

Universidad Internacional del Ecuador



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Tesis de grado para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

**Diseño, construcción y pruebas de una celda de hidrógeno para el vehículo Honda Civic
1977, como alternativa de energía renovable.**

David Israel Paredes Acurio

Director: Ing. Renato Granja

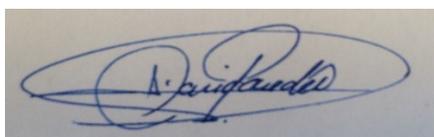
Codirector: Msc. Andrés Castillo

Quito, Septiembre 2016

CERTIFICACIÓN

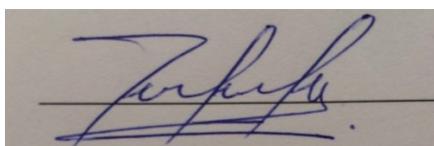
Yo, **David Israel Paredes Acurio**, declaro que soy el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal mía. Todos los efectos académicos y legales que se desprendan de la presente investigación serán de mi sola y exclusiva responsabilidad.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la UIDE, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes



David Israel Paredes Acurio
C.I.: 180393513

Yo, **Roberto Renato Granja Paredes**, declaro que, en lo que yo personalmente conozco, el señor, **David Israel Paredes Acurio**, es el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal suya.



Ing. Renato Granja
C.I.: 1709338204

DEDICATORIA

A mi madre, que con su abnegación y amor, me alentó y animo a culminar mi carrera y ver cristalizado su sueño y el mío.

A mi padre por ser mi mejor amigo incondicional a cada circunstancia y por compartir sus conocimientos.

A mi esposa e hijos: Diana, Mateo y Emilio que son una bendición y la mejor motivación para superarme cada día.

A Mi hermana Alejandra por ser un referente de valentía y esfuerzo y por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su protección y cuidado, a mi familia por su apoyo incondicional para culminar mi carrera.

Al Ing. Pedro Montoya quien a más de brindarme su valiosa amistad me ha brindado siempre su orientación profesional y académica , dejando una huella inolvidable en mi formación personal y profesional.

Al Ing. Renato Granja; Mi director de Tesis por compartir sus conocimientos y guiarme en la realización de este proyecto.

A cada maestro.

A mis compañeros y amigos.

David Israel Paredes Acurio

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
INDICE DE CONTENIDO.....	vi
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE GRAFICOS	xiii
INDICE DE ECUACIONES.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I.....	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Objetivos de la Investigación	2
1.3.1. Objetivo General.	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3

1.4.	Justificación.....	3
1.5.	Delimitación de la investigación	4
1.5.1.	Delimitación temporal.....	4
CAPÍTULO II		5
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1.	El sector automotriz.....	5
2.1.1.	Antecedentes del sector automotriz.....	6
2.2.	Motor Otto de 4 tiempos	7
2.2.1.	Automóvil Honda Civic 1977 de 3 puertas Hatchback.....	9
2.2.2.	La contaminación producto de la combustión del motor Otto.....	10
2.3.	El Hidrógeno como fuente de energía ecológica renovable	11
2.3.1.	El Hidrógeno como combustible.....	12
2.3.2.	La celda de hidrógeno.	14
2.3.3.	Tipos de celda de hidrógeno.....	16
2.4.	Gases producidos por la combustión.....	19
2.4.1.	Hidrocarburos.....	20
2.4.2.	Óxidos de nitrógeno.	22
2.4.3.	Monóxidos de carbono.	23
2.4.4.	Dióxidos de carbono.....	25
CAPITULO III.....		26
3.	DISEÑO DEL SISTEMA	26

3.1.	Celda o generador.....	26
3.1.1.	Tipo.....	26
3.1.2.	Parámetros de diseño.....	27
3.1.3.	Diseño eléctrico.....	28
3.1.4.	Generación teórica de gas.....	29
3.1.5.	Electrolito.....	34
3.1.6.	Placas eléctricas.....	37
3.1.7.	Juntas de goma.....	40
3.1.8.	Placas acrílicas.....	41
3.1.9.	Soportes laterales.....	47
3.1.10.	Codos de acoplamiento.....	48
3.1.11.	Elementos de sujeción.....	48
3.2.	Unidad de tratamiento del gas H ₂	50
3.2.1.	Circuito gaseoso.....	50
3.2.2.	Tanque.....	52
3.2.3.	Válvula Check.....	52
3.2.4.	Burbujeador.....	53
3.2.5.	Válvula de seguridad.....	55
3.3.	Sistema eléctrico.....	55
3.3.1.	Sistema y elementos.....	56
3.3.2.	Tablero de Control.....	58

CAPITULO IV	59
4. Ensamblaje y Montaje	59
4.1. Ensamblaje	59
4.1.1. Celda o generador.....	59
4.1.2. Tanque.....	66
4.1.3. Burbujeador.....	67
4.1.4. Válvula de seguridad.....	70
4.1.5. Consola.....	71
4.2. Montaje.....	72
4.2.1. Celda o Generador.....	72
4.2.2. Tanque.....	73
4.2.3. Burbujeador.....	74
4.2.4. Válvula de seguridad.....	75
4.2.5. Mangueras de conexión.....	76
4.2.6. Válvula Check.....	77
4.2.7. Consola.....	77
4.3. Carga del electrolito	78
CAPITULO V	81
5. PRUEBAS Y COSTOS	81
5.1. Identificación de parámetros operativos.....	81
5.2. Pruebas estáticas.....	82

5.2.1. Medición de gases de combustión.....	83
5.2.2. Medición de tensión.....	89
5.2.3. Medición de corriente.....	90
5.2.4. Medición de la temperatura del gas de escape.....	92
5.3. Prueba dinámica.....	95
5.3.1. Medición de potencia y torque.....	95
5.4. Costo del proyecto.....	98
5.4.1. Costos directos.....	98
5.4.2. Costo de Componentes del Sistema.....	98
5.4.3. Costo de materia e Insumos.....	100
5.4.4. Costo de energía.....	101
5.4.5. Gastos de mano de Obra.....	101
5.4.6. Costo Directo Total.....	102
5.4.7. Costos Indirectos.....	102
5.4.8. Costo Total Indirecto.....	104
5.4.9. Costo Total.....	104
CAPITULO VI.....	105
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
6.1. Conclusiones.....	105
6.2. Recomendación.....	106
Bibliografía.....	107

Anexos.....109

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características del Motor Honda D16A9	9
Tabla 2.2 Índice de calidad del aire.....	24
Tabla 5.1 Medidas sin hidrogeno en Quito	85
Tabla 5.2 Medidas con hidrogeno en Quito	86
Tabla 5.3 Medidas sin hidrogeno en Atacames.....	88
Tabla 5.4 Medidas con hidrogeno en Atacames.....	88
Tabla 5.5 Datos de medición de corriente en Quito	91
Tabla 5.6 Datos de medición de corriente en Atacames	92
Tabla 5.7 Datos de temperatura medidas en Quito.....	93
Tabla 5.8 Datos de temperatura medidas en Atacames	94
Tabla 5.9 Medidas de Torque y Potencia sin hidrógeno y con hidrógeno	97
Tabla 5.10 Componentes del Sistema	99
Tabla 5.11 Costo de materia e Insumos	100
Tabla 5.12 Maquinaria, Equipos y Herramientas.....	101
Tabla 5.13 Costo de Mano de Obra.....	102
Tabla 5.14 Costo directo Total	102
Tabla 5.15 Costo de Papelería.....	103
Tabla 5.16 Costos de investigación.....	103
Tabla 5.17 Costo Indirecto Total.....	104
Tabla 5.18 Costo Total	104

INDICE DE GRAFICOS

Figura 2.1 Motor Otto 4 tiempos.....	8
Figura 2.2 Celda de hidróxido de potasio	16
Figura 2.3 Celda de Nafión	17
Figura 2.4 Celda de ácido fosfórico	18
Figura 2.5 Celda de carbonato fundido	18
Figura 2.6 Celda de óxido de sodio.....	19
Figura 2.7 Gases contaminantes del automóvil.....	20
Figura 2.8 Hidrocarburos	21
Figura 3.1 Celda de tipo seca	26
Figura 3.2 Placas Eléctricas	38
Figura 3.3 Placas Negativas y Positiva	38
Figura 3.4 Placas Neutras.....	39
Figura 3.5 Despieces de Placas	39
Figura 3.6 Posición de Juntas de Goma	41
Figura 3.7 Placa Acrílica Delantera	42
Figura 3.8 Placa Acrílica Trasera.....	42
Figura 3.9 Área de corte.....	44
Figura 3.10 Croquis del Área de corte	45
Figura 3.11 Longitudes inclinadas	45
Figura 3.12 Área de Corte.....	46
Figura 3.13 Ensamble soportes	47
Figura 3.14 Codo de Sujeción.....	48
Figura 3.15 Despiece Celda	49
Figura 3.16 Pernos de Sujeción.....	50

Figura 3.17 Circuito Gaseoso.....	51
Figura 3.18 Tanque	52
Figura 3.19 Válvula Check	53
Figura 3.20 Burbujeador	54
Figura 3.21 Válvula de Seguridad.....	55
Figura 3.22 Circuito Eléctrico.....	57
Figura 3.23 Tablero de Control.....	58
Figura 4.1 Placa Acrílica.....	59
Figura 4.2 Ensamblaje de las platinas de sujeción.....	60
Figura 4.3 Pernos de Sujeción.....	61
Figura 4.4 Juntas de Goma.....	62
Figura 4.5 Placa Ánodo.....	62
Figura 4.6 Ensamblaje de las placas neutras.....	63
Figura 4.7 Placa Cátodo	64
Figura 4.8 Placas Neutras.....	64
Figura 4.9 Ensamblaje de Placa Ánodo	65
Figura 4.10 Celda Ensamblada	66
Figura 4.11 Codo de Sujeción Superior	66
Figura 4.12 Codos de Sujeción Inferiores.....	67
Figura 4.13 Tanque Burbujeador	68
Figura 4.14 Filtro de Partículas.....	68
Figura 4.15 Tapa Burbujeador	69
Figura 4.16 Codo de Sujeción con Teflón	69
Figura 4.17 Válvula de Seguridad Desensamblada.....	70
Figura 4.18 Consola Desacoplada.....	71

Figura 4.19 Huecos para sujeción de Celda	72
Figura 4.20 Celda Ensamblada en el Vehículo	73
Figura 4.21 Tanque Ensamblado en el Vehículo	74
Figura 4.22 Burbujeador Ensamblado en el Vehículo	75
Figura 4.23 Válvula de Seguridad Ensamblada en el Vehículo	76
Figura 4.24 Mangueras.....	76
Figura 4.25 Válvula Check	77
Figura 4.26 Consola Ensamblada en el Vehículo	78
Figura 4.27 Pesaje del hidróxido de potasio	79
Figura 5.1 Analizador de Gases (Brain Bee Automotive AGS-688).....	83
Figura 5.2 Prueba de Estanqueidad.....	83
Figura 5.3 Auto Cero.....	84
Figura 5.4 Test de HC	84
Figura 5.5 Colocación de analizador en el vehículo	85
Figura 5.6 Pruebas a Nivel del Mar.....	87
Figura 5.7 Manómetros en funcionamiento	90
Figura 5.8 Medición de Corriente en Quito	91
Figura 5.9 Medición de Corriente en Atacames.....	91
Figura 5.10 Medición de temperatura de gases de escape en Quito	93
Figura 5.11 Medición de temperatura de gases de escape en Atacames.....	94
Figura 5.12 Pre calentamiento del motor antes de la prueba	95
Figura 5.13 Aseguramiento del lado derecha del Vehículo en el Dinamómetro	96
Figura 5.14 Aseguramiento del lado izquierdo del Vehículo en el Dinamómetro.....	96
Figura 5.15 Inicio de las Pruebas	97

INDICE DE ECUACIONES

Ec. [3.1] Energía necesaria.....	28
Ec. [3.2] Número de equivalentes químicos	30
Ec. [3.3] Cantidad en gramos de una sustancia de un equivalente químico	30
Ec. [3.4] Presión en la cual se encuentra el gas	31
Ec. [3.5] Volumen del gas.....	31
Ec. [3.6] Volumen de un cilindro del motor	32
Ec. [3.7] Energía necesaria.....	34
Ec. [3.8] Número de equivalentes químicos potasio depositados en un electrodo	35
Ec. [3.9] Cantidad en gramos de una sustancia de un equivalente químico	36
Ec. [3.10] Esfuerzo de precarga para apriete	43
Ec. [3.11] Fuerza de apriete	43
Ec. [3.12] Esfuerzo cortante.....	46

RESUMEN

En este proyecto se realizó el diseño de una celda de hidrógeno para motor, de un “Honda Civic 1977”; Con la finalidad de optimizar la combustión, reduciendo así la cantidad de emisión de gases contaminantes y mejorar el rendimiento del motor.

En el primer capítulo se plantea el problema de la investigación, en el que se presenta los antecedentes y la justificación que determinan la ejecución y viabilidad del presente proyecto incluye Además los objetivos y delimitación del mismo.

En el segundo capítulo comprende la fundamentación Teórica en el que destaca a la industria automotriz desde sus inicios y todo el proceso de desarrollo y alcance tecnológico, económico y social. El funcionamiento del motor convencional de cuatro tiempos, “Motor Otto”; La emisión de gases contaminantes especificando los que afectan el medio ambiente. El gas Hidrógeno, como combustible alternativo por sus características, detallando sus ventajas y desventajas. Incluye la celda de Hidrógeno con sus variedades y su disponibilidad.

En el tercer capítulo se detalla el Diseño del Sistema, incluye el cálculo detallado y sistemático de la energía disponible del gas generado. Diseño de placas eléctricas y acrílicas con su sistema de acople y sujeción y finaliza con la unidad de tratamiento del Gas Hidrógeno y el diseño del sistema del circuito eléctrico, gaseoso, y de elementos.

El cuarto capítulo trata sobre el ensamblaje de las partes que conforman el sistema y el ensamblaje de estas en el vehículo.

En el quinto capítulo se encontrará las pruebas y su respectivo análisis.

PALABRAS CLAVES: Hidrógeno, Celda, Contaminación, Potencia, Diseño.

ABSTRACT

This project is a design of an hydrogen cell for an engine related to a Honda Civic car model 1977. In order to optimize combustion, through the reduction of the amount of greenhouse gas emissions and the improvement of an engine performance.

In the first chapter, we introduce the research problem which includes the background and the justification that help to determine the viability and the performance of this project also the objectives and delimitation of the research.

Chapter two describes the theoretical orientations about the automotive industry from the beginning trough of an expansion of the process and the technological, economic and social impact. Also includes the four-stroke cycle engine based on Otto's design and the gas emissions impacts on the environment, also the hydrogen fuel as an alternative fuel with many characteristics and features and as well advantages and disadvantages. And include how hydrogen can be produced using diverse resources and the availability of efficient.

The third chapter includes the detailed system design, which detailed the systematic energy available from the gas generated calculation also the design of electrical and acrylic plates with coupling and fastening system and ends with the treatment unit Gas Hydrogen and system design of electric, gas circuit and elements.

The fourth chapter focuses primarily with the assembly of the parts that make up the system and the assembly of these in the vehicle.

The fifth chapter is about the proof and evidence of the research.

KEYWORDS: Hydrogen, Cell, Pollution, Power, Design.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad se hace una sobreutilización de recursos naturales no renovables destinados a la producción de energía, tales como el petróleo y sus derivados, los cuales a pesar de existir en cantidades significativas, tiende a agotarse en la medida en la que se les explota, situación que en el futuro podría derivarse en una crisis energética que afectaría el desarrollo económico y por ende aspectos políticos y sociales de los países.

La dependencia de fuentes de energías no renovables es una de las problemáticas a la que se enfrenta la nación, existiendo una sobre explotación, mala utilización y despilfarro de los recursos energéticos no renovables, siendo inexistente casi en su totalidad la utilización de fuentes no renovables que permitan la producción energética limpia sin provocar efectos colaterales en el medio ambiente.

Como consecuencia de la sobre explotación de los recursos energéticos no renovables se han incrementado de forma notable los índices de contaminación en las últimas tres décadas de forma tal que se han perdido especies naturales endémicas del país o se han visto reducidas sus poblaciones de forma alarmante, por otra parte en ciertas regiones del país se puede palpar el efecto de acidez de la tierra, la cual ha perdido su fertilidad transformándose en zonas desérticas.

También debe destacarse que se verifican elevados niveles de contaminación producto del uso de energías altamente contaminantes, situación que afecta la salud humana y el medio ambiente, evidenciándose numerosos desastres naturales producto del fenómeno de la

contaminación que de no ser controlados oportunamente pondrían en peligro el desarrollo de la especie humana, así como el del resto de los seres vivos del planeta.

Es de destacar que actualmente existe una necesidad imperante en la creación y desarrollo de motores más eficientes y de mayor rendimiento que utilicen fuentes alternativas de energía, tal situación se ha agudizado con el incremento de las demandas de bienes y servicios de una población mundial en constante crecimiento.

Los elementos anteriormente expuestos constituyen las principales razones por las cuales es imprescindible transformar el funcionamiento del motor de combustión interna de ciclo Otto con el aporte que podría brindar la combustión de hidrógeno por ser una materia prima ecológica, fácil de producir y ecológica, la cual podría contribuir decisivamente a disminuir los índices de contaminación, incrementar la eficiencia y rendimiento de las maquinarias y limitar de forma efectiva el uso del petróleo y sus derivados.

1.2. Formulación del problema

¿Se puede construir una celda de hidrógeno e instalarla en un vehículo con MCI carburado?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General.

Construir una celda de hidrógeno para utilizarlo como aporte al combustible fósil en un motor a gasolina Honda de combustión interna.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Revisar referentes teóricos acerca de la generación de hidrogeno con electrólisis.
- Diseñar del sistema generador de hidrógeno.
- Ensamblar el sistema generador de hidrógeno y montarlo en el vehículo de prueba.
- Efectuar la medición de los parámetros operativos del motor al utilizar el sistema.

1.4. Justificación

La presente investigación se enfocó en la comparación de las características a través de las cuales se logrará la transformación del motor de combustión interna ciclo Otto con el aporte de la combustión de hidrógeno, siendo tal elemento una alternativa viable para lograr una mejor utilización de los recursos naturales no renovables y por ende lograr una significativa disminución de los niveles de contaminación.

Es de destacar que con la transformación del motor de combustión interna ciclo Otto con el aporte de la combustión de hidrógeno se lograrían resultados de mayor rendimiento y potencia, a través del diseño y construcción de una celda de hidrógeno que generará dicho gas a través de un proceso electrolítico, lográndose un mayor rendimiento en la combustión del motor de combustión interna ciclo Otto.

La investigación posee plena originalidad al ser la primera de su tipo en la que se propone la generación de gas de hidrógeno a través de un proceso electrolítico para potencializar el accionar del motor de combustión interna ciclo Otto, es de destacar el interés de la investigación al propiciar el desarrollo de una fuente de energía alternativa que incidirá positivamente en la disminución de los niveles de contaminación.

También debe destacarse la total factibilidad de la investigación al existir suficiente información teórica que justifique y respalde la utilización del gas hidrógeno como fuente de energía contemplándose también que el mismo no produce contaminación, por lo que puede ser considerado un tipo de energía ecológica y amigable con el medio ambiente.

A través de la investigación se aportarán un conjunto de elementos teóricos y prácticos que garantizarán el desarrollo de la tecnología propuesta y al mismo tiempo brindará las pautas necesarias para profundizar y desarrollar nuevas investigaciones que incidan en el desarrollo de nuevas alternativas energéticas, ecológicas y amigables con el ambiente.

1.5.Delimitación de la investigación

1.5.1. Delimitación temporal.

La presente investigación se realizará en un periodo de seis meses en Quito, en la Universidad Internacional del Ecuador Ubicada en la Av. Simón Bolívar en la facultad de Ingeniería Automotriz. Es importante indicar que también se realizarán pruebas a nivel del mar.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. El sector automotriz

El sector automotriz puede ser definido como el conjunto de compañías y organizaciones dirigidas al diseño, desarrollo, manufactura, marketing y venta de vehículos, destacando el mismo por haber mantenido un crecimiento sostenible desde la primera década del Siglo XX hasta el presente.

El Sector automotriz se revela como el conjunto de empresas, compañías estrechamente vinculadas entre sí para satisfacer las demandas y necesidades de transporte, así como la de ofertar un servicio de reparación efectivo que garantice el correcto uso de los vehículos (Herrera, 2012, pág. 128)

Debe destacarse que el sector automotriz fue motor impulsor de la industria petrolera, construcción de carreteras, así como del incremento del nivel de vida y expectativas de las personas, siendo aun en la actualidad una de las principales aspiraciones de los clientes en general de adquirir un vehículo económico y funcional.

El sector automotriz revolucionó la industria al ser el primero en el cual se implementaron cadenas de montaje que permitieron brindar un producto de mejor calidad a menor precio, revelándose dicha industria como patrón a seguir por otras industrias tales como cosmética, alimenticia, entre otras.

La industria automotriz permitió un desarrollo de la humanidad, la misma contribuyó a la transformación de hábitos, costumbres, datando de dicha época el crecimiento y desarrollo de los suburbios de las diferentes ciudades de Europa y Norte América al ser posible que los

trabajadores se desplazasen a varios kilómetros de su residencia gracias a la invención del automóvil (Velasco, 2013, pág. 191)

La industria automotriz fue uno de los mayores logros del desarrollo económico experimentado a nivel mundial en las primeras décadas del Siglo XX, la misma sirvió de base al desarrollo y creación de numerosos negocios estimulando significativamente el comercio y la economía internacional.

2.1.1. Antecedentes del sector automotriz.

Los inicios del sector automotriz se remontan a la última década del Siglo XIX época en la cual se producían vehículos extremadamente lujosos, caros pero con una tecnología avanzada para la época, es de destacar que estos artículos solamente estaban al alcance de una élite social.

En 1885 se crea el primer vehículo con un motor de combustión interna que utilizaba gasolina como combustible pero no se logra una sofisticación en la producción del mismo por los elevados costos de producción y la inexistencia de una demanda potencial debido a que para la época se consideraba como principal medio de transporte el carruaje o la carreta tirados por caballos (García, 2012).

La tecnología en la producción de vehículos se fue incrementando paulatinamente hasta el año 1901 cuando el industrial Henry Ford replantea la forma artesanal en la cual hasta el momento se producían los vehículos, implementando la producción en cadena como proceso revolucionario que permitió brindar un producto económico y de calidad.

El autor explica que las líneas de producción se denomina al proceso concatenado que tuvo sus inicios en 1901 en la fabricación de automóviles, destacándose como un sistema económico, ágil y de fácil regulación, en el cual cada uno de los integrantes de la cadena de

montaje realizaba una labor específica en la que llegaba a adquirir gran profesionalidad y maestría sin necesidad de prolongados periodos de entrenamiento.

Las líneas de producción propician un mayor enfoque, disciplina y profesionalidad en la labor a ser desarrollada, lográndose un mejor uso de los recursos humanos y materiales, de forma tal que se obtenía un producto final económico y de calidad.

Los inicios de las líneas de producción se verifican en 1901 con la empresa productora de automóviles Old Curved Dash, la cual desarrolló una cadena de montaje en la que cada empleado abarcaba una etapa específica en la producción garantizándose de esta forma un trabajo organizado y coordinado que humanizaba dicha labor.

Posteriormente la industria Ford llevó a la máxima expresión la producción en línea, llegando a fabricar más de 100 vehículos diarios, con un mínimo de trabajadores y logrando impresionantes índices de eficiencia y calidad, siendo aún el vehículo Ford reconocido por su seguridad y eficiencia a pesar de ser totalmente ensamblado en líneas de producción.

Tal método de producción se perfecciono y adoptó por las diferentes empresas productoras de vehículos tales como la Mitsubishi, Chevrolet, mercedes Benz, entre otras, es de destacar que la industria automotriz norteamericana ocupó desde los principios del Siglo XX el primer lugar en producción a nivel mundial, aunque debe destacarse que en la década del 80 del Siglo XX Japón sobrepasó a la industria Norteamericana en producción, pugna que se mantuvo hasta finales de la primera década del Siglo XXI en la cual China tomó la delantera en producción de vehículos.

2.2. Motor Otto de 4 tiempos

El motor convencional tipo Otto posee cuatro tiempos, viéndose su rendimiento térmico limitado por un conjunto de factores tales como la pérdida de energía por la fricción y

refrigeración, tomándose en cuenta lo planteado por la termodinámica que estipula que el rendimiento del motor alternativo se subordina a la aproximación del grado de compresión, relación que generalmente es de 8 a 1 o de 10 a 1.

El motor de combustión interna o motor Otto garantizó un avance significativo en el desarrollo vehicular al ser el primero que logró una aproximación a la teoría que plantea que el calor creado a un volumen constante es capaz de generar gases en el proceso de combustión cuya energía calorífica se transforma en energía física permitiendo que el motor de combustión pase constantemente de un ciclo a otro (Parreño, 2013, pág. 39)

También pueden utilizarse proporciones mayores tal y como de 12 a 1, de modo que se logre un incremento en la eficiencia del motor, siendo imprescindible para tal tipo de diseño el uso de combustibles de elevado índice de octano con el objetivo de evitar el fenómeno de detonación, el cual puede afectar la estructura del motor.

Debe destacarse que la eficiencia o rendimiento medio del motor Otto oscila entre un 20 a 25% tomándose en cuenta que solamente una cuarta parte de la energía calorífica producida en el proceso de combustión se transforma en energía mecánica.

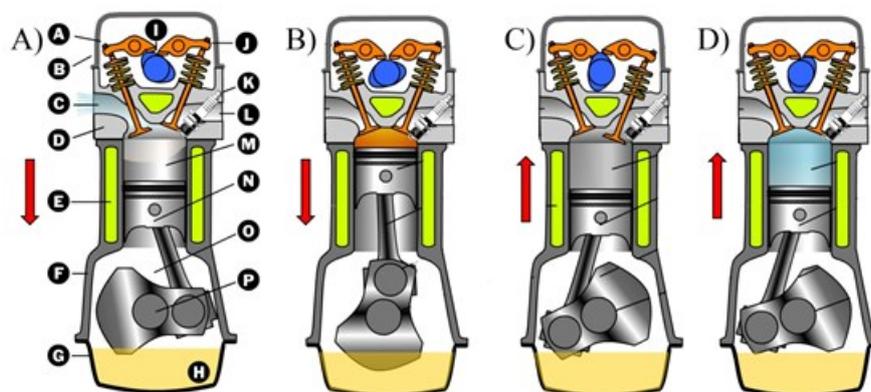


Figura 2.1 Motor Otto 4 tiempos
Fuente: (Parreño, 2013)

2.2.1. Automóvil Honda Civic 1977 de 3 puertas Hatchback.

El Honda Civic se revela como un vehículo de tipo paseo familiar con un desenvolvimiento excelente en carretera y centros urbanos, aunque el mismo no posee características idóneas para su utilización en zonas rurales, debe destacarse su alto rendimiento y bajo consumo de carburantes.

Tabla 2.1 Características del Motor Honda D16A9

CARACTERISTICAS DEL MOTOR	
DIAMETRO DEL PISTON	75.0 mm
CARRERA	90.0 mm
CILINDRAJE	1,590 cc
COMPRESIÓN	9.5:1
POTENCIA	125-129 hp (91.9-94.8 kW, 126-130 PS) a 6,800 rpm
TORQUE/PAR	105 lb·ft (14.5 kg/m, 143 Nm) a 5,700 rpm
TREN DE VALVULAS	16 válvulas (4por cilindro)
LIMITE DE RPM	7,250 rpm
TIPO DE ADMISIÓN	1 carburador por cilindro

Fuente: David Paredes

El Honda Civic fue el vehículo diseñado con el objetivo de consumir menos carburantes, como resultado de la crisis del petróleo que afectó a Estados Unidos en la década del 70, haciendo del mismo uno de los más competitivos y económicos de la época, presentando como principal dificultad su rápida corrosión al ser utilizado en ambientes costeros y rurales.

A pesar de su bajo nivel de resistencia a la corrosión el Honda Civic destacó por su elevado rendimiento, así como mayores condiciones de confort y estabilidad que hacían del mismo el vehículo ideal para paseos o ser utilizado en zonas urbanas.

El Honda Civic posee un motor de combustión de combustión interna tipo Otto con una potencia de 125 – 129 HP a 6800 revoluciones por minuto.

2.2.2. La contaminación producto de la combustión del motor Otto.

Es de destacar que los motores de combustión interna tales como el motor Otto son productores de elevados niveles de sustancias tóxicas para la salud del ser humano, plantas, animales, tales como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, dióxido de azufre y hollín, entre otras.

La contaminación ambiental en la actualidad se revela como uno de los mayores retos que enfrenta la humanidad, situación que ha causado innumerables cambios y transformaciones en el medio ambiente, afectando significativamente la estabilidad biológica de especies endémicas como resultado del constante cambio y transformación que ha sido sometido el planeta en las últimas décadas (Ramírez, 2014, pág. 67)

Dichas sustancias tienen un efecto tóxico directo sobre la salud de los seres vivos, también tienen un efecto negativo en el equilibrio de gases de las capas que rodean a la superficie terrestre, provocando el llamado efecto invernadero, el cual afecta los ciclos biológicos de la tierra dando como resultado la aparición de fenómenos como el incremento de temperaturas, elevación de los niveles del mar, entre otros que afectan significativamente la permanencia de la vida en la tierra.

La contaminación ambiental es un fenómeno que ha afectado el desarrollo humano de manera palpable a partir del Siglo XIX en el que se produjo una revolución industrial como resultado del descubrimiento de nuevas tecnologías de producción que hacían un uso indiscriminado de carburantes como el carbón, petróleo y gas productores de sustancias contaminantes que transformaron el entorno natural de Europa y regiones de América del Norte.

El incremento de la demanda de bienes y servicios impulsó la era industrial en la que no se priorizó el cuidado del medio ambiente, sino la obtención de beneficios económicos, tal

situación se agravó en el Siglo XX con la aparición de numerosas enfermedades de tipo respiratorio y de la piel resultantes de los elevados niveles de contaminación a los que eran expuestas las personas.

La utilización de energía renovable a partir de recursos naturales tales como fuentes térmicas de la tierra, sol, energía eólica, constituyen en la actualidad uno de los elementos más viables para lograr un desarrollo económico sostenible y sustentable de modo que se logre recuperar el ya perdido equilibrio con la naturaleza (Caraballo, 2013, p. 218)

Por otra parte debe señalarse que los elevados niveles de contaminación se hicieron evidentes a mediados del Siglo XX al desaparecer al menos una tercera parte de la flora y fauna autóctona del continente europeo debido a la desaparición de entornos naturales como resultado de los elevados niveles de contaminación, así como fenómenos derivados de la misma tales como lluvias ácidas.

Las necesidades de productos, transportes y servicios en la actualidad se incrementan por lo que es imposible cesar el uso de motores de combustión y por ende lograr una disminución efectiva de los niveles de contaminación, tal situación actualmente se revierte de forma paulatina con la utilización de fuentes de energías renovables y no contaminantes como el hidrógeno.

2.3. El Hidrógeno como fuente de energía ecológica renovable

El hidrogeno se ubica en el primer grupo y periodo de la tabla periódica, siendo el elemento más liviano del universo, el mismo no puede ser clasificado como metal o no metal, aunque actúa como metal al ser comprimido a altas densidades, el mismo fue descubierto en el siglo XVII por Henry Cavendish.

El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo, el cual por sus características se revela como el combustible del futuro, si bien la tecnología que actualmente se usa para su obtención no es económica se prevé en un futuro cercano crear nuevos métodos de obtención más económicos que permitirán que el hidrógeno desplace a la energía nuclear y energías derivadas de hidrocarburos (Ulloa, 2014, pág. 118)

El hidrógeno es un elemento químico representado por el símbolo H, siendo un gas diatómico con características inodoras, incoloras, insípidas, no metálicas y altamente inflamables, es de destacar que el hidrógeno es el elemento más abundante en el universo.

Debe destacarse que el hidrógeno elemental es escaso en el planeta tierra pero el mismo puede ser producido industrialmente a partir de hidrocarburos tales como el metano, el mismo se puede producir hidrógeno a partir de procesos de electrólisis del agua, teniendo como principal inconveniente que dicha tecnología no es económica.

Entre las diferentes aplicaciones industriales del hidrógeno destacan el uso del mismo en los procesos de refinación de combustibles fósiles, así como en la producción de amoníaco, es de destacar que el hidrógeno ha sido utilizado por empresas automotrices como BMW, Mercedes Benz, Ford, Toyota y Honda en la producción de vehículos cuyo funcionamiento se lleva a cabo únicamente con tal combustible, logrando un producto final caracterizado por su elevada autonomía, potencial y no producción de sustancias contaminantes.

2.3.1. El Hidrógeno como combustible.

El hidrógeno se revela como una fuente de energía cuya emisión de sustancias contaminantes es equivalente a cero, el mismo se usa en celdas electroquímicas o en la combustión de motores internos, siendo en la actualidad ampliamente utilizada en naves espaciales, y de una forma más discreta en vehículos y aeronaves.

La necesidad de sustituir los carburantes derivados de recursos naturales no renovables como el petróleo y el gas de petróleo constituyen uno de los principales retos para el desarrollo de la humanidad, perfilándose el hidrógeno como la fuente de energía limpia más efectiva si se toma en cuenta que la misma es la más abundante en el universo (Yáñez, 2013, p. 94)

Es de destacar que a partir del calor producido en la combustión interna el hidrógeno puede conjugarse con el mismo y actuar como un potente combustible, es decir el hidrógeno se revela como un vector energético capaz de almacenar energía que al ser liberada de forma controlada se transforma en energía mecánica.

Debe señalarse que el hidrógeno es un combustible limpio siendo obtenido en la actualidad en un 95% a partir de combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural, mientras que el 5% se obtiene a partir del proceso de electrólisis en el cual se separan los elementos de un compuesto a través de la electricidad, es decir es el proceso en el cual se aplica una corriente eléctrica continua a través de dos electrodos conectados a una fuente de alimentación eléctrica y sumergidos en la disolución.

La electrólisis es utilizada para la producción de aluminio, litio, sodio, potasio, entre otros, pero su principal aplicación se subordina a la necesidad de producir hidrógeno ampliamente utilizado en la industria como combustible, en soldaduras, entre otros.

El hidrógeno es ampliamente utilizado como combustible para cohetes, es decir el mismo es considerado un combustible alternativo que en la actualidad es la principal fuente energética de vehículos de hidrógeno cuyo único subproducto consumido es el agua, situación que hace del mismo un elemento no contaminante.

Es de destacar que actualmente empresas como Honda y BMW han desarrollado sistemas de hidrógeno aplicados a vehículos motorizados productores de gas HHO, es decir oxhidrógeno,

mezcla que al encenderse su combustión produce agua y 142.35KJ, es decir una energía calorífica significativa capaz de competir con la energía producida por la combustión de hidrocarburos.

Cabe señalar que los motores con sistemas de hidrógeno poseen una eficiencia del alternador de hasta un 80%, lo cual se traduce en una dispersión de un 20% de energía mecánica provista al motor, destacándose que la electrólisis rinde normalmente el 50%, disipándose generalmente la mitad de la energía invertida.

El hidrógeno en la actualidad está siendo investigado por numerosas empresas aeronáuticas espaciales, así como la industria automotriz, las que han reconocido el potencial y ventajas de dicho elemento, así como la posibilidad que el mismo sustituya en las últimas décadas sino total parcialmente los combustibles derivados del petróleo y del mismo modo la energía nuclear, los cuales se destacan por sus elevados niveles de contaminación.

2.3.2. La celda de hidrógeno.

La celda de hidrógeno es el elemento en el cual se lleva a cabo el proceso de electrólisis, es decir dos electrodos son sumergidos en agua a la que se le aplica electricidad, obteniéndose como resultado gas hidrógeno del electrodo negativo y oxígeno del electrodo positivo, debe destacarse que el proceso de electrólisis puede ser clasificado como económico de obtenerse la electricidad utilizada en el mismo a través de medios no contaminantes como la energía eólica, solar, entre otros.

Debe destacarse que se puede obtener hidrógeno con el uso de combustibles derivados del petróleo, gas y carbón, pero en este caso el proceso de electrólisis no es económico y si altamente contaminante.

Los actuales niveles de contaminación producto del uso inadecuado de combustibles fósiles constituye un verdadero riesgo para la preservación de la vida en el planeta tierra, de ahí que nuevas tecnologías como las celdas de hidrógeno cada día ganen mayor espacio en el medio investigativo internacional como alternativa viable para la sustitución de dichas fuentes de energía (Márquez, 2014, pág. 293)

La celda de hidrógeno son aquellas en las que se procede a mezclar el hidrógeno y el aire atmosférico, dando lugar dicha unión a corriente eléctrica capaz de crear energía para poner en funcionamiento motores de vehículos, entre otros, siendo el residuo de dicha acción el agua, tal principio fue creado en 1839 por Sir. William Grove científico inglés que fue capaz de demostrar que la combinación de hidrógeno y oxígeno era capaz de generar agua y calor.

Debe considerarse que a pesar de ser las celdas de hidrógeno un invento perteneciente al Siglo XIX no se utilizó hasta principios de la década del 60 del Siglo XX debido a que la Agencia Nacional Aero Espacial de Estados Unidos NASA consideró a la celda de hidrógeno como el elemento idóneo para proporcionar energía y agua a las naves especiales.

A partir de la década del 70 del Siglo XX empresas de la industria automotriz comenzaron a desarrollar prototipos de vehículos impulsados por celdas de hidrógeno al tomar en cuenta las ventajas de las mismas, tales como su funcionamiento indefinido a diferencia de las baterías, las cuales tienen un tiempo de vida útil y necesidad de recargas.

Es de señalar que la corrosión y degradación de materiales que componen la celda de hidrógeno son los únicos elementos que limitan su vida útil, la composición de la celda de hidrógeno está dada por dos electrodos, un ánodo y un cátodo separados por un electrolito, de modo que el oxígeno contenido en el aire pasa sobre un electrodo y el hidrógeno pasa sobre otro, de modo que al ser el hidrógeno ionizado en el ánodo se oxida y pierde un electrón, de ahí que el hidrógeno oxidado y el electrón tomen diferentes caminos dirigiéndose el electrón

al cátodo, y el hidrógeno lo hará a través del electrolito, finalmente se unen ambos elementos en el cátodo en el cual se lleva a cabo la reducción o ganancia de electrones del oxígeno gas formándose agua junto con el hidrógeno, tal proceso se traduce en la producción de agua 100% pura, electricidad y calor.

Las celdas de combustible constituyen un elemento capaz de producir agua, electricidad y calor, elementos que garantizan el funcionamiento de motores vehiculares, aéreos y aéreos espaciales, de ahí que la celda de hidrógeno constituya en la actualidad la alternativa lógica para garantizar la obtención de energía 100% ecológica y renovable.

2.3.3. Tipos de celda de hidrógeno.

Los tipos de celda de hidrógeno pueden ser clasificados según el tipo de medio conductor de la carga iónica, es decir el electrolito existente dentro de la celda, también puede ser clasificado por la temperatura de trabajo, la Agencia Aero Espacial de los Estados Unidos NASA utilizó a principios de la década del 60 del Siglo XX como electrolito una solución acuosa concentrada de hidróxido de potasio.

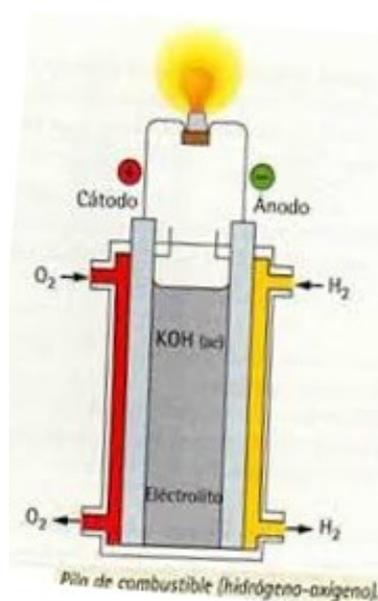


Figura 2.2 Celda de hidróxido de potasio
Fuente: (Torres, 2014)

Posteriormente en la década del 70 del mismo siglo la empresa DuPont desarrolla un polímero conductor denominado Nafión, siendo un polímero neutro muy similar al teflón, el cual posee una elevada resistencia química y térmica, de modo que las cargas móviles positivas son protones que al moverse por el agua absorben el polímero, lográndose como resultado que la conductividad de la membrana sea similar a la de un ácido concentrado.

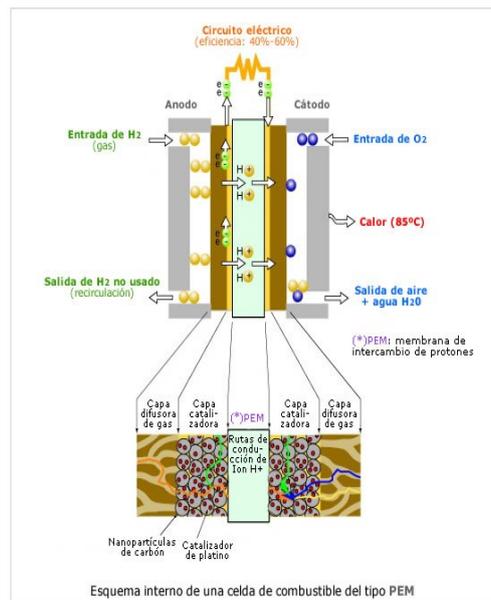


Figura 2.3 Celda de Nafión
Fuente: (Torres, 2014)

En la industria automotriz actualmente se hace uso de celdas de hidrógeno del tipo de membrana de intercambio protónico, las cuales fueron desarrolladas en la década del 70 del siglo pasado por la empresa DuPont.

Es de destacar que se verifican otro tipo de celdas de hidrógeno que no hacen uso de electrolito acuoso tales como la celda de ácido fosfórico las cuales utilizan ácido concentrado sin agua.

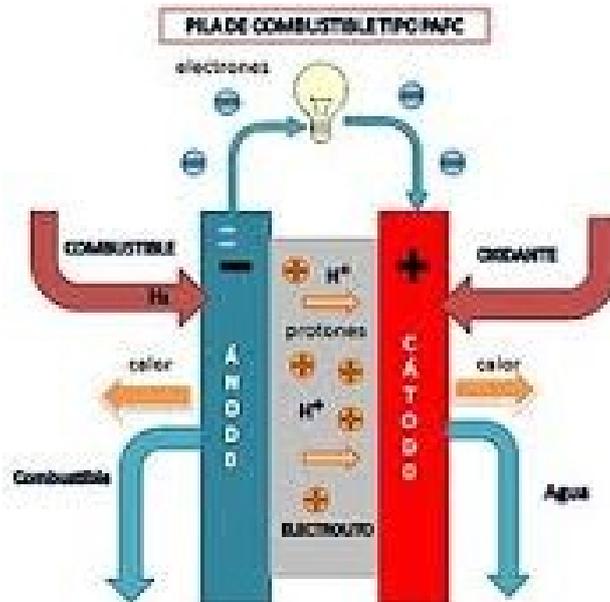


Figura 2.4 Celda de ácido fosfórico
Fuente: (Torres, 2014)

También se verifican las celdas de carbonato fundido las cuales utilizan como electrolito una mezcla eutéctica de carbonato de sodio, litio y potasio, capaces de producir elevados niveles de hidrógeno sin la presencia de electrolito acuoso.

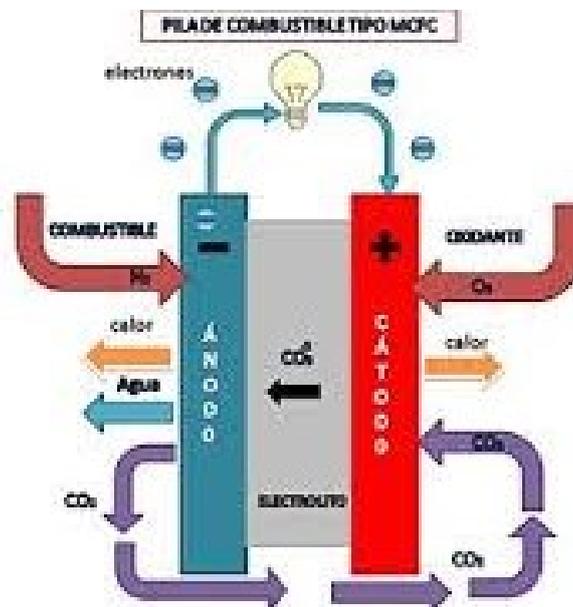


Figura 2.5 Celda de carbonato fundido
Fuente: (Torres, 2014)

Finalmente se verifica también la existencia de celdas de óxido de sodio en las cuales el electrolito es un cerámico conductor de iones óxido ampliamente utilizados en la generación estacionaria de electricidad.

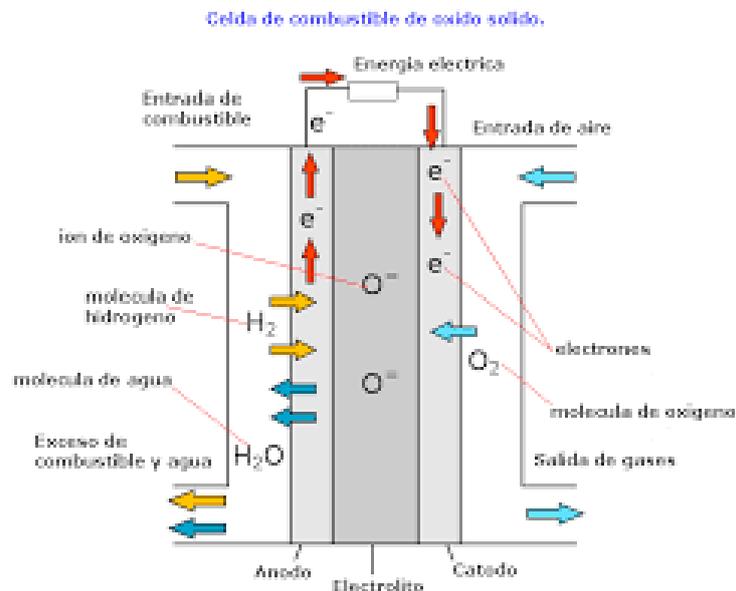


Figura 2.6 Celda de óxido de sodio
Fuente: (Torres, 2014)

2.4. Gases producidos por la combustión

Los gases productos de la reacción de la combustión interna en el motor de gasolina, pueden clasificados en inofensivos y contaminantes, entre los gases inofensivos deben ser destacados el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrógeno, los gases contaminantes son el monóxido de carbono, hidrocarburos, óxido de nitrógeno y plomo.

Debe resaltarse que el oxígeno constituye un gas inofensivo siendo considerado un gas indispensable en el proceso de combustión, su concentración en el aire es aproximadamente de un 21%, al existir una mezcla en altas o bajas concentraciones en la reacción de combustión el oxígeno será incapaz de oxidar la totalidad de los enlaces de hidrocarburos, siendo expulsado con el resto de los gases de escape, es de destacar que el vapor de agua

constituye el elemento resultante del proceso de combustión a través de la oxidación del hidrógeno liberándose con el resto de los gases de escape (Herrera, 2012).

Los gases contaminantes están compuestos por monóxido de carbono altamente tóxico para los mamíferos al combinarse el mismo con mayor facilidad que el oxígeno con la hemoglobina y provocar intoxicaciones sistémicas, así como insuficiencias respiratorias, también los hidrocarburos no quemados constituye elementos contaminantes al ser precursores de células cancerígenas, y del mismo modo los óxidos de hidrógeno.

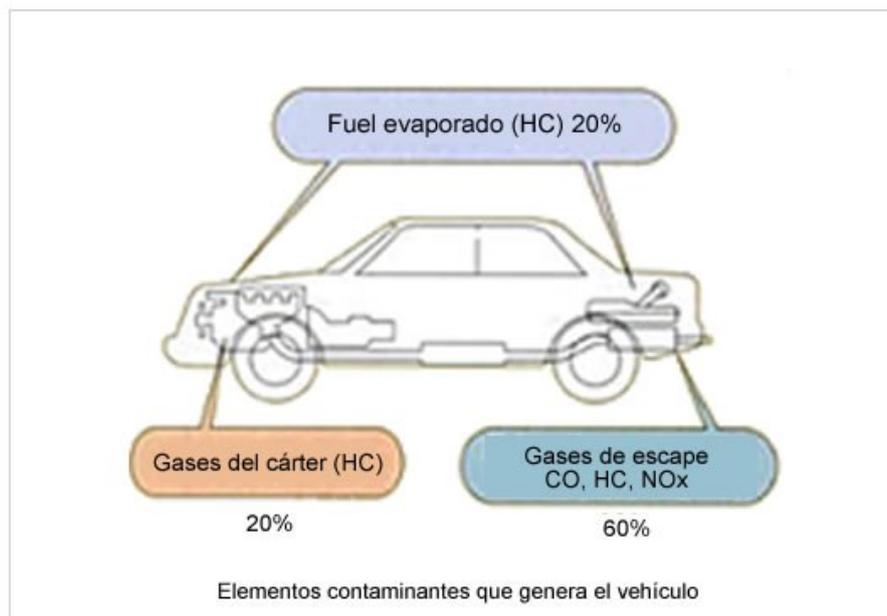


Figura 2.7 Gases contaminantes del automóvil
Fuente: (Torres, 2014)

2.4.1. Hidrocarburos.

El metano constituye el principal gas denominado como hidrocarburo, el mismo también es el responsable de los mayores niveles de contaminación actuales, llegando a causar hasta un 85% de la contaminación que afecta al medio ambiente, seguido del metano destacan otros hidrocarburos como el etano, n-butano, etileno, tolueno, propano, acetileno, n-pentano y benceno, tales hidrocarburos se encuentran actualmente en elevadas concentraciones en el

medio ambiente, pero otros hidrocarburos como el propano, cis-2-buteno, cis-2-penteno, trans-2-buteno y acetileno se encuentran en proporciones menores (Ramírez, 2014).



Figura 2.8 Hidrocarburos
Fuente: David Paredes

Es de destacar que los hidrocarburos no poseen dentro de sus características elevados niveles de toxicidad, sino que poseen una elevada reactividad fotoquímica al entrar en contacto con la luz solar, de la cual se derivan compuestos oxidados, dichos elementos se derivan de partículas que no constituyeron parte del proceso de combustión o participaron en el mismo parcialmente, siendo dichas partículas el elemento clave en la formación del smog, el cual afecta principalmente los núcleos urbanos altamente poblados, causando innumerables enfermedades y padecimientos que pueden ir desde afecciones oculares, respiratorias e incluso cancerígenas.

También debe destacarse que el smog afecta al crecimiento de plantas en general dado que afecta el proceso de fotosíntesis y por ende el intercambio de dióxido de carbono, al cual la planta procesa y transforma en oxígeno, los valores de concentración de hidrocarburos en los gases de descarga se incrementan en los casos en los que se verifica un funcionamiento del motor con una marcada depresión en su colector, es decir al encontrarse desacelerados.

2.4.2. Óxidos de nitrógeno.

Entre los elementos que potencializan el incremento del óxido de nitrógeno durante el proceso de combustión debe destacarse el aumento de la temperatura, es decir a mayor temperatura mayores descargas de óxido de nitrógeno, tomándose en cuenta que la temperatura de la cámara es directamente proporcional a la concentración del aire y del mismo modo al ángulo de encendido se verifica una interdependencia entre el incremento de aire, combustible y ángulo de encendido, del modo que al incrementarse los mismos se eleva la formación de óxido de nitrógeno (Parreño, 2013).

Entre los compuestos derivados del óxido nitroso destacan el óxido nítrico, trióxido de nitrógeno, sesquióxido de nitrógeno, tetra óxido de nitrógeno, penta óxido de nitrógeno, es de destacar que pueden ser hallados en el aire ácidos como el nítrico y nitroso, normalmente en el ambiente se encuentra el óxido nitroso, nítrico y el trióxido de nitrógeno.

El óxido nitroso se caracteriza por ser incoloro y no tóxico, siendo responsable el mismo de la actividad biológica en los suelos y océanos, por su parte el óxido nítrico se produce a partir de acciones biológicas y procesos de combustión, siendo oxidado por la acción del ozono dando como resultado dicha fusión el dióxido nitrógeno, destacándose dicho gas como uno de los contaminantes de mayor peligro al poseer características irritantes y corrosivas, reaccionando con la luz solar, característica que potencializa su irritabilidad y elevado nivel de oxidación (Ulloa, 2014).

Debe destacarse que los óxidos de nitrógeno no poseen características tóxicas pero sin embargo son capaces de reaccionar con los rayos ultravioleta del sol dando como resultado la formación de ácido nítrico, produciendo un fenómeno que se conoce en la actualidad como smog fotoquímico, es decir aquel que afecta la visibilidad y provoca cuadros irritativos en las mucosas oculares.

2.4.3. Monóxidos de carbono.

El monóxido de carbono se revela como un gas de elevado nivel de toxicidad dado que es altamente compatible con la hemoglobina de la sangre afectando significativamente la oxidación de tejidos celulares de modo que en aquellos casos en los que se verifique un incremento de hasta un 50% de concentración de carboxihemoglobina en sangre, el organismo será incapaz de seguir con el intercambio gaseoso y por lo tanto el sistema fisiológico se verá abocado a la asfixia y posterior muerte (Yáñez, 2013).

La eliminación atmosférica con oxidación de los radicales da como resultado la eliminación de monóxido de carbono, el cual posteriormente se transforma en dióxido de carbono, fenómeno que garantiza que la concentración de monóxido de carbono mantenga niveles normales, la medición de dichos niveles es utilizada como referente para calificar la calidad del aire, es decir de 0 a 50 el índice de calidad de aire es bueno, de 51 a 100 moderado, de 101 a 150 insalubre para grupos sensibles, de 151 a 200 insalubre, de 201 a 300 muy insalubre y de 301 a 500 peligroso.

Tabla 2.2 Índice de calidad del aire

Valores del índice de la calidad del aire (AQI)	Niveles preocupantes para la salud	Colores
<i>Cuando el AQI se encuentra en esta gama:</i>	<i>...la condición de la calidad del aire es:</i>	<i>...conforme se representa con el color:</i>
0 a 50	Buena	Verde
51 a 100	Moderada	Amarillo
101 a 150	Insalubre para grupos sensibles	Naranja
151 a 200	Insalubre	Rojo
201 a 300	Muy insalubre	Morado
301 a 500	Peligrosa	Granate

Fuente: (García, 2012)

Las fuentes de contaminación por el monóxido de carbono se ubican generalmente en centros urbanos e industriales dados generalmente por la combustión incompleta de combustibles fósiles tales como el petróleo y sus derivados, se evidencia como principal fuente de emisión de monóxido de carbono a los motores de combustión interna de los vehículos, seguidos por la actividad industrial, calefacción habitacional y combustión de desperdicios.

Debe destacarse que el monóxido de carbono no posee elevados niveles de oxígeno siendo evidente que a mayor cantidad de oxígeno contenida en la mezcla los niveles expedido de monóxido de carbono serán menores, también otro elemento que contribuye a la disminución en la emisión de monóxido de carbono es la homogeneidad de la mezcla, es decir al poseer mayor homogeneidad la mezcla de aire y combustible menores serán los porcentajes eliminados de monóxido de carbono (Márquez, 2014).

2.4.4. Dióxidos de carbono.

El dióxido de carbono se revela como un gas incoloro y no combustible, el cual se deriva de la oxidación de combustibles compuestos de carbono, dicho gas tiene como principal responsabilidad la reducción del estrato atmosférico que funge como protector contra los rayos ultravioleta, de ahí que al incrementarse la emisión del dióxido de carbono de forma directamente proporcional se han incrementado las enfermedades de la piel, destacándose el cáncer cutáneo (Torres, 2014).

En la actualidad el incremento de las emisiones de dióxido de carbono constituyen una de las preocupaciones de mayor importancia a nivel mundial debido a que las mismas absorben las radiaciones térmicas provocando un efecto conocido como invernadero resultante en un incremento de la temperatura superficial, situación que afecta tanto a ecosistemas marinos como terrestres y por ende a la supervivencia de la especie humana.

CAPITULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA

3.1.Celda o generador

3.1.1. Tipo.

Para el presente proyecto se decide utilizar un generador de hidrógeno del tipo electrolítico ya que al ser montado en un vehículo con motor de combustión interna el cual ya cuenta con una fuente de electricidad como es el alternador, se puede utilizar la energía eléctrica disponible para la generación de hidrógeno. Además se define que la celda o generador va a ser del tipo seco, el cual se caracteriza por tener parte de las placas no sumergidas en el electrolito, específicamente la parte de las conexiones entre las placas negativas sobre todo.

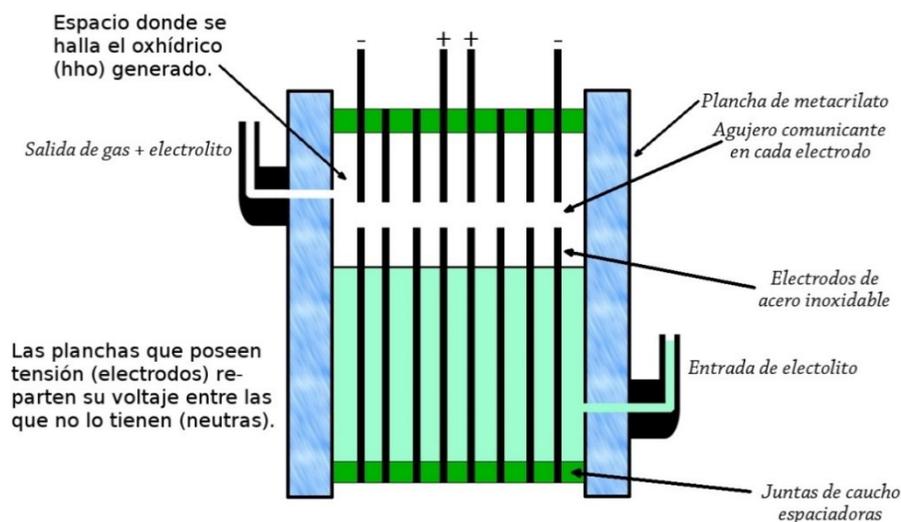


Figura 3.1 Celda de tipo seca

Fuente: (Fuertes, 2012)

Es importante indicar que este tipo de celda o generador permite una mayor facilidad para acceder a las conexiones eléctricas en cualquier momento y al mantener parte de las placas

electrolíticas en el aire permite una mejor refrigeración del electrolito aunque desaprovecha dichas áreas para la generación de electrólisis.

3.1.2. Parámetros de diseño.

Antes de iniciar el dimensionamiento del sistema se debe tomar en cuenta valores referenciales de investigaciones previas para poder determinar así las dimensiones óptimas, así se tiene:

- El voltaje disponible será el que se tenga en el sistema de carga del vehículo a utilizar, en este caso será un voltaje nominal de 12V, aunque en aceleración los regulares electrónicos de los alternadores pueden llegar hasta 14.5V.
- El amperaje disponible en el sistema será de hasta 70 A, por mediciones efectuadas se puede disponer que en ralentí se tiene 5 a 10 amperios y en aceleración con los accesorios encendidos es de 20A. El sistema no debe convertirse en una carga eléctrica que exceda la capacidad máxima, tomando en cuenta las cargas actuales instaladas en el vehículo se decide limitar al sistema generador de hidrógeno a 20 amperios.
- Debido al funcionamiento del sistema y a la evidente generación de calor se prevé que al menos la celda se ubicará en una zona ventilada del vehículo.
- El electrolito a utilizar estará constituido a base de agua destilada, esto para controlar la formación de sólidos entre las placas y el deterioro de las mismas, a más de esto se evaluará la posibilidad de utilizar un soluto como es el hidróxido de potasio KOH o hidróxido de sodio NaOH, los cuales son por antonomasia, buenos solutos utilizados para procesos electrolíticos, además que son fáciles de conseguir y sobretodo baratos.

- Las placas electrolíticas deberán ser de un metal que resista el paso de corriente, para esto se evaluará la relación costo beneficio y disponibilidad en el mercado de materiales como la plata, níquel y acero inoxidable (prisma, 2016).
- Las tapas de la celda deberán ser hechas de un material ligero y de ser posible transparente que soporte la elevación de temperatura y que permita ver el nivel de electrolito en la celda.

Una vez visualizado la disponibilidad de recursos en el vehículo y requerimientos mínimos se procede a bosquejar la capacidad de generación del sistema.

3.1.3. Diseño eléctrico.

El proceso de electrólisis se fundamenta básicamente en las leyes de Faraday para la electrólisis, así se tiene tanto la primera como segunda ley que hacen referencia a que la cantidad de sustancia alterada en un electrodo depende directamente de la corriente eléctrica en Coulombios suministrada, además que la masa depositada en un electrodo es proporcional a su peso molecular o equivalente químico. (Yavorski, 2016)

Como ya se explicó anteriormente, el sistema se limitará a 20A, razón por la cual esta será la cantidad máxima de energía que el sistema podrá utilizar para su funcionamiento, además se desea diseñar el sistema sabiendo cuánto gas será capaz de generar por minuto, así se tiene las siguientes estimaciones:

$$Q = I \times t \qquad \text{Ec. [3.1]}$$

Dónde:

Q = Energía necesaria [coulombs]

I = Intensidad de corriente suministrada [Amperios]

t = tiempo determinado [segundos]

Así se tiene:

$$Q = 20 [A] \times 60[seg]$$

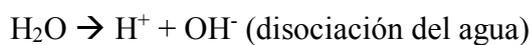
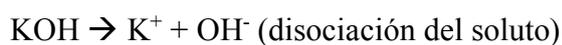
$$Q = 1200[coulombs]$$

Es importante indicar que un Coulomb es igual a 1 [A].[seg]

3.1.4. Generación teórica de gas.

Una vez determinada la energía disponible para el sistema, se procede a calcular el número de moles de gas hidrógeno que se podrá obtener, así se tiene que revisar en primer lugar el concepto de equivalente químico gramo del hidrógeno (H₂) y las reacciones redox del agua.

Se inicia efectuando la disociación de la solución en donde el hidróxido de sodio se disocia al igual que el agua (Rojo, 2016)



Tomando como punto de partida la disociación del agua porque el interés es conocer cuánto hidrógeno se genera se analiza lo que ocurre en el cátodo y ánodo.



Recurriendo a la segunda Ley de Faraday:

$$n^{\circ}eqq = \frac{Q}{F} \quad \text{Ec. [3.2]}$$

Donde:

$n^{\circ}eqq$ = Número de equivalentes químicos de sustancia depositados en un electrodo

Q = Energía necesaria [coulombs]

F = Constante de Faraday [96500 C/eqq]

Se tiene:

$$n^{\circ}eqq = \frac{1200}{96500}$$

$$n^{\circ}eqq = 0.0124$$

Una vez que se tiene la cantidad de equivalentes químicos se debe transformar a masa:

$$eqq = \frac{PM}{V} \quad \text{Ec. [3.3]}$$

Donde:

eqq = Cantidad en gramos de una sustancia de un equivalente químico

PM = Peso molecular de la sustancia

V = Flujo de electrones en el proceso de reducción

Así se tiene:

$$eqq = \frac{2gr}{+2}$$

$$eqq = 1gr$$

Ahora con una simple regla de tres o relación se puede transformar los equivalentes químicos:

$$0.0124eqq \times \frac{1gr}{1eqq} = 0.0124 gr H_2$$

Sabiendo la masa de hidrógeno a obtener por minuto, se pasa a moles con una simple relación:

$$0.0124gr H_2 \times \frac{1mol H_2}{2gr H_2} = 0.00622mol H_2$$

Ahora se desea pasar estas moles a volumen, específicamente a litros, para ello se recurre a la ecuación de los gases ideales:

$$P \times V = n \times R \times T \quad \text{Ec. [3.4]}$$

En donde:

P = Presión en la cual se encuentra el gas, en este caso presión atmosférica de Quito 0.75atm.
(Climaticas, 2016)

V = Volumen del gas [litros]

n = Número de moles

R = Constante de Avogadro $[0.082 \frac{\text{litros} \times \text{atmósferas}}{^\circ K \times \text{mol}}]$

T = Temperatura del ambiente promedio en Quito $[20^\circ C \approx 293^\circ K]$

Se despeja el volumen:

$$V = \frac{n \times R \times T}{P} \quad \text{Ec. [3.5]}$$

$$V = \frac{0.00622mol \times 0.082 \frac{\text{litros} \times \text{atmósferas}}{^\circ K \times \text{mol}} \times 293^\circ K}{0.75\text{atmósferas}}$$

$$V = 0.199lit H_2$$

Tanto el oxígeno como el hidrógeno que se generan por la descomposición electrolítica del agua se encuentran a la misma presión y temperatura, se concluye que de la fórmula H₂O, el volumen de oxígeno generado será la mitad del volumen de hidrógeno, en este caso la mitad de 0.199 lit, esto es 0.0995 lit.

Si se vuelve a aplicar la fórmula de los gases ideales pero a nivel del mar se obtiene el siguiente resultado:

$$V = \frac{0.00622 \text{ mol} \times 0.082 \frac{\text{litros} \times \text{atmósferas}}{\text{°K} \times \text{mol}} \times (30 + 273) \text{ K}}{1 \text{ atmósfera}}$$

$$V = 0.155 H_2$$

Como se puede observar el volumen del hidrógeno generado a nivel del mar va a ser más pequeño, esto es lógico ya que la presión atmosférica es mayor aunque la temperatura contrarreste este efecto ya que es un poco mayor y expandiría el gas.

Con los datos del vehículo expuestos en la Tabla 2.1 del capítulo 1 se determina si el volumen generado de hidrógeno por electrólisis en 60 segundos será suficiente para sustituir hasta un 50% de gasolina, ya que de investigaciones anteriores, no recomiendan sustituir más allá de este porcentaje ya que el motor se vuelve inestable.

Se procede a calcular el volumen unitario de un cilindro:

$$Vh = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times C \quad \text{Ec. [3.6]}$$

En donde:

Vh = Volumen de un cilindro del motor [cm³]

D = Diámetro del cilindro [7,5 cm]

C = Carrera del pistón [9,0 cm]

Así se tiene:

$$Vh = \frac{\pi}{4} \times 7.5^2 \times 9.0$$

$$Vh = 397.6 \text{ cm}^3$$

Asumiendo una relación estequiométrica nominal en volumen aire combustible 10000:1 se estima el volumen de combustible por cilindro y por ciclo, así se tiene las siguientes relaciones:

$$V_{aire} + V_{combustible} = 397.6 \text{ cm}^3$$

$$\frac{V_{aire}}{V_{combustible}} = 10000$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se tiene que:

$V_{aire} = 379.56 \text{ cm}^3$ y $V_{combustible} = 0.0397 \text{ cm}^3$. Hay que tomar en cuenta que el volumen de combustible necesario es por un ciclo y por un cilindro, ahora mediante una relación se va a determinar el volumen necesario de combustible para 60 segundos:

$$0.0397 \frac{\text{cm}^3}{\text{cilindro} \times \text{ciclo}} \times 4 \text{ cilindros} \times 1 \frac{\text{ciclo}}{2 \text{ rev}} \times 5700 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times 60 \text{ seg}$$
$$= 452.58 \text{ cm}^3$$

Se necesita 452.58 cm^3 de gasolina para el motor durante 60 segundos asumiendo que trabaja a revoluciones de máximo torque, como se calculó anteriormente se obtiene 0.199 litros de H_2 (199 cm^3), viene a resultar un 44%, lo cual es un aporte satisfactorio ya que el objetivo no es sustituir más allá del 50% al combustible fósil como ya se analizó anteriormente.

3.1.5. Electrolito.

El electrolito que se utilizará para esta aplicación tendrá hidróxido de potasio (KOH) como soluto y agua destilada como solvente, ya que en investigaciones anteriores se ha tenido muy buenos resultados al dividir el agua en oxígeno e hidrógeno, ya que no genera calor excesivo permitiendo mantener una temperatura de electrolito entre 30 y 60 grados centígrados (Ramirez, 2016)

De acuerdo a los diferentes elementos que estarán involucrados en el sistema tales como tanque reservorio de electrolito, celda, mangueras y demás, se dimensiona el sistema para albergar a 2 litros de electrolito aproximadamente. Este electrolito deberá tener en lo posible la misma autonomía que el tanque de combustible, en este caso un tanque de 8 galones de gasolina. El vehículo en cuestión tiene un rendimiento de 30 km/galón y dada la capacidad del tanque se estima que tendrá una autonomía de 240km aproximadamente, tomando como referencia una velocidad promedio de 80 km/h durante un viaje se podría estimar que el motor puede llegar con una tanqueada en un viaje continuo a recorrer 240 km en 3h; como el sistema de hidrógeno va a aportar aproximadamente hasta con el 50% de combustible al motor, este tiempo se duplicaría y resulta 6h. Este es el tiempo que debe durar el electrolito, aunque no está por demás indicar que un viaje sin detenerse es prácticamente imposible, además de tener aceleraciones y variaciones dadas la geografía local y las carreteras existentes, pero es una aproximación.

Utilizando las leyes de Faraday se va a determinar cuántos gramos de soluto se necesita agregar al agua destilada para que la autonomía del sistema vaya al par de la autonomía del motor de combustión interna, así se tiene:

$$Q = I \times t \quad \text{Ec. [3.7]}$$

Donde:

Q = Energía necesaria [coulombs]

I = Intensidad de corriente suministrada [15 Amperios promedio]

t = tiempo determinado 6h [21600 segundos]

Así se tiene:

$$Q = 15 [A] \times 21600[seg]$$

$$Q = 324000[coulombs]$$

Recurriendo a la segunda Ley de Faraday se determina la cantidad de equivalentes químicos que se necesitarán de soluto para la autonomía anteriormente estimada, esto es de vital importancia ya que una vez consumida la solución esta se debe reemplazar por completo porque el electrolito disociado se debe eliminar y cargar nuevo ya que no ocurre como en las baterías plomo ácido, esto debido a que el KOH al disociarse literalmente quema al potasio:

$$n^{\circ}eqq = \frac{Q}{F} \quad \text{Ec. [3.8]}$$

Donde:

$n^{\circ}eqq$ = Número de equivalentes químicos potasio depositados en un electrodo

Q = Energía necesaria [324000 coulombs]

F = Constante de Faraday [96500 C/eqq]

Se tiene:

$$n^{\circ}eqq = \frac{324000}{96500}$$

$$n^{\circ}eqq = 3.36$$

Una vez que se tiene los equivalentes químicos de soluto se debe transformar a gramos para de esta manera saber cuánto soluto cargar al sistema.

Así se tiene:

$$eqq = \frac{PM}{V} \quad \text{Ec. [3.9]}$$

Donde:

eqq = Cantidad en gramos de una sustancia de un equivalente químico

PM = Peso molecular de la sustancia

V = Flujo de electrones en el proceso de reducción

Así se tiene:

$$eqq = \frac{39gr}{+1}$$

$$eqq = 39gr$$

Cada equivalente químico tiene 39gr, como se necesita 3.36 equivalentes químicos, solo basta multiplicar las dos cantidades para encontrar que se necesita gr 131gr. Esta es la cantidad que se necesita agregar en los 2 litros de agua destilada para que el sistema generador de hidrógeno tenga una autonomía similar al de gasolina. Tomando en cuenta que una cucharada estándar tiene aproximadamente un volumen de 14ml, y el KOH tiene una densidad de 2.04 gr/ml (Juárez, 2016), entonces cada cucharada cargada tendrá 28.56 gr, como se requiere 131 gr se estima que se necesitará aproximadamente 4 cucharadas y media.

3.1.6. Placas eléctricas.

Las placas eléctricas que serán el corazón de la celda deben estar hechas de un material resistente a la corrosión por inmersión, al paso de corrientes considerables y a efectos térmicos, en este caso se utiliza el acero AISI SAE 316L el cual cumple los requerimientos, es de fácil acceso en el mercado local y presenta un costo razonable, por esta razón se ha decidido utilizar el espesor de 1 milímetro.

Las placas deberán tener dimensiones que eviten el desperdicio de material, que sean manejables y que entren en el compartimiento del motor delante del motor.

Se distinguen dos tipos de placa, la primera es una placa iónica, que servirá para utilizarla como positiva y como negativa y el segundo tipo de placa será de transición, esto con el fin de disminuir gradualmente la diferencia de potencial. Debido a experiencias anteriores (Secas, 2012) se ha encontrado que se debe utilizar dos placas negativas y una positiva, esto porque al tener 2 átomos de hidrógeno (cátodo) y un átomo de oxígeno (ánodo) la distribución de las cargas debe ser coherente con la estructura del agua que es la sustancia a separar. Las placas intermedias como ya se dijo anteriormente sirven para disminuir gradualmente la diferencia de potencial, la práctica indica que se puede utilizar 3 placas intermedias entre cada placa iónica, para obtener un mejor rendimiento y evitar que se sobrecaliente la celda, teniendo un arreglo de placas como el que se indica a continuación:

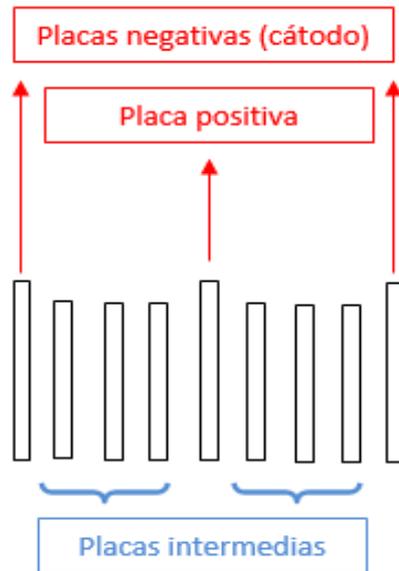


Figura 3.2 Placas Eléctricas
Fuente: David Paredes

Las placas negativas deben tener tres orificios, dos de ellos de 5 mm ubicados en el centro para permitir que el electrolito pase entre las celdas y uno de 6 mm para que pase un perno M6 y conecte a las placas formando los bornes.

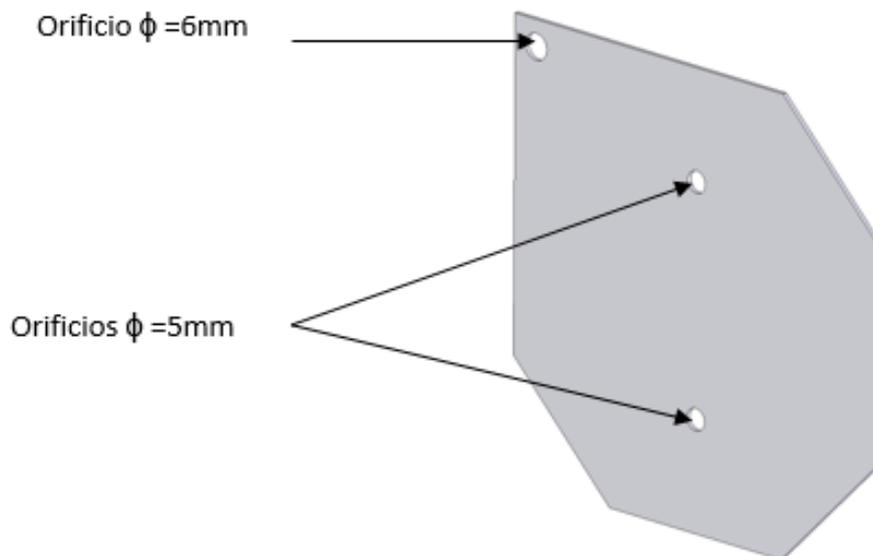


Figura 3.3 Placas Negativas y Positiva
Fuente: David Paredes

Las placas intermedias deberán tener casi el mismo perfil a excepción de la oreja superior ya que estas no van conectadas a ningún borne; también deben tener los orificios centrales de 5mm para el paso del electrolito.

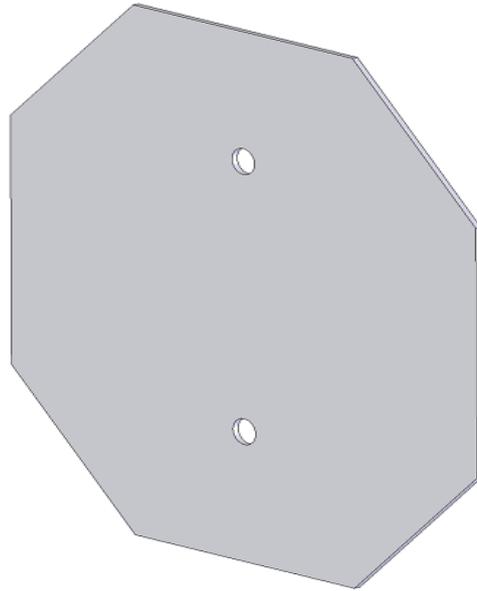


Figura 3.4 Placas Neutras
Fuente: David Paredes

Finalmente el arreglo de placas quedará como se indica a continuación

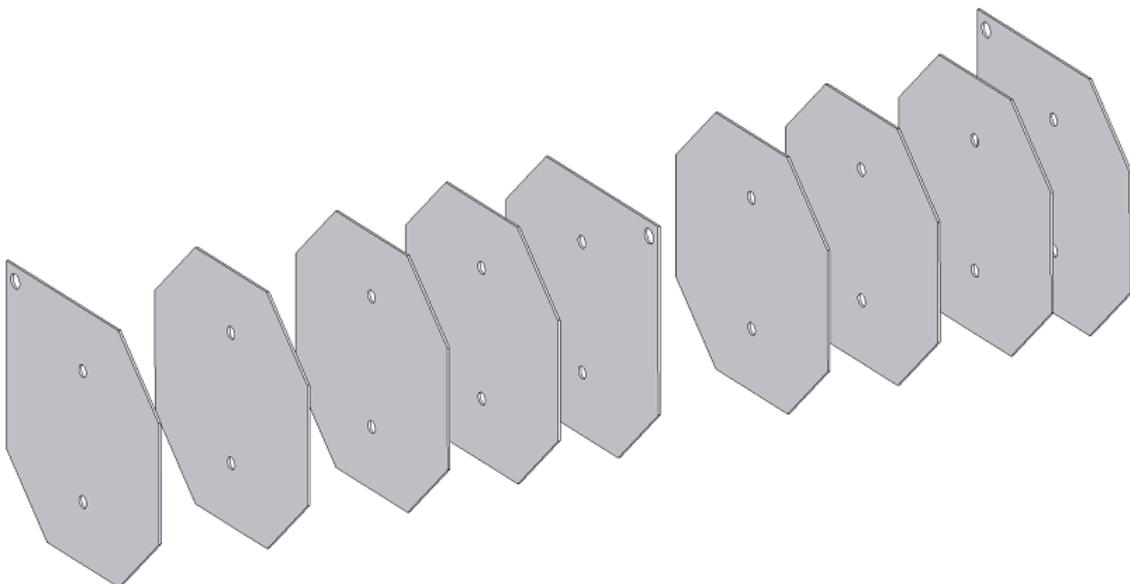


Figura 3.5 Despieces de Placas
Fuente: David Paredes

3.1.7. Juntas de goma.

Las juntas de goma u orings deben tener un tamaño que coincida con el de las placas eléctricas, como estas son prácticamente cuadradas de 100mm x 100mm y el oring debe quedar atrapada entre cada par de placas este debe ser de 82mm de diámetro y 2.5mm de grosor de sección circular.

Para seleccionar el material del oring se debe partir de 3 criterios fundamentales que son: presión, temperatura y fluido a sellar (TECNOSELLOS, 2010) En esta aplicación los orings estarán sellando una solución acuosa no corrosiva que no generará operación extrema, la temperatura a la cual estarán operando es la ambiente ya que si bien es cierto el funcionamiento eléctrico genera una elevación de temperatura el sistema estará en una zona ventilada del vano motor así que el tema de temperatura no exige al material, por último la presión que estarán soportando será la provocada por las arandelas de presión de los pernos que atravesarán las placas para evitar que fugue la solución; como se puede determinar las condiciones operativas no representan una exigencia considerable de los orings cuya función básica es hacer estanca la celda, por esta razón se selecciona oring hechos de silicona que ofrecen características idóneas para la aplicación en cuestión (TECNIEMPAQUES, 2016)

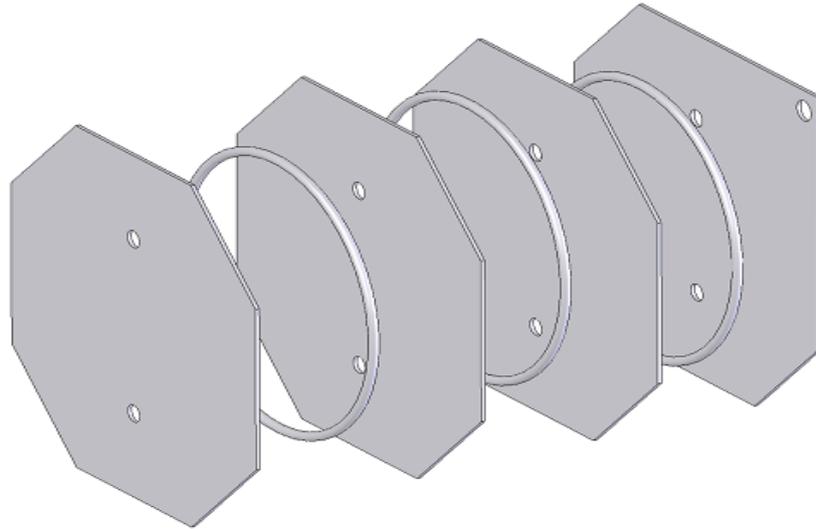


Figura 3.6 Posición de Juntas de Goma
Fuente: David Paredes

3.1.8. Placas acrílicas.

Las placas son los extremos de la celda y para esto se ha decidido hacerlas de acrílico ya que al ser transparentes permitirán ver el nivel interno del electrolito en la celda, existirá una frontal por donde ingresará el electrolito y habrá otra posterior por donde saldrá el hidrógeno disociado, debe tener cuatro perforaciones en cada extremo para que atraviesen los pernos M6 que ajustan toda la celda, también debe tener una perforación de 12mm de diámetro en la parte central inferior para acoplar el codo de alimentación del electrolito, además debe tener dos perforaciones de 3mm de diámetro para acoplar las placas de anclaje que fijarán la celda contra el vehículo.

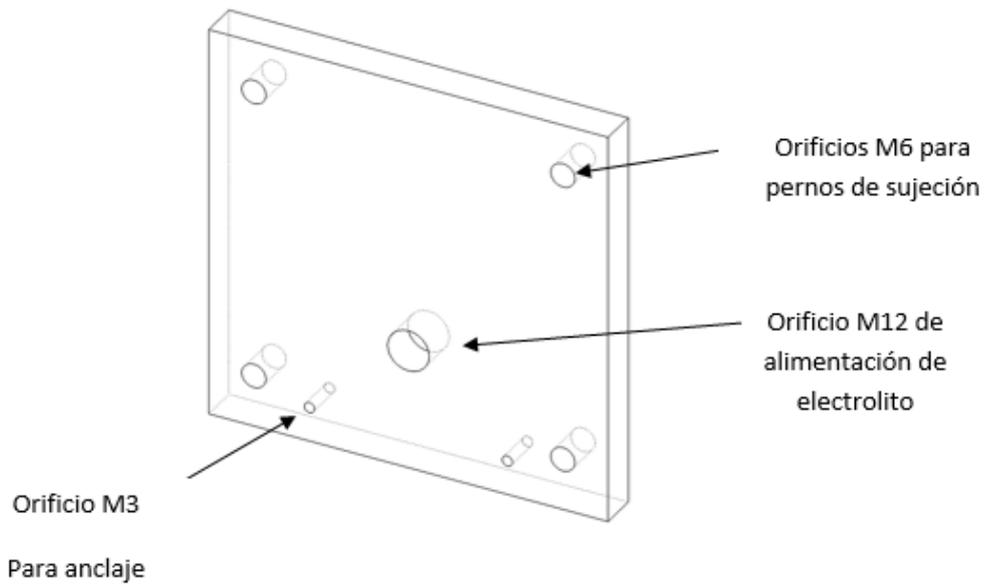


Figura 3.7 Placa Acrílica Delantera
Fuente: David Paredes

La placa acrílica posterior tiene la misma disposición que la frontal, con la única diferencia es que el orificio para acoplar el codo de desfogue se encuentra en la parte central superior, esto con el fin de que por esa abertura solo salga hidrógeno y no se regrese el electrolito.

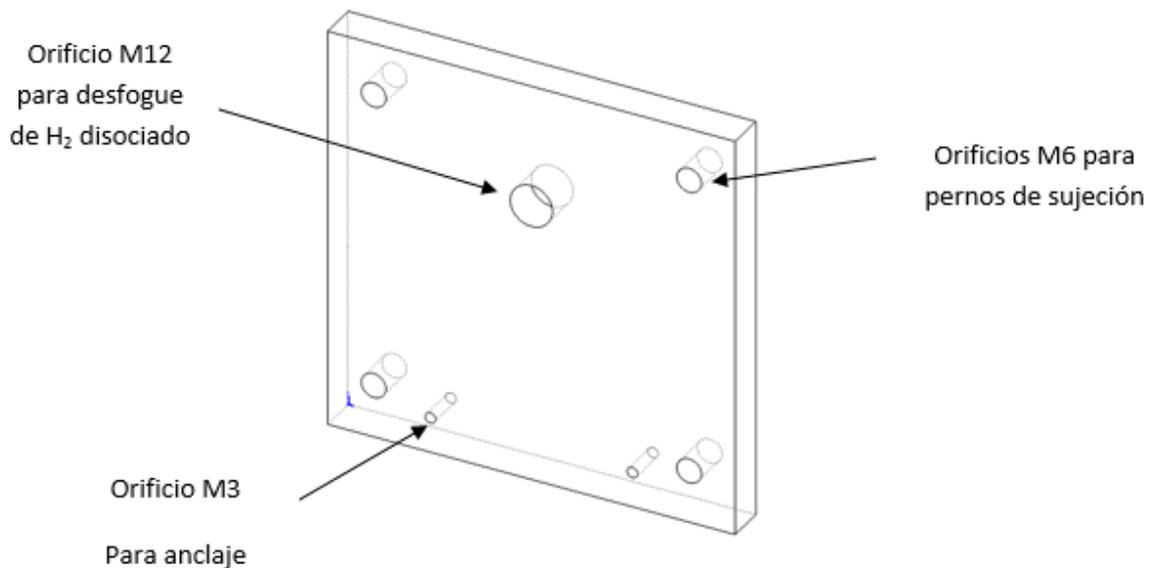


Figura 3.8 Placa Acrílica Trasera
Fuente: David Paredes

Respecto al espesor de la placa acrílica debe ser el suficiente para que soporte la tensión de los pernos M6 que ajustan la celda en los extremos de las placas, hay que tomar en cuenta que también se utilizarán arandelas de presión para asegurar la estanqueidad del sistema. Los pernos M6 a utilizar son grado 1 ya que no se requiere mayor aprietes, estos poseen una resistencia mínima a la tensión $S_p=33\text{ksi}$ (227.5MPa), un área de tracción de 20.12mm^2 . Estos datos se pueden observar en el Anexo 1.

La celda es un dispositivo que en algún momento podrá ser desarmado por mantenimiento y limpieza se determina la precarga necesaria para los pernos de acuerdo a conceptos de diseños de juntas (Capriles, 2007), en este caso se utiliza la siguiente relación:

$$S_i = 0.75 \times S_p \quad \text{Ec. [3.10]}$$

En donde:

S_i = Esfuerzo de precarga para apriete [MPa]

S_p = Resistencia Mínima a la Tensión [227.5MPa]

Entonces:

$$S_i = 0.75 \times 227.5\text{MPa}$$

$$S_i = 170.625\text{MPa}$$

Conocido el esfuerzo de apriete y el área de tracción se estima la fuerza que hará el perno cuando esté apretado,

$$F_i = A \times S_i \quad \text{Ec. [3.11]}$$

En donde:

F_i = Fuerza de apriete [N]

A = Área de tracción [20.12mm²]

Entonces:

$$F_i = 20.12mm^2 \times 170.625MPa$$

$$F_i = 3432.975N$$

Una vez determinada la fuerza de apriete que hará cada perno sobre las placas de acrílico se procede a determinar el espesor necesario de las mismas, para esto es importante comprender que las zonas donde se sitúan los pernos M6 que ajustan la celda generan un esfuerzo cortante sobre las placas en las áreas que se indican a continuación.

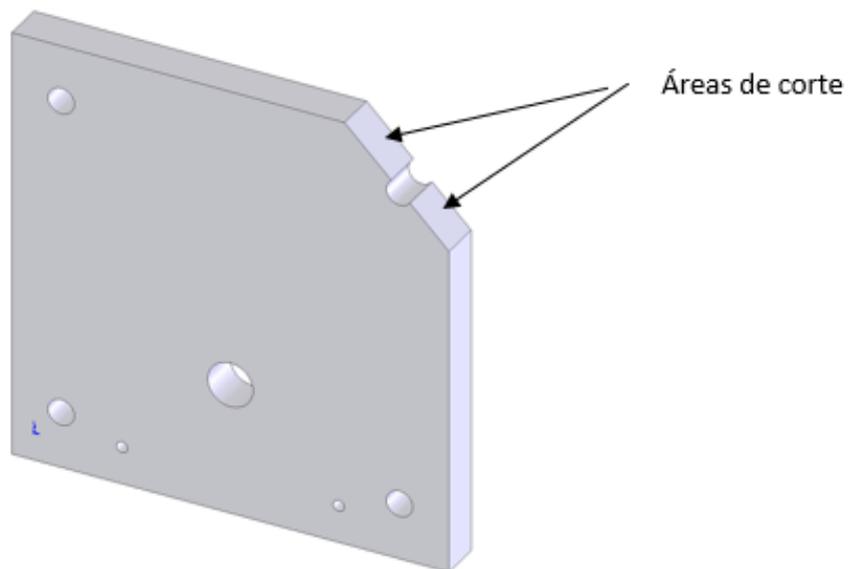


Figura 3.9 Área de corte
Fuente: David Paredes

El cálculo del área de corte se lo hace a continuación utilizando las ubicaciones de las perforaciones en la placa las cuales pueden verse en el plano respectivo se utiliza el programa SOLIDWORKS para calcular exactamente esa área, para esto primero se efectúa un croquis.

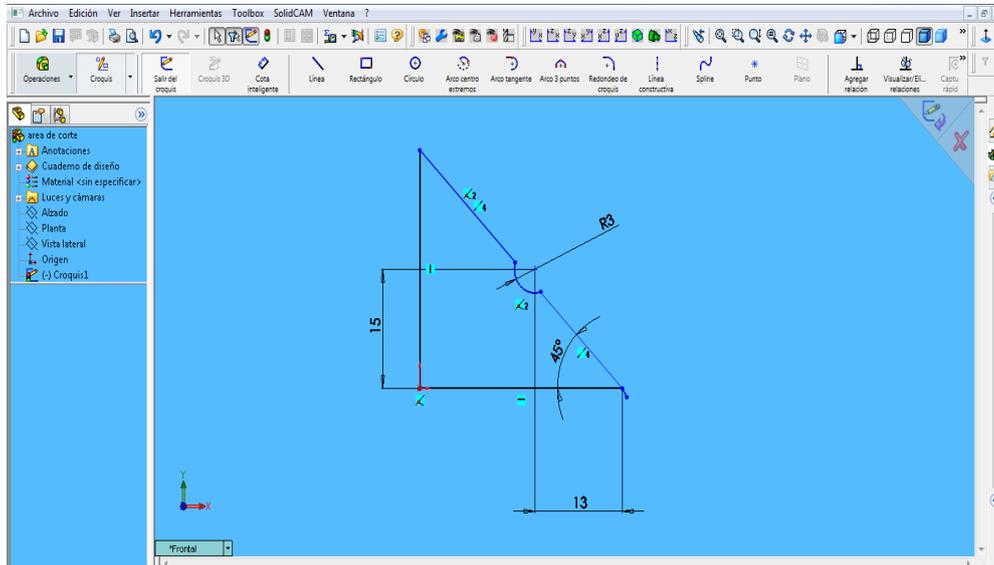


Figura 3.10 Croquis del Área de corte
Fuente: David Paredes

Una vez dibujado la zona de corte se utiliza la herramienta cota inteligente para determinar las longitudes inclinadas.

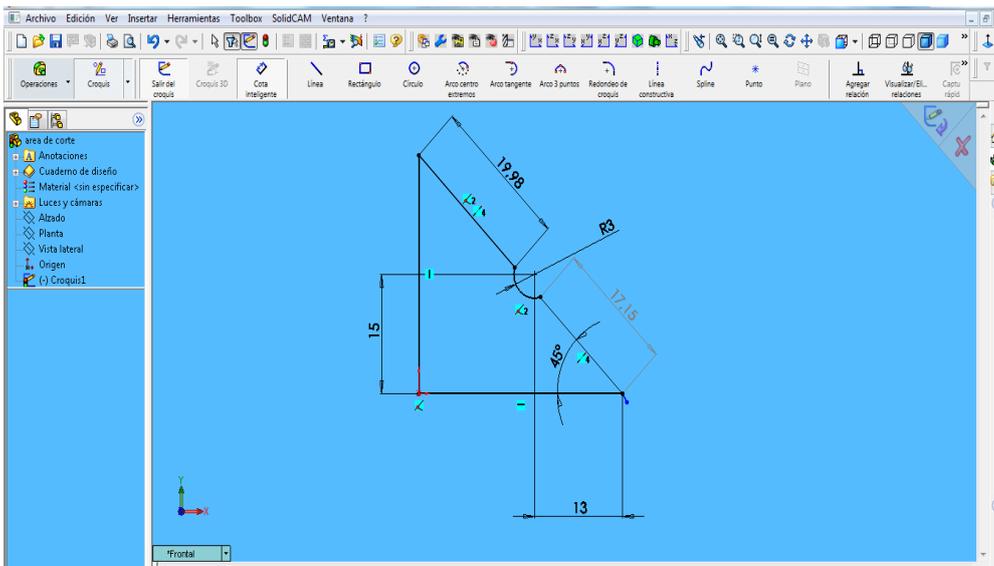


Figura 3.11 Longitudes inclinadas
Fuente: David Paredes

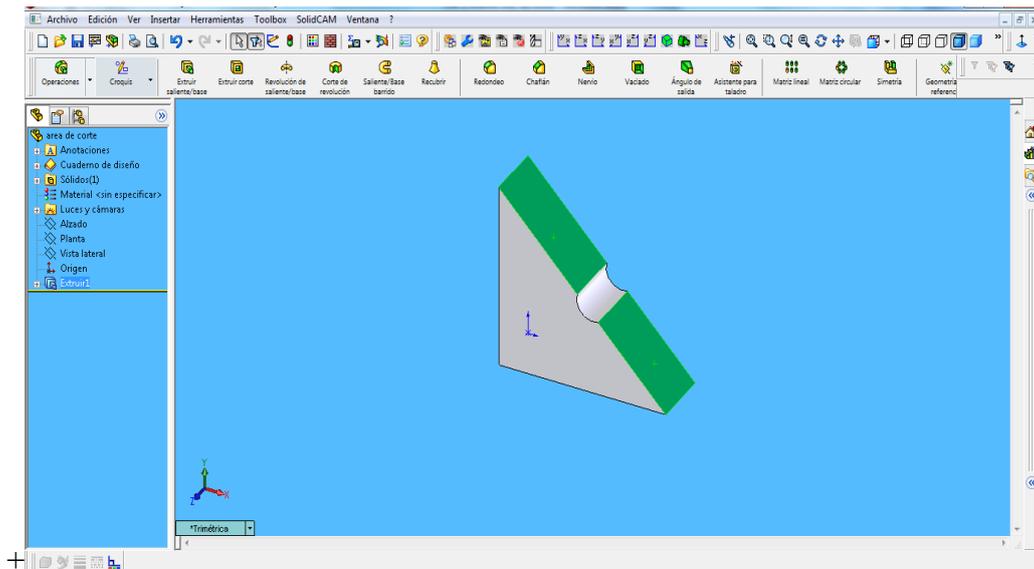


Figura 3.12 Área de Corte
Fuente: David Paredes

Por tanto el área de corte será la pintada de verde la cual estará representada por la siguiente ecuación:

$$A_c = (19.98 + 17.15)x$$

$$A_c = (37.13)x$$

En donde “x” es el espesor de la placa de acrílico a determinar. Es importante indicar que el acrílico tiene una resistencia a la cadencia promedio de 60MPa (Corneliussen, maropolymeronline, 2012) el cual también será analizado a cortante para determinar el espesor “X” necesario, se tiene;

$$\tau = \frac{F_i}{A_c} \quad \text{Ec. [3.12]}$$

En donde:

τ = Esfuerzo cortante en la placa de acrílico [60MPa]

F_i = Fuerza de apriete [3432.975N]

A_c = Área de corte [37.13x]

Entonces

$$60MPa = \frac{3432.975N}{37.13x}$$

Despejando “x” resulta un valor de 1.54 mm de espesor. Debido a que la celda no se mantendrá siempre armada, ya que por mantenimiento o inclusive por experimentación se deberá desarmar y armar con regularidad se utiliza un factor de diseño de 8 para la aplicación de cargas cíclicas (Corneliussen, maropolymeronline, 2002) dando un espesor de 12.32mm para evitar futuras rajaduras, por esto se opta por utilizar placas de 12mm de espesor disponibles en el mercado.

3.1.9. Soportes laterales.

La celda de hidrógeno debe estar sujeta al vehículo, para ello se debe anclar mediante perfiles de aluminio en forma de “L” de 19mm de lado y 1.5mm de espesor; se utiliza este tipo de ángulos ya que presentan facilidad para encontrarlos en el mercado y se ajustan a las medidas de la celda y el espacio disponible. Se utilizará tornillos M3 para sujetar lo soportes a la celda tanto en la placa acrílica frontal y posterior.

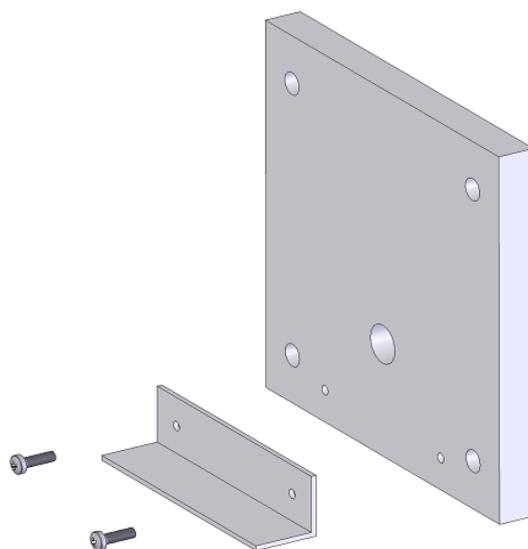


Figura 3.13 Ensamble soportes
Fuente: David Paredes

3.1.10. Codos de acoplamiento.

Los codos de acoplamiento van ubicados tanto en la placa acrílica frontal como en la posterior, estos elementos tienen una curvatura de 90°, son roscados por un extremo el cual se acopla con el orificio de 12mm de diámetro hecho en las placas acrílicas y el otro extremo tiene un cuello para que se ajuste a la manguera fácilmente.

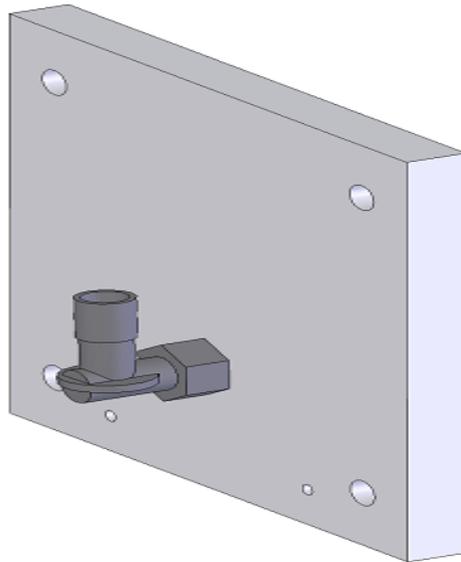


Figura 3.14 Codo de Sujeción
Fuente: David Paredes

3.1.11. Elementos de sujeción.

Para el ensamble de todos los elementos de la celda de hidrógeno es necesario utilizar pernos, tuercas y arandelas; esto con la finalidad de mantener con estanqueidad el sistema y que sea posible el montaje y desmontaje de sus componentes de una manera rápida y segura. A continuación se explica la selección de cada uno de los elementos de sujeción; en la parte delantera se utiliza los siguientes elementos:

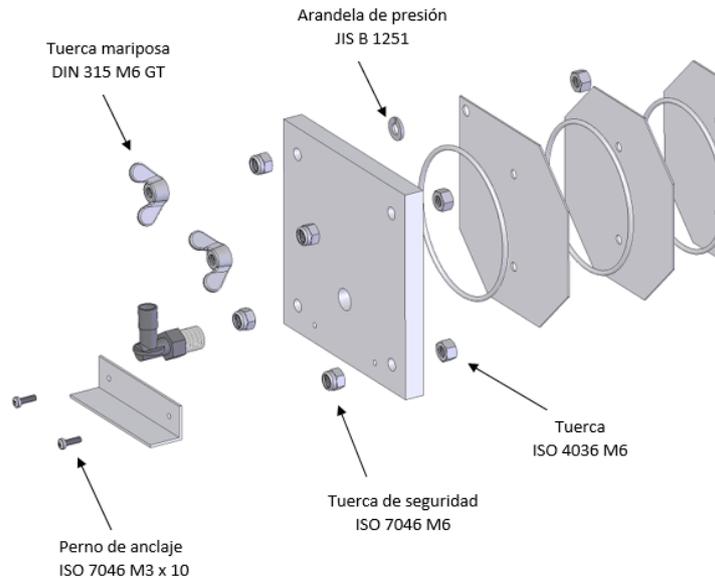


Figura 3.15 Despiece Celda
Fuente: David Paredes

Los pernos de anclaje se utilizan para sujetar la celda contra los anclajes de aluminio, tienen cabeza redonda con ranura en estrella, esto para su fácil y rápido ajuste. Las tuercas mariposa se utilizan en cada bornera de la celda, esto con la finalidad de poderlas ajustar manualmente con los terminales y conexiones eléctricas. Las tuercas de seguridad son hexagonales y tienen en su extremo un anillo de plástico, esto evita que se aflojen los pernos inferiores de la celda. Las arandelas de presión se utilizan en los pernos superiores de la celda y ajustan a las placas negativas contra las placas de acrílico. Las tuercas que se utilizan son hexagonales y van ubicadas en los diferentes lugares donde se requiere ajuste, por ejemplo en los pernos inferiores junto a las placas acrílicas, también a los lados de las placas positivas. Así como se ha analizado los elementos de sujeción de la parte delantera de la celda, se analiza la parte posterior.

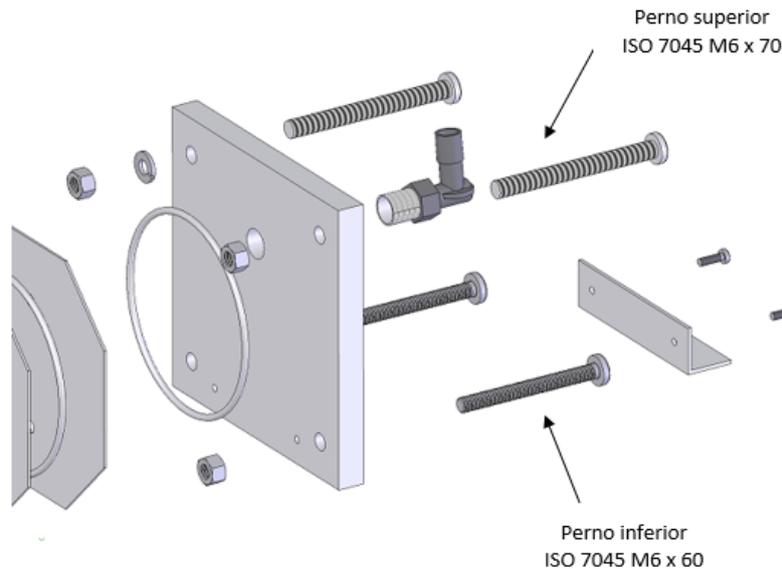


Figura 3.16 Pernos de Sujeción
Fuente: David Paredes

Los pernos inferiores y superiores son del mismo diámetro pero de diferente longitud, esto debido a que en la parte frontal de la celda, los pernos superiores en sus extremos llevan las tuercas mariposa en las respectivas borneras, y para esto se requiere espacio, y por ende más longitud de los pernos. La cantidad de cada elemento y mayor información de los mismos se encuentra en el plano respectivo.

3.2.Unidad de tratamiento del gas H₂

Una vez obtenido el hidrógeno gaseoso se hace necesario eliminar cualquier residuo de electrolito antes de enviarlo hacia el motor, ya que la solución acuosa utilizada es dañina para la admisión y por ende todo el motor, por esta razón se necesita un sistema que asegure el suministro del hidrógeno seco hacia el motor.

3.2.1. Circuito gaseoso.

El circuito gaseoso que se indica a continuación permitirá que el hidrógeno que ingresa a la admisión del motor no contenga residuos de electrolito.

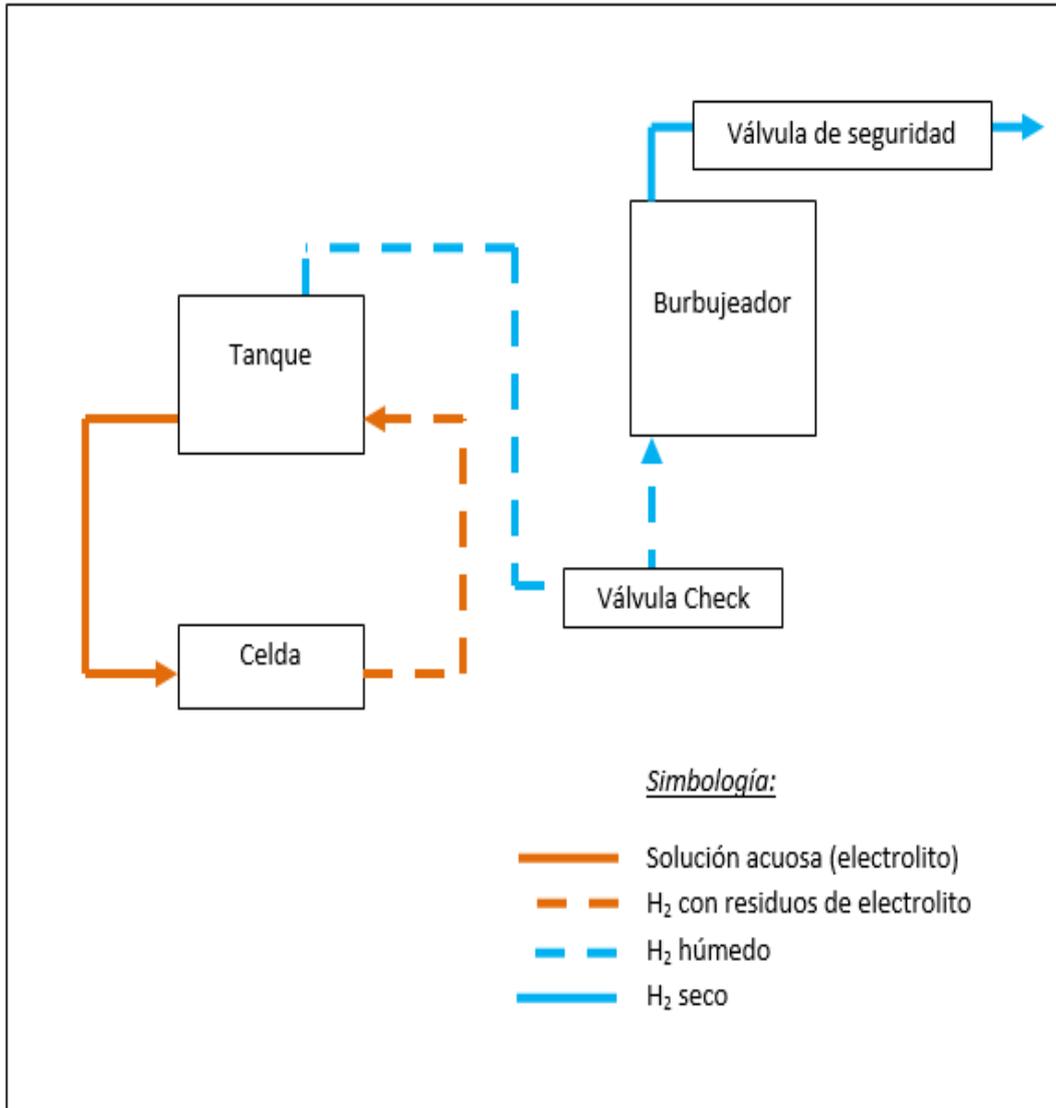


Figura 3.17 Circuito Gaseoso
Fuente: David Paredes

Como se puede observar en la figura adjunta, la celda tiene suministro por gravedad de electrolito directamente desde un tanque reservorio, de la celda sale una manguera de retorno con el gas H_2 y con residuos de electrolito hacia el tanque, de esta manera el electrolito no se desperdicia. Por la parte superior del tanque reservorio sale una manguera hacia una válvula check que separa la celda del burbujeador. A continuación se encuentra al burbujeador que secará por completo el gas H_2 para enviarlo finalmente hacia el motor sin antes dejar de pasar por una válvula de seguridad.

3.2.2. Tanque.

El tanque reservorio es el encargado de almacenar la solución acuosa que funcionará como electrolito, para esto se piensa adaptar un reservorio plástico de agua con codos de 90° a fin de que preste el servicio que se desea.

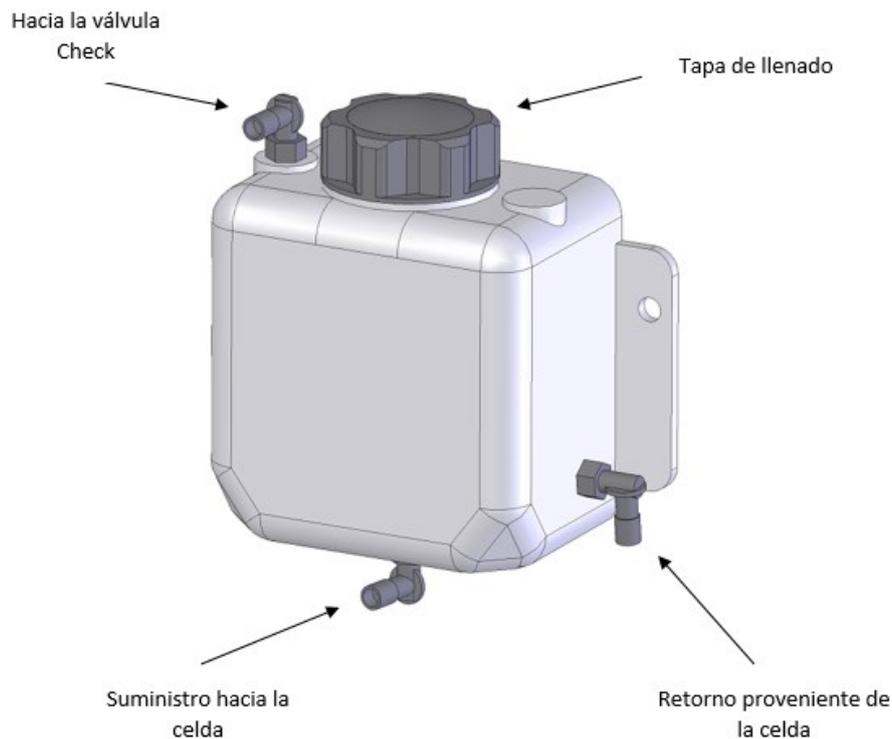


Figura 3.18 Tanque
Fuente: David Paredes

3.2.3. Válvula Check.

La válvula check es un dispositivo que evitará que el gas H_2 que llega al burbujeador regrese hacia el tanque reservorio, además de detener el flujo de electrolito que pudo haber llegado hasta el burbujeador.

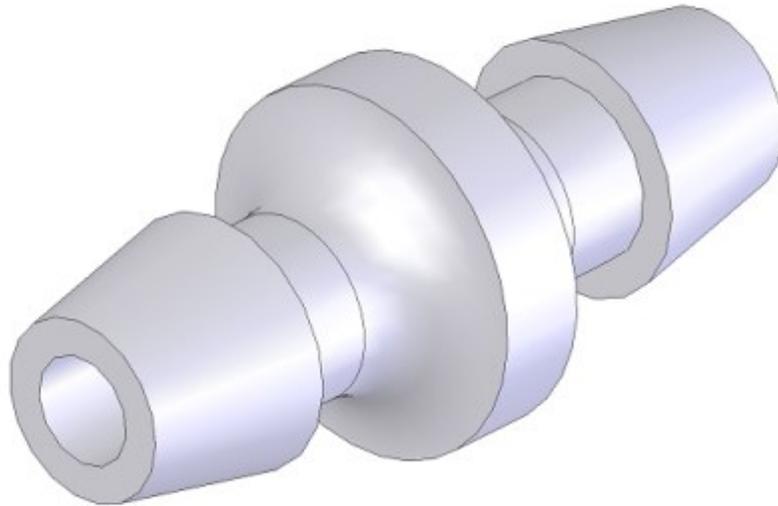


Figura 3.19 Válvula Check
Fuente: David Paredes

3.2.4. Burbujeador.

El burbujeador o también llamado secador es el encargado de retener todas las partículas de electrolito que pudieron haber llegado hasta este punto, esto es de vital importancia debido a que el electrolito utilizado es una solución acuosa de hidróxido de potasio el cual puede afectar al motor.

Para este dispositivo se ha decidido adquirir un recipiente vertical con tapa, además realizar dos perforaciones una en cada extremo para acoplar codos de 90° para las conexiones. En el interior se acoplará dos discos con celulosa para retener la mayor cantidad de electrolito. A continuación se puede observar la imagen.



Figura 3.20 Burbujeador
Fuente: David Paredes

3.2.5. Válvula de seguridad.

Este es el último elemento en el circuito gaseoso que tendrá la misión de comportarse como una barrera entre el motor la celda en el evento en el cual se produzca una combustión no controlada en el motor y esa llama invada al sistema, estará constituido básicamente por un tubo con dos pitones en los extremos para facilitar la conexión con las mangueras y en su interior contendrá estopa vegetal.

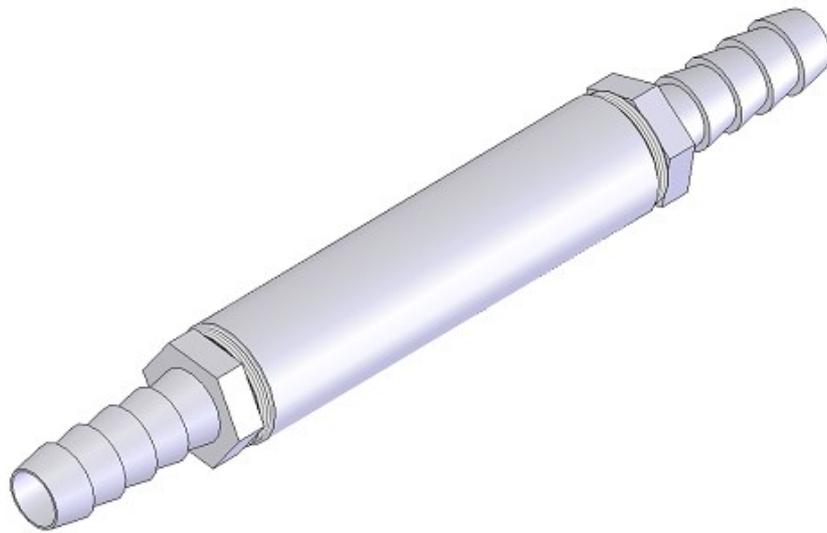


Figura 3.21 Válvula de Seguridad

Fuente: David Pares

3.3. Sistema eléctrico

Como es de conocimiento en el presente proyecto, la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de la celda generadora de hidrógeno provendrá del alternador que viene montado de fábrica en el vehículo de pruebas, razón por la cual todo el sistema estará montado en dicho vehículo y deberá tener una instalación eléctrica independiente no solo para suministrar corriente al sistema generador de hidrógeno sino también para brindar seguridad durante la operación del mismo.

3.3.1. Sistema y elementos.

A continuación se va a listar los diferentes elementos necesarios para la implementación del sistema en el vehículo de pruebas:

- *Cable AWG 10*. Este cable permitirá conducir la corriente necesaria a través del circuito de alta tensión.
- *Cable AWG 14*. Este cable permitirá conducir la corriente necesaria en el circuito de mando.
- *Terminales eléctricos*. Se utilizará terminales rectangulares y circulares en los diferentes puntos de conexión para asegurar el empalme del cableado.
- *Porta fusible y fusible*. Estos dispositivos permitirán efectuar la labor de protección del sistema de una posible sobrecarga.
- *Un relay universal de 5 clavijas*. Este dispositivo permitirá utilizar un interruptor regular para manejar las corrientes del sistema.
- *Interruptor de llave*. Este dispositivo permitirá accionar el sistema únicamente al operador, de esta manera se evita encendidos accidentales por personal no autorizado
- *Amperímetro*. Debido a que se trata de un modelo experimental, es necesario saber el consumo de corriente por parte del sistema.
- *Voltímetro*. Este dispositivo permitirá determinar el voltaje suministrado al sistema.

A continuación se presenta un esquema eléctrico detallado con todos los elementos mencionados anteriormente.

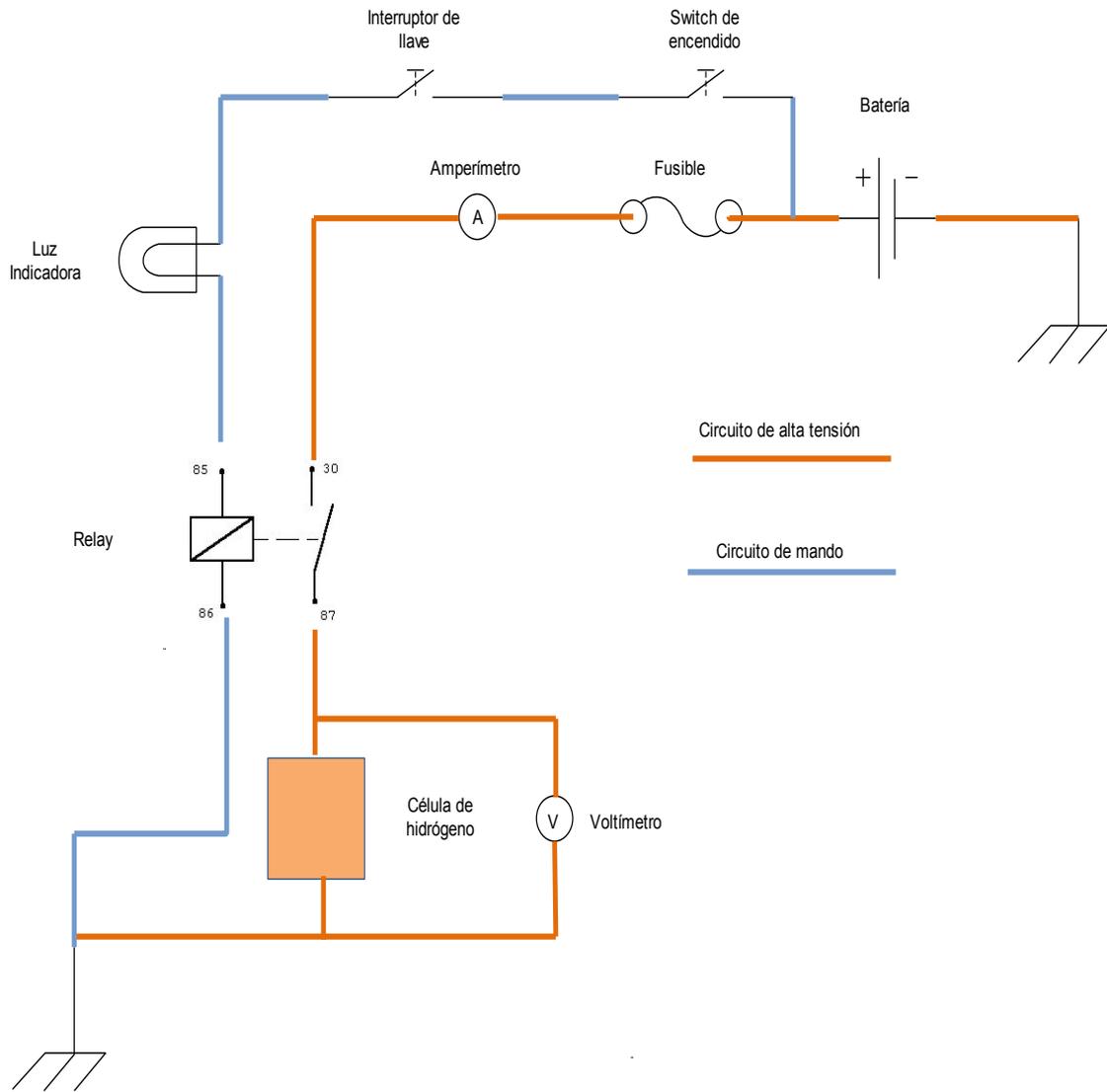


Figura 3.22 Circuito Eléctrico
Fuente: David Paredes

3.3.2. Tablero de Control.

Una vez que el circuito eléctrico está plenamente concebido, se hace necesaria la construcción de una consola que funcione como panel de instrumentos, para ello se propone el siguiente esquema.

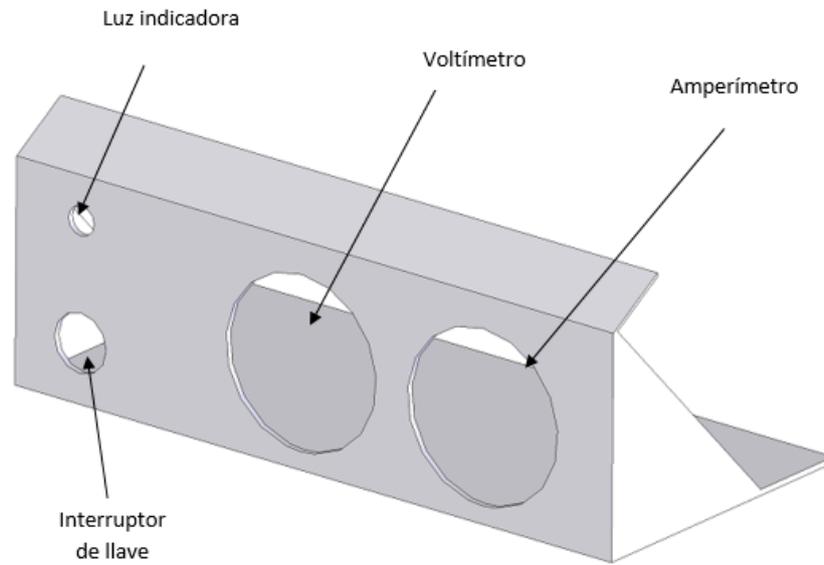


Figura 3.23 Tablero de Control
Fuente: David Paredes

Es importante indicar que este tablero de control será hecho de latón el cual se ubicará en el interior del vehículo en una zona visible ajustándose al espacio disponible. Los cableados y demás componentes eléctricos se ubicarán en la parte posterior para dejar visible únicamente los medidores de amperios y voltios, junto con la llave de control y la luz indicadora.

Las medidas exactas de este componente constan en el plano respectivo.

CAPITULO IV

4. ENSAMBLAJE Y MONTAJE

4.1. Ensamblaje

4.1.1. Celda o generador.

A continuación se procede a explicar el proceso de ensamble de la celda de hidrógeno, es importante indicar que algunos elementos han sido maquinados para facilitar el ensamble de codos de acoplamiento en las placas acrílicas.



Figura 4.1 Placa Acrílica
Fuente: David Paredes

En la Figura 4.1 Placa Acrílica se puede ver previamente cortada y perforada según los planos respectivos, donde se ensamblan los elementos. Primero se debe acoplar el codo plástico en la placa acrílica la cual está enroscada y pegada. Se necesita los siguientes materiales para la instalación: Silicona, Teflón, llave de tuercas número 13mm. Se procede a colocar teflón en

la rosca del codo de acoplamiento y después se coloca silicón para posteriormente enroscar en la placa acrílica y se ajusta con la llave de tuercas.

Inmediatamente se procede a sujetar los ángulos de anclaje en las placas acrílicas.

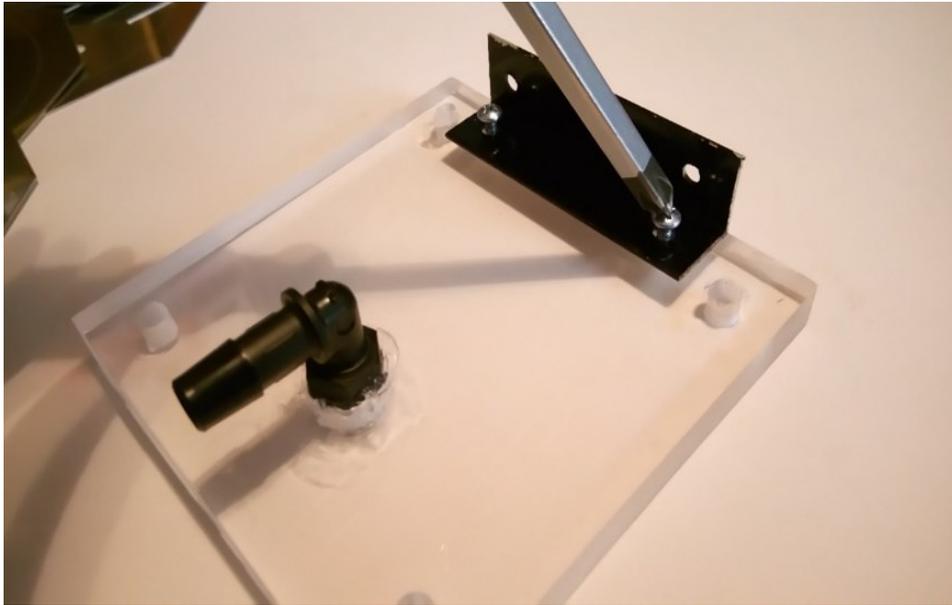


Figura 4.2 Ensamblaje de las platinas de sujeción
Fuente: David Paredes

Para la el ensamble de la Figura 4.2 se necesitan estos materiales; pernos M3 de cabeza en estrella, loctite, destornillador de estrella; para el ensamble se procede a colocando los soportes en la placa acrílica fijando los pernos M3 con loctite y sujetándolos con destornillador.

En la Figura 4.3 se puede ver un perno con el cual se sujeta el conjunto de placas en la placa acrílica.



Figura 4.3 Pernos de Sujeción
Fuente: David Paredes

En este proceso se necesitan estos materiales; pernos M6, arandelas de presión, tuercas M6, destornillador en estrella, llave de tuercas número 13mm. Se introducen los pernos M6 en la placa acrílica principal para posteriormente colocar las arandelas de presión y las tuercas M6 respectivas.

En el momento de pegar las juntas de goma Figura 4.4 en las 9 placas se recomienda primero limpiar las placas con solvente y pasar un paño seco, a continuación se coloca el silicón en las placas inmediatamente colocar las juntas de goma. Para este proceso es necesario tener estos materiales; Silicón, solvente, paños secos.

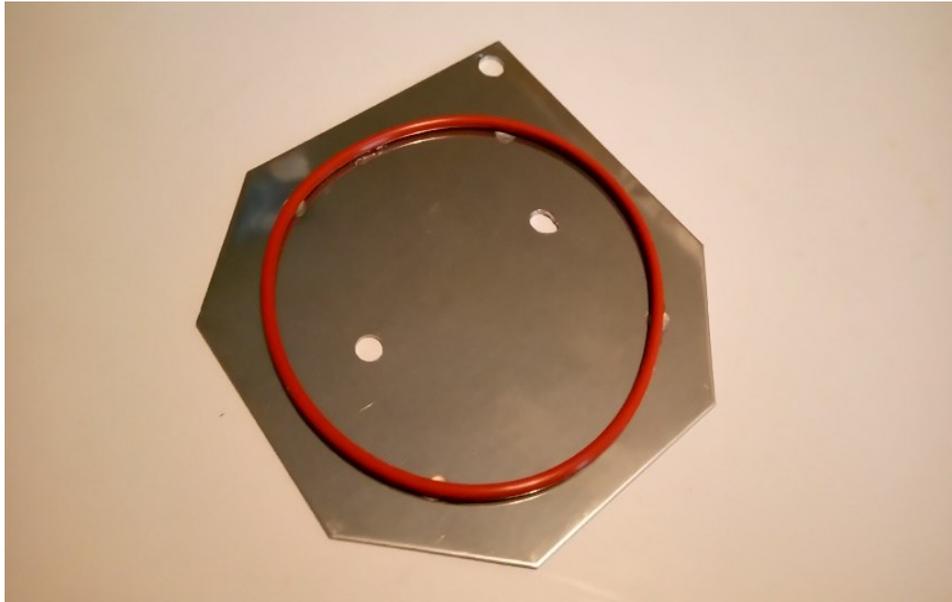


Figura 4.4 Juntas de Goma
Fuente: David Paredes

Posteriormente se coloca la placa ánodo Figura 4.5 en el perno de sujeción superior de ánodos. Para lo cual se debe tener, una arandela de presión, una tuerca M6, un destornillador y una llave de tuercas número 13mm. Se debe ubicar con precisión la arandela de presión y luego la placa ánodo en el perno, se inserta y ajusta la tuerca M6 con la llave de tuercas.



Figura 4.5 Placa Ánodo
Fuente: David Paredes

En el momento se coloca las tres placas neutras Figura 4.6 a continuación de la placa ánodo, para lo cual se debe colocar y alinear una placa a la vez, alineándolas una tras otra; es necesario que las placas neutras ya se encuentren unidas a las juntas de goma.



Figura 4.6 Ensamblaje de las placas neutras

Fuente: David Paredes

Posteriormente se debe insertar la placa cátodo en el perno superior de sujeción de cátodo; para lo que se debe tener en cuenta estos materiales, dos tuercas M6, una placa de cátodo, dos llaves de tuercas número 13mm; se inicia el ensamblaje colocando la tuerca M6 en el perno para consecutivamente insertar la placa cátodo y la tuerca de apriete M6; finalmente debemos alinear la placa cátodo con las tuercas M6 y se ajusta utilizando dos llaves de tuercas número 13mm; el ensamblaje de la placa debe quedar como en la Figura 4.7



Figura 4.7 Placa Cátodo
Fuente: David Paredes

Consiguiente se coloca las tres placas neutras a continuación de la placa cátodo Figura 4.8, para lo cual se debe colocar y alinear una placa a la vez, alineándolas una tras otra; es necesario que las placas neutras ya se encuentren unidas a las juntas de goma.

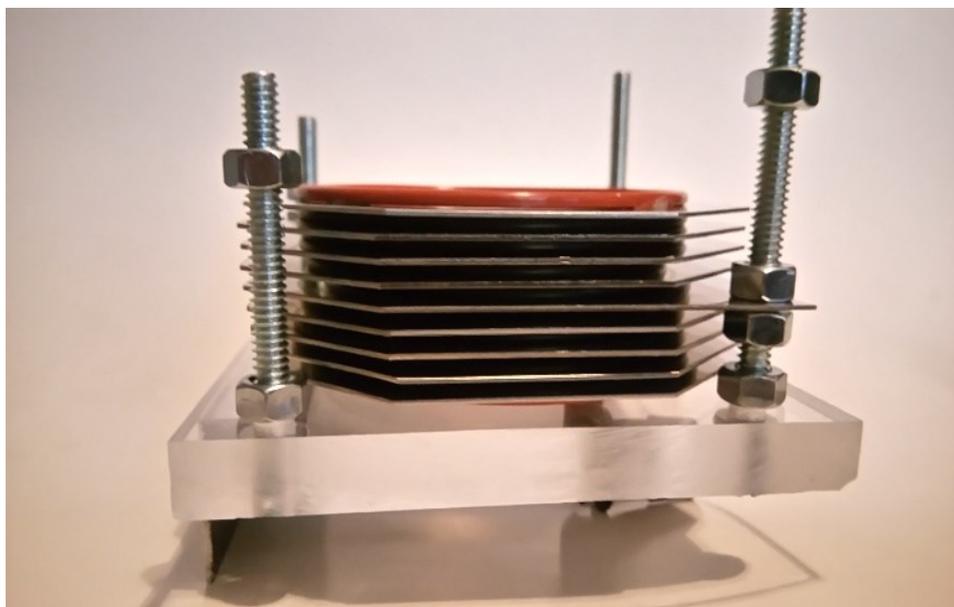


Figura 4.8 Placas Neutras
Fuente: David Paredes

Posteriormente se debe insertar la placa ánodo en el perno superior de sujeción de ánodos; para lo que se debe tener en cuenta estos materiales, una tuerca M6, una placa ánodo; se inicia el ensamblaje colocando la tuerca M6 en el perno para inmediatamente insertar la placa ánodo; finalmente debemos alinear la placa ánodo con la tuerca M6.

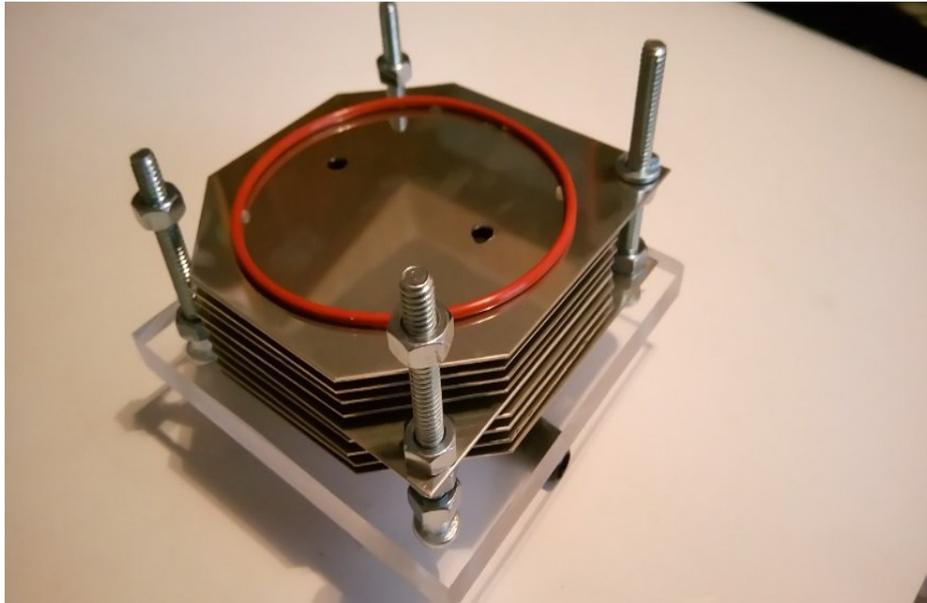


Figura 4.9 Ensamblaje de Placa Ánodo
Fuente: David Paredes

Finalmente se inserta la placa acrílica posterior en los pernos de sujeción de la celda, para este proceso se debe tener estos materiales; tres tuercas M6, cuatro tuercas M6 de presión, una arandela de presión, una placa acrílica lista para el ensamblaje, dos llaves de tuercas número 13mm; el proceso inicia colocando las tres tuercas M6 y la una arandela de presión en los pernos de sujeción como en la Figura 4.9, a continuación insertamos la placa acrílica previamente ensamblada en los pernos de sujeción, alineamos la placa utilizando las tuercas M6, a continuación colocamos las cuatro tuercas M6 de presión en los pernos de sujeción, finalmente ajustamos los pernos M6 de presión utilizando las dos llaves de tuercas número 13mm; la celda ensamblada se puede ver en la Figura 4.10.

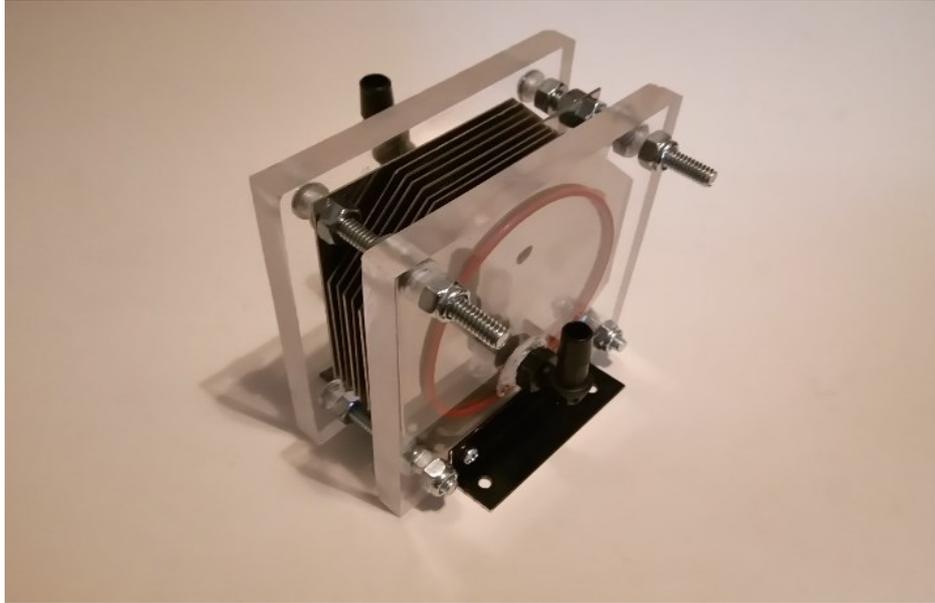


Figura 4.10 Celda Ensamblada
Fuente: David Paredes

4.1.2. Tanque.

A continuación se procede a explicar el proceso de ensamble del tanque, es importante indicar que algunos elementos han sido maquinados para facilitar el ensamble de codos de acoplamiento en el tanque.



Figura 4.11 Codo de Sujeción Superior
Fuente: David Paredes

Para este proceso son necesarios los siguientes materiales; tanque previamente maquinado, tres codos de acoplamiento plásticos, silicón transparente, llave de turcas número 13mm; se debe colocar el silicón en la rosca de los tres codos y atornillar en los tres orificios del tanque, tanto en los inferiores como en el superior, consecuentemente se debe ajustar utilizando la llave de tuercas número 13mm.



Figura 4.12 Codos de Sujeción Inferiores
Fuente: David Paredes

4.1.3. Burbujeador.

A continuación se procede a explicar el proceso de ensamble del burbujeador, es importante indicar que algunos elementos han sido maquinados para facilitar el ensamble de codos de acoplamiento en el burbujeador.



Figura 4.13 Tanque Burbujeador
Fuente: David Paredes

Para este ensamble se necesitan los siguientes materiales; burbujeador o tanque maquinado, dos filtros de partículas, una junta de goma, una tapa plástica dos codos de acoplamiento plásticos, teflón, llave de tuercas número 13mm; se inicia el proceso con la colocación del filtro de partículas en la parte interna inferior del burbujeador, para posteriormente colocar la junta de goma en la parte superior del burbujeador.



Figura 4.14 Filtro de Partículas
Fuente: David Paredes

A continuación se inserta el filtro de partículas en la parte superior, luego se pone la tapa Figura 4.15 y se ajusta, posteriormente se coloca teflón en los codos de sujeción Figura 4.16, posteriormente se insertan los codos de sujeción en la parte superior e inferior del burbujeador, finalmente se ajusta los codos con la llave de tuercas.



Figura 4.15 Tapa Burbujeador
Fuente: David Paredes



Figura 4.16 Codo de Sujeción con Teflón
Fuente: David Paredes

4.1.4. Válvula de seguridad.

A continuación se procede a explicar el proceso de ensamble de la válvula de seguridad, es importante indicar que algunos elementos han sido maquinados para facilitar el ensamble de acoples en el burbujeador.



Figura 4.17 Válvula de Seguridad Desensamblada
Fuente: David Paredes

Para el siguiente proceso se necesitan los siguientes materiales; acoples, tubo, estopa metálica, dos gramos de arena, un gramo de vidrio molido, teflón, llaves de tuercas número 13mm; el proceso inicia con la colocación de teflón en los acoples para posteriormente atornillar el acople en el tubo, a continuación se inserta estopa metálica en el tubo, después se coloca arena y vidrio molido para inmediatamente incorporar el acople en el extremo del tubo y así cerrar toda la válvula, finalmente se debe ajustar los dos acoples con las llaves de tuercas número 13mm.

4.1.5. Consola.

A continuación se procede a explicar el proceso de ensamble de la consola, es importante indicar que algunos elementos han sido maquinados para facilitar el ensamble de manómetros en el panel.



Figura 4.18 Consola Desacoplada
Fuente: David Paredes

Para este ensamble es necesario los siguientes materiales; Amperímetro de 2 INCH, Voltímetro de 2 INCH, interruptor de llave, foco indicador, llave de tuercas número 8mm, destornillador de estrella; para iniciar con el acoplamiento de los componentes en el tablero se coloca el amperímetro en el orificio del panel destinado para este elemento y se coloca la base de sujeción en la parte trasera y se aprietan las tuercas con la llave de tuercas número 8mm, posteriormente se coloca el voltímetro en el orificio del panel destinado para este equipo y se coloca la base de sujeción en la parte trasera y se aprietan las tuercas con una llave de tuercas número 8mm, a continuación se instala el interruptor y se lo oprime la tuerca por la parte trasera del panel, finalmente se coloca el foco indicador y se lo ajusta con los tornillos por la parte posterior del panel.

4.2.Montaje

4.2.1. Celda o Generador.

Para este montaje es necesario los siguientes elementos; taladro, broca 3.5mm, machuelo M4, 4 pernos M4, destornillador de estrella; se inicia el proceso de montaje al realizar los huecos en el puente delantero del vehículo Figura 4.19 Huecos para sujeción de Celda que servirán para acoplar la celda al vehículo, a continuación se pasa machuelo en los cuatro huecos para rosca M4, para posteriormente colocar la celda y los pernos de anclaje, atornillándolos con el destornillador estrella.



Figura 4.19 Huecos para sujeción de Celda
Fuente: David Paredes

En la Figura 4.20 Celda Ensamblada en el Vehículo se puede ver la celda ya ensamblada en el vehículo.

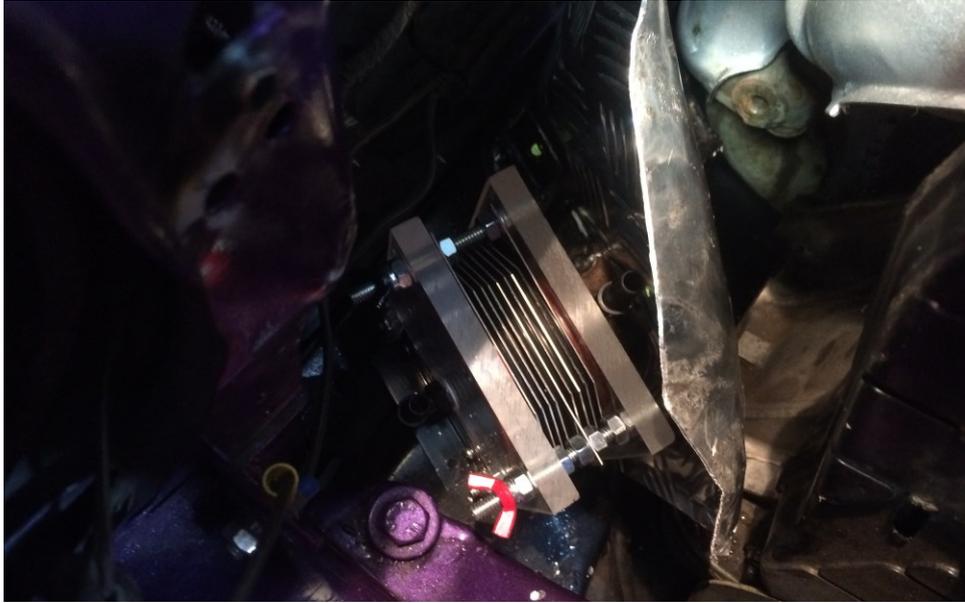


Figura 4.20 Celda Ensamblada en el Vehículo
Fuente: David Paredes

4.2.2. Tanque.

Para este proceso son necesarios los siguientes materiales; Taladro, broca 6mm, dos platinas, cuatro pernos M6 x 1 ½, cuatro tuercas M4, dos llaves de tuercas 10mm; para iniciar con el montaje del tanque es necesario realizar dos huecos en la carrocería con el taladro, inmediatamente se procede a colocar las dos platinas y unirles a la carrocería y el tanque con los pernos con tuercas y apretarlos con las dos llaves de tuercas de 10mm.

En la Figura 4.21 se puede observar el tanque ya ensamblado en el vehículo.



Figura 4.21 Tanque Ensamblado en el Vehículo
Fuente: David Paredes

4.2.3. Burbujeador.

Para este ensamble es necesario los siguientes materiales; Burbujeador, base de burbujeador, tres pernos de M6, dos tuercas M8, una llave de tuercas 10mm, una llave de tuercas 13mm; se inicia el ensamble al colocar el burbujeador en la base y se aprieta con una llave de tuercas número 10mm, consiguiente se coloca la base y se junta con la carrocería en la base del amortiguador izquierdo del vehículo y se aprietan las dos tuercas con una llave de tuercas 13mm.

En la Figura 4.22 se puede observar el burbujeador ya ensamblado en el vehículo.



Figura 4.22 Burbujeador Ensamblado en el Vehículo
Fuente: David Paredes

4.2.4. Válvula de seguridad.

Para este proceso se necesitan los siguientes materiales; una válvula de seguridad o arresta llamas, una abrazadera metálica, un perno M6 x 1 ½, una llave de tuercas número 10mm; Se inicia este montaje colocando la abrazadera metálica en la válvula de seguridad, a continuación se ensambla la abrazadera metálica en la carrocería mediante un perno M6 y se ajusta con la llave de tuercas número 10mm.

En la Figura 4.23 se puede ver ya ensamblada en el vehículo la válvula de seguridad.



Figura 4.23 Válvula de Seguridad Ensamblada en el Vehículo
Fuente: David Paredes

4.2.5. Mangueras de conexión.

Para este proceso son necesarios los siguientes materiales; Manguera 5/16, un estilete; para iniciar con el montaje de las mangueras es necesario medir cada sección donde se las va a colocar, para acondicionarlas cortarlas y ensamblarlas en los codos de acople, la instalación de las mangueras se las puede ver en la Figura 4.24.



Figura 4.24 Mangueras
Fuente: David Paredes

4.2.6. Válvula Check.

Para este montaje son necesarios los siguientes materiales; una válvula check, un estilete; para insertar este componente se debe cortar la manguera que va desde el tanque hacia el burbujeador con un estilete y ahí colocar la válvula check con sentido de que el gas pase desde el tanque hacia el burbujeador y prevenir que los gases regresen al tanque.

En la figura se puede ver la válvula check ya ensamblada en la manguera.



Figura 4.25 Válvula Check
Fuente: David Paredes

4.2.7. Consola.

Para este montaje es necesario contar con los siguientes materiales; Consola previamente ensamblada, tres tornillos colepatos, 10 metros de cable número 10, 2 metros de cable 14, terminales, porta fusible, fusible, porta relay, relay, cortafrío, taípe, llave número 8mm, llave de tuercas número 11mm, un destornillador de estrella; Para iniciar con el montaje se debe realizar las conexiones eléctricas como se ve en la Figura 3.22, una vez ya conectado todo se

procede a colocar la consola y a atornillar con los tres pernos en la parte inferior con un destornillador de estrella.

En la Figura 4.26 se puede ver la consola ya montada en el vehículo.



Figura 4.26 Consola Ensamblada en el Vehículo
Fuente: David Paredes

4.3.Carga del electrolito

El electrolito debe estar dosificado de acuerdo con los cálculos anteriormente efectuados y descritos en el capítulo 2, para ello se utiliza una balanza electrónica para poder medir las proporciones a utilizar como se muestra a continuación.



Figura 4.27 Pesaje del hidróxido de potasio
Fuente: David Paredes

Una vez que el soluto ha sido pesado se agrega en un recipiente plástico al agua destilado obteniendo una solución con un volumen total de 1 galón, ahora se carga con esta solución el sistema generador de hidrógeno como se presenta en la siguiente imagen.



Figura 4.28 Carga del electrolito en el sistema
Fuente: David Paredes

Es importante indicar que el sistema en funcionamiento no mantiene un nivel constante debido al flujo del electrolito a través de las placas, razón por la cual se carga el sistema por el recipiente de almacenamiento hasta la mitad para evitar que rebose durante el funcionamiento.

CAPITULO V

5. PRUEBAS Y COSTOS

5.1. Identificación de parámetros operativos

Los parámetros operativos a ser tomados en cuenta para monitorear el desempeño del motor que será objeto de esta investigación son los que se indican a continuación:

- *Productos de la combustión:* Los gases de combustión a ser monitoreados serán: monóxido de carbono (% CO), dióxido de carbono (% CO₂), oxígeno (% O₂), hidrocarburos no combustionados (ppm HC). También se monitoreará parámetros relacionados a la combustión como es el valor de lambda (λ) y la temperatura de aceite del motor (°C).
- *Temperatura del gas de escape:* Este parámetro también será monitoreado para determinar cómo influye el uso del hidrógeno gaseoso como aporte al combustible en la temperatura de los gases de escape.
- *Potencia y torque:* La potencia y torque que el motor desarrolla serán medidos para determinar cómo influye el uso del hidrógeno gaseoso como aporte al combustible en el aprovechamiento de la energía y la transformación de la misma en fuerza utilizable por el vehículo.

Los parámetros operativos que serán monitoreados exclusivamente de la celda de hidrógeno para determinar su comportamiento durante su aporte al motor de combustión interna del vehículo en cuestión son los siguientes:

- *Tensión:* La tensión también conocida como voltaje (V) será de vital importancia para determinar los insumos que requiere la celda de hidrógeno.

- *Corriente:* La corriente también conocida como amperaje (A) es un parámetro sumamente importante ya que limita el accionar de la celda de hidrógeno, esto debido a que no puede superar cierto valor ya que puede llegar a sobrecargar el sistema eléctrico del vehículo y provocar averías.

5.2.Pruebas estáticas

Las pruebas estáticas que se han llevado a cabo son las que se indican a continuación tanto en ralentí (1000rpm) como en aceleración (2500rpm):

- Medición de productos de la combustión
- Medición de tensión
- Medición de corriente
- Medición de temperatura del gas de escape

Todas las pruebas antes mencionadas se han llevado a cabo tanto en la ciudad de Quito específicamente en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Automotriz (FIA UIDE) como a nivel del mar en la ciudad de Atacames provincia de Esmeraldas. Además todas las pruebas han sido efectuadas inicialmente con el motor sin asistencia de la celda de hidrógeno y luego con la celda de hidrógeno funcionando para de esta manera poder determinar los efectos generados.

5.2.1. Medición de gases de combustión.

La medición de gases de combustión se lo efectúa utilizando un analizador de gases marca Brain Bee Automotive AGS -688 cuya ficha técnica consta en el anexo 2.



Figura 5.1 Analizador de Gases (Brain Bee Automotive AGS-688)
Fuente: David Paredes

Como primer punto se enciende el analizador de gases y se efectúa la prueba de estanqueidad que verifica que todo el trayecto de los conductos desde el analizador hasta el extremo de la sonda no tenga fugas.



Figura 5.2 Prueba de Estanqueidad
Fuente: David Paredes

A continuación el equipo lleva a cabo el procedimiento de auto cero que consiste en igualar a cero los valores de los gases de medición tomando como referencia los últimos valores medidos.



Figura 5.3 Auto Cero
Fuente: David Paredes

Como último paso se efectúa el test de HC proceso en el cual el analizador evalúa el grado de contaminación interno para dar paso a la toma de mediciones.



Figura 5.4 Test de HC
Fuente: David Paredes

Una vez pasadas las pruebas preliminares determinadas por el mismo equipo se procede a efectuar las mediciones:



Figura 5.5 Colocación de analizador en el vehículo

Fuente: David Paredes

A continuación se realiza la medición de gases presentando los siguientes resultados en Quito:

Tabla 5.1 Medidas sin hidrogeno en Quito

SIN CELDA DE HIDRÓGENO		
	Ralentí @1000rpm	Aceleración @2500 RPM
CO [%]	5.56	5.68
O2 [%]	1.27	0.75
CO2 [%]	10.2	9.8
λ	0.872	0.853
HC [ppm]	606	285
Temp aceite [°C]	80	84

Fuente: David Paredes

Tabla 5.2 Medidas con hidrogeno en Quito

CON CELDA DE HIDRÓGENO		
	Ralentí @1000rpm	Aceleración @2500 RPM
CO [%]	3.92	6.06
O2 [%]	1.22	0.64
CO2 [%]	11.4	10.4
λ	0.922	0.844
HC [ppm]	472	349
Temp aceite [°C]	81	83

Fuente: David Paredes

De los valores registrados se desprende el siguiente análisis para el ralentí:

- El valor de lambda (λ) sube de 0.872 a 0.922 con la utilización de la celda de hidrógeno, lo cual indica que la mezcla tiende a empobrecerse ligeramente, esto es lógico debido a que la celda no solo genera hidrógeno sino también oxígeno por el proceso electrolítico del agua.
- El valor de oxígeno (% O₂) baja de 1.27 a 1.22; pese a que la celda de hidrógeno genera oxígeno este no se ve reflejado en el aumento de este parámetro pero se puede observar que el dióxido de carbono (% CO₂) sí aumentó de 10.2 a 11, 4 con el aporte del hidrógeno, lo que quiere decir que el oxígeno aportado por la celda sirvió para hacer más efectiva la combustión.
- El valor de monóxido de carbono (% CO) baja de 5.56 a 3.52, lo cual indica que este gas extremadamente nocivo se reduce casi en un 30%.
- Los hidrocarburos no combustionados (ppm HC) también se reducen de 606 a 472, casi un 25% lo cual hace ver que se generarán menos residuos sólidos en el interior del motor (hollín).

Al analizar los valores correspondientes durante la aceleración se realiza el siguiente análisis:

- El valor del lambda (λ) pasa de 0.853 a 0.844 lo cual indica que la mezcla permanece estable, ya que él no se enriquece ni se empobrece considerablemente.

- El valor de oxígeno (% O₂) pasa de 0.65 a 0.74 lo cual tiene relación con el valor de lambda y corrobora el análisis anteriormente efectuado. El valor de dióxido de carbono (% CO₂) pasó de 9.8 a 10.4 lo cual indica una ligera mejoría de la combustión.
- El valor de monóxido de carbono (% CO) pasa de 5.68 a 6.06 lo cual indica un ligero aumento de este gas.

Los hidrocarburos no combustionados (ppm HC) pasan de 285 a 349 lo cual evidencia un incremento casi del 20% de residuos sólidos.

Como se puede observar de los análisis efectuados, los efectos de la utilización de la celda de hidrógeno son más notorios en ralentí que en aceleración, ya que los efectos nocivos de la combustión se reducen mucho más en marcha baja. En cuanto a la temperatura de aceite se observa un ligero aumento en la aceleración siempre. A continuación se procede a efectuar un análisis similar con los datos obtenidos de las pruebas realizadas a nivel del mar.



Figura 5.6 Pruebas a Nivel del Mar
Fuente: David Paredes

Tabla 5.3 Medidas sin hidrogeno en Atacames

SIN CELDA DE HIDRÓGENO		
	Ralentí @1000rpm	Aceleración @2500 RPM
CO [%]	0.48	3.38
O2 [%]	5.38	0.66
CO2 [%]	10.9	12.5
λ	1.22	0.926
HC [ppm]	1370	199
Temp aceite [°C]	80	84

Fuente: David Paredes

Tabla 5.4 Medidas con hidrogeno en Atacames

CON CELDA DE HIDRÓGENO		
	Ralentí @1000rpm	Aceleración @2500 RPM
CO [%]	0.36	3.48
O2 [%]	3.71	0.67
CO2 [%]	12.1	12.4
λ	1.14	0.920
HC [ppm]	882	282
Temp aceite [°C]	76	81

Fuente: David Paredes

De los valores registrados se desprende el siguiente análisis para el ralentí:

- El valor de lambda (λ) baja de 1.22 a 1.14, lo cual indica que la mezcla se enriquece ligeramente, y esto es beneficioso porque el valor tiende al 1 ideal o estequiométrica.
- El valor de oxígeno (% O₂) baja de 5.38 a 3.71 lo cual indica que el oxígeno tiende a emplearse mucho más en la creación de dióxido de carbono (% CO₂) que aumenta de 10.9 a 12.1 lo cual ratifica la estabilización de la combustión ya que este gas en particular es un indicador de buena combustión.
- El valor de monóxido de carbono (% CO) baja de 0.48 a 0.36 lo cual es bueno ya que este gas es altamente nocivo para la salud.

- Los hidrocarburos no combustionados (ppm HC) bajan de 1370 a 882 lo cual representa casi un 35% de reducción de material particulado por el escape.

Al analizar los valores correspondientes durante la aceleración se realiza el siguiente análisis:

- El valor de lambda (λ) pasa de 0.926 a 0.920 lo que quiere decir que la mezcla permanece prácticamente invariante.
- El valor de oxígeno (% O₂) pasa de 0.66 a 0.67 lo cual corrobora el comentario anterior, lo mismo con el valor de dióxido de carbono (% CO₂) que pasa de 12.5 a 12.4.
- El valor de monóxido de carbono (% CO) para de 3.38 a 3.48 lo cual representa una variación mínima.
- Los hidrocarburos no combustionados (ppm HC) pasan de 199 a 282 lo cual sí representa un aumento considerable ya que equivale casi a un 30% de incremento.

Al igual que las pruebas realizadas en Quito se puede observar que los efectos en ralentí como en aceleración son casi los mismos, siendo la celda de hidrógeno más influyente a bajas revoluciones, hay que tomar en cuenta que durante la aceleración se produce una mezcla estable pero con incremento del material particulado. En cuanto a la temperatura de aceite se observa un ligero aumento en la aceleración siempre. Es importante indicar que los valores registrados han sido considerados como válidos siempre que se han estabilizado las lecturas en el analizador.

5.2.2. Medición de tensión.

La tensión necesaria para el funcionamiento de la celda de hidrógeno es un parámetro muy importante ya que bajo todo estado de funcionamiento no se debe sobrecargar al sistema

eléctrico original del vehículo, para esto se utiliza un voltímetro instalado en el panel adicional construido en el interior del vehículo.



Figura 5.7 Manómetros en funcionamiento
Fuente: David Paredes

Respecto a este parámetro se pudo observar que durante el ralenti la tensión fue de 12.4V y durante la aceleración fue de 14.5 V sin presentar mayores variaciones cuando se puso a funcionar la celda de hidrógeno.

5.2.3. Medición de corriente.

La medición de corriente que consume el sistema generador de hidrógeno ha sido monitoreado mediante una pinza amperométrica marca Hold Peak HP-6205 cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el anexo 3.

De las mediciones efectuadas en Quito se obtuvieron los siguientes valores:



Figura 5.8 Medición de Corriente en Quito
Fuente: David Paredes

Tabla 5.5 Datos de medición de corriente en Quito

Quito		
	Ralentí @1000rpm	Aceleración @2500 RPM
Corriente [A]	14.9	15.1

Fuente: David Paredes

Utilizando el mismo procedimiento se tomaron las siguientes mediciones a nivel del mar:



Figura 5.9 Medición de Corriente en Atacames
Fuente: David Paredes

Tabla 5.6 Datos de medición de corriente en Atacames

Atacames		
	Ralentí @1000rpm	Aceleración @2500 RPM
Corriente [A]	15.5	15.6

Fuente: David Paredes

Como se puede observar la corriente que consume la celda de hidrógeno prácticamente permanece invariante y ronda los 15 Amperios tal como fue diseñado para que no supere los 20 amperios ya que de las mediciones efectuadas el sistema eléctrico del vehículo consume 1 amperio en ralentí, 15 amperios cuando se enciende el electro ventilador y 45 amperios cuando se encienden todos los consumidores, lo que quiere decir que si se hace funcionar la celda de hidrógeno con todos los consumidores del vehículo se estará bordeando los 60 amperios que estarían muy próximos a los 70 amperios máximos que produce el alternador.

5.2.4. Medición de la temperatura del gas de escape.

La temperatura del gas de escape ha sido monitoreada mediante la misma pinza amperométrica seleccionando la función “temp”, de las mediciones realizadas en Quito se obtuvieron los siguientes valores:



Figura 5.10 Medición de temperatura de gases de escape en Quito
Fuente: David Paredes

Tabla 5.7 Datos de temperatura medidas en Quito

Temperatura [°C]	Quito	
	Ralentí @1000rpm	Aceleración @2500 RPM
Sin celda	31	70
Con celda	51	65

Fuente: David Paredes

Así como se efectuaron las mediciones en Quito también se efectuaron a nivel del mar arrojando los valores que se indican a continuación.



Figura 5.11 Medición de temperatura de gases de escape en Atacames
Fuente: David Paredes

Tabla 5.8 Datos de temperatura medidas en Atacames

Atacames		
Temperatura [°C]	Ralentí @1000rpm	Aceleración @2500 RPM
Sin celda	66	130
Con celda	21	79

Fuente: David Paredes

De los datos registrados se puede observar que la temperatura de los gases se eleva en la aceleración pero al activar la celda de hidrógeno la temperatura de los gases baja casi a la mitad, esto hace pensar que cuando el hidrógeno ingresa al motor la eficiencia térmica se incrementa ya que la energía calorífica no sale por el escape sino se presume que se está convirtiendo en trabajo útil.

5.3. Prueba dinámica

5.3.1. Medición de potencia y torque.

La prueba dinámica que se ha llevado a cabo es la medición de potencia y torque en el dinamómetro de chasis de la Facultad de Ingeniería Automotriz (FIA UIDE) inicialmente con el motor sin asistencia de la celda de hidrógeno y luego con la celda de hidrógeno funcionando para de esta manera poder determinar los efectos generados. Como primer punto se procede a ubicar el vehículo en la bahía de trabajo.



Figura 5.12 Pre calentamiento del motor antes de la prueba

Fuente: David Paredes

A continuación se asegura el vehículo utilizando un tie down en cada lado para minimizar el riesgo de un desequilibrio el momento que se estén efectuando las pruebas. En este punto es importante recalcar el apoyo recibido por el profesor Ing. Miguel Granja quien siempre ha demostrado su buena voluntad y predisposición pero sobre todo su don de gentes para la guía durante la ejecución de todas las pruebas necesarias.



Figura 5.13 Aseguramiento del lado derecha del Vehículo en el Dinamómetro
Fuente: David Paredes



Figura 5.14 Aseguramiento del lado izquierdo del Vehículo en el Dinamómetro
Fuente: David Paredes

Una vez que el vehículo estuvo perfectamente asegurado se procedió a ingresar los datos del vehículo al equipo que comanda los rodillos, tales como marca y modelo del vehículo, tamaño de ruedas, número de marchas, etc.



Figura 5.15 Inicio de las Pruebas
Fuente: David Paredes

La prueba realizada en este dinamómetro de chasis para obtener la máxima potencia y el máximo torque se lo efectuó con los reglajes estándar del vehículo y luego se lo efectuó con la celda de hidrógeno funcionando para obtener resultados comparativos los mismos que se indican a continuación:

Tabla 5.9 Medidas de Torque y Potencia sin hidrógeno y con hidrógeno

	Máxima Potencia	Máximo Torque
Sin celda	96.8 CV @ 6100 RPM	11.4 kgm@6100 RPM
Con celda	101.4CV @ 6100RPM	12kgm@6000RPM

Fuente: David Paredes

Como se puede observar en los datos recopilados, con el uso de la celda de hidrógeno la potencia se ha incrementado en 4,6CV, y el torque en 0,6kgm. Las imágenes completas de potencia y torque se pueden observar en el anexo 4

5.4.Costo del proyecto

Para obtener el costo de nuestro proyecto se dividió en costos directos e indirectos para poder determinar un costo total final.

5.4.1. Costos directos.

Se denomina costos directos a los que se encuentran vinculados directamente con la actividad a realizar, en este caso a la construcción de nuestro sistema.

Para eso se dividió los costos directos de la siguiente manera:

- Costo de Componentes del Sistema
- Costo de Insumos y Materiales
- Costo de Equipos y Maquinaria
- Costo de Energía

5.4.2. Costo de Componentes del Sistema.

Es el costo de todos los elementos que componen el sistema del generador de hidrógeno, la materia prima y elementos complementarios.

Tabla 5.10 Componentes del Sistema

Componentes del Sistema			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
		USD	USD
4	Perno de anclaje ISO 7046M3 X 10	\$0,30	\$1,20
2	Platinas de anclaje de aluminio	\$3,00	\$6,00
7	Codo PVC ángulo 90 rosca externa	\$2,00	\$14,00
2	Tuercas mariposas DIN 315 M6 GT	\$0,50	\$1,00
2	Tapas acrílicas	\$40,00	\$80,00
2	Arandela de presión JIS B 1251	\$0,10	\$0,20
4	Tuercas de seguridad ISO 7040 M6	\$0,30	\$1,20
6	Placas acero inox AISI 316	\$30,00	\$180,00
3	Placas acero inox AISI 316	\$35,00	\$105,00
10	O ring 82mm	\$0,50	\$5,00
10	Tuercas ISO 4034 M4	\$0,25	\$2,50
2	Pernos ISO 7045 M6 x 60	\$0,60	\$1,20
2	Pernos ISO 7045 M6 x 70	\$0,65	\$1,30
1	Recipiente acrílico transparente	\$15,00	\$15,00
1	O ring 50mm	\$0,40	\$0,40
2	Soportes PVC 45mm	\$2,80	\$5,60
2	Filtros de Partículas 44 mm	\$1,20	\$2,40
1	Tapa acrílica transparente	\$2,50	\$2,50
2	Acoples de bronce 15mm	\$2,00	\$4,00
1	Tubo 16mm x 61mm	\$15,00	\$15,00
1	Estopa metálica	\$1,50	\$1,50
2	Gramos de arena	\$0,10	\$0,20
1	Gramo de vidrio molido	\$0,15	\$0,15
1	Válvula Check	\$5,00	\$5,00
1	Tanque termoestable blanco	\$28,00	\$28,00
1	Tapa termoestable negra	\$5,00	\$5,00
1	Empaque termoplástico 50mm	\$1,00	\$1,00
5	metros de manguera 5/16	\$0,60	\$3,00
10	Metros de cable 10	\$1,00	\$10,00
2	Metros de Cable 14	\$0,70	\$1,40
1	Relay	\$5,00	\$5,00
1	Porta Relay	\$2,00	\$2,00
1	Porta Fusible	\$2,00	\$2,00
1	Fusible	\$0,50	\$0,50
1	Amperímetro	\$25,00	\$25,00
1	Voltímetro	\$15,00	\$15,00
1	Interruptor de llave	\$5,00	\$5,00
10	Terminales redondos ¼	\$0,05	\$0,50
4	Terminales machos planos	\$0,06	\$0,24
4	Terminales hembra planos	\$0,05	\$0,20

4	Pernos 4mm x ½	\$0,30	\$1,20
5	Pernos 6mm x ½	\$0,40	\$2,00
1	Base metálica de burbujeador	\$3,00	\$3,00
2	Tuercas 6mm	\$0,30	\$0,60
1	Consola	\$20,00	\$20,00
3	Tornillos Colepatos	\$0,15	\$0,45
1	Abrazadera metálica	\$5,00	\$5,00
1	Otros	\$25,00	\$25,00
	Subtotal		\$611,44
	IVA		\$85,60
	Total		\$697,04

Fuente: David Paredes

5.4.3. Costo de materia e Insumos.

Los materiales e insumos son artículos utilizados para la elaboración de los proyectos pero que no forman parte del mismo.

Tabla 5.11 Costo de materia e Insumos

Costo de materia e Insumos			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
		USD	USD
1	Teflón	\$0,60	\$0,60
2	Galón de agua destilada	\$3,00	\$6,00
500	Gramos de hidróxido de potasio	\$0,01	\$5,00
10	Correas Plásticas	\$0,10	\$1,00
1	Silicón	\$5,00	\$5,00
1	Libra de Guipe	\$5,50	\$5,50
10	Galón de Gasolina	\$2,20	\$22,00
1	Taípe	\$1,50	\$1,50
1	Estilete	\$5,00	\$5,00
1	Otros	\$20,00	\$20,00
	Subtotal		\$71,60
	IVA		\$10,02
	Total		\$81,62

Fuente: David Paredes

5.4.4. Costo de energía.

Es la energía que ocupan los equipos y herramientas utilizadas.

Tabla 5.12 Maquinaria, Equipos y Herramientas

Maquinaria, Equipos y Herramientas
Recipiente para líquidos
Martillo de goma
Equipo de Seguridad
Flexo metro
Punzón
Destornilladores
Taladro de mano
Llaves mixtas
Rachas
Broca

Fuente: David Paredes

La energía consumida por los equipos es mínima pero no despreciable, con la suma de 8 horas aproximadamente que tomo el montaje de los componenetes del sistema generador de hidrógeno, se estima unas 8 horas de uso de los equipos que funcionan con luz, con el costo en centavos de 9,1 centavos x KWh y un promedio de consumo de 0,6 KWh, de los equipos se tendrá un costo de \$ 0,43 centavos, por el montaje de los componenetes en el vehiculo.

5.4.5. Gastos de mano de Obra.

Es indispensable considerar el manejo de la maquinaria por el operador en los distancias procesos que se debe llevar a cabo en el proyecto, estimado el tiempo requerido en cada uno de esto, tal y como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5.13 Costo de Mano de Obra

Costo de Mano de Obra			
DESCRIPCIÓN	Horas	Valor por Hora	Valor Total USD
Celda de Hidrogeno	3	\$10,00	\$30,00
Montaje en el vehículo	8	\$10,00	\$80,00
		Subtotal	\$110,00
		IVA	\$15,40
		Total	\$125,40

Fuente: David Paredes

5.4.6. Costo Directo Total.

El costo total directo es la suma de todos los costos directos anteriores expresados en la siguiente tabla:

Tabla 5.14 Costo directo Total

Tipo de costo	Subtotal
Costo de Componentes del Sistema	\$697,04
Costo de materiales	\$81,62
Costo de mano de obra	\$125,40
Costo de energía	\$0,43
Total	\$904,50

Fuente: David Paredes

5.4.7. Costos Indirectos.

Los costos indirectos son los que no están relacionados directamente con la construcción del generador de hidrógeno, por que contribuyeron de alguna manera para su realización.

Se los conoce también como costos de administrativos y son los que se detalla a continuación.

- Costos de Papelería
- Costos de Investigación

5.4.7.1. Costos de Papelería

Los costos de papelería son los relacionados con la presentación del proyecto, se los detalla en la siguiente tabla.

Tabla 5.15 Costo de Papelería

Costo de Papelería			
Materiales	Cantidades	Valor USD	Total USD
Magnéticos	3	\$0,60	\$1,80
Anillados	3	\$2,00	\$6,00
Empastados	3	\$25,00	\$75,00
Carpetas	6	\$0,50	\$3,00
Copias	600	\$0,30	\$180,00
Impresiones	300	\$0,50	\$150,00
		TOTAL	\$415,80

Fuente: David Paredes

5.4.7.2. Costos de investigación

Los costos de investigación son aquellos realizados para encontrar la información para el diseño, construcción y pruebas del sistema de generación de hidrógeno, que se detallan a continuación.

Tabla 5.16 Costos de investigación

Costo de investigación			
Materiales	Cantidad	Valor USD	Total USD
Libros	1	40	40
Internet	6 Meses	40	240
Asesoría	6 Meses	100	600
Trasporte / Viáticos		500	500
			1380
		Total	

Fuente: David Paredes

5.4.8. Costo Total Indirecto.

El costo indirecto total es la suma de los costos indirectos y se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 5.17 Costo Indirecto Total

Costo Indirecto Total	
Tipo de costo	Subtotal
Costo de papelería	\$415,80
Costo de investigación	1380
Total	\$1.795,80

Fuente: David Paredes

5.4.9. Costo Total.

El costo total es el costo del proyecto sumando los costos directos e indirectos.

Tabla 5.18 Costo Total

Costo Total	
Tipo de costo	Subtotal
Costo total directo	\$904,50
Costo total indirecto	\$1.795,80
Total	\$2.700,30

Fuente: David Paredes

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se ha podido investigar basta información sobre temas relacionados a la generación de hidrógeno mediante electrólisis evidenciando así el interés mundial por la producción de combustibles alternativos y su aplicación a los vehículos.
- El diseño del sistema generador de hidrógeno se basó en procesos electrolíticos apoyado en las leyes de Faraday, utilizando materiales disponibles en el mercado local y en el espacio disponible en el vehículo de pruebas. El electrolito que se ha utilizado es una solución acuosa de hidróxido de potasio la cual es extremadamente económica y de fácil acceso
- La construcción del sistema objeto de esta investigación ha utilizado materiales previamente maquinados como por ejemplo las placas acrílicas y las placas electrolíticas que han sido perforadas y cortadas en un taller especializado para facilitar el montaje.
- Gracias al apoyo de la Facultad de Mecánica Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador se ha podido efectuar comprobaciones completas tanto estáticas como dinámicas utilizando equipos de última tecnología apropiados justamente para investigaciones como esta. Se pudo obtener resultados alentadores ya que le reducción de los gases contaminantes es considerable especialmente en ralentí además el incremento de potencia es 4,6 CV.

6.2.Recomendación

- Continuar efectuando investigaciones relacionadas con combustibles alternativos para de esta manera poder hacer más eficientes los avances que se han obtenido hasta el momento en la FIA UIDE.
- Tomar como punto de partida el diseño desarrollado en la presente investigación y mediante futuras investigaciones mejorarlo hasta obtener mejores rendimientos y resultados.
- Apoyarse en talleres especializados de manufactura metálica para llegar a obtener formas complejas en materiales extremadamente duros como el acero inoxidable o las placas de acrílico.
- Utilizar todos los equipos disponibles en la Facultad para llegar a obtener conclusiones concretas de las futuras investigaciones que se pudieran dar, también la predisposición de docentes que colaboran en las diferentes áreas del conocimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Capriles, J. F. (2007). Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <http://www.utp.edu.co/>
- Climaticas, C. (2016). Condiciones Climáticas actuales en Quito, Ecuador.
- Corneliussen, R. D. (2002). maropolymeronline. Obtenido de <http://www.maropolymeronline.com/Properties/PMMA.asp>
- Corneliussen, R. D. (2012). maropolymeronline. Obtenido de <http://www.maropolymeronline.com/Properties/PMMA.asp>
- Fuertes, C. (2012). Hidrogeno como solucion. Recuperado el 01 de 07 de 2016, de <https://hidrogenocomosolucion.files.wordpress.com/2012/03/drycellexplicacion.jpg>
- García, L. (2012). La historia del transporte vehicular. México D.F.: Nuevos Tiempos.
- Herrera, L. (2012). El desarrollo automotriz del Siglo XX. Quito: Abya-yala.
- INEC. (Febrero de 2015). [ecuadorencifras.gob.ec](http://www.ecuadorencifras.gob.ec). Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/ecuador-registra-una-inflacion-de-061-en-febrero/>
- Juárez, U. A. (2016). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Obtenido de <http://www.uacj.mx/IIT/CICTA/Documents/Acidos/Hidroxido%20de%20Potasio.pdf>
- Márquez, J. (2014). Las celdas de hidrógeno, el descubrimiento de la humanidad. Montevideo: Plata.
- Paredes, D. (2016). Quito.
- Parreño, E. (2013). Las nuevas tecnologías y su incidencia en el desarrollo de la humanidad. Berlín: Océano.

prisma, E. (2016). La electrolisis del agua.

Ramírez, E. (2014). El fenómeno de la contaminación en la modernidad. La Paz: Tukan.

Ramirez, G. (2016). unrobotica. Obtenido de
<http://www.unrobotica.com/hidrogeno/hidrogeno.htm>

Rojo, J. C. (2016). Clases de apoyo. Obtenido de <https://www.clasesdeapoyo.com/2o-bachillerato/quimica/transferencia-de-electrones/electrolisis>

Secas, H. H. (24 de 03 de 2012). Universitat Politecnica de Catalunya. Obtenido de
<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/15994>

TECNIEMPAQUES. (2016). TECNIEMPAQUES. Obtenido de
<http://www.tecniempaqes.com/index.php/2013-05-06-16-29-29/orings.html>

TECNOSELLOS. (2010). Tecno Sellos. Obtenido de
<http://www.tecnosellos.com.ar/index.php?s=productos&cat=general&p=17>

Torres, V. (2014). Celda de hidrógeno. New York: Bridge.

Ulloa, I. (2014). Las energías renovables. México D.F.: Planeta.

Velasco, H. (2013). De la piedra a la era espacial. Madrid: Juma.

Yáñez, R. (2013). El hidrógeno, la energía el futuro. Barcelona: Gran Angular.

Yavorski. (2016). EcuRed. Obtenido de
http://www.ecured.cu/index.php?title=Leyes_de_la_electr%C3%B3lisis_de_Faraday&oldid=1818720

ANEXOS

ANEXO 1. GRADO DE PERNOS.

**ANEXO 2. FICHA
TÉCNICA
ANALIZADOR DE
GASES.**

ANEXO 3. FICHA TÉCNICA PINZA AMPEROMÉTRICA.

ANEXO 4. DATOS DE TORQUE Y POTENCIA OBTENIDOS

ANEXO 5. PLANOS