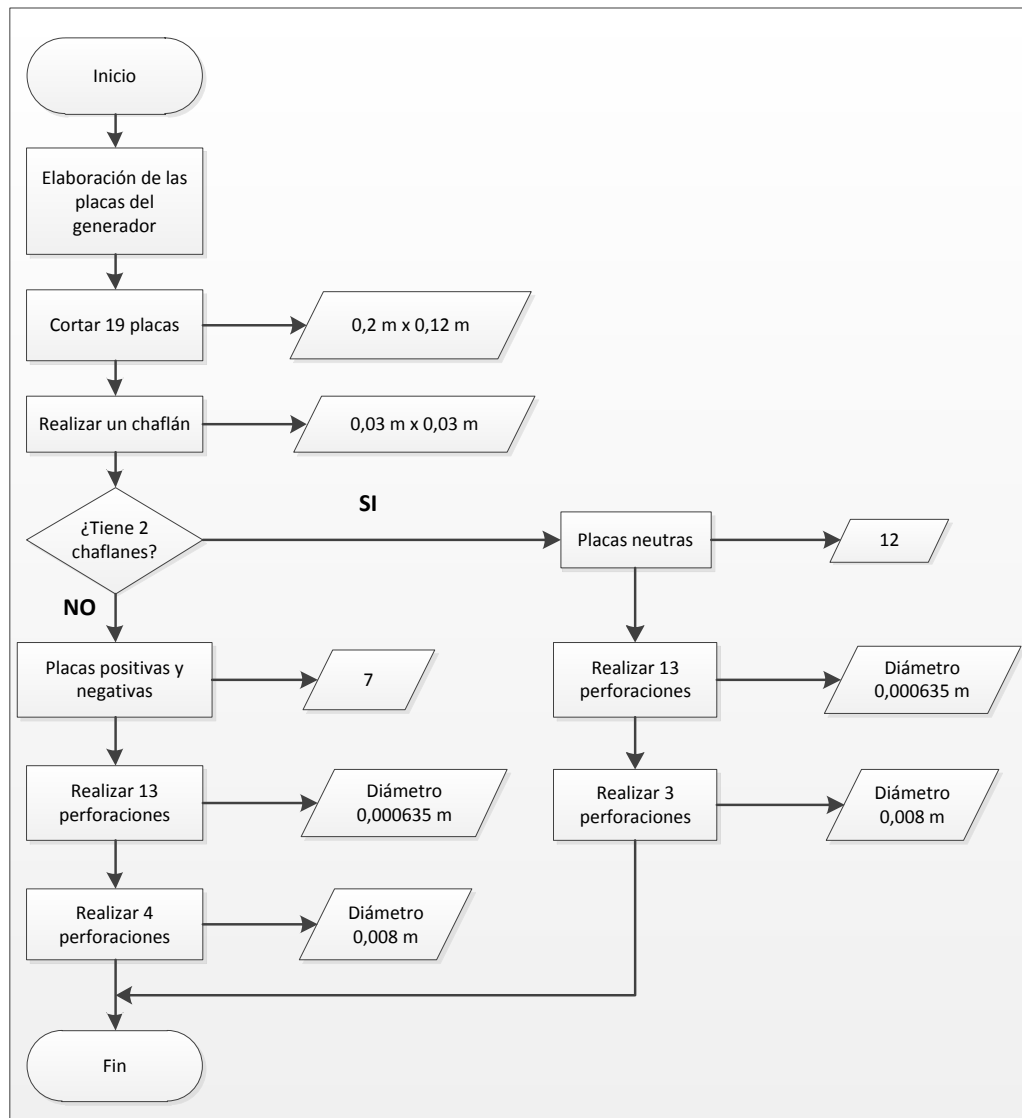


Figura 3.1 Diagrama de flujo de elaboración de las placas positivas, negativas y neutras

Se corta los diferentes tipos de placas: positivas, negativas, neutras y las placas para topes que constituye el generador. Para ello se señaló y cortó 21 placas de las medidas 0,12 m x 0,2 m.



Figura 3.2 Señalado y corte de las placas

Las placas son separadas de la siguiente manera para realizar diferentes trabajos en las mismas:

- 12 placas neutras.
- 4 placas negativas.
- 3 placas positivas.
- 2 placas para topes.

3.3.1 ELABORACIÓN DE LAS PLACAS NEUTRAS

En las 12 placas que fueron cortadas anteriormente se realizan dos chaflanes de 0,03 m x 0,03 m. en dos de sus esquinas



Figura 3.3 Corte del chaflán de las placas neutras

Se perforan 13 orificios al borde de la placa, que facilitan la fijación y el ajuste del generador de gas HHO.



Figura 3.4 Placa neutra con los orificios de fijación

Se realiza 3 perforaciones en cada una de las placas los cuales sirven para el ingreso de agua y la salida del gas combustible.

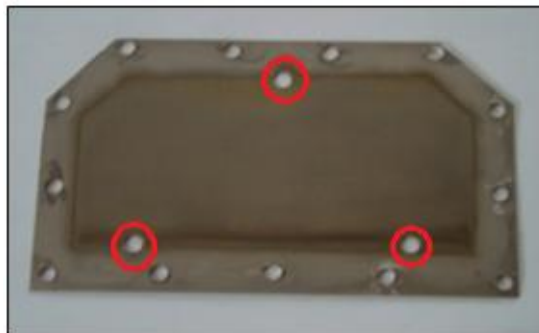


Figura 3.5 Placa neutra

3.3.2. ELABORACIÓN DE PLACAS POSITIVAS Y NEGATIVAS

Se utiliza 7 placas (3 positivas, 4 negativas) se procede a realizar un chaflán similar de 0,03 m x 0,03 m en un extremo en todas las placas.



Figura 3.6 Placa negativa y positiva con chaflán

Se realizan las perforaciones en el borde de cada placa y se adiciona una perforación más en la esquina donde no se realizó el chaflán, el mismo que sirve para unir las entre ellas y alimentarlas con la energía de la batería.



Figura 3.7 Placa positiva y negativa con perforaciones de sujeción y de alimentación de energía

Se realizan 3 perforaciones para el ingreso del agua y la salida del gas combustible HHO.

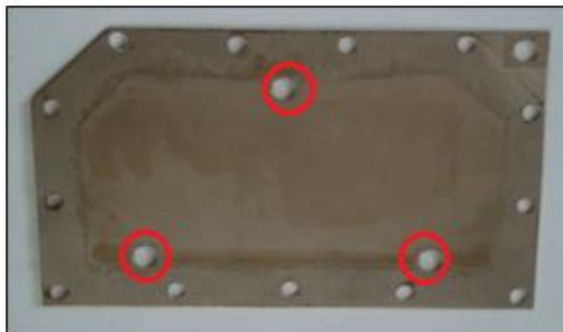


Figura 3.8 Placas positivas y negativas

3.3.3 ELABORACIÓN DE LAS PLACAS PARA TOPES

Se utilizan 2 placas para realizar un tope posterior y un tope frontal. En las placas se realizan 2 chaflanes de 0,03 m x 0,03 m en los extremos al igual que la placa neutra.



Figura 3.9 Topes posterior y frontal con chaflán

Se realizan las perforaciones al contorno de la placa.

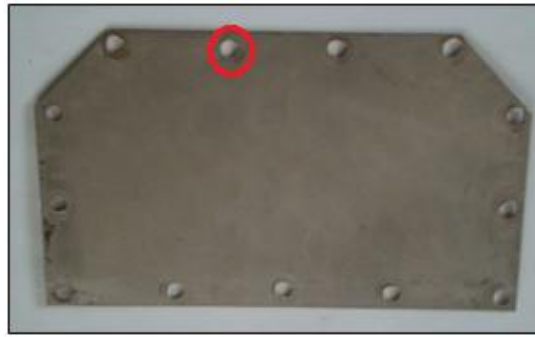


Figura 3.10 Tope posterior

Con la siguiente placa se realiza el tope frontal y se hacen 3 perforaciones para colocar los racores neumáticos.

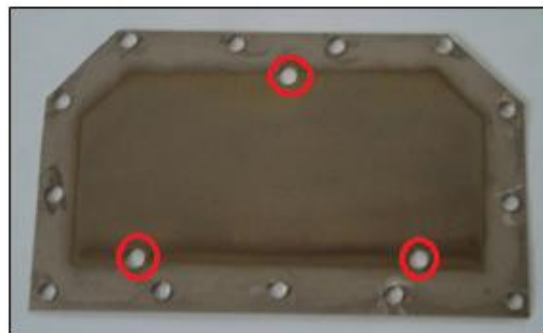


Figura 3.11 Tope frontal

Son colocados los racores neumáticos en los 3 orificios, los cuales cumplen la función de acoplar las mangueras del depósito por donde ingresa el agua y sale el gas combustible hacia el burbujeador.



Figura 3.12 Placa frontal con los conectores rápidos

3.3.4 ELABORACIÓN DE LOS SEPARADORES DE LAS PLACAS

Entre cada placa existe un separador que evita el contacto entre ellas y que la producción del gas HHO sea la adecuada. En la siguiente figura se detalla este proceso.

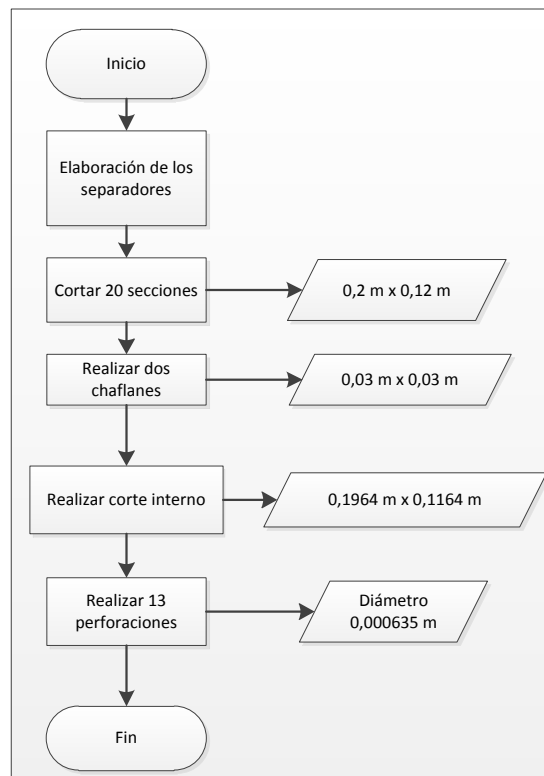


Figura 3.13 Diagrama de flujo de elaboración de los separadores

Para la elaboración de los separadores de las placas se escogió un poliuretano de 0,003 m de espesor.



Figura 3.14 Poliuretano

Se cortan 20 segmentos de la misma medida de las placas de 0,2 m x 0,12 m y tendrán la misma forma.



Figura 3.15 Separador con chaflán

Se realiza un corte interno de 0,018 m por cada lado para seleccionar el área interna de producción y mantener la hermeticidad dentro del generador.



Figura 3.16 Separador con corte interno

Se realizan las perforaciones por donde ingresan los pernos para el ajuste sujeción del generador de gas HHO.

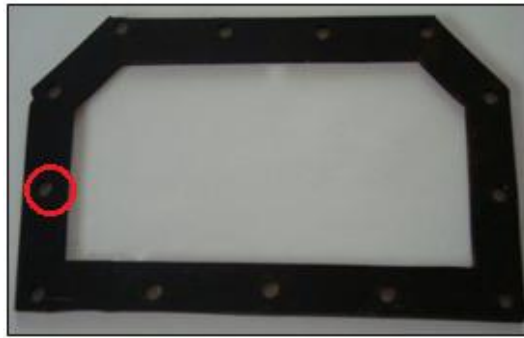


Figura 3.17 Separador de las placas

Se ubican todas las placas de acuerdo a la distribución que a continuación se muestra:

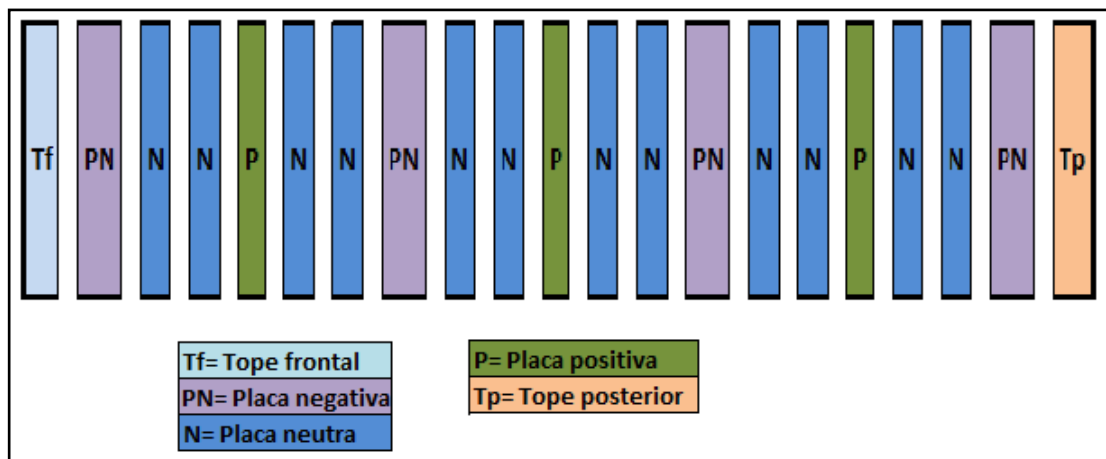


Figura 3.18 Distribución de las placas

Luego son colocados los pernos en cada orificio de sujeción con sus respectivas mangueras aislantes.

Terminado este proceso se utilizó 2 pernos con 12 tuercas para fijar las placas positivas y placas negativas que luego son alimentadas con energía para su funcionamiento.

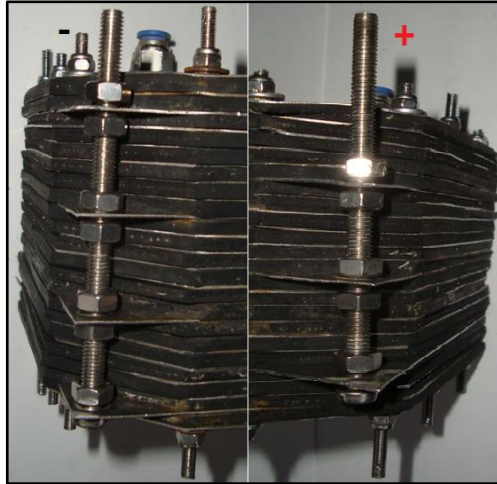


Figura 3.19 Polos positivos y negativos del generador de gas HHO

Finalizado este proceso se ajustan los pernos existentes en el generador de gas HHO para mantener su hermeticidad y de igual manera se ajusta los pernos de alimentación de energía con su respectiva placa.

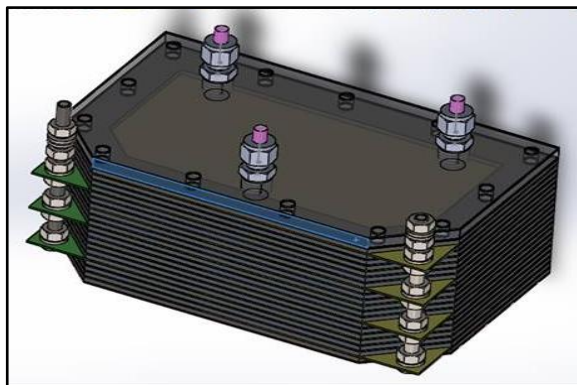


Figura 3.20 Generador de gas HHO

3.4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO Y DEL BURBUJEADOR

3.4.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DEPÓSITO Y BURBUJEADOR

El depósito está diseñado para albergar $2 \times 10^{-3}m^3$ (2 litros) de agua destilada con electrolito (KOH) y los $5 \times 10^{-4}m^3$ (0,5 litros) donde se aloja el gas HHO para luego ingresar a la admisión del motor de combustión interna.

Tabla 3.8

Ficha técnica del depósito y burbujeador

ESPECIFICACIONES DEL DEPÓSITO Y BURBUJEADOR	
Capacidad	$2 \times 10^{-3}m^3$
Altura	0,27 m
Diámetro	0,11 m
Toma del burbujeador	2
Toma de abastecimiento al generador	1
Toma de salida de gas a la admisión	1
Tapa de suministro al deposito	1

El material elegido para la construcción del depósito es el empleado en tuberías PVC, se debe a que sus características se acoplan perfectamente a los requerimientos planteados, las cuales se detallan a continuación:

- Es un material altamente resistente y duradero.
- Muy resistente a la corrosión.
- Resistencia a las variaciones de temperatura.
- Resistente al hidróxido de potasio.
- Impermeable a gases y líquidos.
- Resistente a la acción de hongos y bacterias.

El burbujeador es un dispositivo de seguridad que funciona como válvula unidireccional. En lo referente a su estructura, básicamente es un recipiente parcialmente lleno de agua, en este caso el nivel del depósito no debe ser menor a $\frac{1}{4}$ de la capacidad total del mismo.

El burbujeador básicamente cumple tres funciones:

- Válvula Antirreflujo.- Los gases que entran por los tubos sumergidos 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.
- Filtro.- Con el pasar de los gases generados en las celdas a través de la solución, se consigue un filtrado de los gases y la eliminación de posibles restos de electrolito evitando además que cualquier agente extraño fuera arrastrado hacia las cámaras de combustión, permitiendo únicamente el paso de HHO.
- Cortafuegos.- El burbujeador cuenta con una capa de líquido no inflamable, solución, entre el conducto que va hacia el motor y el generador, el cual servirá para extinguir el caso improbable de una retro llama, evitando que esta llegue al generador donde tenemos un alto volumen de HHO.

3.4.2 COMPONENTES DEL DEPÓSITO Y DEL BURBUJEADOR

El depósito y el burbujeador se construyen en un solo conjunto con los siguientes materiales que se describen.

Tabla 3.9

Componentes del depósito y del burbujeador

NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD
Tapón tipo hembra	PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: 0,11 m	2
Tubo	PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: 0,11 m Largo: 0,27 m	1
Tapón	PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: 0,032 m	1
Neplo	PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: 0,032 m	1
Tuerca	PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: 0,032 m	1
Racores neumáticos	Acero inoxidable Diámetro: 0,008 m	3
Racor neumático	Acero inoxidable Diámetro: 0,0095 m	1

El depósito y burbujeador se ensamblan con todos los componentes establecidos previamente en el diseño. El depósito, al funcionar como burbujeador, para su construcción únicamente se adicionó una sección de manguera de 0,007 m de diámetro a los dos racores neumáticos en la parte interior del depósito, la cual se encuentra sumergida bajo la solución.

3.4.3 CONSTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO Y DEL BURBUJEADOR

Se corta el tubo PVC (policloruro de vinilo) de 0,11 m de diámetro y con altura de 0,27 m.



Figura 3.21 Tubo PVC (policloruro de vinilo)

En este proceso se necesario utilizar dos tapones de tipo hembra de 0,11 m de diámetro, uno para la parte inferior y el otro para la parte superior. En el centro del tapón se realiza un orificio de 0,032 m de diámetro para conectar el neplo con tuerca de 0,032 m de diámetro.

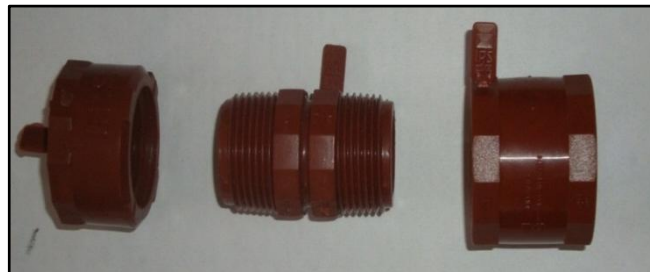


Figura 3.22 Tapón, neplo y tuerca

Se perforan dos orificios de 0,008 m de diámetro y otro de 0,0095 m de diámetro para acoplar los racores neumáticos.



Figura 3.23 Tapón con orificios de 0,032 m, 0,008 m y 0,0095 m

Se lija, se limpia y se humedece las superficies donde se aplica la soldadura líquida para colocar los racores neumáticos y el neplo.

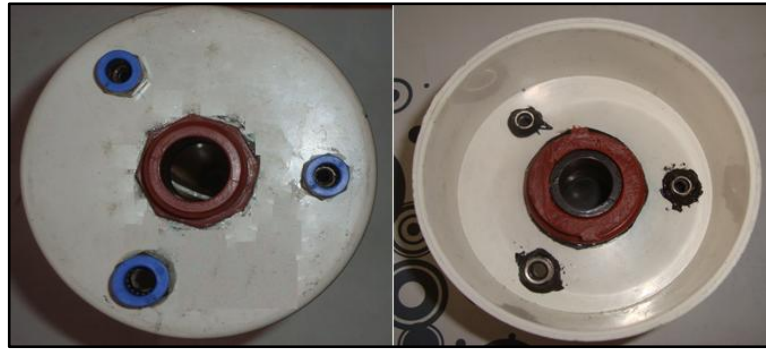


Figura 3.24 Parte superior del depósito

En el segundo tapón se realiza un orificio de 0,008 m en el centro, de igual manera se lija, limpia y humedece la superficie donde se aplica la suelda líquida para acoplar un racor neumático.



Figura 3.25 Parte inferior del depósito

Para juntar todas las partes del depósito se aplica una capa uniforme de soldadura líquida en los contornos de la parte inferior y de la parte superior del depósito y se junta firmemente por al menos 30 segundos para asegurar una correcta impermeabilización. Con el fin de evitar fugas del electrolito se procede a colocar batepiedra en todo el depósito.

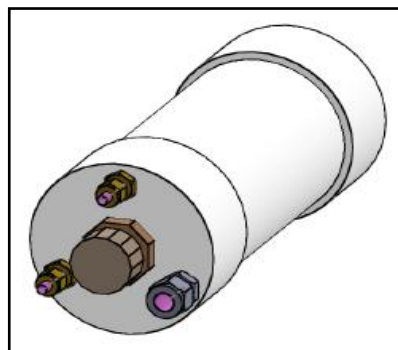


Figura 3.26 Depósito y burbujeador

3.5 DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO

Para el circuito se utiliza dos interruptores para mayor seguridad que permitan encender y apagar el generador.

- El primero corresponde al interruptor de contacto del monoplaça que permite encender el motor y obtener corriente para el circuito.
- El segundo interruptor sirve para encender o apagar el generador de HHO.

El circuito trabaja con 12 A para ello se coloca un elemento de seguridad: un fusible de 16 A que limita la corriente máxima. También se utiliza un amperímetro y un voltímetro de corriente continua para poder visualizar la tensión e intensidad que está circulando por el generador de HHO.

Para tener un mayor control visual, se incluyen varios diodos led para comprobar el estado de funcionamiento del circuito. A continuación se muestra el esquema eléctrico con el cual funciona el generador de HHO.

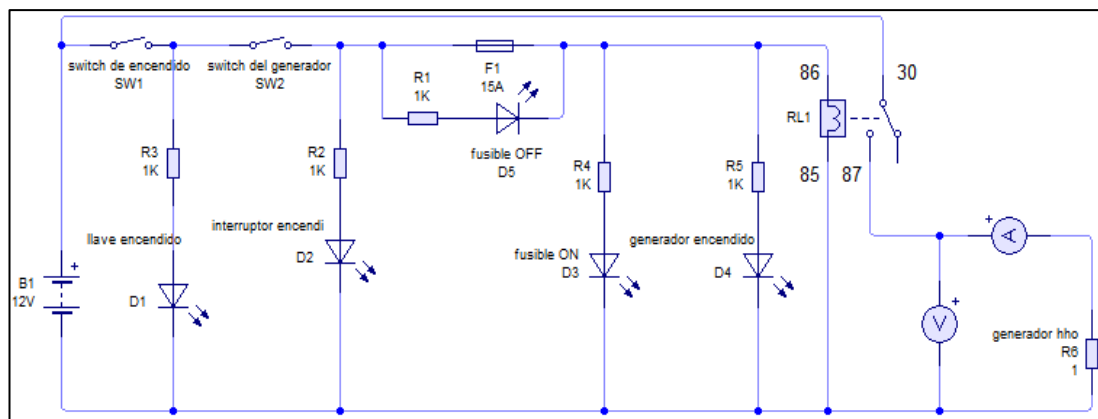


Figura 3.27 Esquema eléctrico

La designación del cable eléctrico está en función del amperaje que va a circular por el mismo. Con el fin de evitar que exista recalentamiento en los cables de alimentación o exista algún cortocircuito que impida el buen funcionamiento del generador de gas HHO se eligió el cable en la siguiente tabla:

Tabla 3.10

Características de cables eléctricos

CONDUCTOR		CAPACIDAD DE CORRIENTE Ampere			
CALIBRE AWG-MCM	SECCIÓN <i>mm</i> ²	Instalaciones en tubo Máximo tres conductores		Instalación al aire libre	
		TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN DEL CONDUCTOR			
		70 °C	90°C	70 °C	90 °C
18	0,821	9	14	13	18
	1,0	11	16	16	24
16	1,31	13	18	19	24
	1,5	15	22	23	27
14	2,08	20	25	28	35
	2,5	20	27	28	35
12	3,31	25	30	33	40
	4	26	34	35	46
10	5,26	34	40	48	55
	6	36	42	50	60
8	8,37	47	55	66	80
	10	47	60	74	83
6	13,3	62	75	90	105
	16	71	78	100	115
4	21,15	81	95	120	140
	25	90	100	133	150
2	33,63	110	130	160	190
	35	114	130	165	190
1	42,41	124	150	185	220
	50	138	150	210	230

Fuente: (CELSA, 2012)

3.6 COMPONENTES DEL CIRCUITO ELÉCTRICO

Tabla 3.11

Componentes del circuito eléctrico

NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	IMAGEN
Interruptor	Intensidad máxima: 16 amperios Para empotrar	1	
Cable eléctrico	Cable de hilos calibre 14	6 metros	
Fusible	Intensidad máxima: 16 amperios Diámetro: 0,005 m Largo: 0,02 m	1	
Porta fusible	Para fusibles de: Diámetro: 0,005 m Largo: 0,02 m Para empotrar	1	
Diodo led rojo	Diámetro: 0,005 m Alta luminosidad	1	
Diodo led verde	Diámetro: 0,005 m Alta luminosidad	2	

CONTINÚA →

Diodo led anaranjado	Diámetro: 0,005 m Alta luminosidad	2	
Resistencia	Resistencia: 1K Ω	5	
Relé	Voltaje: 12 V DC Intensidad: 30 A	1	
Amperímetro	Corriente continua Diámetro: 0,052 m Escala: 0-60 amperios	1	
Voltímetro	Corriente continua Diámetro: 0,052 m Escala: 8-16 voltios	1	
Terminales tipo hembra	Terminal de 0,003 m	7	
Terminales redondos	Diámetro interno: 0,005 m	3	

Con los materiales y el circuito eléctrico se instaló los componentes del módulo de control apretando todos los conectores y evitando que existan cables sueltos y sin recubrimiento para que no sufran ningún daño los componentes existentes.



Figura 3.28 Módulo de control

CAPÍTULO IV

INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE HHO EN EL VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO BUGGY

Antes de la instalación de los componentes del sistema de generación de gas Brown se deben tener en cuenta algunas consideraciones de seguridad.

4.1 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

- No fumar mientras se manipule el generador de gas HHO.
- Desconectar los bornes de la batería del vehículo.
- No trabajar con el motor a temperatura normal de funcionamiento.
- Usar gafas y guantes al momento de utilizar el electrolito.
- Utilizar las herramientas adecuadas para la instalación.

4.2 CONSIDERACIONES INICIALES

El gas generado se introduce al motor en la admisión aprovechando la aspiración y el vacío que produce el motor, se mezcla con la gasolina en las cámaras de combustión de cada cilindro, se quema conjuntamente con el combustible y el aire aspirado por el motor. Esta mezcla es más eficiente que la combustión de la gasolina, debido a esto se obtiene un rendimiento elevado del motor y una disminución de las emisiones contaminantes.

El generador solo produce gas a demanda, este gas no se acumula en un depósito a alta presión, consiguiendo así niveles de seguridad altos.

Es necesario que todos los componentes estén bien sujetos ya que podría existir algún problema al momento de generar el gas HHO.

4.3 COMPONENTES DEL SISTEMA PARA LA INSTALACIÓN

Tabla 4.1

Componentes del sistema para la instalación

NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	IMAGEN
Generador de hidrógeno HHO	Placas 20 Cámaras generadoras 6 Voltaje 12 V DC Consumo eléctrico 12 A Caudal: $1,33 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$	1	
Depósito y burbujeador	Capacidad: $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ Altura: 0,27 m Diámetro: 0,11 m	1	
Sistema de control	Amperímetro de 60 A Voltímetro de 16 V Fusible 16 A	1	
Cabe eléctrico	Calibre 14 Capacidad de conducción de corriente 25 A	9 metros	
Manguera transparente	Diámetro ex: $8 \times 10^{-3} \text{ m}$ Diámetro in: $7 \times 10^{-3} \text{ m}$	3 metros	
Manguera roja	Diámetro ex: $9,5 \times 10^{-3} \text{ m}$ Diámetro in: $8 \times 10^{-3} \text{ m}$	2 metros	
Terminales redondos	Diametro in: $8 \times 10^{-3} \text{ m}$	5	
Cinta aislante	Material aislante	1	

4.4 PROCESO DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA

A continuación se muestra el circuito por donde va a circular el gas HHO desde el generador hacia el motor.

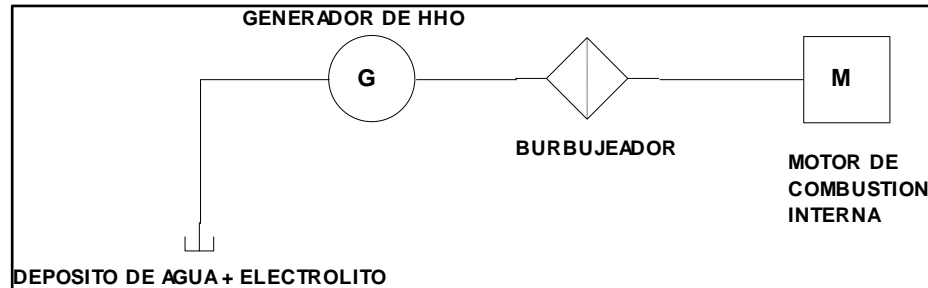


Figura 4.1 Diagrama de alimentación del gas HHO

Para instalar el sistema de generación de gas HHO en el vehículo tipo Buggy se utiliza las siguientes herramientas:

- Destornilladores (Plano y estrella)
- Alicates
- Llaves de tuercas (numero 10 y 11)
- Estilete

4.4.1 GENERADOR DE HHO

El generador se instala en un lugar alejado de las fuentes de calor, donde no existan cables de conexiones eléctricas que obstaculicen su operación y tampoco deben existir fugas de algún líquido.



Figura 4.2 Ubicación del generador del gas HHO

En este caso se ubicó el generador del gas HHO en la parte superior del neumático derecho, donde existe un espacio y ventilación suficientes para el correcto funcionamiento del mismo. Una vez seleccionado el lugar se deben colocar dos terminales en un cable eléctrico (positivo y negativo). El generador del gas HHO se debe colocar perpendicularmente al piso para que su operación sea la adecuada y se procede a fijar en el lugar designado.



Figura 4.3 Fijación del generador del gas HHO

4.4.2 DEPÓSITO y BURBUJEADOR

Para colocar el depósito y burbujeador debe tener en cuenta que debe estar a mayor altura que el generador de gas HHO debido a que este se alimenta mediante la gravedad. Se ubicó el depósito y burbujeador en la parte superior derecha atrás del asiento del piloto.



Figura 4.4 Fijación del depósito y burbujeador

4.4.3 SISTEMA DE CONTROL

Para colocar el sistema de control debe estar en un lugar donde se observe los instrumentos de medición de voltaje y amperaje y así monitorear el buen funcionamiento del generador de gas HHO. Para la instalación del sistema eléctrico se recurrió a la figura 3.6 para realizar las conexiones necesarias para poner a punto el generador. El cableado que se eligió es rojo para el positivo y negro para el negativo.

4.4.4 MANGUERAS

Terminado la instalación del cableado eléctrico se colocó las respectivas mangueras del generador del gas HHO y del depósito, la manguera de 0,008 m está conectada con el racor neumático en la parte inferior del depósito y con el racor inferior del generador de gas HHO, mientras que los conectores superiores del depósito fueron conectados con los racores superiores del generador con la manguera de 0,008 m de diámetro.

La manguera de 0,0095 m está conectada en el racor de 0,0095 m y se dirige hacia la admisión aprovechando la aspiración del motor, el motor posee un carburador para cada cilindro, se debe realizar una adaptación para cada carburador.

4.5 PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA

Una vez instalados cada uno de los elementos del sistema, se procede a preparar la solución electrolítica. Para este fin se mezcló 20 gr de hidróxido de potasio (KOH) por cada litro de agua destilada. En este caso de acuerdo al diseño del depósito la preparación fue de 2 litros de agua destilada para colocar en el depósito que abastecerá al generador de gas HHO.

Una vez que se terminó la instalación del generador de gas HHO y todos sus componentes, se enciende primeramente el vehículo tipo Buggy, y con

el módulo de control se activa el funcionamiento para la producción de gas HHO.

Se observa que el voltímetro esté en 12 voltios y el amperímetro en 12 amperios con estos medidores permite verificar el buen funcionamiento de las placas generadoras.

Si el amperímetro se encuentra menor a 3 amperios esto quiere decir que el generador necesita ser recargado con agua destilada o agua de lluvia, la recarga debe hacerse con el generador encendido.

4.6 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE GAS HHO

Ya instalado el sistema en el vehículo se debe realizar un mantenimiento periódico para evitar cualquier tipo de avería y así prolongar la vida útil del generador de gas HHO.

4.6.1 NIVEL DE AGUA DESTILADA

El nivel del agua debe controlarse con regularidad cada 150 km, debido a que el depósito hace las veces de burbujeador, el agua del depósito limpia de impurezas del gas HHO que sale del generador que podrían ir al motor y acortaría su vida útil. Con el nivel adecuado el generador trabaja con su máxima eficiencia (siempre se abastecerá el depósito con el generador de gas HHO encendido), nunca deberá pasar el límite máximo de agua del depósito.

4.6.2 MANGUERAS Y ACOPLÉS

También se revisara las mangueras y acoples que se encuentren en buen estado y que no existan fugas, debido a que el gas HHO podría inflamarse y ocasionar daños severos.

4.6.3 LIMPIEZA DEL GENERADOR

El generador debe ser limpiado cada 20000 km, esto consiste en vaciar el agua del depósito y del generador, seguidamente debe llenar de agua al generador y agitar constantemente durante 2 minutos aproximados para despegar las impurezas que existan en el interior y luego vaciar el agua, este procedimiento se lo realizara por 3 veces. Continuamente se llena el generador con vinagre debido a las propiedades que posee para eliminar el óxido y se hace funcionar por 1 hora, luego se evacua todas las impurezas y se llena de agua destilada con hidróxido de potasio (KOH).

Cuando el nivel de agua sea el adecuado y el amperaje se encuentre por debajo del que trabaja el generador de gas HHO, se deberá controlar agregando hidróxido de potasio (KOH) hasta alcanzar el amperaje adecuado.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la finalidad de verificar los efectos producidos por sistema de generación de gas HHO diseñado, se procedió a realizar el análisis de cada uno de los parámetros característicos del motor de combustión interna del vehículo monoplaza tipo Buggy (torque, potencia, consumo de combustible y emisión de gases). Dicho análisis se realiza en primera instancia con el motor del vehículo en condiciones normales de funcionamiento, es decir, con el sistema de alimentación convencional del motor. Posteriormente, el análisis se ejecuta en el sistema dual gasolina – HHO. Finalmente se realiza una comparación de los parámetros analizados en ambas condiciones mediante la tabulación de los datos obtenidos.

5.1 PRUEBAS DE POTENCIA Y TORQUE

El dinamómetro utilizado se maneja mediante el programa DynoRace que mediante una interface, permite monitorear el comportamiento de los parámetros de potencia y torque, mostrando en la pantalla las curvas respectivas.



Figura 5.1 Pruebas en el dinamómetro de rodillos

Para la ejecución de la prueba el vehículo deberá llegar a las 2000 rpm, momento en el cual el software empieza a generar las curvas en la pantalla.

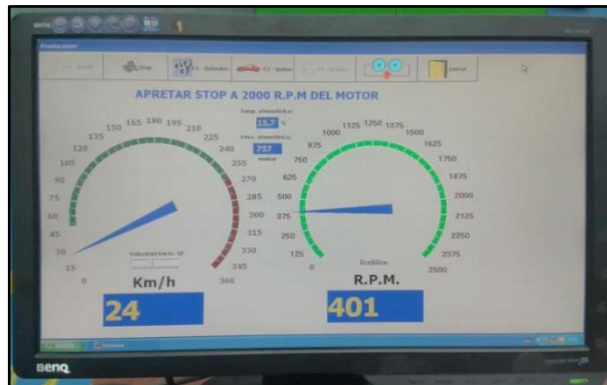


Figura 5.2 Pantalla del software DynoRace

Las rpm del motor son medidas con la ayuda de una lámpara estroboscópica, cuyos terminales son conectados a la alimentación de 12 voltios de la batería y la pinza se coloca sobre el cable de la primera bujía.



Figura 5.3 Lámpara estroboscópica SNAP-ON

Los resultados de torque y potencia obtenidos con el sistema convencional se muestran en la figura 5.4.

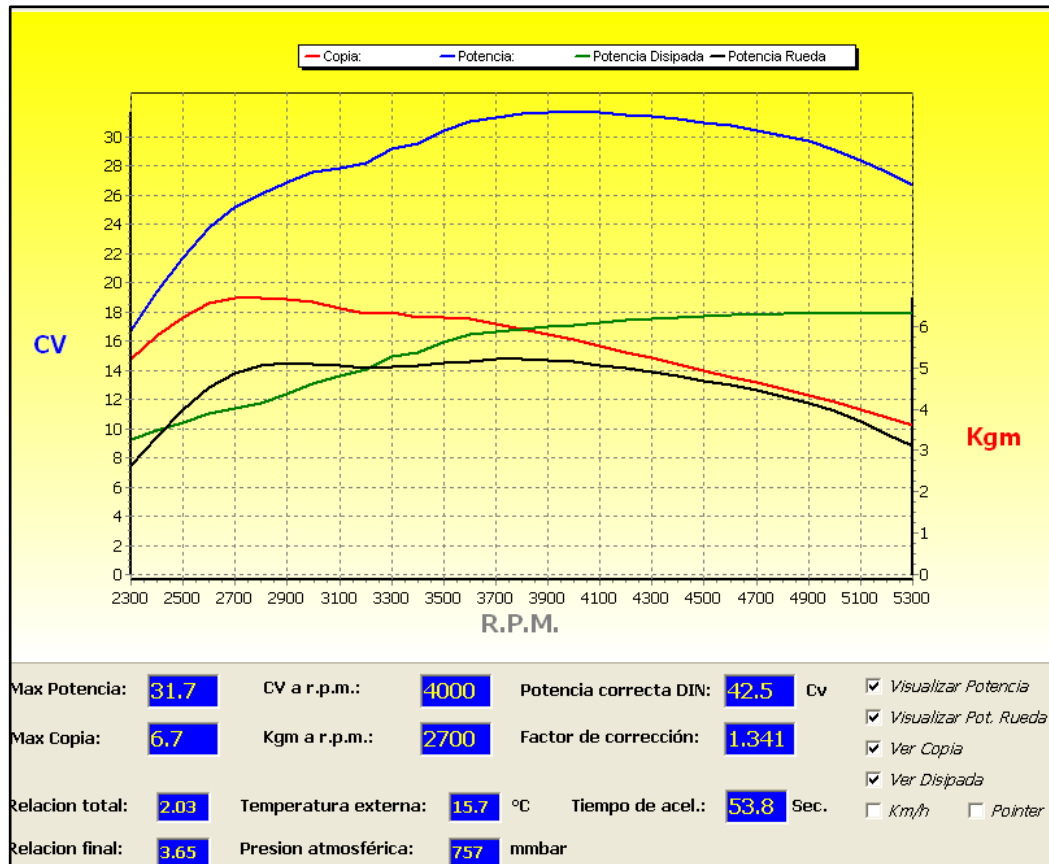


Figura 5.4 Gráfica de potencia y torque con el sistema de gasolina convencional

Los resultados de torque y potencia obtenidos con el sistema dual gasolina - HHO se muestran en la figura 5.5. Una vez obtenidos los resultados de torque y potencia con ambos sistemas de alimentación los datos son tabulados en la tabla 4.2.

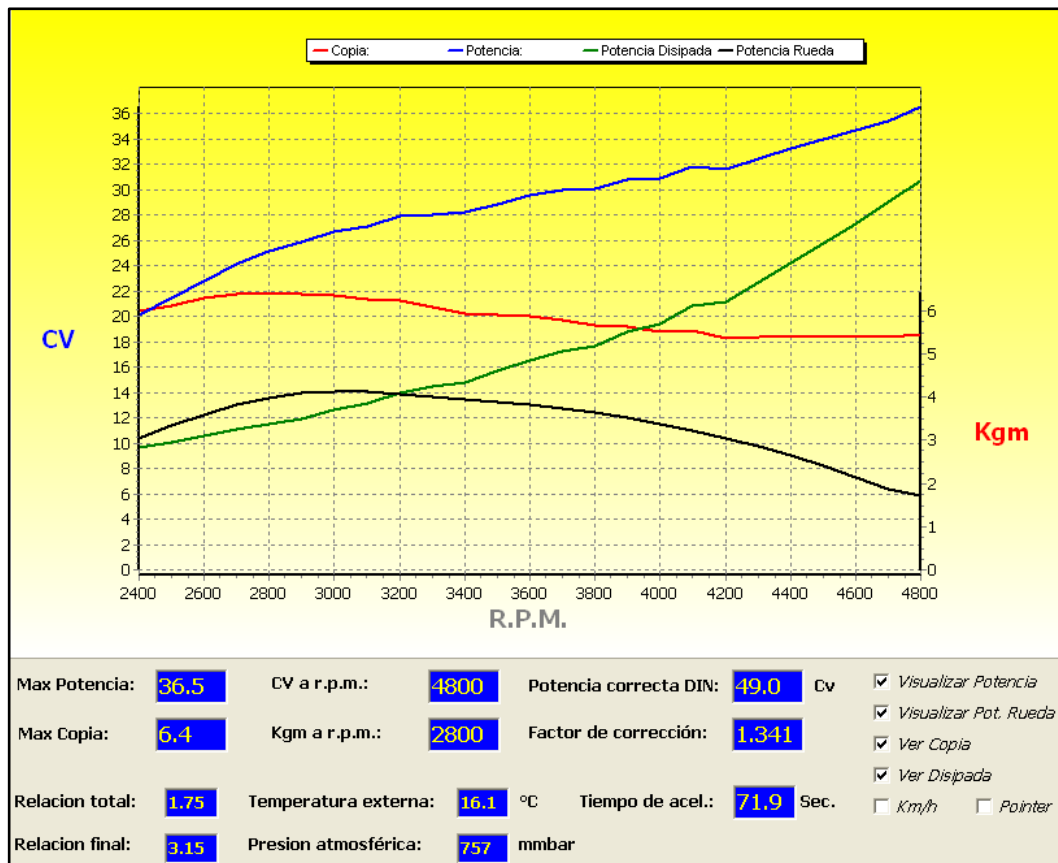


Figura 5.5 Gráfica de potencia y torque con el sistema dual gasolina - HHO

Tabla 5.1

Resultados de torque y potencia

PARÁMETRO	SISTEMA	VALOR	VARIACIÓN
Potencia máxima (CV)	Convencional gasolina	31,7	15,14% ↑
	Gasolina - HHO	36,5	
Torque máximo (Kgm)	Convencional gasolina	6,4	4,91% ↓
	Gasolina - HHO	6,1	

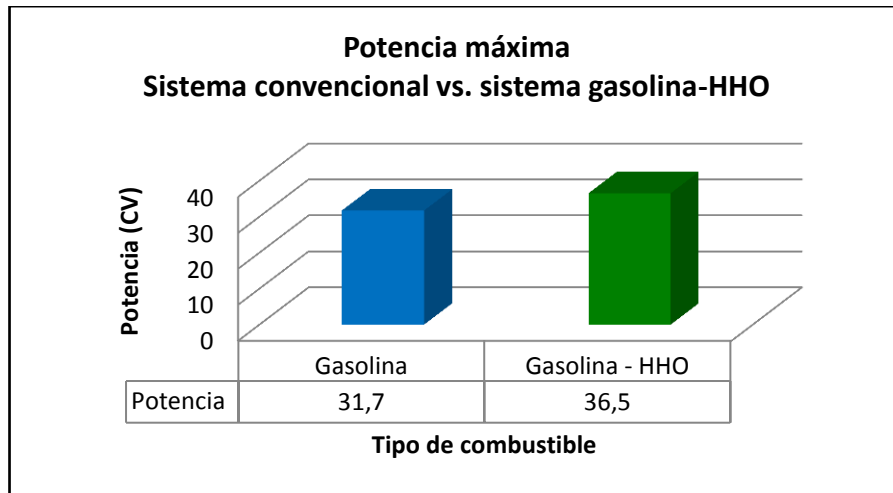


Figura 5.6 Análisis de potencia máxima

La potencia máxima a 4000 rpm utilizando el sistema convencional de alimentación de gasolina es de 31,7 CV y utilizando el sistema dual se observa una potencia máxima de 36,5 CV a 4800 rpm.

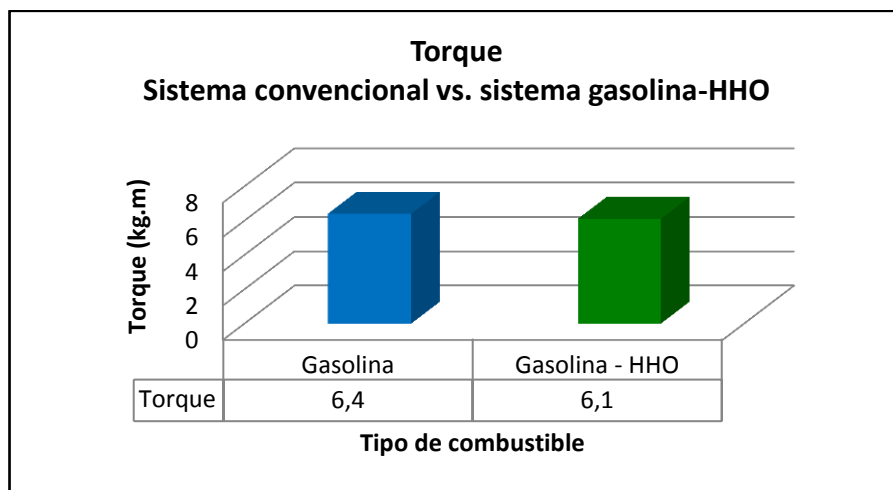


Figura 5.7 Análisis de torque

El torque máximo a 4000 rpm utilizando gasolina como combustible es de 6,4 km-g, mientras que con el sistema gasolina- HHO es de 6,1 kg-m, con una variación de 4,91%.

5.2 PRUEBAS DE AUTONOMÍA (CONSUMO DE COMBUSTIBLE)

Las pruebas de consumo de combustible se ejecutaron mediante una ruta previamente establecida de 35 kilómetros, empezando la prueba en el sector de Machachi, provincia de Pichincha y concluyendo la misma en Lasso, ubicado en la provincia de Cotopaxi. Las seis pruebas de autonomía se desarrollaron con el depósito de combustible lleno a toda su capacidad de almacenamiento, es decir 5 galones equivalente a 18,297 litros de gasolina. Una vez finalizado el recorrido señalado se procede a medir con una probeta graduada la cantidad de gasolina sobrante en el tanque, así se obtuvo la cantidad de combustible consumido en cada uno de los recorridos.

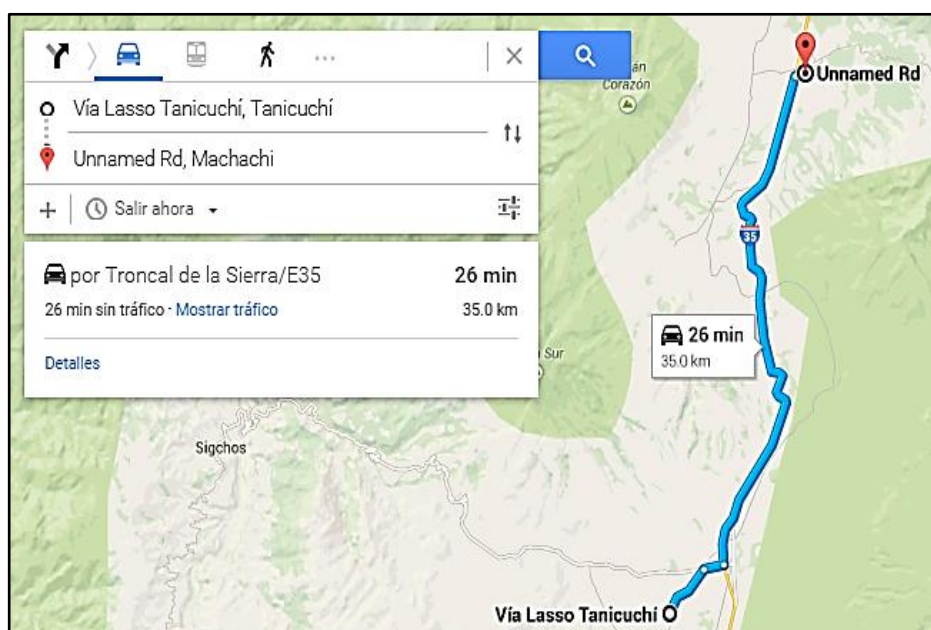


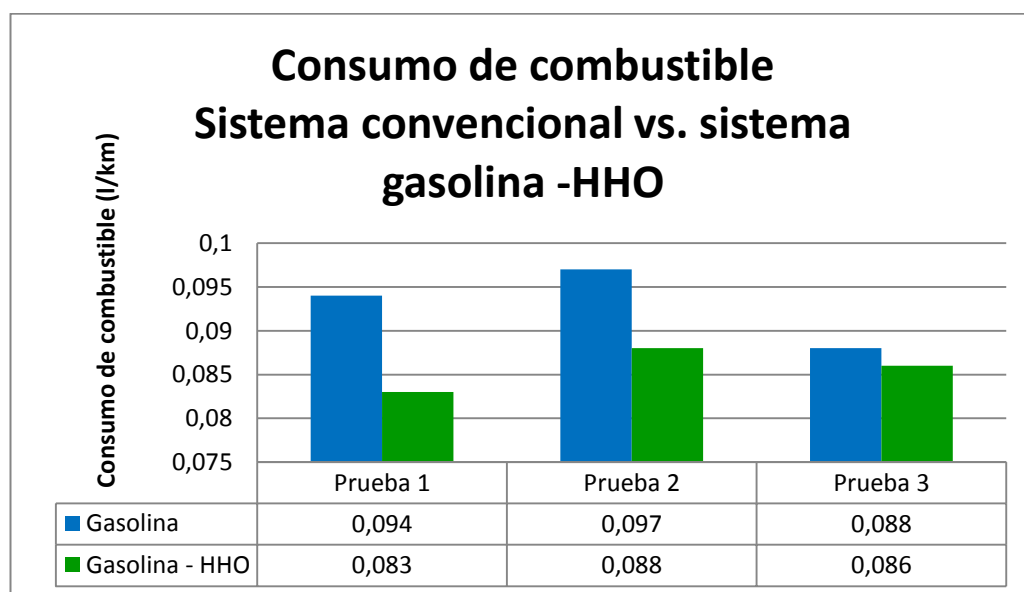
Figura 5.8 Mapa de recorrido para pruebas de autonomía

Fuente: <https://maps.google.com/>

Tabla 5.2

Resultados de consumo de combustible obtenidos

SISTEMA	PRUEBA	GASOLINA CONSUMIDA (l)	DIST. RECORRIDA (km)	CONSUMO (l/km)	VALOR PROM.	VARIAC
Gasolina	1	3,30	35	0,094	0,093	7,53%
	2	3,40	35	0,097		
	3	3,10	35	0,088		
Gasolina - HHO	1	2,90	35	0,083	0,086	
	2	3,10	35	0,088		
	3	3,00	35	0,086		

**Figura 5.9 Análisis de consumo de combustible**

Al obtener un promedio de las tres pruebas realizadas con el sistema de alimentación convencional y con el sistema dual gasolina – HHO se obtuvieron valores de 0,093 y 0,088 litros por cada kilómetro recorrido respectivamente. Con ello se obtuvo una variación de 7,53%, que representa el ahorro de combustible obtenido utilizando al hidrógeno como complemento de la gasolina.

Los resultados de autonomía obtenidos en ambos sistemas de alimentación se calcularon en función de la tabla 5.2

Tabla 5.3

Resultados de autonomía obtenidos

SISTEMA	PROM. CONSUMO DE COMBUSTIBLE (l/km)	RECORRIDO (km)	AUTONOMÍA (l)
Convencional gasolina	0,093	35	3.255
Gasolina - HHO	0,086	35	3.01

La autonomía del sistema de alimentación dual gasolina – HHO presenta una ligera ventaja de 0,245 litros sobre el sistema de alimentación convencional por cada 35 km de recorrido.

5.3 EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES

Las pruebas de análisis de gases contaminantes se las realizó en el Centro de Revisión Técnica Vehicular de la ciudad de Quito mediante la autorización de la Secretaría de Ambiente.



Figura 5.10 Medición de gases contaminantes

En la figura 5.11 se muestra el análisis de gases con ambos sistemas de alimentación. Los valores emitidos por el analizador de gases son tabulados en la tabla 5.3, en la cual se muestra el aumento o disminución de cada uno de los gases, sea en porcentaje o en ppm.

4 Gas Emission Analyzer	4 Gas Emission Analyzer
2015/03/19 PM 5:14 CAR NUMBER: 0000	2015/03/19 PM 5:13 CAR NUMBER: 0000
CO : 0.39 %	CO : 0.31 %
HC : 275 ppm	HC : 143 ppm
CO2 : 14.5 %	CO2 : 13.7 %
O2 : 3.89 %	O2 : 3.93 %
LAMBDA: 1.154	LAMBDA: 1.175
AFR : 16.9	AFR : 17.2
FUEL : GASOLINE	FUEL : GASOLINE
H/C : 1.8500	H/C : 1.8500
O/C : 0.0000	O/C : 0.0000
(a)	(b)
Sistema convencional	Sistema dual gasolina - HHO

Figura 5.11 Resultados analizador de gases

Tabla 5.4

Resultados obtenidos prueba de gases (ralentí)

GAS	SISTEMA CONVENCIONAL GASOLINA	SISTEMA DUAL GASOLINA - HHO	PORCENTAJE DE VARIACIÓN
CO (%)	0,39	0,31	20,51% ↓
HC (ppm)	275	143	48,00% ↓
CO ₂ (%)	14,5	13,7	5,52% ↓
O ₂ (%)	3,89	3,93	1,02% ↑
Lambda	1,154	1,175	1,79% ↑

Con los resultados obtenidos en esta prueba se realizó un breve análisis para cada uno de los gases en función al porcentaje de variación entre ambos sistemas de alimentación.

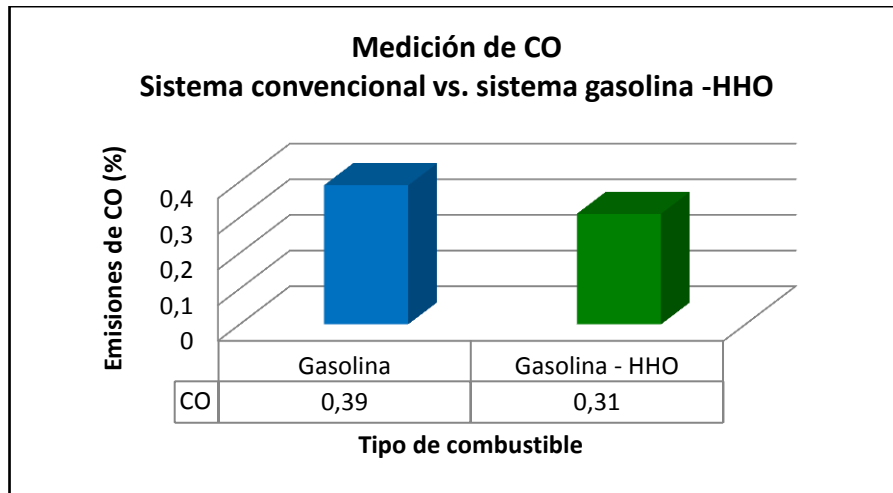


Figura 5.12 Emisiones de CO

Las emisiones de CO, en las pruebas realizadas son de 0,39% con el sistema convencional y de 0,31% con el sistema implementado, produciéndose una variación de 20,51%. El porcentaje de CO es mayor utilizando gasolina como combustible, lo cual indica que existe una combustión incompleta.

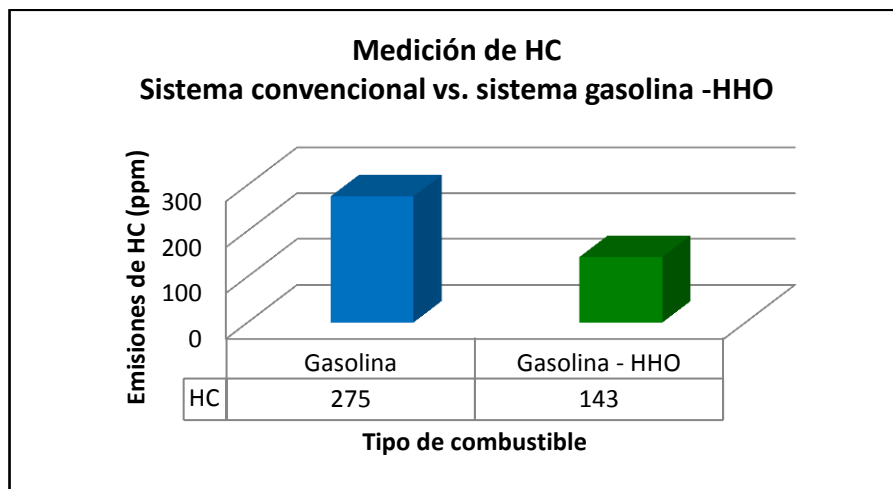


Figura 5.13 Emisiones de HC

En cuanto se refiere a los hidrocarburos no combustionados, existe una considerable disminución en partículas por millón. El sistema convencional genera 275 ppm de HC, a diferencia del sistema dual que produce 143 ppm de HC, obteniéndose una disminución del 48%.

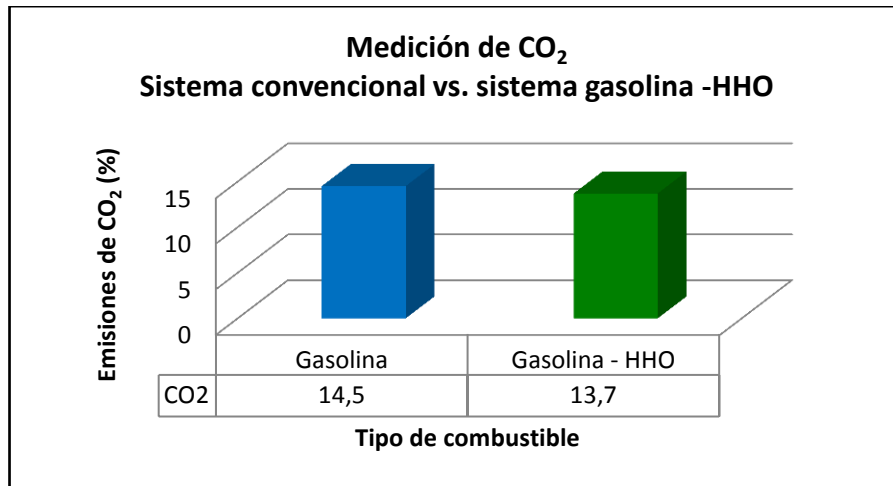


Figura 5.14 Emisiones de CO₂

En el caso del CO₂, existe una ligera variación entre los sistemas de alimentación. Con sistema convencional el valor es de 14,5% mientras que con el sistema con gas HHO el valor es de 13,7%, con una variación de 5,52%. Entra más alto sea el porcentaje de CO₂ mejor será el proceso de combustión.

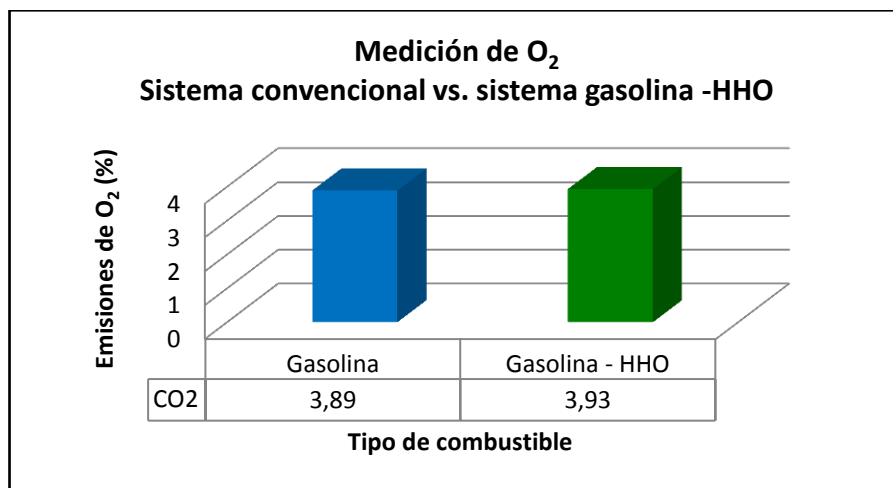


Figura 5.15 Emisiones de O₂

El contenido de O₂ con gasolina es de 3,89% y con gas HHO es de 3,93%, produciéndose una leve variación de apenas 1,02%, lo cual demuestra que la lectura con ambos sistemas es de una mezcla pobre.

CAPÍTULO VI

MARCO ADMINISTRATIVO

6.1 RECURSOS

Para la elaboración del presente proyecto fue necesario utilizar diferentes recursos con el fin de realizar el análisis de las curvas características del motor potencia, torque, autonomía (consumo de combustible) y emisión de gases contaminantes del vehículo monoplace tipo Buggy con la implementación de un sistema a bordo de generación de gas HHO. A continuación se detallan de una manera más ampliada cada uno de los insumos utilizados.

6.1.1 RECURSOS HUMANOS

En el desarrollo del presente proyecto intervinieron las personas que se detallan a continuación de modo jerárquico:

Se contó con el asesoramiento del Ing. Germán Erazo designado como Director quien promovió la investigación científica y la puesta en marcha del proyecto. El Ing. Juan Castro designado como Codirector supervisó el avance del proyecto en sus diferentes etapas.

Tabla 6.1

Recursos humanos

N.	NOMBRE	FUNCIÓN
1	Diego Juma	Autor de proyecto
2	Wladimir Martínez	Autor de proyecto
3	Ing. Germán Erazo	Director de proyecto
4	Ing. Juan Castro	Codirector de proyecto

6.1.2 RECURSOS TECNOLÓGICOS

Para el desarrollo del proyecto fue necesario adquirir diferentes equipos y herramientas como se detallan a continuación:

Tabla 6.2

Recursos tecnológicos

RECURSO	NOMBRE
Informáticos	Computadora personal
	Escáner
	Impresora
	Software de diseño
Bibliográficos	Libros
	Manuales técnicos digitales
	Internet
Equipos y herramientas	Soldadora SMAW
	Cortadora de acero
	Esmeril de banco
	Taladro de banco
	Torno
	Amoladora
	Multímetro automotriz
	Cierra manual
	Tijera industrial
	Juego de destornilladores
	Juego de rachas
	Martillo
	Juego de hexagonales
	Dinamómetro
	Analizador de gases
Caudalímetro	

6.1.3 RECURSOS MATERIALES

En la siguiente tabla se detallan todos los materiales que se utilizaron para la elaboración del proyecto.

Tabla 6.3

Recursos materiales

No.	MATERIAL
1	Placas de acero inoxidable
2	Separadores
3	Tornillos, arandelas y tuercas
4	Racores neumáticos
5	Tubo PVC 0,011 m
6	Tapón tipo hembra 0,011 m
7	Tapón, neplo, tuerca, 0,0032 m
8	Mangueras neumáticas
9	Cable calibre 14
10	Voltímetro
11	Relé 12 V, 30 A.
12	Amperímetro
13	Interruptor
14	Diodos led
15	Porta fusible
16	Fusible
17	Terminales tipo hembra
18	Terminales redondos
19	Amarras
20	Cinta aislante
21	Gasolina
22	Agua destilada
23	Electrolito
24	Vehículo tipo Buggy
25	Aceite 20w50 para motocicletas
26	Caudalímetro

6.2. COSTO DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE HHO

Para la construcción e instalación del sistema a bordo de generación de HHO se adquirió varios materiales, a continuación se observa detalladamente.

Tabla 6.4

Costo de construcción e instalación del sistema de HHO

NO.	MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL
1	Placas de acero inoxidable	23	15,00	345,00
2	Separadores	24	3,00	72,00
3	Tornillos, arandelas y tuercas	15	0,55	8,25
4	Racores neumáticos	7	3,00	21,00
5	Tubo PVC 0,011 m	1 m	4,00	4,00
6	Tapón tipo hembra 0,011 m	2	1,50	3,00
7	Tapón, neplo, tuerca, 0,0032 m	1	4,50	4,50
8	Mangueras neumáticas	6 m	2,45	14,70
9	Cable calibre 14	12	0,40	4,80
10	Voltímetro	1	7,00	7,00
11	Relé 12 V, 30 A.	1	5,00	5,00
12	Amperímetro	1	12,00	12,00
13	Interruptor	1	4,50	4,50
14	Diodos led	5	0,15	0,75
15	Porta fusible	1	0,80	0,80
16	Resistencias 1 K	5	0,08	0,40
17	Fusible	1	1,50	1,50
18	Terminales tipo hembra	7	0,10	0,70
19	Terminales redondos	5	0,10	0,50
20	Amarras	1 paquete	4,60	4,60
21	Cinta aislante	3	2,00	6,00
22	Gasolina	10 galones	1,48	14,80
23	Agua destilada	12 litros	1,10	13,20
24	Electrolito	200 gr.	5,00	5,00
25	Aceite 20w50 para motocicletas	8 cuartos	7,00	56,00
26	Caudalímetro	1	50,00	50,00
TOTAL				660,00

Tabla 6.5

Gasto total del proyecto presentado

DESCRIPCIÓN	COSTO
Construcción e instalación	660,00
Reparación y puesta a punto del vehículo tipo Buggy.	1000,00
Transporte del vehículo tipo Buggy.	300,00
Pruebas con el sistema y sin el sistema	100,00
Investigación	400,00
Otros (transporte, internet, copias, anillados, etc.)	600,00
Imprevistos	500,00
TOTAL	3560,00

Tabla 6.6

Análisis de costos

SISTEMA	AUTONOMÍA (35 km)
Convencional gasolina	3.255
Gasolina - HHO	3.01

CONCLUSIONES

Una vez finalizado el presente proyecto de investigación es necesario poner en consideración las siguientes conclusiones y recomendaciones.

- Se diseñó y construyó un generador de gas HHO para el vehículo monoplaza tipo Buggy con una capacidad de generación de $1,33 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.
- Se utilizó un material altamente resistente a la corrosión como es el acero inoxidable 316L.
- Se comprobó que con el electrolito hidróxido de potasio (KOH) se puede aumentar o disminuir el amperaje del generador del gas HHO y así se puede generar mayor o menor cantidad de gas HHO.
- Se obtuvo un mejor resultado con la distribución expuesta en el proyecto de las placas positivas, negativas y neutras.
- Se instaló el sistema dual (HHO/gasolina) en el vehículo monoplaza tipo Buggy.
- La proporción de la mezcla agua-electrolito es de 20 gr de hidróxido de potasio (KOH) por cada litro de agua destilada.
- Se realizó y analizó las pruebas de emisión de gases, potencia-torque y consumo de combustible con el sistema HHO y sin el sistema.
- La potencia máxima aumentó en un porcentaje de 15,14% con el sistema de alimentación implementado, mientras que el torque máximo tuvo una reducción de 4,91%.

- Al realizar la prueba de consumo de combustible, el sistema dual gasolina HHO permitió obtener un ahorro de combustible de 7,53%.
- Con el sistema de alimentación dual implementado en el vehículo existe un ahorro de combustible de 0,245 litros por cada 35 kilómetros de recorrido.
- El sistema de generación de gas HHO produce un carburante que resulta ser amigable con el medio ambiente ya que reduce considerablemente las emisiones de gases contaminante producto de la combustión. Las emisiones de CO presentaron una disminución de 20,51%, los hidrocarburos no combustionados disminuyeron en un 48%, las emisiones de CO₂ se redujeron en un 5,52% y un mínimo aumento de 1,02% de O₂.
- Todas las pruebas realizadas (potencia, torque, consumo de combustible y emisión de gases) fueron realizadas con gasolina de 87 octanos (tipo extra).

RECOMENDACIONES

- Usar guantes quirúrgicos en el momento de manipular las placas de acero inoxidable para evitar que las huellas dactilares queden impregnadas y el generador no trabaje adecuadamente.
- Utilizar siempre agua destilada en el generador de gas HHO, el agua potable no es recomendable debido a que posee minerales y estos dañan las placas internamente y acorta la vida útil del generador.
- Evitar que el generador permanezca encendido en el momento que el vehículo se encuentra apagado.
- En el momento de realizar las pruebas con el dinamómetro mantener las medidas de seguridad al máximo ya que este se encuentra en movimiento y puede causar daños severos con nuestra integridad.
- Realizar periódicamente el mantenimiento del generador de gas HHO.
- Evitar que el depósito no se encuentre a un nivel menor a $\frac{1}{4}$ de agua-electrolito debido a que el burbujeador dejaría de trabajar como elemento de seguridad.
- Continuar con la investigación dentro de este campo, ya que no existe la suficiente información técnica y académica en lo que respecta al tema de los combustibles alternativos, en especial del uso del hidrógeno como combustible.

BIBLIOGRAFÍA

- Atkins, W., & Jones, L. (2005). *Principios de Química: Los caminos del descubrimiento*. Madrid: Médica Panamericana S.A.
- BOSCH. (2003). *Técnica de los gases de escape para motores de gasolina*. BOSCH.
- Crouse, W., & Anglin, D. (1992). *Mecánica de la motocicleta*. Barcelona: MARCOMBO.
- Fowler, R. (1994). *Electricidad: principios y aplicaciones*. Barcelona: Reverté S.A.
- Gayoso, M. (1991). *Resolución de problemas de química general*. Barcelona: Reverté S.A.
- Llorca, J. (2010). *El hidrógeno y nuestro futuro energético*. Barcelona: UPC.
- Sullivan, M. (2006). *Álgebra y Trigonometría*. Prentice Hall.

NETGRAFÍA

- Agencia Metropolitana de Tránsito. (01 de Enero de 2014). *Matriculación y Revisión Técnica Vehicular*. Obtenido de Instructivo de Revisión Vehicular 2014:
<http://www2.revisionquito.gob.ec/images/pdf/instructivoRTV2014.pdf>
- Agencia Nacional de Tránsito. (2014).
- Agencia Nacional de Tránsito. (2014). *Resoluciones 2014*. Obtenido de <http://www.ant.gob.ec/index.php/transito-7/resoluciones-2014>
- Atkins, W., & Jones, L. (2005). *Principios de Química: Los caminos del descubrimiento*. Madrid: Médica Panamericana S.A.
- Auto-Hydrogen. (2012). *HHO Electrolytes Explained*. Obtenido de Auto-Hydrogen: <http://auto-hydrogen.com/what-is-hho/hho-electrolytes-explained>
- Biggs, D. (2003). *Electrolytes*. Obtenido de Hydrogen electrolysis: <http://www.hho4free.com/electrolytes.htm>
- BOSCH. (2003). *Técnica de los gases de escape para motores de gasolina*. BOSCH.

- Botas, J., Calles, J., Dufour, J., & San Miguel, G. (2005). *Producción y almacenamiento de hidrógeno*. Obtenido de ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CIENTÍFICOS: http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/documentos/LAEC_ONOMIADELHIDROGENO.pdf
- Boyce, B. (2013). *Bob Boyce's Story*. Obtenido de Free Energy: The secret they can't kill: <http://www.viewzone.com/verichipx.html>
- Dvorak, B., & Skipton, S. (Diciembre de 2013). *Distilled water removes all impurities through distillation*. Obtenido de Neb Guide: <http://ianrpubs.unl.edu/live/g1493/build/g1493.pdf>
- Grupo Banco Mundial. (2015). *Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita)*.
- Guervós, M. (15 de Marzo de 2003). Obtenido de <http://estherguervos.galeon.com/2ha.pdf>
- Gutiérrez, L. (2005). *El hidrógeno, combustible del futuro*. Obtenido de Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00447.pdf>
- Hernández, F., & Rodríguez, C. (10 de Septiembre de 2010). *La alternativa factible a los combustibles fósiles en España: El hidrógeno*. Obtenido de Archivo Digital UPM: oa.upm.es/10139/1/INVE_MEM_2010_92893.pdf
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC. (2013). *Anuario de Estadísticas de Transporte*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- Jaramillo, J. (2004). *Química. Prueba Específica. Prueba de acceso a la Universidad para mayores de 25 años*. Sevilla: MAD, S.L.
- Mang, N., Barrera, J., Siss, T., & Paya, A. (10 de Abril de 2013). *Hydro-Gen 25% Report*. Obtenido de FIU Mechanical and Materials Engineering: https://mme.fiu.edu/wp-content/uploads/2013/04/T3_HydroGen.pdf
- Secretaría de Ambiente. (Marzo de 2014). *Informe de la Calidad del Aire de Quito 2013*. Obtenido de www.quitoambiente.gob.ec/
- Zaki, A. (2012). *UMP Institutional Repository*. Obtenido de DEVELOPMENT HYDROGEN GAS GENERATOR FOR DUAL FUEL ENGINE USING

YULL

BROWN

METHOD:

<http://umpir.ump.edu.my/2980/1/CD6124.pdf>

ANEXOS

ANEXO A

FICHA TÉCNICA - ACERO INOXIDABLE 316L

ANEXO B

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD- AGUA DESTILADA

ANEXO C

**HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD–HIDRÓXIDO DE
POTASIO**

ANEXO D

PLANOS

ANEXO E

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Diego Alonso Juma Yar y Holguer Wladimir Martínez Anangonó bajo mi supervisión.

ING. GERMÁN ERAZO
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. JUAN CASTRO
CODIRECTOR DEL PROYECTO

ING. JUAN CASTRO
DIRECTOR DE LA CARRERA

DR. FREDDY JARAMILLO
SECRETARIO ACADÉMICO