

**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
AUTOMOTRÍZ**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO DE
CELDA SECA EN UN VEHÍCULO CHEVROLET STEEM 1.6L”.**

**TESIS DE GRADO PREVIA
A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

AUTORES:

**EDISON MIGUEL QUEZADA ROMERO
DIEGO FERNANDO TORRES GUALAN**

DIRECTOR:

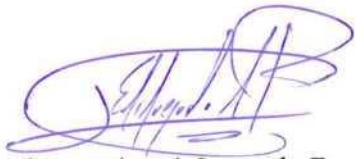
ING. JUAN FERNANDO CHICA SEGOVIA

CUENCA, DICIEMBRE 2014

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Edison Miguel Quezada Romero, Diego Fernando Torres Gualan, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Edison Miguel Quezada Romero



Diego Fernando Torres Gualan

CERTIFICACIÓN

Que el siguiente trabajo de tesis: **“Implementación de un generador de hidrógeno de celda seca en un vehículo Chevrolet Steem 1.6L”**, para la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, realizada por los estudiantes Edison Miguel Quezada Romero, Diego Fernando Torres Gualan

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized initials and a surname, positioned above the printed name of the project director.

Ing. Fernando Chica S.

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi familia por estar siempre apoyándome en esta etapa de la vida.

Agradezco plenamente al Ing. Wilmer Contreras quien nos impartió mucho de su conocimiento.

A mi tía Romelia Gualan Sarango por brindarme su apoyo en la realización de este proyecto.

A mi compañero por compartir los conocimientos, experiencias adquiridas y opiniones en el desarrollo de la misma.

A mi director de tesis Ing. Fernando Chica por compartir sus conocimientos y guiarnos en el desarrollo de la tesis.

Diego Fernando Torres Gualan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia a mi tío Lic. Jarman quien nos brindó su apoyo en el desarrollo del proyecto y a todas las personas que hicieron posible la culminación del proyecto.

Agradezco de manera muy especial al ing. Wilmer contreras quien nos brindó su tiempo y conocimientos para la culminación del mismo.

A mi director de tesis quien supo guiarnos en cada momento y brindarnos su conocimiento.

Edison Miguel Quezada Romero

DEDICATORIA

A mi padre Bolívar y a mi madre María por brindarme su cariño y estar siempre apoyándome.

A mis hermanas Andrea y María Belén quienes siempre han brindado cariño y amor.

A mi novia Janeth por brindarme su apoyo y comprensión.

Diego Fernando Torres Gualan

DEDICATORIA

Al final de los estudios universitarios quiero dedicar este trabajo a mis padres Miguel y Angelita quienes supieron darme su apoyo incondicional e inculcar en mis valores de responsabilidad y amor al trabajo.

A mi esposa Katherine y a hijo Mateo Sebastián por su paciencia y cariño hicieron posible que pueda culminar mis estudios.

Edison miguel Quezada romero

RESUMEN

En este proyecto se realizó la aplicación del gas hidrógeno a los motores de combustión interna ciclo Otto con el fin de optimizar la combustión, reduciendo así la cantidad de emisiones de gases contaminantes hacia la atmosfera.

En el primer capítulo se efectuó un estudio del motor de combustión interna el mismo que comprende el funcionamiento y el análisis de los gases que estos emiten al ambiente; además, se realizó una descripción sobre el hidrógeno y las propiedades que posee tanto físicas como químicas. También se investigó sobre los métodos que existen para la producción de hidrógeno.

En el segundo capítulo realizo un análisis termodinámico teórico y real del motor Chevrolet Steem 1.6 G16; además, se obtuvieron datos reales del motor mediante la utilización del banco dinamométrico MAHA LPS 3000d e la Universidad Politécnica Salesiana.

El tercer capítulo trata sobre el diseño construcción e implementación del sistema en el vehículo Chevrolet Steem 1.6L; además, se construyó un circuito de control del amperaje que servirá para controlar la producción del hidrógeno, conjuntamente se describen algunas normas de seguridad en el manejo del hidrógeno en el vehículo.

En el último capítulo se hicieron varios ensayos con diferentes soluciones con el fin de determinar la solución más óptima para la producción de hidrógeno, una vez determinada la mejor solución se determinó la concentración de hidrógeno que está presente el generador mediante la utilización de un sensor de gas hidrógeno; además, se realizaron pruebas de funcionamiento con el generador y sin el mismo a varios vehículos de inyección a gasolina, asimismo con la utilización del analizador de gases se obtuvieron muestras que sirvieron para determinar mediante el software Minitab 16 la disminución de HC y CO al implementar el hidrógeno.

LISTA DE SÍMBOLOS

ANOVA	Análisis de varianza
NASA	National Aeronautics and Space Administration
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
PPM	Partes por millón
TEL	Tetraetilo de plomo
MTBE	Metil-etil-éter
CO	Monóxido de carbono
NO _x	Óxido de Nitrógeno
HC	Hydrocarburos
H ₂	Hidrógeno di atómico
H	Hidrógeno elemental
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
O ₂	Oxígeno
H ₂ S	Ácido sulfúrico
NaOH	Hidróxido de sodio
KOH	Hidróxido de Potasio
H ⁺	Hidrón

INDICE DE CONTENIDOS:

CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	1
1.1. Introducción	1
1.2. Motor de combustión interna ciclo Otto.....	1
1.3. Componentes de los gases de escape	3
1.3.1. Gases Inofensivos.....	4
1.3.2. Gases Contaminantes	5
1.4. HIDRÓGENO	6
1.4.1. Historia del hidrógeno	7
1.4.2. Propiedades del hidrógeno.....	8
1.4.3. Producción de Hidrógeno	14
1.5. Generador de hidrógeno de celda seca	28
1.5.1. Funcionamiento	29
1.5.2. Descripción de los componentes del generador de Hidrogeno de celda seca	30
CAPITULO II. ANALIZAR LA APLICACIÓN DEL SISTEMA AL VEHÍCULO	
CHEVROLET STEEM 1.6L	35
2.1. Introducción	35
2.2. ESPECIFICACIONES DEL MOTOR CHEVROLET STEEM G16.	36
2.2.1. Determinación del estado actual del motor mediante la utilización del banco dinamométrico.....	37
2.3. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS BÁSICOS DEL MOTOR CHEVROLET STEEM G16.	40
2.3.1. NOMENCLATURA PARA EL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL MOTOR.....	40
2.3.2. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	41
2.3.3. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO	45
2.3.4. PARÁMETROS INDICADOS Y EFECTIVOS.....	54
2.4. ANÁLISIS DEL CICLO TERMODINÁMICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	56
2.4.1. ANÁLISIS DEL CICLO TEÓRICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	57
2.4.2. ANÁLISIS DEL CICLO TERMODINÁMICO REAL DE UN MOTOR CHEVROLET STEEM G16.....	62
CAPITULO III. IMPLEMENTACIÓN DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO DE CELDA SECA EN UN VEHÍCULO CHEVROLET STEEM 1.6L	74

3.1. Introducción	74
3.2. Cálculos de producción de gas	74
3.3. Diseño	77
3.3.1. Diseño del generador	78
3.3.2. Elementos del generador	85
3.3.3. Bosquejo del Circuito de Gas	87
3.3.4. Circuito eléctrico.....	88
3.3.5. Diseño del caudalímetro.....	91
3.3.6. Construcción del Generador	92
3.4. Implementación y montaje del generador de hidrógeno de celda seca.....	98
3.4.1. Instalación	98
CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS	107
4.1. Introducción	107
4.2. Determinación del mejor electrolito para la producción de gas hidrógeno	107
4.3. Medición de la concentración de hidrógeno mediante la utilización del sensor gas MQ-2.....	108
4.4. Recopilación de muestras para el estudio estadístico	110
4.4.1. Componentes del analizador de gases MTG 5	110
4.4.2. Procedimiento para realizar la medición de gases contaminantes	111
4.4.3. Rangos de análisis de escape según la Norma INEN.....	112
4.4.4. Análisis y prueba a vehículos.....	113
4.5. Análisis de resultados del vehículo Chevrolet Steem.....	125
4.5.1. Combustión ideal	125
4.5.2. Relación aire combustible(A/C) real en un motor de Chevrolet Steem utilizando gasolina.....	125
4.5.3. Relación de aire- combustible (A/C) en un motor a inyección Chevrolet Steem con el generador de hidrógeno.....	129
CONCLUSIONES	133
RECOMENDACIONES	134
BIBLIOGRAFÍA	135
ANEXOS	137

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1.1. <i>Propiedades físicas del hidrógeno</i>	8
Tabla 1.2 <i>Propiedades químicas del hidrógeno.</i>	9
Tabla 1.3. <i>Energía mínima de la chispa para la ignición de una mezcla de hidrógeno-aire.</i>	12
Tabla 1.4. <i>Número de octanos.</i>	12
Tabla 1.5 <i>Entalpía de reacción del proceso de reformado de vapor de metano.</i>	19

CAPITULO II

Tabla 2.1. <i>Manual de datos técnicos del motor Chevrolet Steem G16.</i>	35
Tabla 2.2. <i>Valores de potencia y par motor obtenidos en las pruebas.</i>	39
Tabla 2.3. <i>Diámetro del cilindro y pistón del vehículo Chevrolet Steem.</i>	42
Tabla 2.4. <i>Denominación del motor según la relación S/D.</i>	43
Tabla 2.5. <i>Tabla de presiones atmosféricas dependiendo de la altura.</i>	47
Tabla 2.6. <i>Tabla de valores del poder calorífico inferior de la gasolina.</i>	51
Tabla 2.7. <i>Rendimiento efectivo máximo y consumos específicos (referidos a gasolina y gasoil) de distintos tipos de motor.</i>	53
Tabla 2.8. <i>Temperatura en función de la resistencia del sensor IAT.</i>	68
Tabla 2.9. <i>Propiedades del aire.</i>	70
Tabla 2.10. <i>Interpolación.</i>	70
Tabla 2.11. <i>Interpolación.</i>	71
Tabla 2.12. <i>Interpolación.</i>	71

CAPITULO III

Tabla 3.1. <i>Elementos del generador.</i>	85
Tabla 3.2. <i>Materiales del circuito eléctrico.</i>	89

CAPITULO IV

Tabla 4.1. <i>Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).</i>	113
Tabla 4.2. <i>Datos técnicos del vehículo Chevrolet Steem.</i>	114
Tabla 4.3. <i>Datos técnicos del vehículo Hyundai Tucson.</i>	118
Tabla 4.4. <i>Datos técnicos del vehículo Kia Sportage.</i>	122

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1.1. <i>Motor ciclo de Otto.</i>	2
Figura 1.2. <i>Combustión de la mezcla y emisiones de escape.</i>	3
Figura 1.3. <i>Límites de inflamabilidad de la mezcla hidrógeno-oxígeno-nitrógeno.</i>	11
Figura 1.4. <i>Vías de producción de hidrogeno.</i>	15
Figura 1.5. <i>Entradas y salidas de un proceso de producción de hidrógeno</i>	16
Figura 1.6. <i>Esquema de la Electrólisis.</i>	17
Figura 1.7. <i>Estradas y salidas del proceso de producción de hidrógeno mediante reformado de vapor.</i>	19
Figura 1.8. <i>Esquema del proceso de obtención de hidrógeno por reformado de vapor.</i>	20
Figura 1.9. <i>Diagrama de flujo de la producción de hidrógeno mediante oxidación parcial de hidrocarburos.</i>	21
Figura 1.10. <i>Principales caminos para la producir hidrógeno a partir de la biomasa.</i>	22
Figura 1.11. <i>Bioproceso de producción de hidrógeno a partir de la biomasa húmeda.</i>	24
Figura 1.12. <i>Procesos solares termoquímicos de producción de hidrógeno</i>	25
Figura 1.13. <i>Producción de energía eléctrica por medio de módulos fotovoltaicos.</i>	26
Figura 1.14. <i>Escenario futuro para aprovechar las energias de diversos microorganismos en la producción de hidrógeno.</i>	28
Figura 1.15. <i>Celda húmeda y celda seca.</i>	29
Figura 1.16. <i>Proceso de generación de gas hidrógeno</i>	29
Figura 1.17. <i>Hidróxido de potasio</i>	30
Figura 1.18. <i>Depósito y burbujeador.</i>	31
Figura 1.19. <i>Relé.</i>	32
Figura 1.20. <i>Mangueras.</i>	32
Figura 1.21. <i>Cable eléctrico</i>	33
Figura 1.22. <i>Agua destilada.</i>	34
Figura 1.23. <i>Conectores.</i>	34

CAPITULO II

Figura 2.1. <i>Funcionamiento de un motor Otto</i>	36
--	----

Figura 2.2. <i>Curvas de potencia y par a.</i>	39
Figura 2.3. <i>Diagrama del ciclo de Otto Teórico.</i>	57
Figura 2.4. <i>Carrera de admisión teórico</i>	58
Figura 2.5. <i>Carrera de compresión</i>	59
Figura 2.6. <i>Carrera explosión y expansión</i>	60
Figura 2.7. <i>Carera de escape</i>	61
Figura 2.8. <i>Ciclo Termodinámico real de un motor</i>	64
Figura 2.9. <i>Ciclo termodinámico teórico</i>	69

CAPITULO III

Figura 3.1. <i>Partes del generador de hidrógeno.</i>	78
Figura 3.2. <i>Solidword piezas de acrílico delantera y posterior.</i>	79
Figura 3.3. <i>Piezas de acrílico delantera y posterior.</i>	80
Figura 3.4. <i>Electrodos positivos y negativos</i>	81
Figura 3.5 <i>Juntas de caucho.</i>	82
Figura 3.6. <i>Tornillos, arandelas y tuerca.</i>	83
Figura 3.7. <i>Todas las piezas del generador</i>	84
Figura 3.8. <i>Ensamble final</i>	84
Figura 3.9. <i>Bosquejó del circuito de gas.</i>	88
Figura 3.10. <i>Circuito eléctrico.</i>	89
Figura 3.11. <i>Circuito Final</i>	90
Figura 3.12. <i>Bosquejó del caudalímetro</i>	91
Figura 3.13. <i>Construcción del caudalímetro.</i>	92
Figura 3.14. <i>Agujero de metacrilato</i>	92
Figura 3.15. <i>Chapas de acero inoxidable</i>	93
Figura 3.16. <i>Planchas de goma.</i>	93
Figura 3.17. <i>Corte de la planchas de goma</i>	94
Figura 3.18. <i>Todas las piezas para el ensamble</i>	94
Figura 3.19. <i>Piezas para el ensamble.</i>	95
Figura 3.20. <i>Ensamble de piezas.</i>	95
Figura 3.21. <i>Piezas para el ensamble</i>	96
Figura 3.22. <i>Piezas para el ensamble</i>	96

Figura 3.23. <i>Ensamble Final</i>	97
Figura 3.24. <i>Verificación que no haya continuidad en los electrodos y tornillos</i>	97
Figura 3.25. <i>Materiales para construcción de jaula.</i>	99
Figura 3.26. <i>Construcción de jaula.</i>	99
Figura 3.27. <i>Espacio para montar el generador y el burbujeador</i>	100
Figura 3.28. <i>Fijación de la jaula en el chasis</i>	101
Figura 3.29. <i>Burbujeador.</i>	101
Figura 3.30. <i>Lugar donde se introdujo el burbujeador</i>	102
Figura 3.31. <i>Acople de cañerías.</i>	103
Figura 3.32. <i>Búsqueda de cable de 12.18v para alimentar al circuito.</i>	104
Figura 3.33. <i>Relé en el habitáculo del motor.</i>	104
Figura 3.34. <i>Conexiones del relay.</i>	105
Figura 3.35. <i>Elementos a usar para solución</i>	106

CAPITULO IV

Figura 4.1. <i>Pruebas con hidróxido de Sodio.</i>	107
Figura 4.2. <i>Sensor de hidrógeno MQ-8</i>	108
Figura 4.3. <i>Concentración PPM</i>	109
Figura 4.4. <i>Implementos para toma determinar la concentración de hidrógeno</i>	110
Figura 4.5. <i>Sonda en el tubo de escape.</i>	112
Figura 4.6. <i>Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Chevrolet Steem)</i> 116	
Figura 4.7. <i>Análisis de HC método de cajas</i>	116
Figura 4.8. <i>Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Chevrolet Steem)</i> 117	
Figura 4.9. <i>Análisis de CO por método de cajas</i>	118
Figura 4.10. <i>Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Hyundai Tucson)</i> 119	
Figura 4.11. <i>Análisis HC por método de cajas</i>	120
Figura 4.12. <i>Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Hyundai Tucson)</i> 121	
Figura 4.13. <i>Análisis CO por método de cajas</i>	121
Figura 4.14. <i>Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Kia Sportage)</i> ... 122	
Figura 4.15. <i>Análisis HC por método de cajas</i>	123
Figura 4.16. <i>Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Kia Sportage)</i> ... 124	
Figura 4.17. <i>Análisis CO por método de cajas</i>	124

CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Introducción

En el presente capítulo se expondrá algunas consideraciones generales, sobre cómo se llega al problema de la contaminación ambiental que causan los vehículos automotores. Además de donde proviene esta contaminación; la manera de cómo solucionar este problema, como también la definición, sus propiedades y los métodos de producción.

1.2. Motor de combustión interna ciclo Otto

Los motores de combustión interna alternativos son máquinas eminentemente contaminantes debido a su funcionamiento, básicamente por el consumo de combustibles derivados del petróleo.

Según el informe de la I+D en energía y automoción, a escala mundial el sector del transporte representa el 25% del consumo mundial de energía, del cual el 95% proviene del petróleo. Además, el transporte consume aproximadamente el 62% de los combustibles fósiles producidos. En este caso el petróleo refinado, ya sea gasolina o diésel¹. Tomando en cuenta todos los automóviles del mundo el consumo es considerablemente elevado, como también las reservas se están agotando; por tal motivo se ha considerado estudiar el principio de funcionamiento y sobre todo los contaminantes que emana.

El principio de funcionamiento del motor que tan detalladamente describió Beau de Rochas, es el utilizado en los motores de combustión interna con ciclo de cuatro tiempos, debido a los esfuerzos de dos científicos alemanes llamados Nicolaus August Otto y Eugen Langen,

¹ J. L. Fernández Nuevo, M. Gordillo Matín, C. Parapar Barrera y M. Ruiz Yániz, «Informe de la I+D en energía y automoción,» Fundación General CSIC, Madrid, 2012.

quienes en la exposición de Paris de 1867 presentaron al público un motor de combustión interna cuyo principio de funcionamiento estaba basado en la teoría de Beau de Rochas. Por tal motivo el principio del ciclo de cuatro tiempos, también se conoce con el nombre de “ciclo de Otto”².

El motor de combustión interna o también llamado motor a explosión, es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible; constituido por una cámara formada por un cilindro fijo, cerrado en su extremo, y dentro del cual se desliza un pistón que realiza cuatro etapas las cuales son: admisión, compresión, explosión y escape; cuenta con una entrada de mezcla de aire-combustible y salida de los gases producidos por la combustión como se muestra en la Fig.1.1. En la cara inferior del pistón está unida por una biela al cigüeñal, que convierte el movimiento lineal del pistón en movimiento rotatorio, que es transmitido a la caja de velocidades, diferencial y finalmente a las ruedas del vehículo.



Fig. 1.1- Motor ciclo de Otto

Autor: J. R. Santander, Tecnico en Mecánica y Electrónica Automotriz,
Colombia: Copyright 2010 por Diseli, 2010.

² J. R. Santander, Tecnico en Mecánica y Electrónica Automotriz, Colombia: Copyright 2010 por Diseli, 2010.

1.3. Componentes de los gases de escape

El creciente consumo de combustibles fósiles que utilizan los vehículos a nivel mundial y sobre todo en nuestro país, se ha venido convertido en un grave problema por la contaminación atmosférica que esta produce, debido a la combustión de los carburantes.

Por su forma de trabajar los motores de combustión interna no queman en su totalidad el combustible. Además, si esta combustión inconclusa no es regulada correctamente, mayor será la cantidad de sustancias nocivas expulsadas en los gases de escape hacia la atmósfera. Dentro de los gases generados en la combustión, hay unos que son inofensivos y otros contaminantes como muestra la Fig. 1.2.

Estas sustancias nocivas representan tan solo el 1.1% de todas las emisiones del motor de gasolina y en el caso de los motores a diésel en un 0,2%.

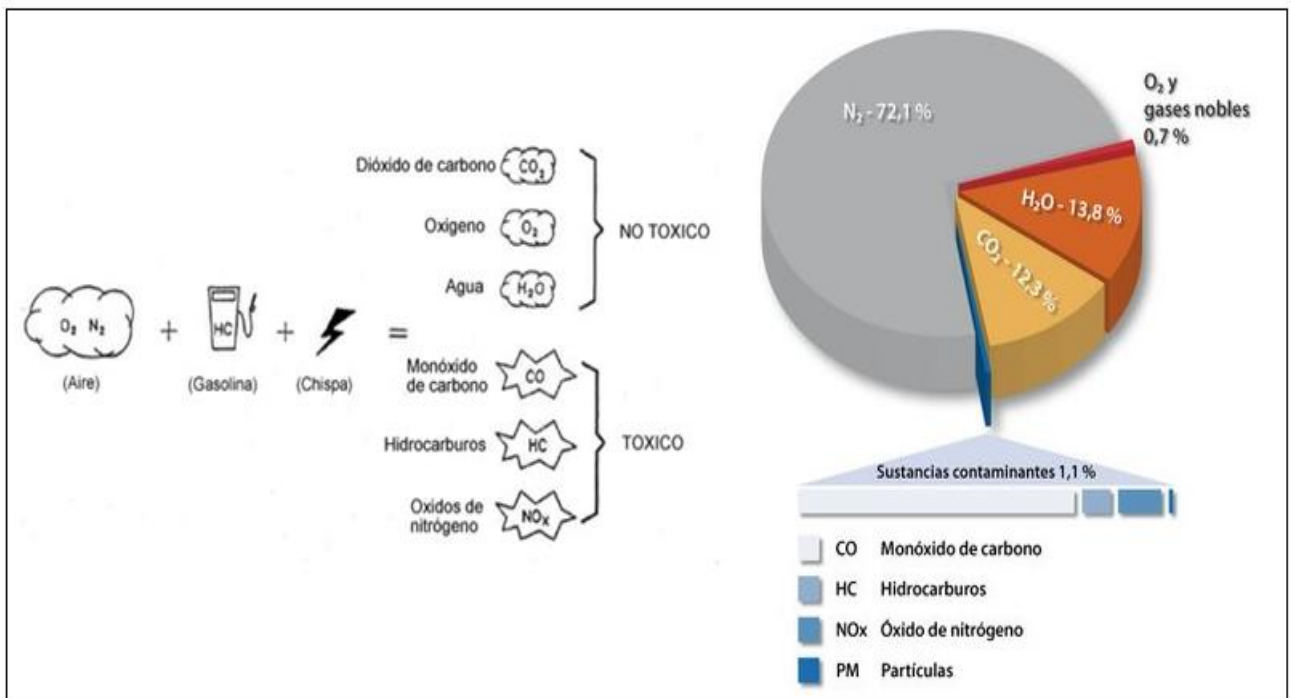


Fig. 1.2- Combustión de la mezcla y emisiones de escape.
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>

1.3.1. Gases Inofensivos

Nitrógeno (N₂)

Es un gas no combustible, incoloro e inodoro, se trata de un componente esencial del aire que respiramos y alimenta el proceso de la combustión conjuntamente con el aire de admisión. La mayor parte del nitrógeno aspirado vuelve a salir puro en los gases de escape.

La atmósfera se compone de muchos elementos y compuestos químicos, pero los principales son el nitrógeno (78,08%), el oxígeno (20,94%), el argón (0,93%), el dióxido de carbono (0,03%) y otros gases (0,02%).

Agua (H₂O)

En parte es aspirada por el motor (humedad del aire) o también es producida por la combustión “fría” (fase de calentamiento del motor). Es un subproducto de la combustión y es expulsado por el sistema de escape del vehículo.

Oxígeno (O₂)

El oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es el componente más importante del aire que respiramos (21%). Es imprescindible para el proceso de combustión, con una mezcla ideal el consumo de combustible debería ser total, pero en el caso de la combustión incompleta, el oxígeno restante es expulsado por el sistema de escape.

Dióxido de carbono (CO₂)

Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono como por ejemplo la gasolina. El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado. Es un gas inodoro, no combustible y constituye una fuente de alimentación para las plantas verdes, gracias a la fotosíntesis; además, a una proporción muy cercana a la estequiometría λ entre 0,99 y 1, en condiciones normales los niveles de CO₂ deben estar aproximadamente por un 13%.

1.3.2. Gases Contaminantes

Monóxido de carbono (CO)

O también llamado anhídrido carbonoso; se produce por motivo de la combustión incompleta de combustible que contiene carbono. Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico. Bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. A partir de una concentración 1,28% de monóxido de carbono en el aire se produce la muerte por asfixia en un intervalo de 1 y 2 minutos.

Los niveles de CO en condiciones normales de estar por 0,2% a una con una mezcla estequiometría muy cerca de entre 9,99 y 1.

Óxido y dióxido de nitrógeno (NOx)

Se abrevia como NOx porque existen muchos compuestos posibles con diferente número de átomos: NO, NO₂, N₂O etc. Los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor. Provoca una fuerte irritación en los órganos respiratorios.

Dióxido de azufre (SO₂)

Son la consecuencia del contenido de azufre en el combustible; es un gas incoloro, de olor penetrante. Además, propicia las enfermedades de las vías respiratorias; a partir del 2005 el valor límite de contenido de azufre en el combustible está por los 50 ppm (partes por millón) para ambos combustibles.

Plomo (Pb)

El plomo en el combustible que impedía la combustión detonante debida a la autoignición; actuando como una sustancia amortiguadora en los asientos de las válvulas. Además, es un compuesto muy nocivo para la salud de los seres humanos ya que puede acumularse en la sangre, huesos, tejidos blandos y puede causar hasta la muerte, por tal motivo algunos países como Ecuador que han optado por eliminar al TEL (tetraetilo de plomo- (C₂H₅)Pb) de las gasolinas casi por completo y sustituirlo por MTBE (metil-etil-éter).

HC- Hidrocarburos

Son restos no quemados del combustible, que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta, en un vehículo de uso normal y con un catalizador en buen estado los niveles de HC deben estar por las 50 ppm (partículas por millón) con una mezcla estequiometría muy cercana a $\lambda=1$.

1.4. HIDRÓGENO

Siendo el hidrógeno una de las alternativas sustentables para sustituir en el futuro los derivados del petróleo por sus excelentes características como son: es renovable, abundante en nuestro medio y no contamina; puede prevenir el agotamiento del petróleo y sobre todo ayudaría a emitir menos gases contaminantes hacia la atmosfera; que posteriormente de detallaran cada una de sus características.

Hidrógeno viene del latín "hydrogenium", y este del griego antiguo (hydor): "agua" y (genos) "generador"; "generador de agua".

Es un elemento químico representado en la tabla periódica por el símbolo H y con número atómico de 1. En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas diatómico H_2 incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable; siendo su valor específico de combustión 120 MJ/kg . Con una masa atómica de $1,00794 \text{ (7),}(\mu)$, siendo el elemento químico más ligero y más abundante en el universo: constituyendo las tres cuartas partes de la materia cósmica.

Principal combustible de las estrellas y, evidentemente, del sol, siendo esta energía que nos envía fundamental para todos los procesos fisicoquímicos y biológicos que tienen lugar en la Tierra.

El hidrógeno a pesar de su inmensa abundancia no se encuentra disponible de forma directa, pero podemos encontrarlo en forma molecular; encontrándolo en gran cantidad de forma

combinada en su mayor parte por agua. Para producirlo se lo hace de forma industrial a partir de combustibles fósiles; según los países y su disponibilidad de materias primas, se emplean el gas natural, el carbón, derivados del petróleo y solo pocos se obtienen a partir del agua por un proceso de electrolisis.

Siendo el isótopo del hidrógeno el más común en la naturaleza, conocido como protio (termino muy poco usado), tiene un solo protón y ningún neutrón. En los compuestos iónicos, el hidrógeno puede adquirir carga positiva (convirtiéndose en un catión llamado hidrón, H^+ , compuesto únicamente por un protón, a veces acompañado de algún neutrón); o carga negativa (convirtiéndose en un anión conocido como hidruro, H^-).

1.4.1. Historia del hidrógeno

El hidrógeno diatómico gaseoso, H_2 , fue formalmente descrito por primera vez por T. Von Hohenheim (más conocido como Paracelso, 1493-1541) que lo consiguió de forma artificial mezclando metales con ácidos fuertes. Paracelso no era consciente de que el gas inflamable que había logrado descubrir con esas reacciones químicas era un nuevo elemento químico. En 1671, Robert Boyle redescubrió y describió la reacción que se producía entre limaduras de hierro y ácidos diluidos, y que se obtenía hidrógeno gaseoso³.

En el siglo XX por la preocupación por el medio ambiente y los posibles efectos sobre el clima; el agotamiento de los combustibles fósiles; ha traído consigo un gran impulso, sobre todo en la industria automovilística, ya que el hidrógeno es una alternativa a los serios problemas de contaminación que afronta la humanidad.

También el interés de las industrias aeroespacial y automovilista por el hidrógeno se debe a la llamada pila de combustible, donde el hidrógeno puede quemarse con el oxígeno, transformándose la energía de la combustión en electricidad. Este proceso fue ya descubierto en 1839 por el galés William R. Grove, pero su desarrollo comenzó en la década de los 1960

³ L. G. JODRA, «EL HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO,» *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)*, p. 1, 2005.

por la NASA para producir electricidad y agua en algunas de sus misiones espaciales. Actualmente, un gran número de prototipos de las principales marcas de automóviles y autobuses ensayan pilas de combustible de tipos y combustibles diversos.

1.4.2. Propiedades del hidrógeno

Posteriormente veremos algunas de sus propiedades que hacen que el hidrógeno sea un elemento potencial para el cambio de energía sustentable y ecología del planeta.

Tabla 1.1 Propiedades físicas del hidrógeno

Fuente: L. G. JODRA, «EL HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO,» Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp), p. 1, 2005.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL HIDRÓGENO		
Propiedad	Valor	Unidades
Inodoro, incoloro y sin sabor		
Estado ordinario	Gas	
Estructura cristalina	Hexagonal	
Es la molécula más pequeña conocida		
Densidad en estado gaseoso(a 20°C y 1atm)	0,08376	kg/m ³
Densidad en estado Liquido	0,0708	kg/m ³
Volumen específico del gas (a 20°C y 1atm)	11,9	m ³ /kg
Volumen específico liquido (-253°C Y 1atm)	0,014	m ³ /kg
Punto de fusión	14,025	K
Punto de ebullición	20,268	K
Temperatura crítica	- 239,8	°C
Energía específica de combustión	120	MJ/kg
Entalpía de vaporización	0,44936	KJ/mol
Entalpía de fusión	0,05868	KJ/mol
Presión critica	1,293*10 ⁶	Pa
Volumen molar	22,42*10 ⁻³	m ³ /mol
Facilidad de efusión, como también difusión		
Optima conductividad calorífica		
Relación de expansión	1:848	

Tabla 1.2 Propiedades químicas del hidrógeno

Fuente: L. G. JODRA, «EL HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO,» Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp), p. 1, 2005.

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL HIDRÓGENO		
Propiedad	valor	Unidades
Peso atómico	100974	<i>uma</i>
Posee un esta de oxidación	+1, -1	
Solubilidad en agua	a 0°C :2,1 en 100 partes a 80°C : 0,8	<i>cm3</i> <i>cm3</i>
Isotopos abundancia	H-1 99,985% H-2(deuterio) 0,015% H-3 (radiactivo)	
Radio atómico (Radio de Bohr)	53	<i>pm</i>
Radio iónico	208	<i>pm</i>
Radio covalente	37	<i>pm</i>
Radio medio	25	<i>pm</i>
Configuración electrónica	1s ¹	
Completa su nivel de valencia con un electrón capturado, para así poder producir el anión h ⁻		
Se combina con metales, a través de enlaces iónicos	Alcalinos y alcalinotérreos(aceptó berilio y magnesio)	
Forma enlaces tipo covalentes	Con los metales	
Forma enlaces metálicos	Con los elementos de transición	
El hidrogeno, H ⁺ , siempre se encuentra asociado con otro elemento, aceptó los de estado gaseoso.		
Posee una estructura cristalina hexagonal		
Reacciona con la gran mayoría de los elementos de la tabla periódica.		

Otras de las propiedades de gran importancia es la inflamabilidad que posteriormente se detallara.

1.4.2.1. Inflamabilidad

El hidrógeno no es explosivo, es una molécula estable, a diferencia de los explosivos, el hidrógeno necesita una fuente de ignición externa para que se produzca la deflagración. Para que este elemento arda son indispensables tres condiciones esenciales que son: que el hidrógeno se mezcle con el oxidante, que la mezcla este dentro de los límites de inflamabilidad y que esté presente una fuente adecuada de ignición (chispa).

Las mezclas hidrógeno-aire-oxígeno, u otros oxidantes son altamente inflamables en un amplio rango de composiciones. Los límites de inflamabilidad, en un porcentaje en volumen, define el rango en el cual los combustibles gaseosos se incendian cuando están expuestos a una fuente de ignición con suficiente energía. Estos límites dependen en gran parte de la energía de ignición, temperatura, presión, presencia de diluyentes, tamaño y la configuración del equipo. El rango de inflamabilidad de las mezclas de hidrógeno-aire e hidrógeno-oxígeno se amplían desde la propagación de la llama es hacia arriba y se estrechan si la propagación de la llama es hacia abajo.

Los límites de inflamabilidad del hidrógeno en aire seco a una presión de 101.3 KPa y a una temperatura de 298 K son de 1.4% y 74.8% , para los límites inferiores y superiores respectivamente. Para el caso de la mezcla hidrógeno-oxígeno son de 4.1% y 94% . Una reducción en la presión por debajo de 101.3 KPa tiene a estrechar el rango de inflamabilidad, aumentando el límite inferior y disminuyendo el superior.

En la siguiente Fig.1.3 Se muestran los límites de inflamabilidad de la mezcla hidrógeno-oxígeno-nitrógeno.

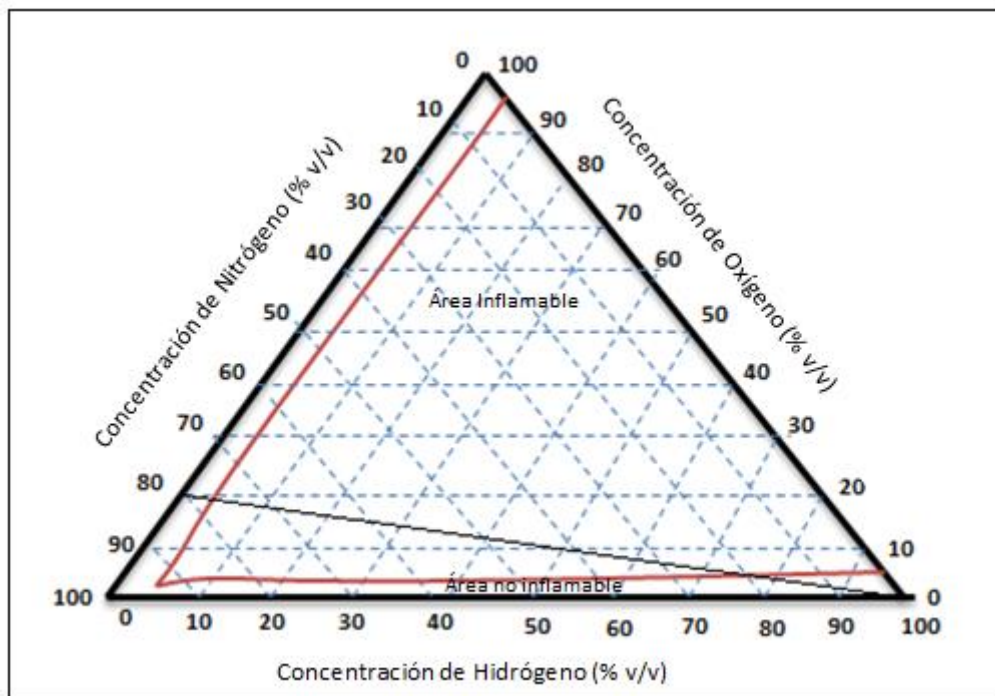


Fig. 1.3- Límites de inflamabilidad de la mezcla hidrógeno-oxígeno-nitrógeno

Fuente: Coward, H. F. and G. W. Jones. *Limits of Flammability of Gases and Vapors. Bureau of Mines Bulletin 503, N70-74476: AD-701575(1952)*

Temperatura de Autoignición

Las razones principales es que dependen de la concentración, presión del hidrógeno gaseoso y del tratamiento superficial de los contenedores. Las temperaturas obtenidas son muy dependientes del sistema y de los valores seleccionados; además, solo se debe aplicar a sistemas similares. A una presión de 101.3KPa en un rango de temperaturas de autoignición para el hidrógeno estequiométrico en aire está entre 773 a 850 K ; en oxígeno estequiométrico está entre 773 a 833 K .

Energía mínima de la chispa para la ignición

Se puntualiza como la mínima energía de la chispa requerida para incendiar la concentración más fácilmente incendiabile del combustible en aire u oxígeno. En la siguiente tabla 1.3 se muestra la mínima energía de la chispa del hidrógeno en aire para diferentes presiones:

Tabla 1.3. Energía mínima de la chispa para la ignición de una mezcla de hidrógeno-aire

Fuente: Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems. National Aeronautics and Space Administration (NASA)

Energía mínima de la chispa (mJ)	Presión (KPa)
0.017	101.3
0.09	5.1
0.56	2.03

Se considera que el mínimo de energía de chispa para incendiar el hidrógeno está por debajo de la que usa el metano (0.29mJ) como también la de gasolina (0.24mJ), se considera que la energía de ignición de cualquiera de estos tres combustibles es lo suficiente baja, que a una débil ignición podría provocar incendiar estos compuestos.

Número de octano

Se denota como la capacidad antidetonante que tiene un combustible cuando se utiliza en un motor de combustión interna. Los golpeteos o picados son detonaciones secundarias, que ocurren después de la ignición del combustible debido a la acumulación de calor en ciertas zonas de la cámara de combustión. Cuando la temperatura local excede de la temperatura de autoencendido ocurren estos golpeteos.

El hidrógeno posee un elevado número de octano, con lo que es especialmente resistente a golpeteos, aun cuando se realizan combustiones con mezclas muy pobres.

A continuación se muestra en la tabla 1.4 el número de octano de diferentes combustibles.

Tabla 1.4. Número de octanos

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos81/petroleo-derivados/petroleo-derivados2.shtml>

Combustible	Número de octano
<i>Hidrógeno</i>	<i>130</i>
<i>Metano</i>	<i>125</i>
<i>Propano</i>	<i>105</i>
<i>Octano</i>	<i>100</i>
<i>Gasolina</i>	<i>87</i>
<i>Diésel</i>	<i>30</i>

Velocidad de quemado

Se conoce como la velocidad de quemado a la velocidad a la cual la llama se desplaza a través de la mezcla del gas combustible.

La velocidad a la cual el hidrógeno se combustiona varía entre 2,65 m/s y 3,25 m/s. De tal modo, un escape de hidrógeno quemará rápidamente y consecuentemente su combustión tenderá a ser breve duración.

Distancia de apagado

Se describe como la distancia a la que se apaga la llama tomando como referencia la pared del cilindro, debido a las pérdidas de calor.

La distancia de apagado del hidrógeno es de 0,064 cm, aproximadamente 3 veces menos que la distancia de apagado de la gasolina.

Características de la llama

Las llamas de hidrógeno presentan un color azul claro y resultan casi invisibles a la luz del día debido a la ausencia de hollín. La visibilidad es realizada por la presencia de humedad o impurezas en el aire; al contrario son muy visibles en la obscuridad o bien con luz artificial.

Seguridad del hidrógeno

Debido a la mínima energía que necesita el hidrógeno gaseoso para incendiarse a temperatura y presión ambiente; las investigaciones han demostrado que hay tener más cuidado en la contención del hidrógeno, en la detención de fugas y en la ventilación de las zonas aledañas. El peligro principal está asociado con cualquier forma de hidrógeno que indebidamente produce una mezcla inflamable o detonante, seguido de fuego detonación.

Los principales riesgos asociados al manejo y uso del hidrógeno son:

- Fuegos y explosiones
- Fugas
- Dispersión del hidrógeno

- Fallos en los tanques de almacenamiento
- Fallos en los sistemas de apertura y cierre
- Purgado
- Fallos en el sistema de vaporización
- Condensación del aire

El hidrógeno se quemará de forma más intensa que la gasolina, pero durante un período de tiempo más corto. Además, mientras que la combustión de la gasolina generará humos tóxicos y nocivos para la salud humana; al quemarse el hidrógeno, éste no emitirá ningún tipo de elemento nocivo al ambiente.

1.4.3. Producción de Hidrógeno

El hidrógeno no se encuentra en la naturaleza en su estado fundamental, por motivo de que esta combinado con algunos elementos; es producido a partir de fuentes como es el agua, gas natural, y con la aporte de energía. Idealmente, la energía aportada sería igual a la energía contenida en el gas sinterizado. Sin embargo, la producción de hidrógeno a partir de cualquier proceso implica una transformación de energía. Y por consiguiente las transformaciones de energía siempre están ligadas a pérdidas de energía.

1.4.3.1. Métodos de producción del Hidrógeno

Una de las ventajas más importantes del hidrógeno es que puede ser producido a gran escala porque nuestro planeta posee fuentes de agua, combustibles fósiles y materia orgánica. En la Fig.1.4 se describen algunas de las principales vías de producción de hidrógeno en la actualidad. Cada uno de estos procedimientos tienen sus propias ventajas e inconvenientes que deben ser tomados muy en cuenta como son: el costo, viabilidad, estudio, escala y emisiones.

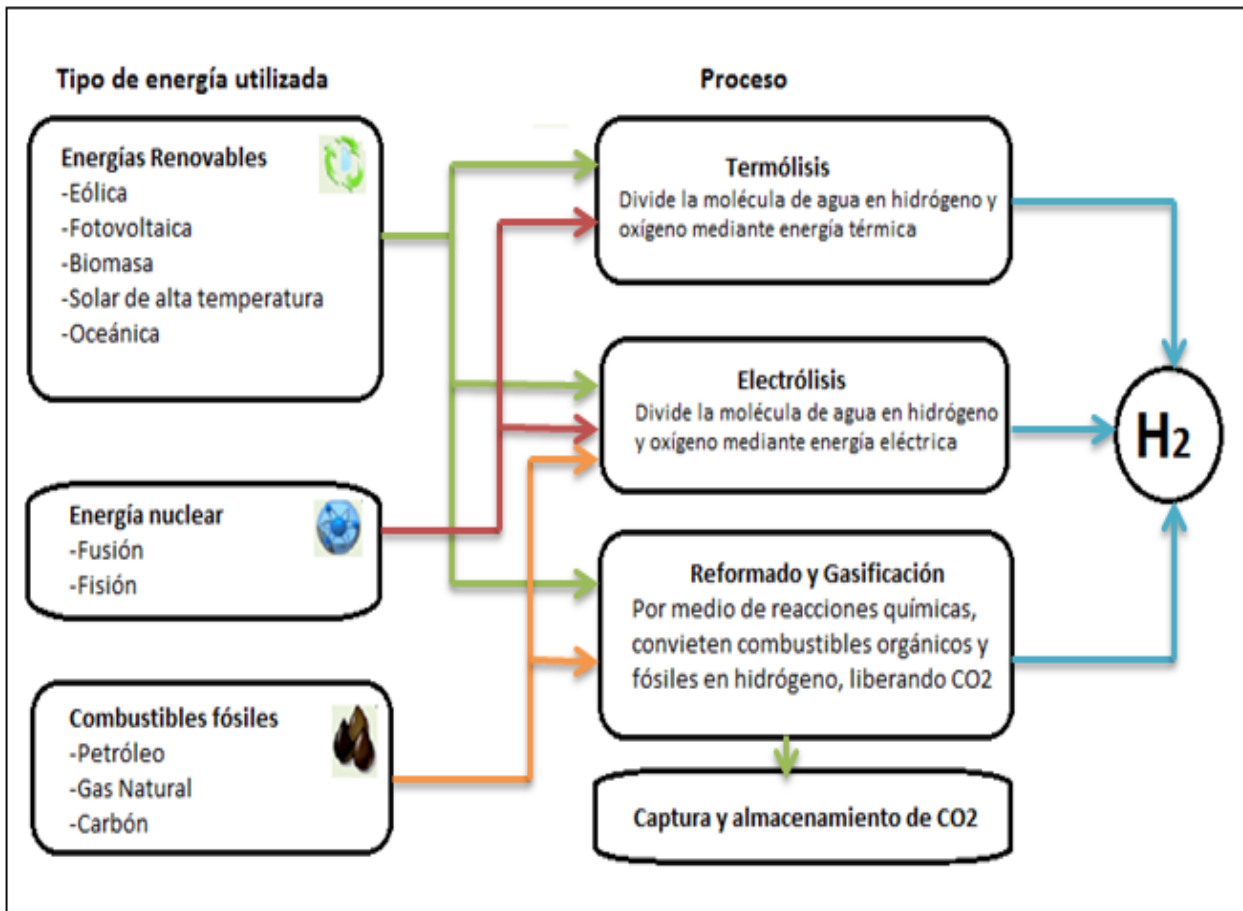


Fig. 1.4 Vías de producción de hidrógeno
Fuente: <http://www.cnh2.es/info-h2/hidrogeno/>

Hoy en día la ciencia busca nuevos e innovadores métodos para producir hidrógeno; con el paso del tiempo llegará el día en que sea comercialmente viable entre estos están: descomposición térmica del agua, la fotoelectrolisis, la producción fotobiológica, electrolisis y el “plasmatron”.

La combustión de este elemento no contamina, al contrario es amigable con el medio ambiente y no es nocivo para las personas, produciéndose tan solo calor y agua. Además, es necesaria una fuente de energía adicional para producirlo. Y dependiendo cual sea la fuente elegida se emitirá o no CO₂ a la atmosfera.

En cualquier proceso de producción de hidrógeno hay unas entradas (materias primas y energía) y sus salidas (hidrógeno, subproductos y pérdidas de energía). Tal como se ve en la Fig. 1.5.



Fig. 1.5- Entradas y salidas de un proceso de producción de hidrógeno
Fuente: Los autores

La eficiencia térmica de un proceso de producción de hidrógeno se puede definir como el poder calorífico inferior del hidrógeno producido dividido entre la energía suministrada al sistema desde todas las fuentes. El hidrógeno útil es aquel que llega al consumidor, por lo tanto los costes de purificación y almacenamiento también deberían ser considerados a la hora de estimar el coste total. Sin embargo, los mayores costes de producción de hidrógeno resultan de la energía suministrada. El coste de los materiales, suministro de agua, gas natural u otros hidrocarburos, y los procesos finales, la purificación y el almacenamiento significativos.⁴

Electrólisis

La electrólisis del agua es la separación de los átomos que constituyen sus moléculas, por medio de la electricidad. Es uno de los métodos más conocidos para obtener hidrógeno como se muestra en la Fig. 1.6.

⁴ L. M. Crosbie y D. Chapin, Hydrogen Production by Nuclear Heat, Kyoto: GENESA/ANP2003, 2003.

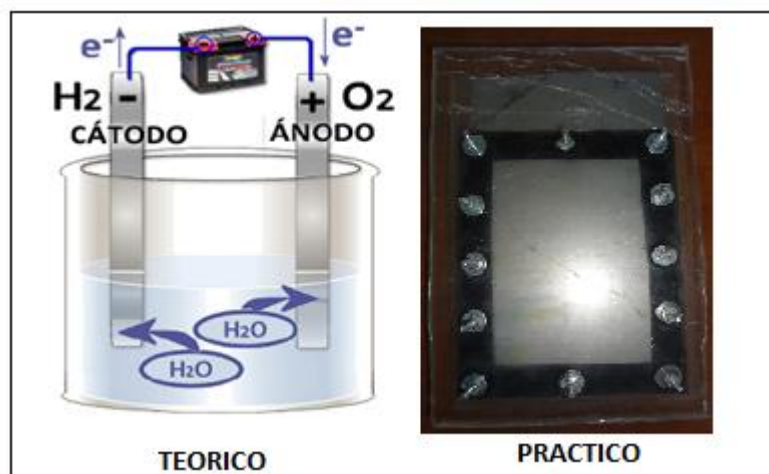
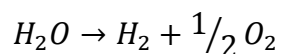
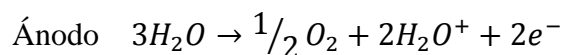
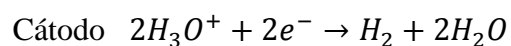


Fig. 1.6 Esquema de la Electrólisis
Fuente: <http://fisicayquimicavarques.com/electrolisis>

Las reacciones esenciales que hacen la electrólisis posible son las semirreacciones de los iones del agua:



Los electrodos (ánodo y cátodo), son aquellos que generan el movimiento de los electrones previamente situados en una solución. Formándose así hidrógeno en el cátodo, mientras que oxígeno en el ánodo. Para optimizar la producción de estos elementos anteriormente mencionados, por el método de electrólisis, es necesario variar el *PH* del electrolito en este caso el agua, mediante la adición de un ácido o una base, mejorando así la velocidad de reacción.

La electrólisis es uno de los métodos de producción de hidrógeno puro más efectivos en pequeñas cantidades.

Debido a que este método utiliza electricidad, la eficiencia térmica de este proceso incluye la eficiencia de generación de energía eléctrica, así como la electrólisis en sí misma. A pesar que las energías renovables no tienen una eficiencia elevada y que el proceso de electrólisis del agua los rendimientos son de orden del 65-70%. La eficiencia de producción eléctrica varía dependiendo del medio que la produzca.

A pesar que la separación de moléculas de agua por medio de la electrólisis ha sido utilizada durante décadas, este uso se ha limitado a unidades de producción pequeñas. Este tipo de método no se ha empleada en grandes plantas debido principalmente a su baja eficiencia comparada con el reformado de vapor. Existen, de todas formas algunas grandes plantas de hidrógeno electrolítico que consumen más de 100 MW.⁵

La producción de hidrógeno usando el método de electrólisis tiene el potencial de estar completamente libre de emisiones, usando como medio de producción de electricidad la energía solar y eólica.

Reformado de vapor

Mediante este procedimiento termodinámico se puede extraer hidrógeno a partir de hidrocarburos específicamente gas natural, y vapor a alta temperatura. El principal componente del gas natural es Metano CH_4 .

En la Fig.1.7 se muestra las entradas y salidas del proceso de producción de hidrógeno mediante reformado de vapor.

⁵ A. J. Konopka y D. P. Gregory, «Present and Future,» de *Hydrogen Production by Electrolysis*, Chicago, Institute of Gas Technology, 1975.

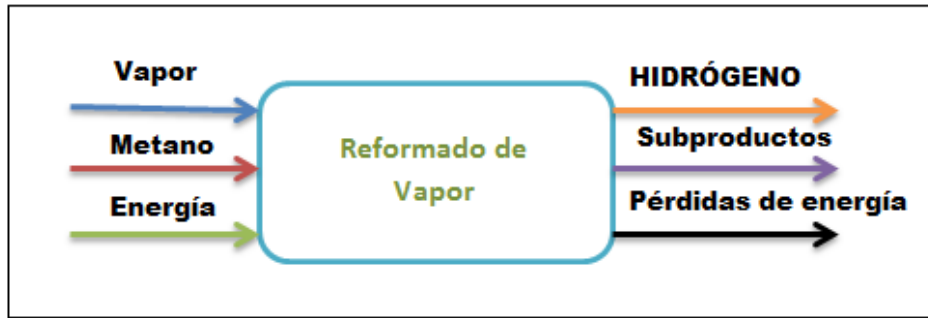


Figura 1.7- Estradas y salidas del proceso de producción de hidrógeno mediante reformado de vapor
Fuente: Los autores

El proceso tiene lugar a dos reacciones. La primera, reacción de reformado, que es fuertemente endotérmica, y que transcurre con un catalizador a una elevada temperatura. La segunda fase o reacción es exotérmica, aquí se produce el proceso de separación, se elimina el dióxido de carbono y se purifica el hidrógeno. Las entalpías de estas reacciones se muestran en la tabla 1.5.

Tabla 1.5 Entalpía de reacción del proceso de reformado de vapor de metano

Fuente: <http://patentados.com/patente/proceso-combinado-reformacion-produccion-metanol/>

Núm.	Ecuación de Reacción	Nombre	ΔH
1	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$	Reformar	205.82
2	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	Reacción de desplazamiento	-41.17
3	Etapa de Separación		-

El proceso convencional transcurre en un reactor químico a temperaturas entre 800-900°C como se detalla en la Fig.1.8. Cuando estas temperaturas se consiguen con combustibles fósiles, se convierten en un método más barato para producir hidrógeno actualmente. El calor es suministrado generalmente quemando el exceso de metano. Esto conlleva la pérdida de tanto reactante como de algo de producto de hidrógeno. Las eficiencias típicas para un proceso de reformado de vapor son en torno al 70%.⁶

⁶ L. M. Crosbie y D. Chapin, Hydrogen Production by Nuclear Heat, Kyoto: GENESA/ANP2003, 2003.

Este método de producción de hidrógeno lleva asociado la emisión de gases efecto invernadero como es el dióxido de carbono. Por este motivo está dentro de los sistemas de producción de hidrógeno sucio.

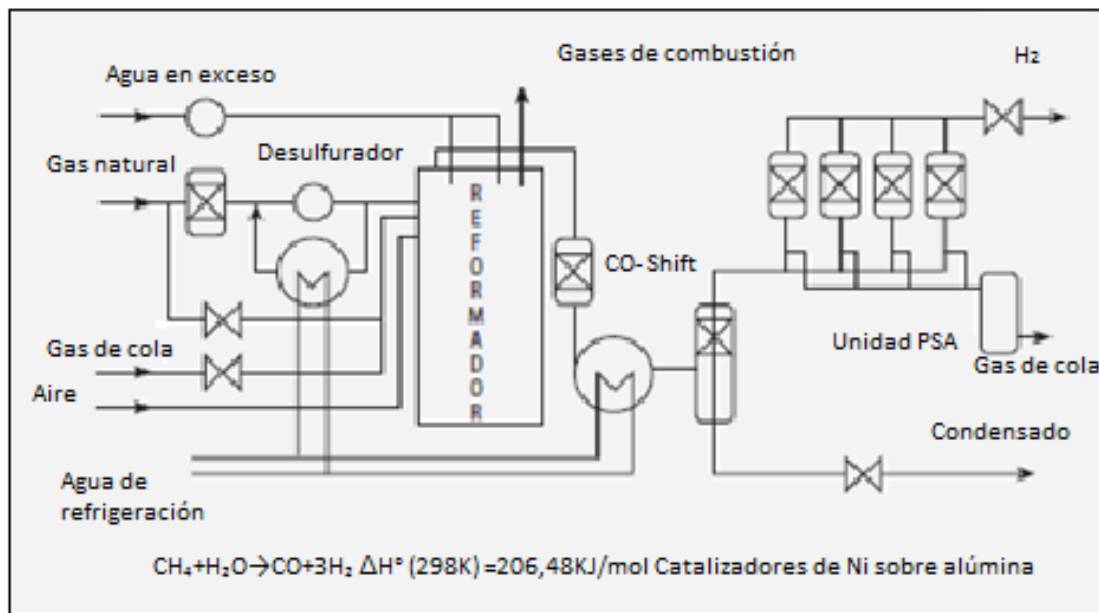
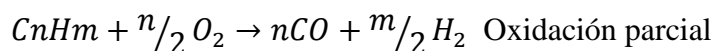


Fig. 1.8- Esquema del proceso de obtención de hidrógeno por reformado con vapor
 Fuente: J. I. Linares Hurtado y B. Y. Morotilla Soria, *El hidrógeno y la energía*, Madrid, 2007.

Oxidación Parcial de Hidrocarburos

Mediante este proceso se puede obtener hidrógeno a partir de una gran variedad de materias primas o de subproductos de otras reacciones. Entre los más conocidos están los la biomasa, hidrocarburos, residuos industriales, el metano, etc.

Con la ayuda de la oxidación parcial con oxígeno, a temperaturas de 1150-1350°C se origina un gas bruto compuesto de H_2 , CO , CO_2 , y CH_4 . Los residuos contenidos en el gas bruto dependerán exclusivamente de la composición de la materia y de las condiciones de desarrollo como son: la presión y la temperatura. El azufre procedente de la materia prima casi en su totalidad en forma de H_2S . Posteriormente para obtener hidrógeno puro se procederá con las etapas de depuración y de acondicionamiento.



La oxidación parcial se produce para el caso de hidrocarburos pesados con una eficiencia del 86%, para el carbón con un 50% y para el caso de la biomasa con un 65%.⁷

La obtención industrial de hidrógeno a partir de la oxidación parcial se esquematiza en la siguiente Fig.1.9.

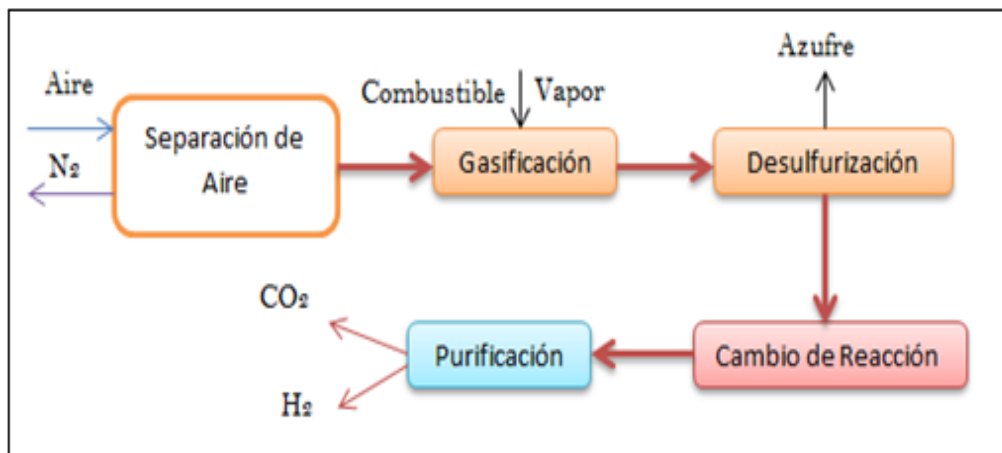


Figura 1.9- Diagrama de flujo de la producción de hidrógeno mediante oxidación parcial de hidrocarburos
Fuente: Los autores

La Biomasa

La biomasa comprende al conjunto de material biológico vivo o muerto de manera reciente. Esta no incluye a los combustibles fósiles ya que, pese a su origen casi exclusivamente biológico, han permanecido largo tiempo fuera del ciclo de carbono.⁸

En la Fig.1.10 muestra los principales procedimientos para aprovechamiento de la biomasa.

⁷ M. Laborde, *Oxidación Pracial de Hidrocarburos*, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2004.

⁸ J. L. Piqué, *El hidrógeno y nuestro futuro energético*, Primera Edición ed., Barcelona, 2010.

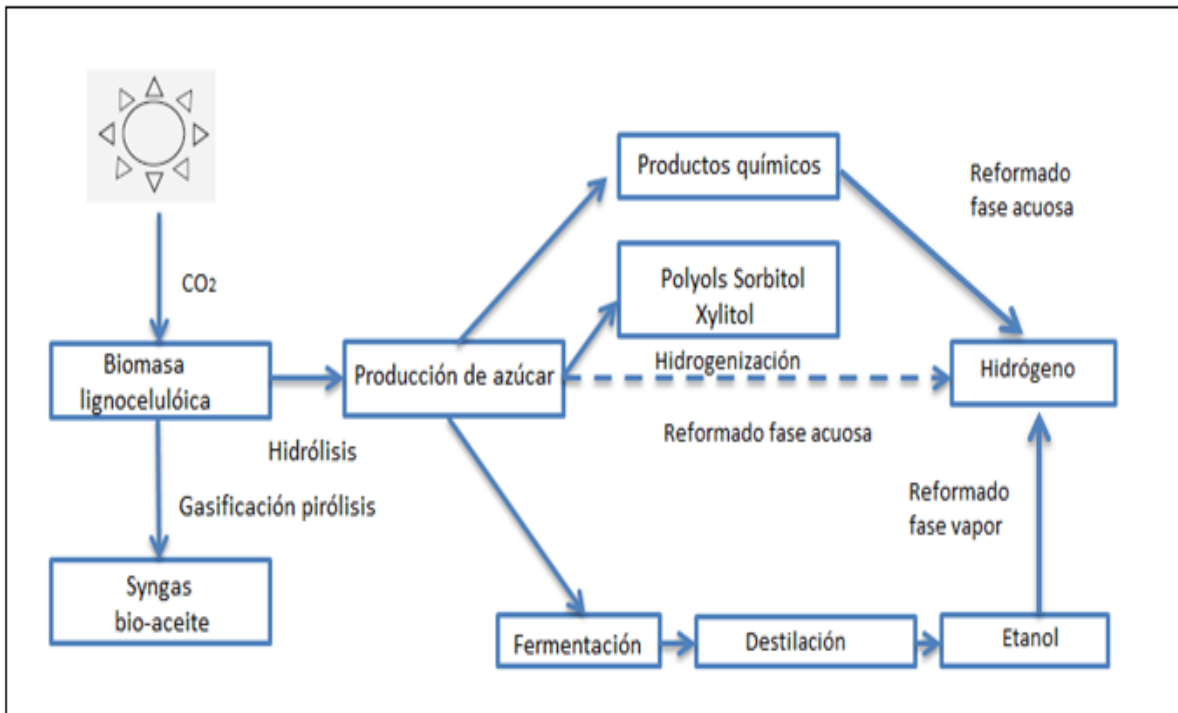


Figura 1.10- Principales caminos para la producir hidrógeno a partir de la biomasa.
Fuente: J. I. Linares Hurtado y B. Y. Morotilla Soria, *El hidrógeno y la energía*, Madrid, 2007.

Una de las ventajas de la biomasa como fuente de energía es de ser neutra respecto a las emisiones de CO₂.

Usando la biomasa como método de producción de hidrógeno, éste se puede producir por los siguientes procedimientos:

Gasificación de la Biomasa

A este proceso se calienta la biomasa a unos 700 a 1200°C en un reactor donde se rompen las uniones de las moléculas que forman la biomasa. Posteriormente se obtiene un gas constituido principalmente por hidrógeno, monóxido de carbono y metano. El metano se transforma en hidrógeno y dióxido de carbono a partir del mismo método de reformado de vapor.

Este método de producción de hidrógeno tiene una serie de ventajas frente a otros, como son: las emisiones de gases de dióxido de carbono procedentes de la gasificación de la biomasa no contribuyen al incremento neto de las emisiones de gases de efecto invernadero; también es uno de los métodos más avanzados en producción de hidrógeno a partir de fuentes

renovables. Otra de las ventajas es que se usa una gran variedad de residuos agrícolas que contribuyen en la reducción de costes; y a un futuro se pretende convertir las aguas residuales de las ciudades y otros residuos orgánicos en una fuente de energía.

Pirolisis de biomasa

La pirolisis de la biomasa para la producción de hidrógeno tiene el potencial de ser competitivo económicamente con los actuales procesos comerciales para la producción de hidrógeno.⁹ La producción del bioaceite por medio de la pirolisis de la biomasa, se transporta fácilmente de modo que la segunda etapa de reformado de vapor se puede realizar en diferentes localizaciones, cerca de donde vaya a utilizar o distribuir el hidrógeno. Como segunda ventaja es potencial para la producción y recuperación de un subproducto valioso del bioaceite que puede impactar significativamente en la economía del proceso completo.

Un reactor a escala piloto localizado en Scientific Carbons Incorporation, una pequeña compañía en Blankely, Georgia, que produce carbón activo a través de la pirolisis de las cáscaras de cacahuetes, está siendo utilizada para examinar la producción de hidrógeno a partir de la biomasa.¹⁰

Por Fermentación

Para el proceso de producción de hidrógeno se usan dos fermentaciones consecutivas como se observa en la Fig.1.11. Se usa este método para producir en pequeña escala a partir de la biomasa húmeda.

⁹ M. K. Mann, Technical and economic analyses of hydrogen production via indirectly heated gasification and pyrolysis, vol. 1, 1, NREL/CP-430-20036, 1995, pp. 205-236.

¹⁰ R. Evans, E. Chornet, C. Czernik, C. Feik, s. Philips, J. Abedi, Y. Yeboah, D. Day, J. Howard, D. McGee y M. Realf, Renewable hydrogen production by catalytic steam reforming of peanut shells pyrolysis products, Boston, 2002.

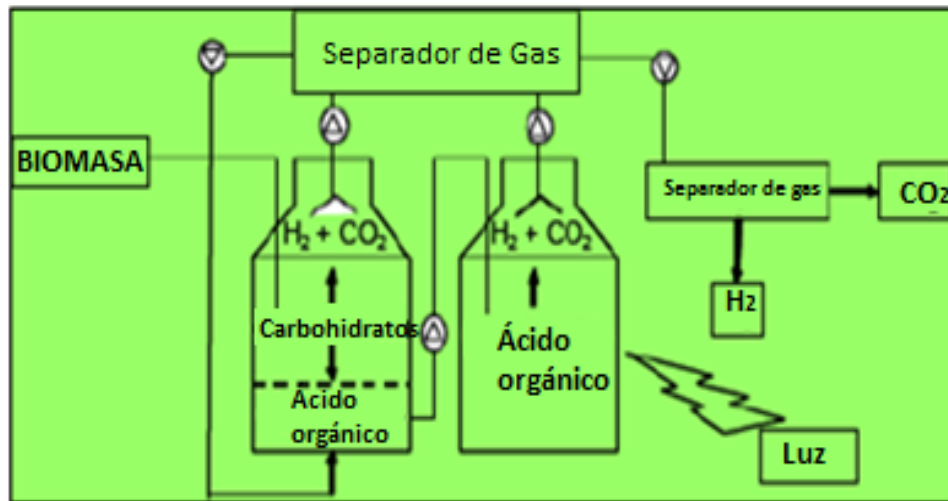


Figura 1.11- Bioproceso de producción de hidrógeno a partir de la biomasa húmeda
Fuente: www.biohydrogen.nl

El primer paso para realizar este proceso es de fermentación a partir de una bacteria termofílica a una temperatura de 70°C. Las concentraciones típicas de los gases de escape se encuentran entre el 50% en la primera fermentación y al 85% en la segunda. Estos gases de escape pueden alimentar directamente una célula de combustible tipo PEM.

Este tipo de bacteria termofílica produce hidrógeno libremente en la glucosa, xilosa, oligosacáridos y almidón.

Energía Solar

La tierra recibe una gran cantidad de energía del sol. En tan solo una hora recibimos aproximadamente la misma energía del sol ($300W/m^2$ por término medio) que toda la energía que consumimos en todo el planeta en un año. Paradójicamente, menos del 0,1% de la electricidad se obtiene a partir de la energía solar.¹¹

Existen tres clases de producción de hidrógeno a partir de la energía solar, los cuales son:

- Termoquímica
- Electroquímica (Electrolisis)
- Fotoquímica

¹¹ J. L. Piqué, El hidrógeno y nuestro futuro energético, Barcelona, 2010.

Termoquímica

Se produce hidrógeno a partir de la radiación solar, mediante la ruptura de la molécula de agua por termólisis (calor directo). A partir de los estudios termodinámicos se sabe que a presión atmosférica, alrededor del 36% de los enlaces del agua se rompen a 2700°C. Estas temperaturas se pueden conseguir a través de los hornos solares equipados con celdas de materiales altamente refractarios como el grafito.

En resumen lo que hacen los hornos solares es recibir la radiación solar en una gran superficie y concentrarla en un reducido volumen mediante métodos ópticos. A la salida del horno, el hidrógeno y el oxígeno producidos deben separarse para evitar la formación de mezclas explosivas.

En la Fig.1.12 se muestran los procesos solares termoquímicos para la producción de hidrógeno.

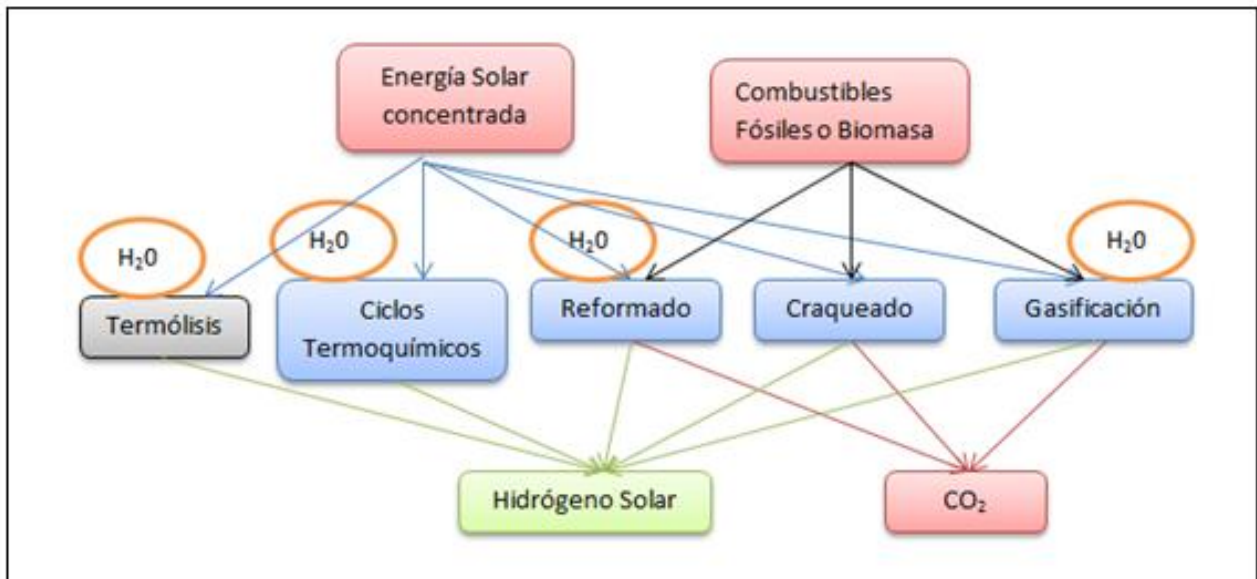


Figura 1.12- Procesos solares termoquímicos de producción de hidrógeno

Fuente: M. S. Pérez, «Aprovechamiento de la energía solar en media y alta temperatura. Sistemas termosolares de concentración.,» Universidad de Sevilla, 2012.

Sistemas electroquímicos

Puesto que ya menciono anteriormente unos de los métodos más importantes como es la electrolisis; posteriormente se detallaran uno de los métodos más innovadores del siglo XXI que producen energía eléctrica por vía solar.

Energía solar Fotovoltaica

Es aquella que utiliza la radiación solar para excitar una célula solar fotovoltaica, compuesta por un elemento fotoexcitable como es el caso del silicio; produciendo así una diferencia de potencial entre distintas partes del material.

Para la producción de hidrógeno, la energía eléctrica producida por uno de los módulos fotovoltaicos es una alternativa óptima; introduciéndola al electrolizador para que se produzca la electrolisis necesaria para la obtención de hidrógeno como se muestra en la Fig.1.13.

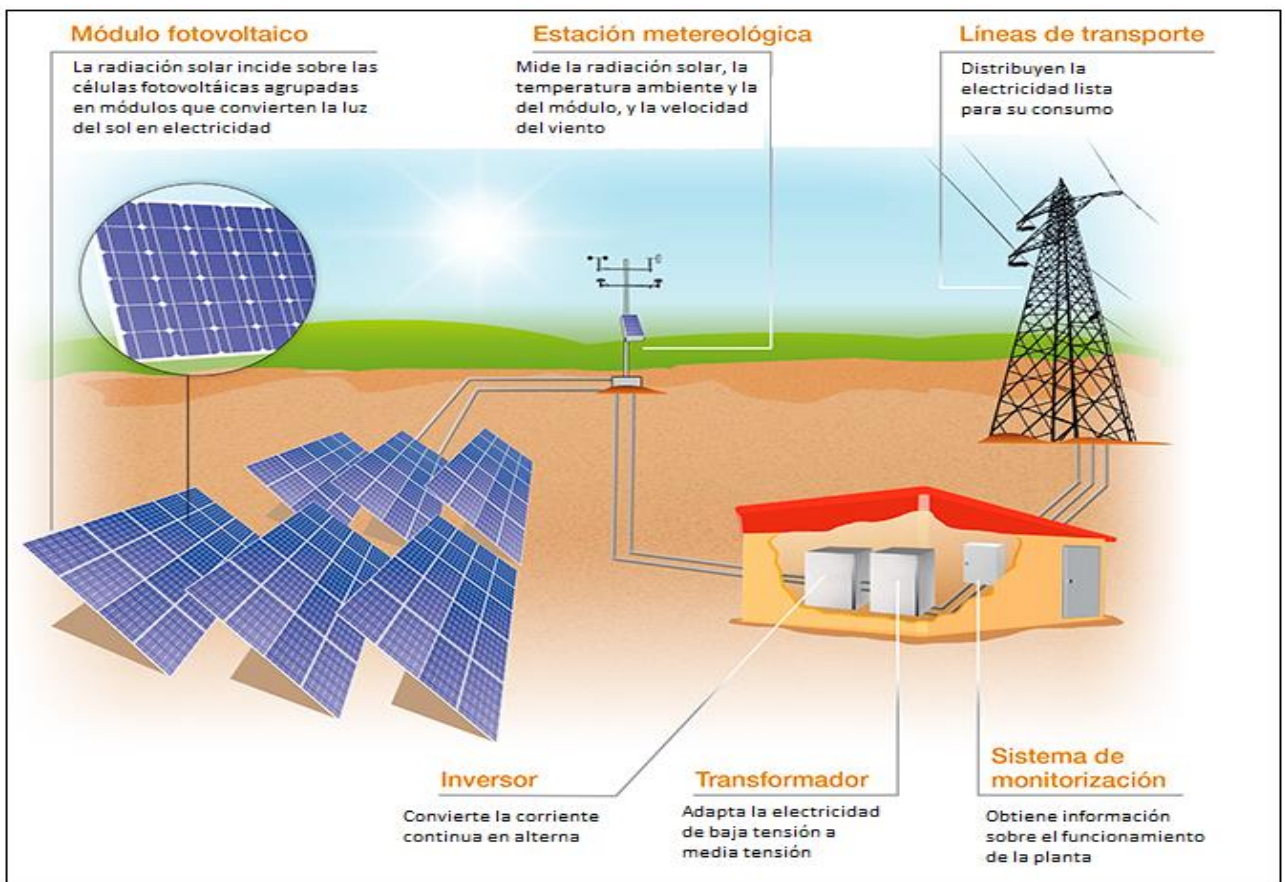


Fig. 1.13 – Producción de energía eléctrica por medio de módulos fotovoltaicos
Fuente: <http://www.sunedison.cl/grandes-plantas/planta-fotovoltaica.html>.

Sistemas Fotoelectroquímicos

Mediante este proceso los materiales semiconductores absorben la luz y la convierten en electricidad, conocida como la piedra angular de la industria fotovoltaica.

Como alternativa a la generación de electricidad, la energía generada mediante la absorción de luz por un semiconductor se podría usar para una transformación química, almacenando energía para un uso posterior. Siendo esta la base fundamental para la generación fotoelectroquímica de hidrógeno a partir de la luz solar. En este proceso, los electrones generados por la absorción de la luz se usan para reducir el agua, generando hidrógeno, y los protones son utilizados para oxidar el agua, generando oxígeno. El hidrógeno generado podría ser utilizado como combustible tanto en un proceso electroquímico como en la combustión. Es más eficiente generar hidrógeno usando directamente la fotoelectroquímica ya que los sistemas fotoelectroquímicos de conversión directa no solo eliminan los costes de un electrolizador, sino que también la posibilidad de incrementar la eficiencia global del proceso, comparado con el sistema fotovoltaico /electrolisis.¹²

Producción de Fotobiología de Hidrógeno

Utilizando únicamente luz solar, agua y una enzima llamada hidrogenasa las cianobacterias y las algas verdes pueden producir hidrógeno como muestra la Fig.1.14; bajo condiciones anaeróbicas, estos microorganismos usan la fotosíntesis para generar reductores de alta energía, electrones, muy necesarios para la enzima anteriormente mencionada reduzca catalíticamente los protones a H₂. Los protones y electrones provenientes del agua; el oxígeno es generado a partir de la fotosíntesis y puede inactivar la hidrogenasa.

¹² D. B. MacQueen, A. Hirschon, T. Mill y M. Coggiola, Discovery of Photocatalysts for Hidrogen Production, SRI. International. DOE, 2003.

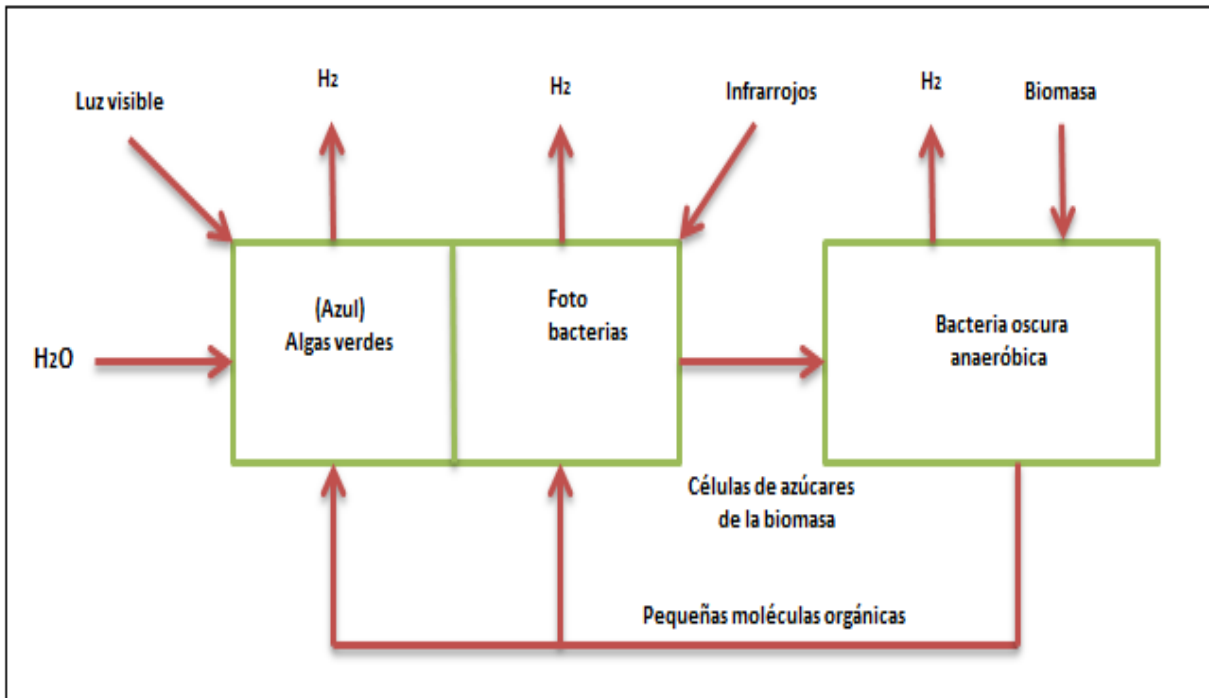


Fig. 1.14 – Escenario futuro para aprovechar las energías de diversos microorganismos en la producción de hidrógeno.

Fuente: J. I. Linares Hurtado y B. Y. Morotilla Soria, El hidrógeno y la energía, Madrid, 2007.

1.5. Generador de hidrógeno de celda seca

También es conocido hidrolizador, celda de hidrógeno o como generador de hidrógeno.

A este tipo de generador se lo conoce como de celda seca, no porque no contenga agua, si no por el motivo de que la celda es diferente a la celda sumergida en agua.

Al igual que el de celda húmeda tienen el mismo funcionamiento, pero en este caso el agua circula por la parte interna de la celda; en la siguiente Fig.1.15 se puede observar que a su izquierda vemos una celda sumergida en agua en su depósito y sus respectivas conexiones eléctricas y a su derecha se puede observar el de celda seca (fecha azul indica la entrada de agua y la flecha roja la salida gas hidrógeno).

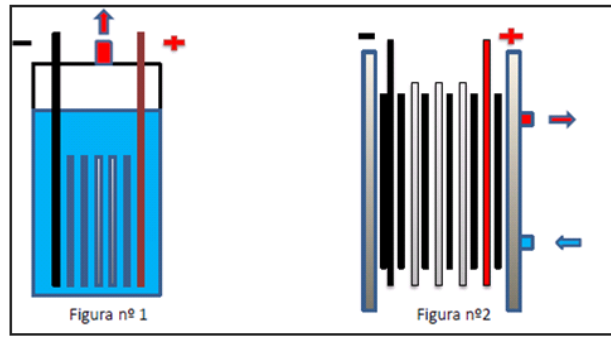


Fig. 1.15– Celda húmeda y celda seca.

Fuente: http://tecverde.mex.tl/895018_Armado-De-Celda-Dry.html

En la industria automotriz se está tratando de implementar este tipo de dispositivo para mejorar el rendimiento de los motores de combustión interna a gasolina como los de diésel.

1.5.1. Funcionamiento

Para operar el generador utiliza básicamente agua destilada y una corriente de 12V DC ya sea de una batería o de una fuente rectificada; a través del proceso de la electrolisis (separación de átomos), el dispositivo entrega por separado el oxígeno y el hidrógeno, siendo enviado el gas hidrógeno a la entrada de aire del motor donde se va a combinar con la mezcla estequiometria y posteriormente a combustionar.

En la Fig. 1.16 se muestra el funcionamiento de un generador de celda seca detallando sus partes y su forma de operar.

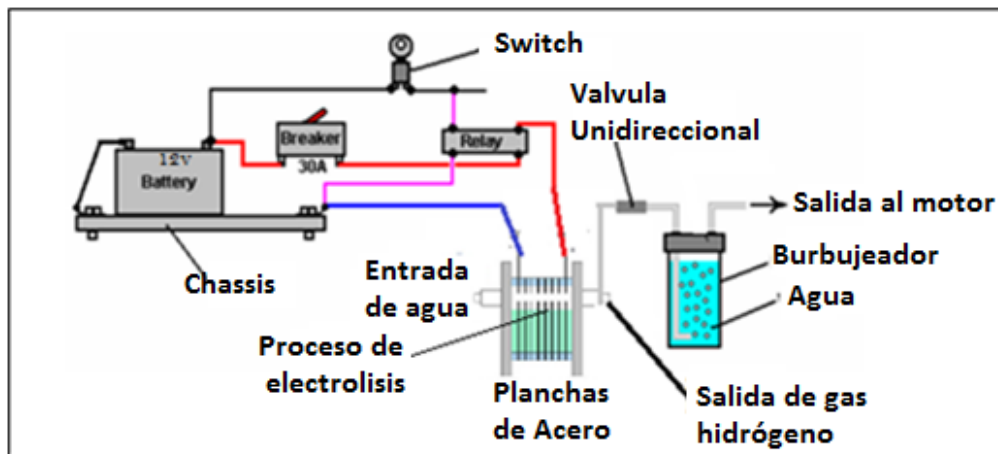


Fig. 1.16– Proceso de generación de gas hidrógeno

Fuente: <http://reyhidrogeno.blogspot.com/2009/02/para-que-jijos-sirve-el-gas-hidroxi.htm>

1.5.2. Descripción de los componentes del generador de Hidrogeno de celda seca

Electrolito

Es una sustancia cualquiera que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico. Debido a que generalmente consisten en iones en solución, los electrólitos también son conocidos como soluciones iónicas, pero también son posibles electrolitos fundidos y electrolitos sólidos.

Hidróxido de potasio NaOH

Según el Programa Internacional de Seguridad Química (International Programme on Chemical Safety) el hidróxido de potasio o también llamado sosa cáustica, usado en la industria como una base química en la fabricación de papel, tejidos y detergentes; como también se lo usa a nivel doméstico para desbloquear tuberías de desagües de cocinas y baños; a temperatura ambiente es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire; como propiedades física tiene un punto de ebullición de 1388°C , punto de fusión 318°C , densidad de 2.1 g/cm^3 y una solubilidad en agua de $\text{g}/100 \text{ ml}$ a 20°C .¹³



Fig. 1.17– Hidróxido de potasio

Fuente: <http://ufsquimicos.com/productos-quimicos/345-potasio-cianuro.html>

¹³ «<http://www.quimica.unam.>» [En línea]. Available: <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/2hsnaoh.pdf>. [Último acceso: 13 08 2014].

Depósito de electrolito y Burbujeador

Este sistema cumple dos funciones esenciales la de ser un depósito que almacena el electrolito como también de ser el burbujeador; el tanque debe estar en condiciones de resistir elevadas temperaturas, el material por el cual está construido debe soportar elevadas temperaturas, humedad, corrosión, vibraciones que se presentan en el vehículo y sobre todo ser hermético ; en el caso del burbujeador que está en la parte interna del depósito debe recibir una cantidad de gas (hidrógeno) proveniente del generador y transportarlo por medio de mangueras hacia la entrada del motor.



Fig. 1.18– Depósito y burbujeador

Fuente: http://www.actiweb.es/hidroxi/nuestros_productos.html

Relé

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.



Fig. 1.19– Relé

Fuente: <http://gonzoelectronics.blogspot.com/2010/05/rele-conmutador-electrico-especializado.html>

Mangueras transparente

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



Fig. 1.20– Mangueras

Fuente: <http://www.industriadelagoma.com/producto.php?p3=225>

Cable eléctrico

Tienen la característica de conducir electricidad, generalmente se fabrican de cobre y aluminio, debido a que tiene una excelente conductibilidad.

Un cable eléctrico se compone de:

- **Conductor:** Elemento que conduce la corriente eléctrica y puede ser de diversos materiales metálicos. Puede estar formado por uno o varios hilos.

- *Aislamiento:* Recubrimiento que envuelve al conductor, para evitar la circulación de corriente eléctrica fuera del mismo.
- *Capa de relleno:* Material aislante que envuelve a los conductores para mantener la sección circular del conjunto.
- *Cubierta:* Está hecha de materiales que protejan mecánicamente al cable. Tiene como función proteger el aislamiento de los conductores de la acción de la temperatura, sol, lluvia, etc.



Fig. 1.21– Cable eléctrico

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/chint-electric-co-ltd/cables-electricos-alimentacion-69106-584959.html>

Agua destilada

El agua destilada es aquella sustancia cuya composición se basa en la unidad de moléculas de H_2O , cuyo proceso de purificación se realiza mediante destilación; debido a su elevada pureza se obtiene algunas propiedades físicas diferentes a las del agua de consumo diario, como por ejemplo la conductibilidad del agua destilada es casi nula, carece de muchos iones que producen la conductibilidad como cloruros, calcio, magnesio y fluoruros.



Fig. 1.22– Agua destilada

Fuente: http://www.engormix.com/farvet/agua-destilada-diluir--sh11454_pr29143.htm

Conectores

Son de gran ayuda para conectar los cables entre sí, se usan en la mayoría de instalaciones eléctricas de los automóviles; las hay de diferentes formas según aparato receptor al que se conectan, los más usados son: de lengüeta (faston), los cilíndricos y los de anillo redondo.



Fig. 1.23– Conectores

Fuente: [http://ca.wikipedia.org/wiki/Terminal_\(electr%C3%B2nica\)](http://ca.wikipedia.org/wiki/Terminal_(electr%C3%B2nica))

CAPITULO II. ANALIZAR LA APLICACIÓN DEL SISTEMA AL VEHÍCULO CHEVROLET STEEM 1.6L

2.1. Introducción

Los cálculos que se realizan en el segundo capítulo se da una descripción del ciclo termodinámico de un motor de combustión interna, tanto el ciclo teórico como el ciclo real con el fin de determinar las diferencias que existe en el comportamiento termodinámico del motor con la adición de hidrógeno y sin la adición de este gas; además, se puede obtener una referencia acerca de las consecuencias en el comportamiento del motor al adicionar hidrógeno, y por consiguiente se podrá analizar que parámetros variaran en el motor con la adición de hidrógeno.

En la Fig.2.1, se describe el funcionamiento de un motor Otto de 4 tiempos, el cual posee un sistema cilindro-pistón, accionado por un mecanismo biela-manivela. En este ciclo el desplazamiento el pistón en el cilindro se realiza en cuatro fases o etapas conocidas como el Ciclo de Otto, que son: admisión, compresión, explosión-expansión y escape. En los dos primeros tiempos la mezcla es aspirada y comprimida, con tiempo suficiente para realizar una buena carburación y combustión de la mezcla; en el tiempo de explosión se realiza una transformación de la energía, aportada por el combustible, en trabajo mecánico y, durante el tiempo de escape, se evacuan al exterior los gases residuales y el calor sobrante que no se ha transformado en trabajo mecánico. De los cuatro tiempos que componen el ciclo, solo efectúa el trabajo útil el tiempo de expansión.

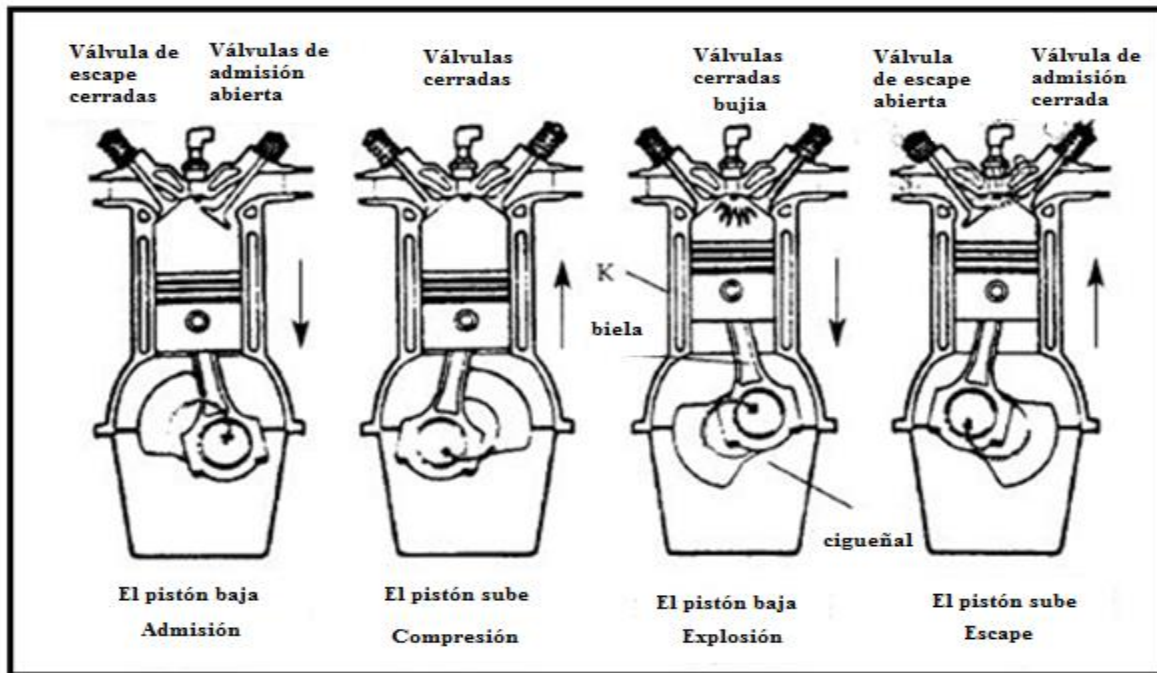


Fig. 2.1- Funcionamiento de un motor Otto
Fuente: <http://www.identi.li/index.php?topic=51819>

2.2. ESPECIFICACIONES DEL MOTOR CHEVROLET STEEM G16.

Para la implementación del generador de hidrogeno se utilizara un motor Chevrolet Steem G16; cuyos datos técnicos y características nos da a conocer el fabricante en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 manual de datos técnicos del motor Chevrolet Steem G16

Fuente: Tecnoautos, «<http://tecnoautos.com/>,» [En línea]. Available: <http://tecnoautos.com/automoviles/fichas-tecnicas/ficha-tecnica-del-suzuki-esteem-glx-sedan-saloon-ensamblado-en-1996/>. [Último acceso: 13 08 2014].

Fabricante	Suzuki
Modelo	Steem GLX
Año de fabricación	1996
Categoría	Familiar
Ubicación del motor	delantera
Cilindraje del motor	1590 cm ³
Tipo de motor	4 cilindros en línea

Válvulas por cilindro	4
Potencia máxima	99.40 PS (72,64 kW or 97,51 HP) a 6000 Rev / min.
Torque máximo	127.00 Nm (12,84 kg*f-m or 93,23 ft*lbs) a 3000 Rev / min.
Diámetro del pistón	75mm
Carrera del pistón	90mm
Relación de compresión	9,5:1
Combustible	gasolina
Tracción	Delantera
Capacidad máxima del tanque de combustible	51 litros

2.2.1. Determinación del estado actual del motor mediante la utilización del banco dinamométrico.

Para conocer el estado actual del motor Chevrolet Steem G16 se realizan pruebas en el banco dinamométrico MAHA LPS 3000 de procedencia alemana el cual nos proporcionara valores reales del rendimiento, potencia y par del motor.

De esta manera se puede realizar una comparación de los valores teóricos y los valores reales del motor.

2.2.1.1. Banco dinamométrico características

El banco que se utilizó es el MAHA LPS 3000, el mismo pertenece a la Universidad Politécnica Salesiana ubicado en la ciudad de Cuenca este banco posee una unidad de medida controlada por microprocesador, para la presentación gráfica y digital de los valores de medición y con diferentes programas para el ajuste óptimo a las tareas de control en el taller.¹⁴

¹⁴ MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG., «Manual del Usuario,» 2005.

El banco de potencia MAHA LPS 3000 está destinado a contar potencia en turismos en el rango de 520 kW (707 KM), con la velocidad máxima de 300 km/h. Este banco de potencia facilita la medición de potencia de los motores impulsados por gasolina, gas o gasóleo. Se empleó un equipo de rodillo que permite la medición de vehículos con tracción simple o doble.

El banco MAHA LPS 3000 permite efectuar una simulación exacta de unas condiciones de marcha definidas en el banco de pruebas. Además pueden llevarse a cabo mediciones del consumo de carburante y el análisis de los gases de escape.

Proceso de determinación de la potencia y par

Para la obtención de las curvas se coloca el vehículo en el banco dinamométrico, es importante concordar el banco con el vehículo esto se lo hace a las 2000rpm, en este momento se inicia el y así el banco es capaz de captar exactamente las revoluciones a las que está girando el vehículo en cada velocidad. Al momento de realizar las pruebas para la obtención de la potencia y del par motor la relación de transmisión con la que debemos trabajar es con la marcha que nos da la relación 1:1, esto es debido a que la potencia y el torque que proporciona el motor pasa directamente por la transmisión y a su vez al diferencial y posteriormente a las ruedas del vehículo, sin tener que pasar por las relaciones de desmultiplicación o multiplicación.¹⁵

Las revoluciones a las que se debe llegar en cuarta marcha debido a que esta es la relación que nos proporciona 1:1 deben ser las máximas, de esta manera el banco dinamométrico se encargara de proporcionar las curvas der potencia y de par.

Resultados obtenidos en el banco

Los resultados obtenidos de haber realizado las pruebas en el banco se detallan en la siguiente tabla:

¹⁵ MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG., «Manual del Usuario,» 2005.

Tabla 2.2 Valores de potencia y par motor obtenidos en las pruebas
Fuente: banco dinamométrico

MAHA LPS 3000 Diagrama de Potencias		
Prueba	Valor	Unidades
Potencia Normal	Sin corrección de potencia	----
Potencia Motor	39.6	kW
Potencia Rueda	23.5	kW
Potencia Arrastre	16.0	kW
Par Motor	86.4	N.m

En la siguiente gráfica se muestra las curvas de potencia y par que nos da el banco dinamométrico.



Fig. 2.2 Curvas de potencia y par
Fuente: U. P. Salesiana, «Banco dinamométrico,» Cuenca, 2014.

Los resultados que se obtiene de potencia normal es la potencia indicada y el valor de potencia del motor hace referencia a la potencia efectiva, la misma es la suma de la potencia de arrastre más potencia de la rueda estos resultados se los obtiene desde un régimen de 2000rpm hasta 4765rpm como se puede observar en la gráfica mostrada anteriormente.

2.3. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS BÁSICOS DEL MOTOR CHEVROLET STEEM G16.

Antes de empezar el análisis de cada uno de los parámetros que caracterizan al motor es importante conocer la nomenclatura que se utiliza para realizar los cálculos.

2.3.1. NOMENCLATURA PARA EL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL MOTOR.

V_u = *Volumen unitario*

V_c = *Volumen de la cámara de combustión*

V_T = *Volumen total*

S = *Carrera del pistón*

r = *Relación de compresión*

P_i = *Potencia indicada*

P_e = *Potencia efectiva*

M_d = *Par motor*

RPM = *Revoluciones por minuto*

$\frac{S}{D}$ = *relación diámetro - carrera*

A_p = *área del pistón*

C_m = *velocidad media del pistón*

\dot{m}_f = *gasto masico de combustible*

\dot{m}_a = *gasto masico de aire*

m_a = *masa de aire*

m_f = masa de combustible

PC = poder calorífico

\dot{Q}_{lib} = potencia térmica liberada

η_t = rendimiento termico

η_e = rendimiento efectivo

η_T = rendimiento total

η_m = rendimiento mecanico

g_{ef} = consumo especifico efectivo

γ = Coeficiente de calores específicos

v = volumen especifico

i = numero de ciclos por vuelta

PCI = poder calorifico

2.3.2. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS

2.3.2.1. Diámetro del cilindro

Junto con la carrera, es el parámetro que mejor caracteriza el tamaño de un motor, se denomina también calibre. El diámetro del cilindro, (D), es ligeramente superior al del pistón para permitir el desplazamiento relativo entre ellos con la mínima fricción, sin embargo para la mayoría de cálculos se toma directamente (D) como valor representativo de ambos.¹⁶

El diámetro del cilindro se lo obtuvo a partir de los datos que nos proporciona el manual de servicio del vehículo como muestra la tabla 2.3.

¹⁶ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Tabla 2.3 Diámetro del cilindro y pistón del vehículo Chevrolet Steem
Fuente: manual de servicio

Cilindrada del motor	Diámetro Pistón(mm)	Diámetro Cilindro(mm)
1,6 litros	74,98-74,99	75,00-75,01

2.3.2.2. Carrera del Pistón

El pistón se desplaza entre dos posiciones extremas, denominadas, puntos muertos, el punto muerto más próximo a la culata se denomina punto muerto superior, PMS, y el más alejado punto muerto inferior, PMI. La carrera es la distancia que recorre el pistón entre estas dos posiciones extremas de su desplazamiento alternativo.¹⁷

La siguiente ecuación permite encontrar la carrera del pistón:

$$S = 2l$$

$$S = 2(45mm)$$

$$S = 90mm$$

2.3.2.3. Relación carrera-diámetro

La relación S/D es un parámetro muy descriptivo de la forma del cilindro y permite clasificar a los motores en tres tipos, supercuadrados, cuadrados y alargados, según que S/D sea menor, igual o mayor que la unidad.

$$\frac{S}{D} = \frac{90mm}{75mm} = 1,2$$

¹⁷ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Tabla 2.4 Denominación del motor según la relación S/D

Fuente: F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Denominación	S/D
Supercuadrados	<1
Cuadrados	=1
Alargados	>1

El vehículo tiene un motor alargado debido a que posee una la relación S/D de 1.2.

2.3.2.4. Sección del pistón

La sección transversal del pistón o embolo que se desliza en el interior del cilindro se obtiene a partir del diámetro y tiene por expresión a:

$$A_p = \frac{\pi * D^2}{4}$$
$$A_p = \frac{\pi * (7,5cm)^2}{4}$$
$$A_p = 44,1786cm^2$$

Este parámetro tiene una gran importancia entre otras por las siguientes razones:

- Es la sección disponible sobre la que se ejerce la presión de los gases para obtener trabajo, es por ello que algunos parámetros se suelen referir a esta sección, por ejemplo la potencia.
- La sección de las válvulas está limitada por la sección del pistón, por lo que también es usual referir el gasto de aire a esta sección.¹⁸

¹⁸ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

2.3.2.5. Cilindrada unitaria y total

Cilindrada unitaria

El volumen desplazado por el embolo desde el PMS al PMI se denomina cilindrada unitaria:

$$V_D = A_p * S$$

$$V_D = 44,1786cm^2 * 9cm$$

$$V_D = 397.60cm^3$$

Cilindrada total

A partir de la cilindrada unitaria y del número de cilindros, (z), se puede calcular la cilindrada total como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_T = z * V_D$$

$$V_T = 4 * 397.60cm^3$$

$$V_T = 1590,4 cm^3$$

2.3.2.6. Relación de compresión

Al cociente entre el volumen máximo, estando el pistón en el PMI, y el volumen mínimo en el PMS, se le denomina relación de compresión volumétrica.¹⁹

$$r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_D + V_C}{V_C}$$

¹⁹ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

La relación de compresión del motor G16 es de 9,5:1 este dato se lo obtuvo de la ficha técnica del vehículo.

2.3.2.7. Volumen de la cámara de combustión

Es el volumen en el cilindro cuando el pistón se encuentra en el PMS y por tanto es el volumen mínimo que se alcanza durante la compresión de los gases. Se hará referencia a él como V_C .

Para encontrar el volumen de la cámara de combustión se recurre a la siguiente ecuación conociendo previamente la relación de compresión:

$$r = \frac{V_D + V_C}{V_C}$$

$$r = \frac{V_D}{V_C} + 1$$

$$V_C = \frac{V_D}{(r - 1)}$$

$$V_C = \frac{397.60 \text{ cm}^3}{(9,5 - 1)} = 46,77 \text{ cm}^3$$

2.3.3. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

2.3.3.1. Régimen y velocidad lineal media del pistón

El régimen de giro del motor n es el número de revoluciones por unidad de tiempo y determina la frecuencia de repetición del ciclo de trabajo. Constituye uno de los grados de libertad del motor para dar potencia.

Es importante utilizar lo que se conoce como velocidad lineal media del pistón, entre los puntos muertos, que teniendo en cuenta el pistón recorre dos carreras por revolución, se puede expresar como:²⁰

$$C_m = 2 * S * n$$

$$C_m = 2 * 0,09m * 5000 \frac{rpm}{min}$$

$$C_m = 900 \frac{m}{min} = 15 \frac{m}{s}$$

La velocidad media del pistón a 5000rpm es de $15 \frac{m}{s}$.

2.3.3.2. Gasto de aire y rendimiento volumétrico

El gasto de aire es el caudal másico admitido por unidad de tiempo \dot{m}_a , habitualmente en g/s, en ocasiones se expresan por unidad de sección transversal del pistón.

Si se supone que la capacidad de aspiración del motor cuantificada por su cilindrada total V_T , se puede llenar con la densidad del aire del lugar donde de donde aspira el motor, se tiene una referencia para valorar la eficiencia con que se realiza el proceso real de renovación de la carga.

A tal efecto se define un parámetro adimensional, el rendimiento volumétrico que es el gasto medio que admite el motor, dividido por el gato de referencia:

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{real}}{\dot{m}_{ref}}$$

²⁰ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Gasto de aire teórico

Se calcula el caudal teórico a 2930rpm en donde se da el par máximo a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_t = V_D * \frac{\text{aspiraciones}}{\text{min}} * N$$

$$Q_t = 397.60\text{cm}^3 * \frac{2930}{2 * 60} * 4$$

$$Q_t = 38832,3 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$Q_t = 0,038832 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para encontrar el gasto de combustible en función de la altura se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_{2600} = \frac{m_a}{Q_t}$$

La densidad del aire a 2600msnm se ve en la tabla 2.5.

Tabla2.5 Tabla de presiones atmosféricas dependiendo de la altura

Fuente: <http://www.sol-arq.com/index.php/fenomenos-atmosfericos/presion>

Altura (m)	Temperatura (°K)	Presión		Densidad (Kg/m ³)
		(mmHg)	(Bar)	
0	288	760	1,013	1,225
200	286,8	742	0,989	1,202
400	285,4	725	0,966	1,179
600	284,4	707	0,942	1,156
800	282,9	690	0,920	1,134
1000	281,6	674	0,898	1,112

1400	279	642	0,856	1,070
1600	277,7	626	0,834	1,048
2000	275,1	596	0,794	1,007
2200	273,8	582	0,776	0,987
2400	272,5	567	0,756	0,967
2600	271,2	553	0,737	0,947
2800	269,9	539	0,718	0,928
3000	268,6	526	0,701	0,909

$$\rho_{2600} = \frac{\dot{m}_a}{Q_t}$$

$$\dot{m}_a = \rho_{2600} * Q_t$$

$$\dot{m}_a = 947 \frac{g}{m^3} * 0,038832 \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{m}_a = 36,7742 \frac{g}{s}$$

Gasto de aire real

Para el gasto de aire real se utiliza los datos que nos proporciona el sensor MAP a 2930rpm este valor se lo obtuvo mediante la utilización del escáner el mismo es de 376 mmHg.

Mediante la siguiente relación del gas ideal encontramos la masa de aire:

$$m_a = \frac{P_{del Map} * V_1}{R * T}$$

De donde:

$$V_1 = V_D + V_C$$

T = la temperatura del aire de admisión

Se reemplaza los datos conocidos:

$$m_a = \frac{50,13 \text{ kPa} * 0,000444 \text{ m}^3}{0,287 \frac{\text{kPa} * \text{m}^3}{\text{kg} * ^\circ\text{k}} * 303^\circ\text{k}}$$

$$m_a = 0,000256 \text{ kg}$$

$$m_a = 0,256 \text{ g}$$

Teniendo la masa que consume el motor por cada 2 vueltas del cigüeñal calculamos el gasto másico real con la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_a = \frac{0,256 \text{ g} * \frac{\text{rpm}}{\text{min}}}{2}$$

$$\dot{m}_a = \frac{0,256 \text{ g} * 2930 \frac{\text{rpm}}{\text{min}}}{120}$$

$$\dot{m}_a = 6,24 \frac{\text{g}}{\text{s}} * 4 = 24,995 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

2.3.3.3. Gasto de combustible y poder calorífico

Los motores basan su funcionamiento en el proceso de combustión, cuyo resultado es la liberación de la energía contenida en los enlaces químicos en forma de energía térmica, lo que permite al motor obtener trabajo mecánico. Por ello, es clave conocer la cantidad de energía liberada. Si la combustión es completa y perfecta, se puede calcular como: ²¹

²¹ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Gasto de combustible

Para el cálculo la masa de combustible se utiliza la siguiente expresión:

$$m_f = \frac{m_a}{AFR}$$

$$m_f = \frac{0,256 \text{ g}}{14,7}$$

$$m_f = 0,017408 \text{ g}$$

Conocido la masa de combustible se puede calcular el gasto de combustible con la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_f = \frac{0,017408 \text{ g} * \frac{rpm}{min}}{2}$$

$$\dot{m}_f = \frac{0,017408 \text{ g} * 2930 \frac{rpm}{min}}{2}$$

$$\dot{m}_f = 0,425049 \frac{g}{s}$$

$$\dot{m}_f = 0,425049 \frac{g}{s} * 4 = 1,70 \frac{g}{s}$$

El poder calorífico de la gasolina se muestra en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Tabla de valores del poder calorífico inferior de la gasolina

Fuente: F. Payri y Jm. Desantes, *Motores de Combustion Interna Alternativos*, Barcelona: Reverté SA, 2011

Combustible	H ₂	Gas natural	propano	Gasolinas	Gasóleos	etanol
PCI(MJ/kg)	121	45-47,7	46,4	42,7-43,5	42,5-43	26,9
Valores del poder calorífico inferior de combustible comunes a 15°C y a 1 atm						
Combustible	H ₂	Gas natural	propano	Gasolinas	Gasóleos	etanol
PCI(MJ/l)	10,3*10 ⁻³	30,6*10 ⁻³ 32,4*10 ⁻³	88,6*10 ⁻³	29-29,6	36-36,4	21,2

Rendimiento volumétrico

El rendimiento volumétrico se lo calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{real}}{\dot{m}_{ref}}$$

$$\eta_v = \frac{24,995 \frac{g}{s}}{36,7742 \frac{g}{s}}$$

$$\eta_v = 0,67968$$

El rendimiento volumétrico es del motor Chevrolet Steem G16 es del 67,96%.

2.3.3.4. Rendimiento termodinámico

Debido a que una parte considerable del calor desarrollado en el proceso de la combustión se pierde en calentamiento del agua del sistema de refrigeración y en los mismos gases de escape que son expulsados aun calientes. Estas pérdidas de calor reducen el rendimiento térmico del motor, pues el calor que produce la expansión del gas quemado y la elevada

presión que impulsa al pistón hacia el PMI en su carrera de trabajo. Los cilindros de mayor diámetro reducen la pérdidas de calor, pues este debe recorrer un camino más largo para propagarse desde el centro de la cámara de combustión hasta las paredes refrigeradas del cilindro. El aumento de la relación de compresión mejora también el rendimiento térmico y que los gases se expanden en un volumen mayor dando lugar a un mejor enfriamiento de los mismos.

El rendimiento térmico puede determinarse también en función de la relación de compresión del motor, con la expresión:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{R^{\gamma-1}}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{9,5^{1,4-1}}$$

$$\eta_t = 0,59364$$

En el ciclo real, o ciclo práctico, el rendimiento térmico sobrepasa raramente el 0.3 para los motores a gasolina.

2.3.3.5. Rendimiento efectivo

Se denomina rendimiento efectivo a la relación entre la potencia efectiva desarrollada por el motor y la potencia teórica del motor.²²

La tabla 2.7 se muestra valores representativos del rendimiento efectivo de distintos tipos de motor de tecnología actual.

²² F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Tabla 2.7 Rendimiento efectivo máximo y consumos específicos (referidos a gasolina y gasoil) de distintos tipos de motor.

Fuente: F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Motor MEP		$\eta_e(\%)$	$g_{ef}(\text{g/kWh})$
4T	Motocicletas	32	260
	automóvil	35	240

En nuestro caso el rendimiento efectivo del vehículo es del 35 %.

2.3.3.6. Rendimiento mecánico

Es la relación existente entre el trabajo efectivo medido en el eje motor y el trabajo indicado:

$$\eta_m = \frac{W_e}{W_i}$$

En términos de potencia podemos expresar el rendimiento mecánico como la relación entre potencia efectiva y potencia indicada:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

En los motores actuales, el total de las pérdidas por fricción se evalúa en un 15% lo que implica un rendimiento mecánico del 85%.²³

2.3.3.7. Rendimiento total

En un motor, el rendimiento total es la relación existente entre trabajo efectivo W_e obtenido en el eje motor y el equivalente a la energía calorífica del combustible consumido W_Q ; por tanto, podemos decir que es igual al producto del rendimiento termodinámico por el mecánico:

$$\eta_T = \eta_t * \eta_m$$

²³ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

2.3.3.8. Relación entre consumo específico y rendimiento

Teniendo la potencia efectiva podemos calcular la cantidad de masa de combustible que está ingresando al motor.

$$g_{ef} = \frac{1}{\eta_e * PCI}$$

$$g_{ef} = \frac{1}{39,6 \frac{kJ}{s} * 42700 \frac{kJ}{kg}}$$

$$g_{ef} = 5.91 * 10^{-7} \frac{kJ}{kg * s}$$

2.3.4. PARÁMETROS INDICADOS Y EFECTIVOS

Los parámetros básicos que definen las prestaciones de los motores se pueden clasificar en indicados y efectivos. Los parámetros indicados hacen referencia a lo que sucede en el cilindro, y los efectivos están relacionados con lo que sucede en el eje motor las diferencias entre ambos son las pérdidas mecánicas que van a enunciar una vez conocidos los parámetros indicados.

2.3.4.1. Parámetros indicados

Se llama potencia indicada a la que realmente se desarrolla en el cilindro por el proceso de combustión. Una de las formas de determinarla es a través del valor de la presión media indicada, p_i , del ciclo como ya se ha visto, viene determinada por la altura del rectángulo de área equivalente a la del ciclo, y representa la relación existente entre el área del ciclo A y la cilindrada unitaria V_D .²⁴

²⁴ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Para la obtención de la potencia indicada se utilizó el banco dinamométrico el mismo dio un resultado de $P_i = 39,6 \text{ kW}$.

Presión media indicada

Se denomina presión media indicada p_i a aquella presión constante que durante la carrera de expansión producirá un trabajo igual al trabajo indicado.

Conociendo la potencia indicada se puede determinar la presión media indicada como se ve en la siguiente ecuación:²⁵

$$P_i = \frac{p_i * V_u * n}{120}$$

$$p_i = \frac{P_i * 120}{V_u * n}$$

$$p_i = \frac{39600 \frac{\text{kg} * \text{m}^2}{\text{s}^3} * 120}{0,0003980 \text{m}^3 * 4865 \text{rpm}}$$

$$p_i = \frac{39600 \frac{\text{kg} * \text{m}^2}{\text{s}^3} * 120}{0,0003980 \text{m}^3 * \frac{4865}{60}}$$

$$p_i = 1,47252 * 10^8 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}^2}$$

Trabajo indicado

El trabajo indicado coincide con el trabajo realizado, si se asume presión constante en la otra cara del pistón.

²⁵ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Como se ha indicado, es un trabajo positivo generado por los gases sobre el pistón gracias a que durante el proceso de combustión y expansión la presión en la cámara es superior a la de la compresión.

Para encontrar el trabajo indicado se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_i = p_i * V_D$$

$$W_i = 1,47252 * 10^8 \frac{kg}{m * s^2} * 397.60m^3$$

$$W_i = 58,54kN$$

2.3.4.2. Pérdidas mecánicas

El trabajo indicado no está disponible en el eje del motor sino que existe una serie de pérdidas de energía cuyo resultado es un trabajo efectivo (en el eje) menor que el indicado. Así, es necesario detraer el trabajo de bombeo, en valor absoluta. Además, el rozamiento de las piezas en movimiento del motor consumen un trabajo y finalmente, el motor tiene que arrastrar dispositivos, unos esenciales para su funcionamiento y otros, simples accesorios.²⁶

2.4. ANÁLISIS DEL CICLO TERMODINÁMICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Se entiende por ciclo termodinámico a la evolución sucesiva de procesos que experimenta un mismo fluido (sistema sin reacción química) desde un estado termodinámico inicial, regresando finalmente a dicho estado.

²⁶ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Si la evolución que sufre el fluido se considera idealizada se tendrá un ciclo termodinámico teórico. En función de la composición del fluido que evoluciona, se puede clasificar los ciclos como de aire cuando el fluido es un gas perfecto con composición constante y de aire-combustible en cuyo caso se suele considerar la composición variable y calores específicos de los componentes, en el caso más complejo.

Los ciclos termodinámicos teóricos de aire suponen la aproximación más simple al funcionamiento de los MCIA. Estos usan una evolución totalmente cíclica de una masa determinada que intercambia solamente calor (Q) y trabajo (W) con el exterior y por lo tanto son ciclos cerrados, incorporando una masa constante, denominada masa de control.

2.4.1. ANÁLISIS DEL CICLO TEÓRICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Si en un diagrama de ejes coordenados se representa el ciclo de funcionamiento teórico de los motores se obtiene un diagrama cerrado Fig.2.2, indicativo del trabajo máximo desarrollado en la transformación de la energía según el ciclo de Carnot, en función de sus características constructivas y sobre el cual se pueden estudiar las diferentes fases desarrolladas en el mismo.

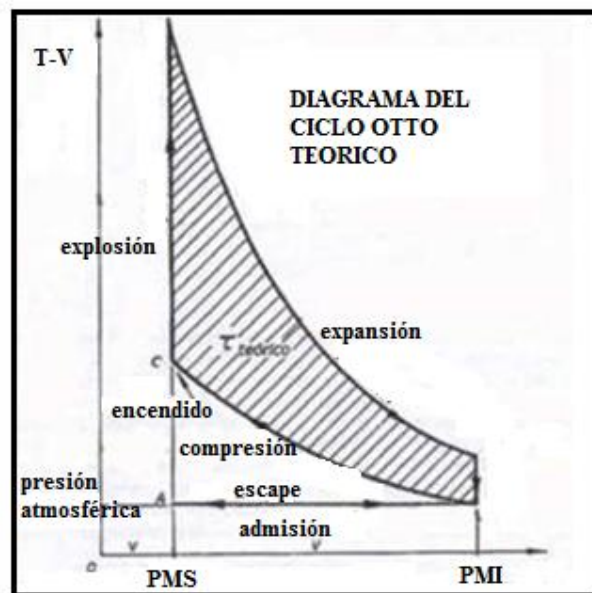


Fig. 2.3- Diagrama del ciclo de Otto Teórico

Fuente: <https://www.aero.upm.es/departamentos/economia/investiga/Informe%202007/46Motores.html>

2.4.1.1. Carrera de admisión.

El pistón se encuentra en el PMS y comienza a descender creando un vacío en el cilindro, cuyo espacio libre aumenta a medida que desciende el pistón, la mezcla de aire-gasolina proporcionada por el sistema de alimentación va llenando el cilindro a través del colector de admisión y de la válvula de admisión. Cuando el pistón llega al PMI se cierra la válvula. En este tiempo el cigüeñal ha girado media vuelta (180°). Si representamos en un eje de coordenadas, los valores de la presión interior del cilindro Fig. 2.3, alcanzada por los gases y el volumen que ocupa el pistón desde el PMS al PMI, vemos que en este tiempo teóricamente los gases han entrado a la presión atmosférica de 1.033 Kp/cm^2 , debido a la depresión creada por el pistón. El valor de la presión está representado por la recta A, de la Fig. 2.3 que se llama Isóbara.

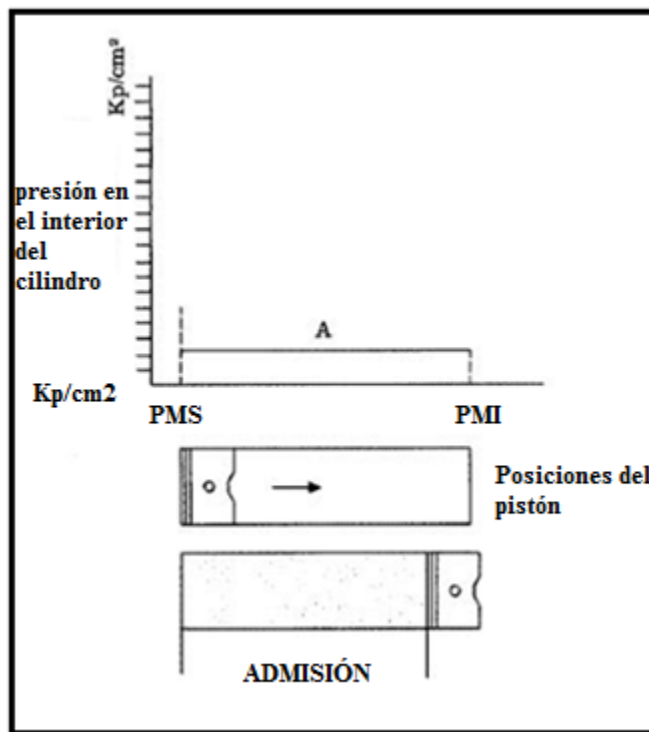


Fig. 2.4- Carrera de admisión teórico
Fuente: <http://www.identi.li/index.php?topic=51819>

2.4.1.2. Carrera de Compresión.

El pistón sube del PMI al PMS manteniéndose las válvulas cerradas. Los gases que llenaban el cilindro van ocupando un espacio cada vez más reducido, la presión interior de los mismos se eleva, así como su temperatura, hasta ocupar el espacio de la cámara de compresión en la culata, cuando el pistón llega al PMS.

La presión interior de los gases ha ido subiendo al mismo tiempo que el espacio ocupado ha ido en disminución, hasta quedar reducidos los gases en el interior de la cámara de compresión de la culata, a una presión de 11 Kp/cm^2 aproximadamente, durante este tiempo la muñequilla del cigüeñal efectúa otro giro de 180° dando un total de 360° .

Se ha producido una compresión adiabática curva de C de la Fig.2.4 La temperatura de los gases se ha elevado.

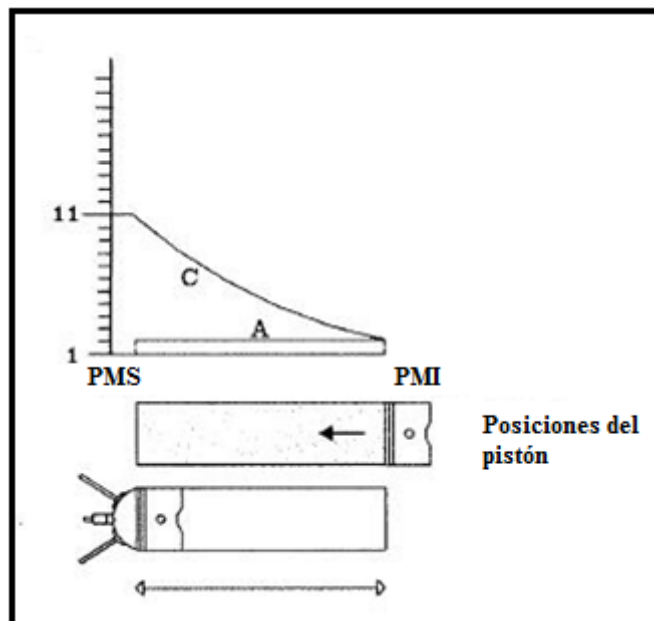


Fig. 2.5- Carrera de compresión

Fuente: <http://www.identi.li/index.php?topic=51819>

2.4.1.3. Carrera de Explosión y Expansión.

Cuando el pistón llega al final de la compresión, con el pistón en el PMS salta una chispa en la bujía que produce la explosión de la mezcla teóricamente instantánea, que empuja al pistón hacia abajo, transmitiéndose por la biela un fuerte giro al cigüeñal, que a su vez recibe el volante, almacenando una energía que después devolverá en los tiempos muertos de Escape, Admisión y Compresión. Las válvulas han permanecido cerradas Fig. 2.5.

La presión interior de los gases se ha elevado con la explosión a $50-60 \text{ Kp/cm}^2$ de forma instantánea, teóricamente, cuando el pistón se encuentra en el PMS. Se dice que este ciclo es a VOLUMEN CONSTANTE, porque se produce la explosión con el pistón en el PMS sin que se cree más presión cuando el pistón baja, es como un golpetazo que recibe el mismo.

El pistón desciende hasta el PMI produciéndose una expansión adiabática, las dos válvulas se mantienen cerradas y al final, la presión tiene un valor P, hasta que se abre la válvula de escape y se iguala con la atmosférica, el cigüeñal gira un total de 540° .

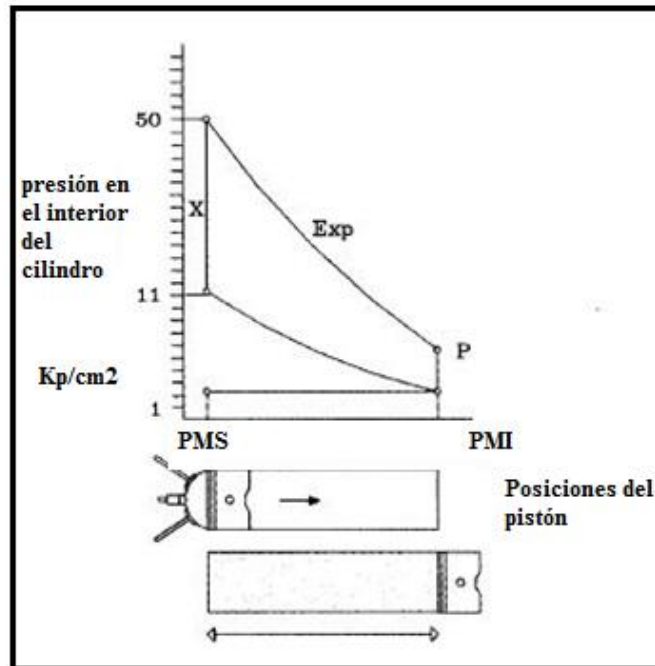


Fig. 2.6- Carrera explosión y expansión

Fuente: <http://www.identi.li/index.php?topic=51819>

2.4.1.4. Carrera de escape.

En este tiempo el pistón realiza su cuarta carrera o desplazamiento desde el punto muerto inferior PMI al punto muerto superior PMS y el cigüeñal gira otros 180° .

Durante este recorrido del pistón, la válvula de escape permanece abierta. A través de ella, los gases quemados procedentes de la combustión salen a la atmosfera, al principio en "estampida" por estar a elevada presión en el interior del cilindro, y el resto empujado por el pistón en su desplazamiento hacia el PMS. Cuando el pistón llega al PMS se supone que instantáneamente se cierra la válvula de escape y simultáneamente se abra la válvula de admisión.

La línea E, Isóbara, representa el tiempo de escape Fig. 2.5. El cigüeñal gira un total de 720° completado el ciclo.

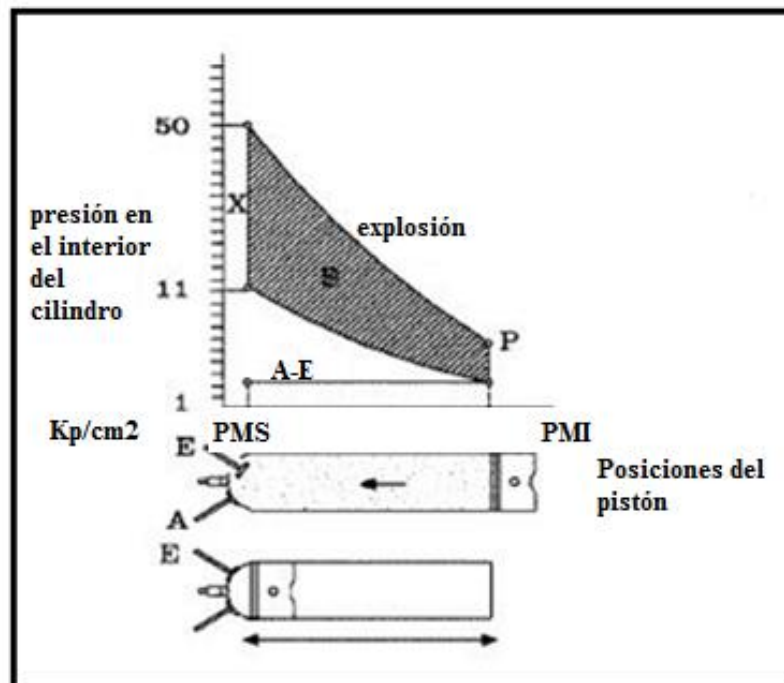


Fig. 2.7- Carrera de escape

Fuente: <http://www.identi.li/index.php?topic=51819>

2.4.2. ANÁLISIS DEL CICLO TERMODINÁMICO REAL DE UN MOTOR CHEVROLET STEEM G16.

En el análisis termodinámico de los ciclos reales de cuatro tiempos no es una tarea simple. Sin embargo, el análisis puede simplificarse de manera significativa si se toma en cuenta una serie de consideraciones y suposiciones como la del aire estándar, ya que el ciclo que resulta y que es parecido a las condiciones de operación reales es el ciclo Otto ideal.

2.4.2.1. Consideraciones básicas para el análisis de los ciclos de potencia

Los ciclos que se llevan a cabo en los dispositivos reales son difíciles de analizar debido a la presencia de efectos complicados, como la fricción y la falta de tiempo suficiente para establecer las condiciones de equilibrio durante el ciclo. Para que sea factible el estudio analítico de un ciclo es necesario mantener estas complejidades en un nivel manejable y utilizar algunas idealizaciones.

Las idealizaciones y simplificaciones utilizadas comúnmente para el análisis de los ciclos de potencia son:

1. El ciclo no implica ninguna fricción. Por lo tanto el fluido de trabajo no experimenta ninguna caída de presión cuando fluye en tuberías o dispositivos como intercambiadores de calor.
2. Todos los procesos de expansión y compresión ocurren en la forma de cuasiequilibrio.
3. Las tuberías que conectan a los diferentes componentes de un sistema están muy bien aisladas y la transferencia de calor a través de ellas es insignificante.

2.4.2.2. Suposiciones del aire estándar

Los ciclos de potencia de gases reales son bastante complejos. Para reducir el análisis a un nivel manejable, se utilizan las siguientes aproximaciones, conocidas comúnmente como suposiciones de aire estándar:

1. El fluido de trabajo es aire que circula de modo continuo en un circuito cerrado y siempre se comporta como un gas ideal.
2. Todos los procesos que integran el ciclo son internamente irreversibles.
3. El proceso de combustión es sustituido por un proceso de adición de calor desde una fuente externa.
4. El proceso de escape es sustituido por un proceso de rechazo de calor que regresa al fluido de trabajo a su estado inicial.

Para simplificar más aun el análisis, con frecuencia se emplea la suposición de que el aire tiene calores específicos constantes cuyos valores se determinan a temperatura ambiente (25°C o 77°F). Cuando se utiliza esta suposición, las de aire estándar son llamadas suposiciones de aire frío estándar.

Las suposiciones de aire estándar previamente establecidas permiten simplificar de modo considerable el análisis sin apartarse de manera significativa de los ciclos reales. Este modelo simplificado permite estudiar de manera cualitativa la influencia de los parámetros principales en el desempeño de las máquinas reales.

2.4.2.3. Descripción del ciclo termodinámico real de un motor Chevrolet Steem G16

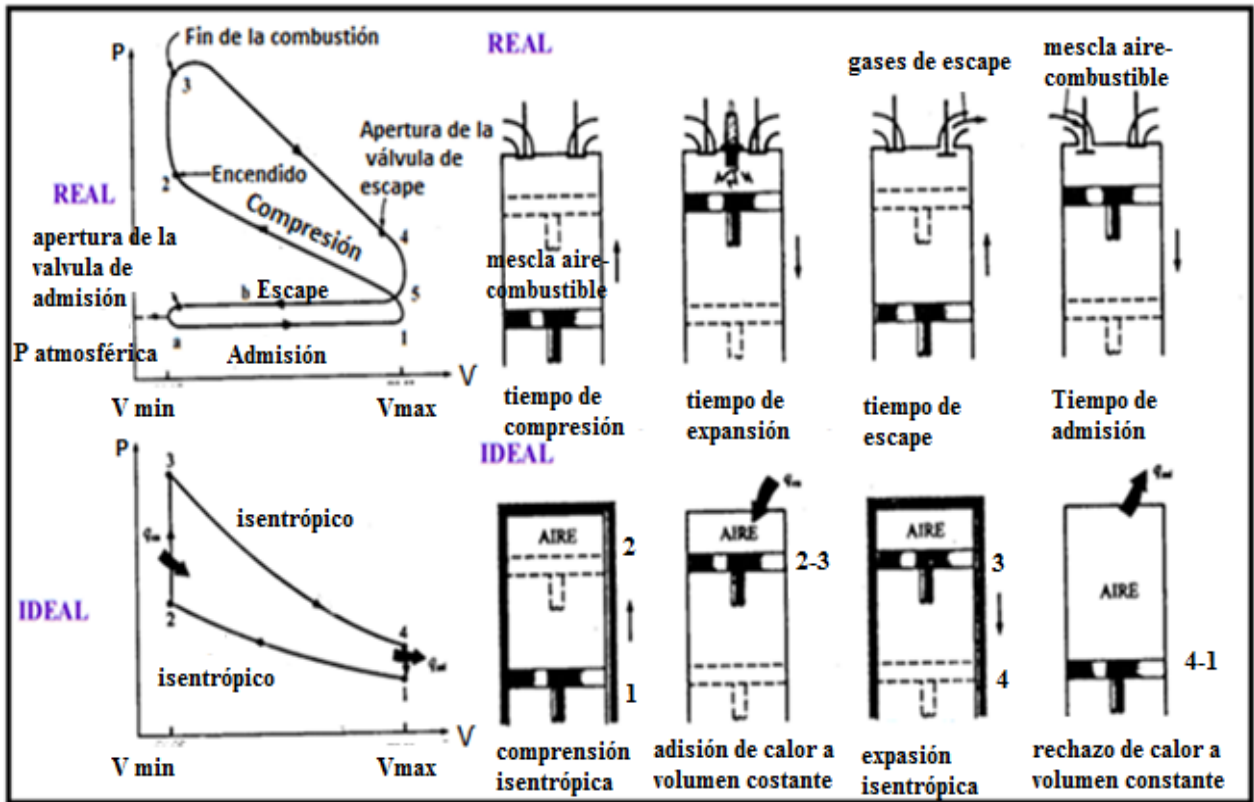


Fig. 2.8- Ciclo Termodinámico real de un motor
Fuente: <http://www.identi.li/index.php?topic=51819>

Proceso de compresión

Durante el proceso de compresión en un MEP, una vez finalizada la admisión, debido a la disminución del volumen del cilindro, se comprime un fluido formado por:²⁷

1. Aire que proviene del proceso de admisión.
2. Gases residuales procedentes del ciclo anterior, o bien de los gases recirculados (EGR).
3. Combustible inyectado en el colector en el caso de los motores de inyección convencional.

²⁷ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Una primera consideración a realizar, a la hora de plantear un ciclo teórico, es si el fluido que evoluciona debe ser tenido en cuenta en su composición real, o por el contrario se utiliza el aire como fluido de referencia en el estudio de la evolución. En el caso de la compresión suponer que se realiza con aire n representa una simplificación excesiva.

Durante el proceso de compresión las diferencias de temperatura y velocidad relativa entre fluido y pared no son muy elevadas, siendo además el proceso de una duración corta, por lo que el tiempo residencia es bajo. Se puede asumir, teniendo en cuenta estas circunstancias que en el proceso de compresión esencialmente no hay transmisión de calor, de ahí que la hipótesis de que el proceso sea adiabático es próxima a la realidad.

Durante la compresión real, la presión es prácticamente uniforme en el cilindro, por lo que las velocidades del fluido en el cilindro son moderadas. Ello conduce a la disipación de energía cinética en energía interna en el seno del fluido sea despreciable y con ello se puede considerar con mucha aproximación que el proceso de compresión es mecánicamente reversible.

En un motor alternativo en buen estado y en condiciones normales de funcionamiento, las fugas del fluido a través del cilindro son depreciables durante el proceso de compresión debido a la moderada presión existente en el cilindro y al sellado de los segmentos, por lo que es aceptable suponer que la masa que evoluciona permanece constante a lo largo del proceso de compresión.

En resumen, considerar que el proceso de compresión se realiza como un fluido con las propiedades del aire, siendo el proceso mecánicamente reversible y adiabático y suponiendo que la masa que evoluciona permanece constante, son hipótesis próximas a la realidad en la mayoría de condiciones de funcionamiento.²⁸

²⁸ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

Proceso de combustión

El proceso de combustión es el que necesita de hipótesis más restrictivas para poderlo idealizar y las que se van utilizar son:

- El fluido que evoluciona es un gas ideal con propiedades constantes correspondientes al aire.
- La generación de calor se sustituye por una liberación de calor a volumen constante y dada la invariabilidad de la composición es idéntica en sus efectos a un aporte externo de calor a volumen constante. Con esta hipótesis no se consideran las pérdidas denominada de tiempo y que pueden representar entre un 3-7%.
- Suponer que el aporte de calor se realiza a volumen constante implica asumir que el proceso es instantáneo, por lo que no se va a tener en cuenta, durante la combustión, ni la pérdida de calor a las paredes ni la fugas, que se incluirán en los procesos de compresión y expansión, si ha lugar.

Proceso de expansión

Durante el proceso de expansión, debido al aumento del volumen del cilindro, se expande un fluido cuya composición es sustancialmente productos quemados, aunque debido a la rapidez del proceso y la variación importante de la presión y temperatura se puede considerar que su composición evoluciona según las leyes de la cinética química. Hacer la hipótesis en este caso de que el fluido evoluciona es aire con propiedades constantes se aleja de la realidad.

Por las mismas razones que en el caso de la compresión, el proceso de expansión se puede considerar mecánicamente reversible.

La necesidad de refrigerar el motor para evitar su deterioro por temperatura excesiva, y las temperaturas elevadas del fluido que evoluciona, que acaba de sufrir un proceso de combustión, hacen que el proceso de expansión no sea adiabático. De hecho, el porcentaje

de calor cedido durante la expansión es del orden del 10 al 20 % del calor aportado y su valor depende del tamaño, grado de carga y régimen de giro.

Con el fin de conseguir una evacuación efectiva de los gases de escape, se hace necesario iniciar el escape antes de finalizar el proceso de expansión, lo que provoca una disminución de la presión en el cilindro al final de la expansión, que reduce el área útil del diagrama presión – volumen. A este fenómeno se lo conoce como pérdida de escape y puede representar entre el 1 y el 3% de calor aportado. ²⁹

Del análisis realizado del proceso de expansión se puede concluir que idealizar el proceso resulta más alejado de la realidad que la compresión. En cualquier caso, se podría suponer el proceso de expansión como:

- Evolución de un fluido con las propiedades constantes representativas del aire, lo que podría llevar a una desviación del orden del 5 al 10% como consecuencia de las diferencias en las propiedades del fluido.
- Proceso adiabático y mecánicamente reversible, lo que conduciría a unas desviaciones entre el 10 y 20% debido fundamentalmente a la transmisión de calor.
- Sin fugas ni pérdidas de escape, lo que podría equivaler a una desviación del 3 al 5%.

2.4.2.4. Análisis del ciclo termodinámico real de un motor Chevrolet Steem G16.

Para desarrollar el análisis termodinámico se determina las de condiciones a las que se va a realizar las pruebas, las mismas se detallan a continuación:

a. La temperatura con la que el aire ingresa al múltiple de admisión; para esto se usó un multímetro con el fin de medir la resistencia que posee el sensor IAT, lo cual sirve para

²⁹ F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011

obtener el valor óhmico que posee el sensor y así poder comparar con los datos que nos da el manual de servicio del vehículo los mismos se puede observar en la tabla 2.1.

Tabla 2.8 Temperatura en función de la resistencia del sensor IAT

Fuente: Manual de servicio de Suzuki chevrolet steem. En Sistema de inyección de combustible (págs. 6E1-99)

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL SENSOR IAT	
Temperatura (°C)	Resistencia (KΩ)
20	2.21-2.69
80	0.322

b. Otro condición necesaria para el análisis es el valor de la relación de compresión que posee el motor G16, el mismo se lo obtuvo a partir de los datos que no proporciona el fabricante.

$$r = 9.5:1$$

c. La Presión interna en el múltiple de admisión se lo obtiene a partir de los datos que proporciona el sensor MAP.

$$P_{interna} = 50,13 \text{ KPa}$$

d. La presión atmosférica es otra condición que se toma en cuenta, debido a que este va a variar dependiendo de la altura como se puede ver en la tabla 2.5.

e. La temperatura ambiente en la ciudad de Cuenca es de 18.8°C, esta temperatura es el promedio anual que se da en la ciudad de Cuenca.

Determinadas las condiciones a las que se está desarrollando las pruebas se empieza el análisis de cada proceso que se da en el ciclo Otto:

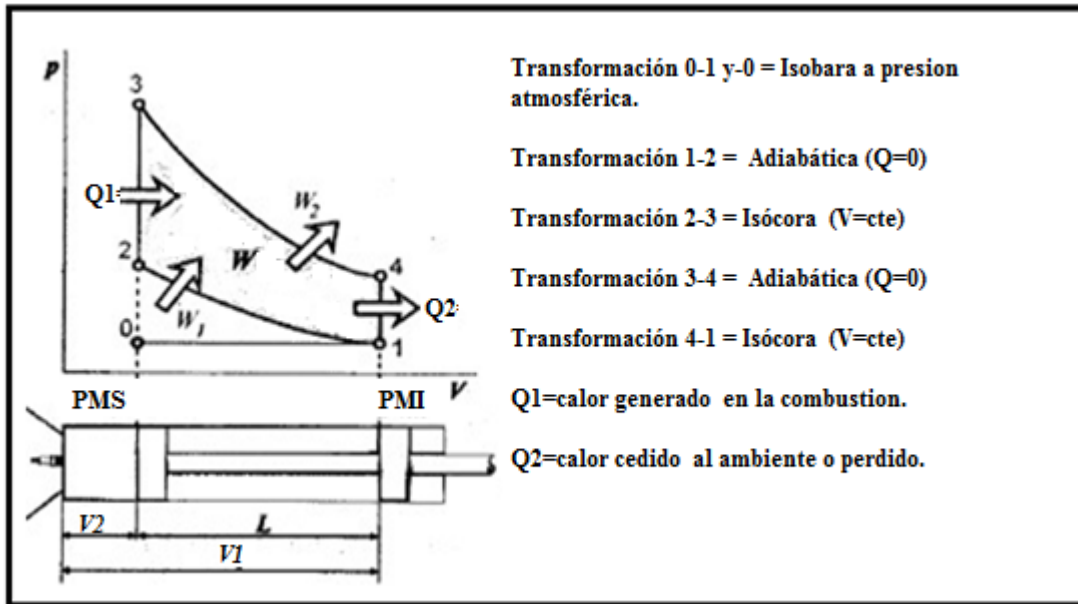


Fig. 2.9 Ciclo termodinámico teórico

Fuente: <http://jasf1961.wordpress.com/category/calculo-del-motor-engine-design>

Proceso de admisión (0-1)

$$T_{ambiente} = 18.8^{\circ}C$$

$$T_{aire\ aspirado} = 27^{\circ}C$$

$$P_{interna} = 50,13\ KPa$$

$$P_{atmosferica\ a\ 2600\ msnm} = 73,73\ KPa$$

Lo primero que se necesita es determinar la temperatura y la presión al final del proceso isotrópico de compresión (estado 2) Fig.2.6.

$$T_1 = 27 + 273$$

$$T_1 = 300^{\circ}K$$

Usando la tabla A-17 del libro de Yunus A. Cengel se obtiene los siguientes datos:

Tabla2.9 Propiedades del aire

Fuente: <http://www.sol-arq.com/index.php/fenomenos-atmosfericos/presion>

Tabla A-17 Propiedades del gas ideal del aire		
$T_1(^{\circ}\text{K})$	V_{r1}	u_1 (KJ/Kg)
300	621,2	214,07

Proceso de compresión isotrópica de un gas ideal (1-2)

$$\frac{V_{r2}}{V_{r1}} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{r}$$

$$V_{r2} = \frac{V_{r1}}{r} = \frac{621.2}{9.5}$$

$$V_{r2} = 65.38$$

Con el valor que se obtiene del volumen relativo V_{r2} se puede encontrar los valores de temperatura y energía utilizando la tabla A-17 del libro de Yunus A. Cengel.³⁰ Además se realizara una serie de interpolaciones para obtener los valores que se necesita debido a que no hay un valor específico para el volumen relativo que se halló.

Para la interpolación se utiliza la ecuación punto pendiente; posteriormente se reemplaza con los datos que nos proporciona la tabla A-17.

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$

Tabla2.10. Interpolación

Fuente: Autores

Tabla A-17 Propiedades del gas ideal del aire			
x_1	710	67.07	y_1
x	T_2	65.38	y
x_2	720	64.53	y_2

³⁰ B. Michael A y Y. Cengel, Termodinámica, Quinta ed., Mexico, 2006, pp. 271-272. Tablas A18-A26

$$T_2 = 716.65^\circ K$$

Se realiza una segunda interpolación para hallar el valor de la energía u_2 .

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$

Tabla2.11 Interpolación

Fuente: Autores

Tabla A-17 Propiedades del gas ideal del aire			
x_1	520.23	67.07	y_1
x	u_2	65.38	y
x_2	528.14	64.53	y_2

$$u_2 = 525.49 \text{ KJ/Kg}$$

Realizadas las interpolaciones obtenemos los siguientes datos de energía y temperatura.

Tabla2.12. Interpolación

Fuente: Autores

Tabla A-17 Propiedades del gas ideal del aire		
$T_2(^{\circ}K)$	V_{r2}	$u_2(KJ/Kg)$
716.65	65.38	525.49

Debido a que el calor específico no es constante en este proceso se utiliza la relación de gas ideal para hallar el valor de la presión el aire al final del proceso isotrópico de compresión.

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_1 V_1}{T_1}$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

Reemplazando la relación de compresión en la ecuación anterior tenemos que:

$$r = \frac{V_1}{V_2}$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right) (r)$$

$$P_2 = 50,13 \text{ KPa} \left(\frac{716.65^\circ\text{K}}{300^\circ\text{K}} \right) (9.5)$$

$$P_2 = 1136,61 \text{ KPa}$$

Proceso de adición de calor a volumen constante (2-3)

Para iniciar el cálculo se debe conocer la cantidad de calor que se transfieren a volumen constante hacia el aire durante el proceso de adición de calor.

$$m_a = \frac{50,13 \text{ kPa} * 0,000444 \text{ m}^3}{0,287 \frac{\text{kPa} * \text{m}^3}{\text{kg} * ^\circ\text{k}} * 303^\circ\text{k}}$$

$$m_a = 0,000256 \text{ kg}$$

$$m_a = 0,256 \text{ g}$$

Conociendo la masa de aire se puede calcular la cantidad de masa de combustible a partir de la siguiente relación:

$$m_f = \frac{m_a}{\text{AFR}}$$

$$m_f = \frac{0,256 \text{ g}}{14,7}$$

$$m_f = 0,017408 \text{ g}$$

Conocida la masa de combustible se puede calcular el gasto de combustible con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}\dot{m}_f &= \frac{0,017408 \text{ g} * \frac{\text{rpm}}{\text{min}}}{2} \\ \dot{m}_f &= \frac{0,017408 \text{ g} * 2930 \frac{\text{rpm}}{\text{min}}}{2} \\ \dot{m}_f &= 0,425049 \frac{\text{g}}{\text{s}} \\ \dot{m}_f &= 0,425049 \frac{\text{g}}{\text{s}} * 4 = 1,70 \frac{\text{g}}{\text{s}}\end{aligned}$$

La potencia térmica liberada se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{lib} &= \frac{\dot{m}_f * \text{PCI}}{\dot{m}_a} \\ \dot{Q}_{lib} &= \frac{0,0017 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 42700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{0,0249 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} \\ \dot{Q}_{lib} &= 2915,26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

CAPITULO III. IMPLEMENTACIÓN DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO DE CELDA SECA EN UN VEHÍCULO CHEVROLET STEEM 1.6L

3.1. Introducción

En el capítulo III se diseñara, construirá las piezas del generador de gas hidrógeno; con el fin de entender su funcionamiento y propiedades que tiene cada elemento. Además, se implementara en un vehículo de combustión interna para reducir la emanación de gases contaminantes hacia la atmosfera, protegiendo de esta manera el medio ambiente.

3.2. Cálculos de producción de gas

Para realizar los cálculos nos basamos en los procesos electroquímicos, los cuales son cuales son reacciones, donde la energía liberada por una reacción espontánea se transforma en electricidad, o la electricidad se utiliza para inducir una reacción química no espontánea (también llamado electrolisis).³¹

Para realizar el proceso de electrolisis es necesario que tener agua pero tiene un inconveniente que no tiene suficientes iones para conducir la corriente eléctrica, por tal motivo se usó el Hidróxido de Potasio que tiene una concentración de 0.1M, lo suficiente para mejorar la conducción de iones.

Además, para el cálculo de volumen de los gases generados tenemos los siguientes datos:

- El gas que se generara se va a calcular en el lapso de 1min o 60seg.
- La intensidad de corriente va estar en los 10A.
- Las condiciones de presión de la atmosfera en la ciudad de cuenca es 0,8860597089 atm (1atm) y a 25°C, condiciones a la que trabaja el generador.
- Se usara como electrolito agua desmineralizada junto con el hidróxido de sodio o de potasio (NaOH o KOH).

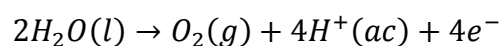
³¹ R. Chang y K. A. Goldsby, «Electroquímica,» de *Química*, Mexico, 2013, pp. 844-849.

- Además, se considerara que el electrolito contiene 5% de NaOH o KOH, esta proporción varía dependiendo de la necesidad.

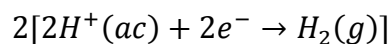
Análisis químico

Químicamente se puede establecer las reacciones en los electrodos mediante el siguiente proceso:

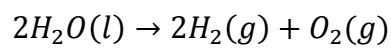
Ánodo (oxidación):



Cátodo (Reducción):

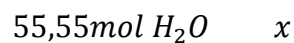
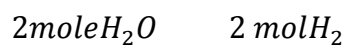


Reacción final:



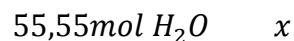
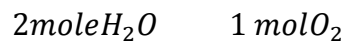
Calculo para utilizar 1 litro de agua en la reacción.

Para el hidrógeno:



$$x = 55,55mol H_2$$

Para el oxígeno:



$$x = 27,7mol O_2$$

Análisis matemático

Para calcular el número de coulomb de electricidad que pasan a través de la celda nos basamos en la siguiente fórmula:

$$Q = I * t$$

$$Q = 8 A * 60seg$$

$$Q = 480 A * seg * \frac{1C}{1 A * seg} = 480C$$

Convertimos el número de coulomb a número de moles de electrones.

$$480C * \frac{1mol e^-}{96500C} = 4,974 \times 10^{-3} mol e^-$$

Para calcular el número de moles de H_2 generado:

$$480C * \frac{55.55mol e^-}{96500C} * \frac{1mol H_2}{2mol e^-} = 0,1381mol H_2$$

El volumen de 0,003109 moles de H_2 esta dado por:

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$V_H = \frac{(0,17268mol) * (0,0821 \frac{L * atm}{K * mol})(273K)}{1atm}$$

$$V_H = 0,95L$$

Para calcular el número de moles de O_2 generado:

$$0,006218mol e^- * \frac{27,77mol O_2}{4mol e^-} = 0,0431mol O_2$$

El volumen de 0,001555 moles de O_2 esta dado por:

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$V_o = \frac{(0,0431 \text{ mol}) * (0.0821 \frac{L * atm}{K * mol})(273K)}{1atm}$$

$$V_o = 0.475L$$

3.3. Diseño

Este tipo de generador de hidrógeno de celda seca; está compuesta por dos tapas en sus extremos y entre ellas se encuentran chapas de acero inoxidable que hacen de electrodos separadas entre ellas por juntas de caucho.

Las tapas de los extremos son de acrílico o algún material aislante que no permite que pase el flujo de corriente.

Los electrodos, son de material conductor; el mejor sería el platino pero por su elevado costo en el mercado es difícil de obtener. El acero inoxidable (304) por su bajo coste y propiedades sería un buen candidato a usar.

Las juntas son también de material aislante, ya que su función es separar los electrodos para evitar que entren en contacto. El espesor dependerá de la distancia que se necesite entre electrodos, normalmente se usan entre 3 y 7mm.

En la Fig. 3.1 se detallan todas las partes porque está constituido el generador de hidrógeno de celda seca.

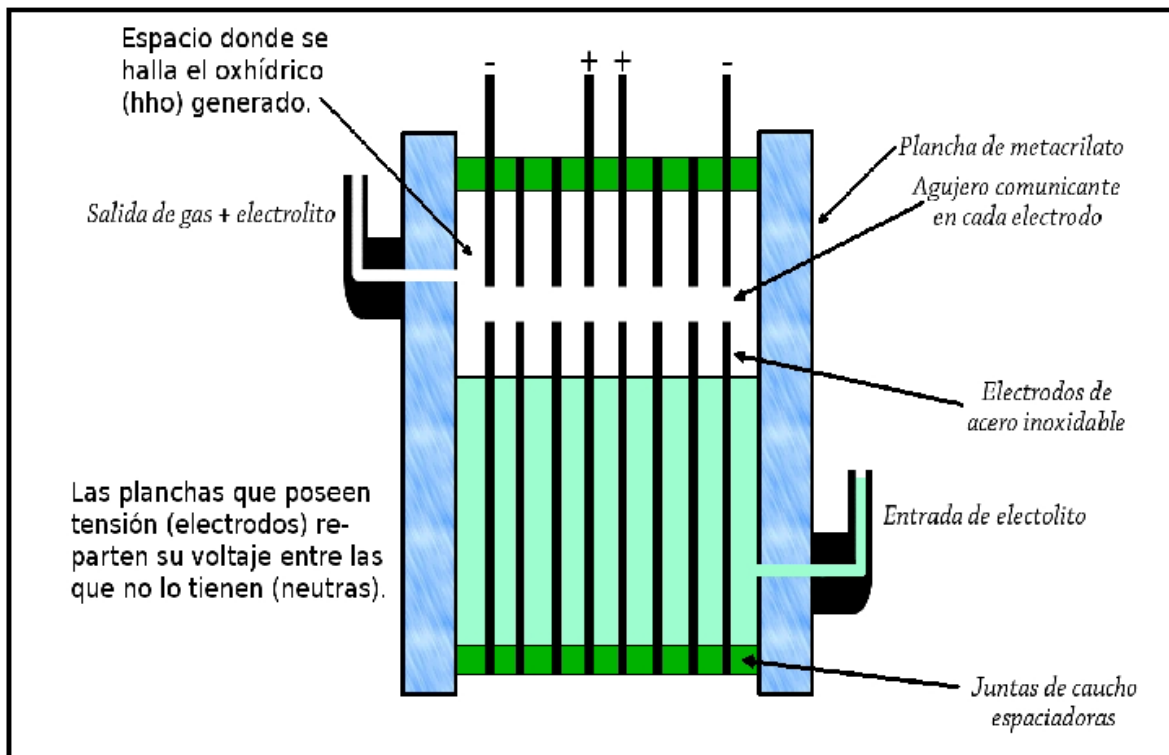


Fig. 3.1– Partes del generador de hidrógeno
Fuente: <http://hidrogenocomosolucion.wordpress.com/el-generador/>

3.3.1. Diseño del generador

Como ya se mencionó anteriormente, el generador está conformado por varias partes. Por tal motivo se diseñara cada una de las piezas, especificando su tamaño, material y forma. Para el diseño se utilizó un software llamado Solidword 2013.

Las primera piezas en diseñar son las dos placas que van en los extremos; se debe tener muy en cuenta que este material debe ser aislante y resistente; en nuestro caso se usó metacrilato. Además, debe ser transparente para poder tener visibilidad lo que sucede dentro del generador.

Son dos placas rectangulares de 260x160 con un espesor de 10mm. Además, cada una de las piezas de metacrilato tiene distintos agujeros como se muestra en la Fig.3.2.

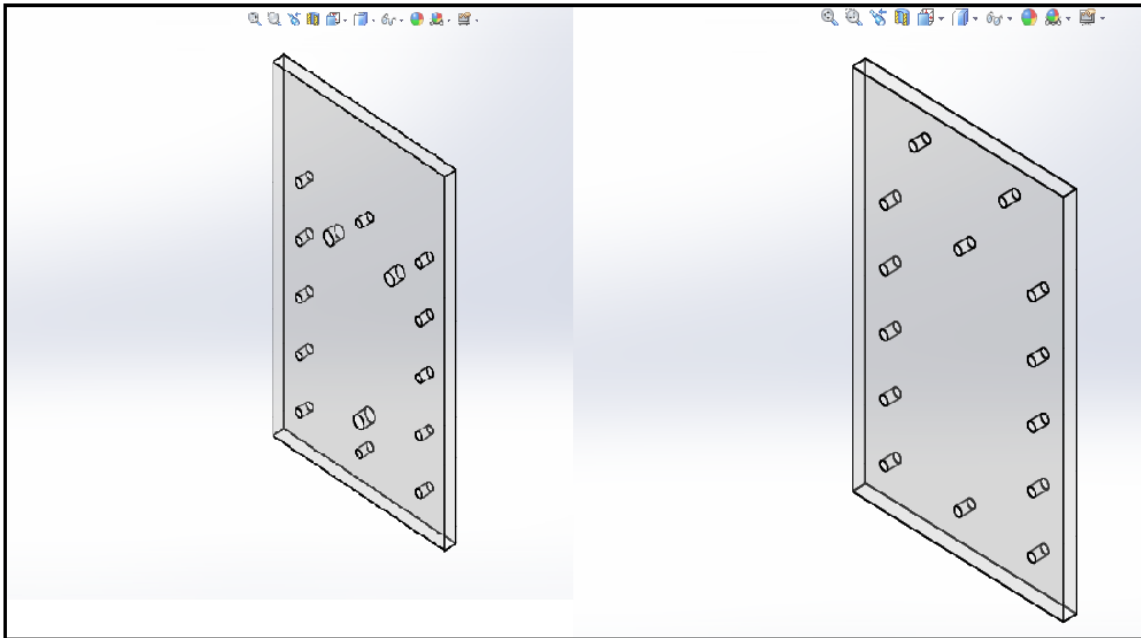
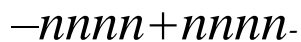


Fig. 3.2– Piezas de acrílico delantera y posterior
Fuente: Los autores

Los agujeros más pequeños de 6mm servirán para poder insertar los pernos, como también ayudaran a ajustar electrodos y juntas; consiguiendo así hermeticidad dentro de este conjunto de elementos. Además, la placa delantera tendrá agujeros de 9mm; la abertura 3 es la entrada de electrolito con la solución y las salidas de gas son 1 - 2; se construye dos agujeros para que fluya el gas con mayor facilidad.

Para poder trasportar el gas desde el generador hacia el burbujeador se utilizó acoples de 9.5mm en L que serán fijados en las placas de metacrilato.

Para ordenar las chapas de acero inoxidable se debe tener en cuenta la configuración; en nuestro caso se ordenó de la siguiente manera:



Con esta configuración se obtendrá más hidrógeno ya que en la electrolisis en el polo negativo se generará hidrógeno y en el positivo oxígeno; de esta manera se obtendrá más hidrógeno ya que en la configuración tiene dos polos negativos por tanto hay mayor producción de gas.

Los neutros sirven para reducir la diferencia de potencial que hay entre los diferentes electrodos. Si solo ponemos dos electrodos, uno positivo y uno negativo, la diferencia de potencial que hay entre ellos, es toda. En este caso, si trabajamos con 12 voltios, la diferencia de potencial que habría sería 12v. En cambio, si ponemos electrodos neutros entre el positivo y el negativo, la diferencia de potencial entre el positivo y el negativo será igual que antes, pero la diferencia de potencial que hay entre dos electrodos consecutivos es menor. Esta diferencia de potencial variara según el número de electrodos neutros. Cuantos más electrodos neutros, los saltos de tensión serán menores. En este caso, la tensión entre electrodos sería de 2,7 voltios, ya que si la tensión es de 12 V, entre el positivo y el negativo hay 4 neutros, hay 5 saltos. Si dividimos los 12 v entre 5, nos da la diferencia de potencial entre electrodos, que es de 2,7.

La siguiente pieza en construir son las chapas neutras de acero inoxidable de calidad 304, es una de las mejores opciones ya que su costo no es muy elevado y se lo puede encontrar con facilidad; por sus propiedades puramente inoxidable sería ideal el platino o el oro, pero por su costo elevado no se lo utilizo en este prototipo.

Son 8 chapas metálicas que tendrán un tamaño de 130*180 mm con un espesor de 1mm como muestra la Fig.3.3.

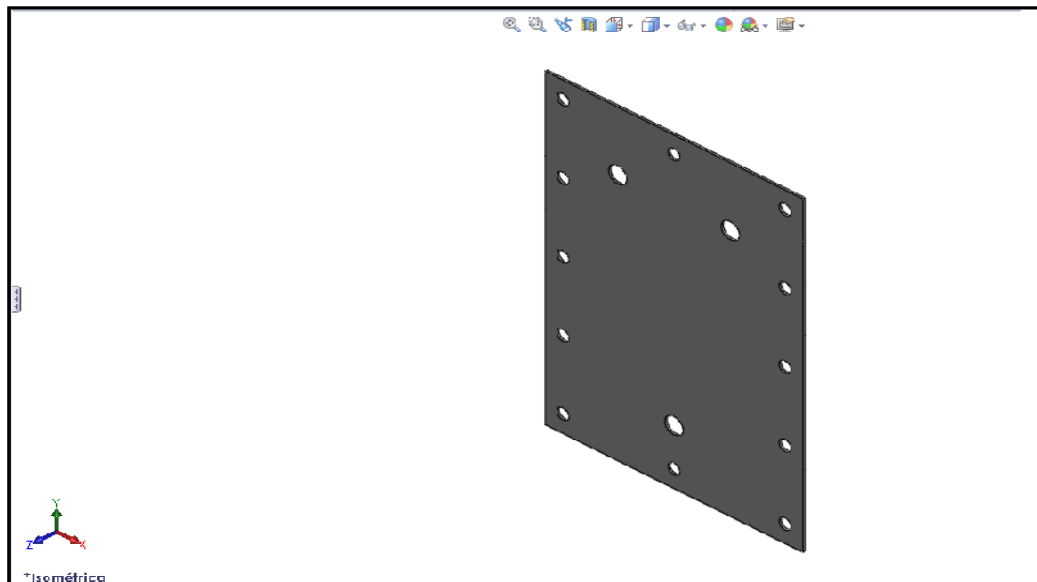


Fig. 3.3– Placa Neutra
Fuente: Los autores

Los electrodos que servirán como polos positivos y negativos también son de acero inoxidable de calidad 304 y su tamaño es de 130*230mm a un espesor de 1mm; además tienen una pequeña prolongación en la parte superior para poder introducir los pernos que conducirán la corriente al electrolito; en la Fig.3.4 se detallara su forma.

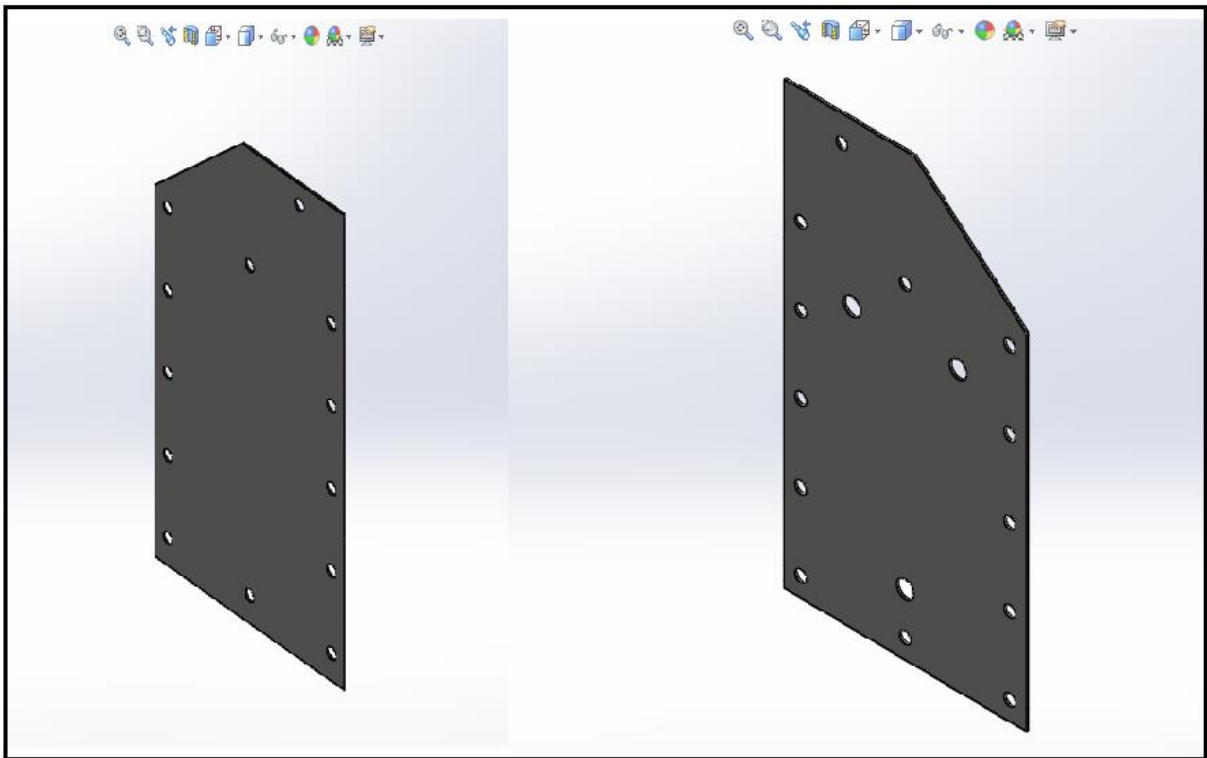


Fig. 3.4– Electrodo positivo y negativo
Fuente: Los autores

Otro de los componentes del generador son las juntas de material aislante, que permitirá que no se unan los electrodos y ocasionen un corto circuito; se usó láminas de caucho de 130*180mm a un espesor de 1.5mm, también tiene orificios donde se van acoplar los tornillos con las demás piezas como muestra la Fig.3.5.

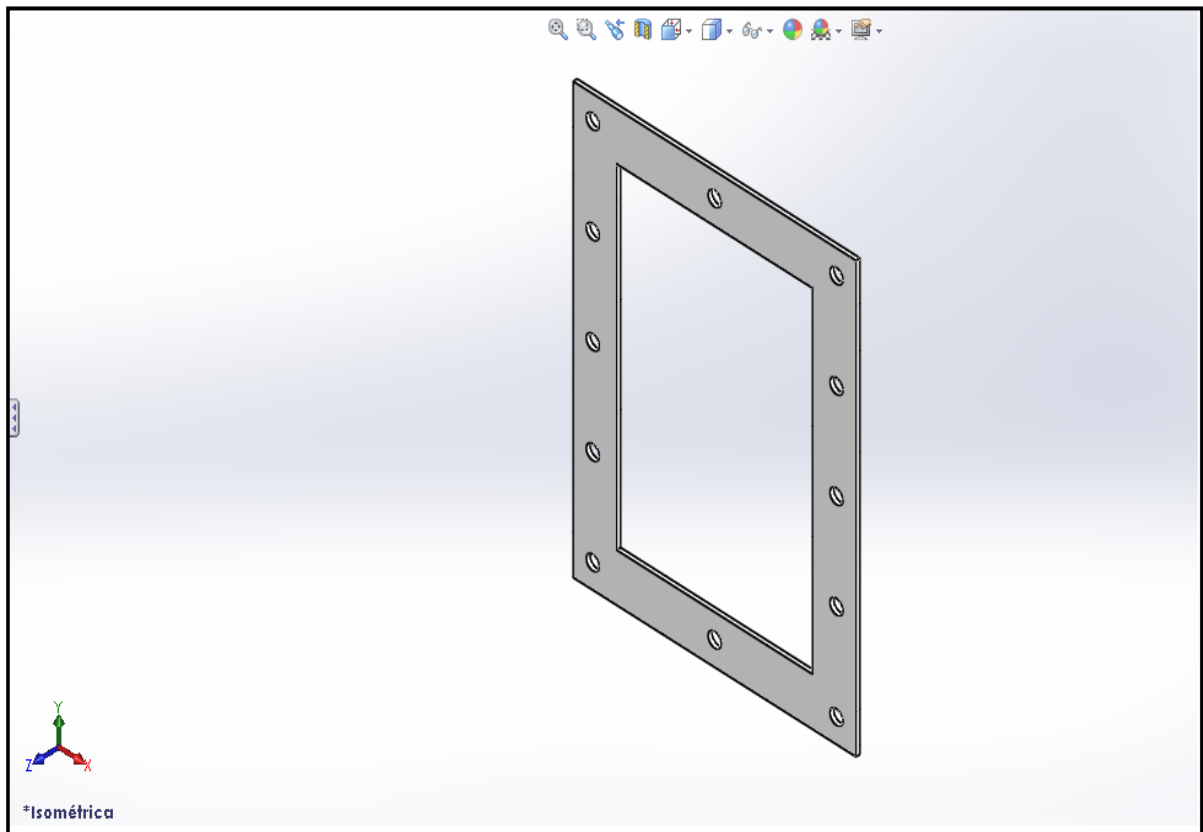


Fig. 3.5– Juntas de caucho
Fuente: Los autores

Los pernos, tuercas, arandelas y el tubo termocontraíble son las piezas finales que ayudaran al ensamble del generador; deben los tornillos ser aislados con el tubo termocontraíble para no estar en contacto con las demás piezas como se detalla en la Fig.3.6.

Además, son 12 tornillos métricos de 4 y 72mm de largo; las tuercas servirán para sujetar las piezas y ayudaran que el generador sea más estanco.

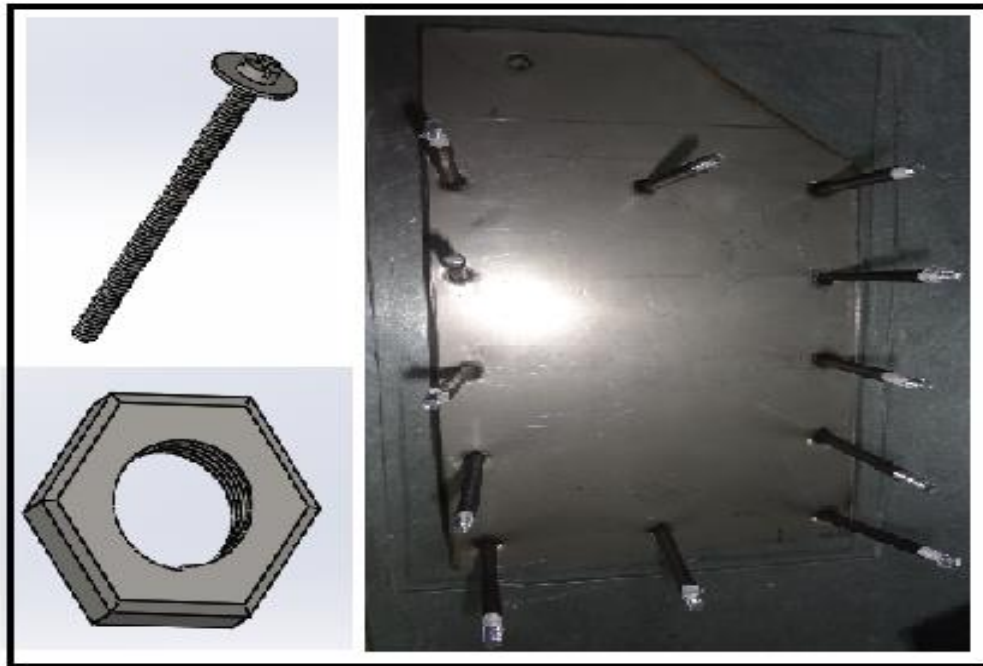


Fig. 3.6– Tornillos, arandelas y tuerca
Fuente: Los autores

Ya diseñados todos los elementos como muestra la Fig.3.7, se procede con el ensamble que ayudara a tener un mejor perspectiva para posteriormente construirla. En la Fig.3.8 se detalla el diseño completo del generador de gas hidrógeno.

En el Anexo 1 se encuentran detalladamente cada una de las partes por cual está compuesto el generador de hidrógeno.

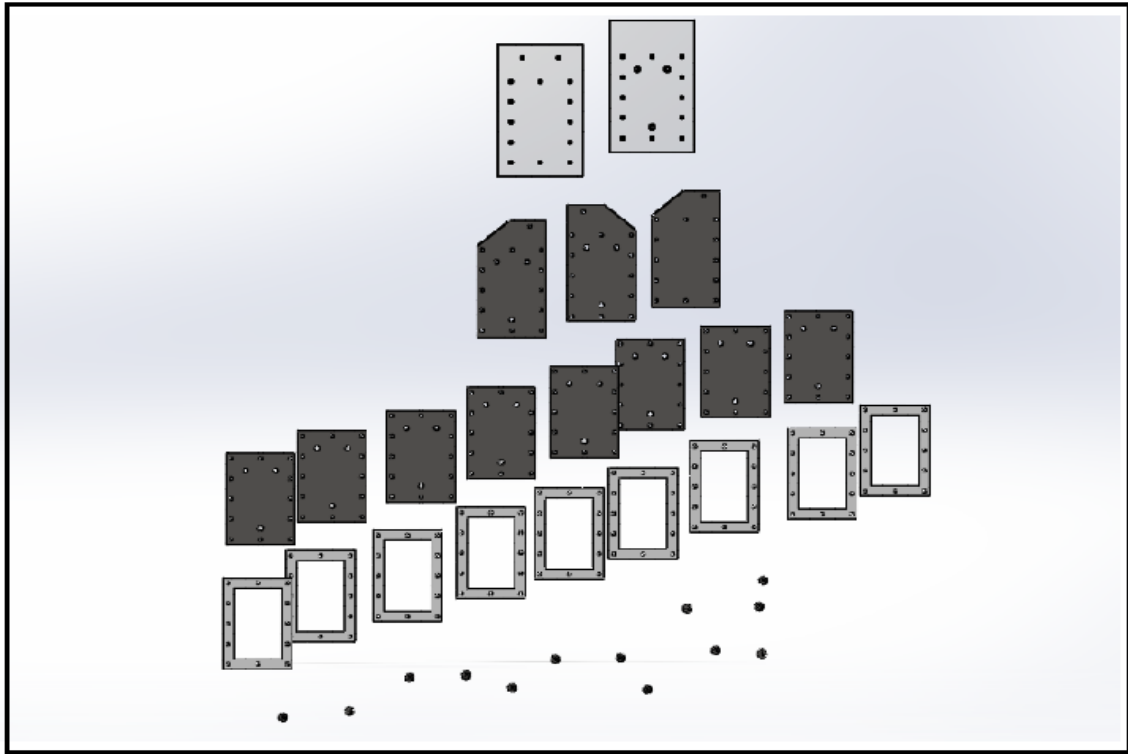


Fig. 3.7– Todas las piezas del generador
Fuente: Los autores

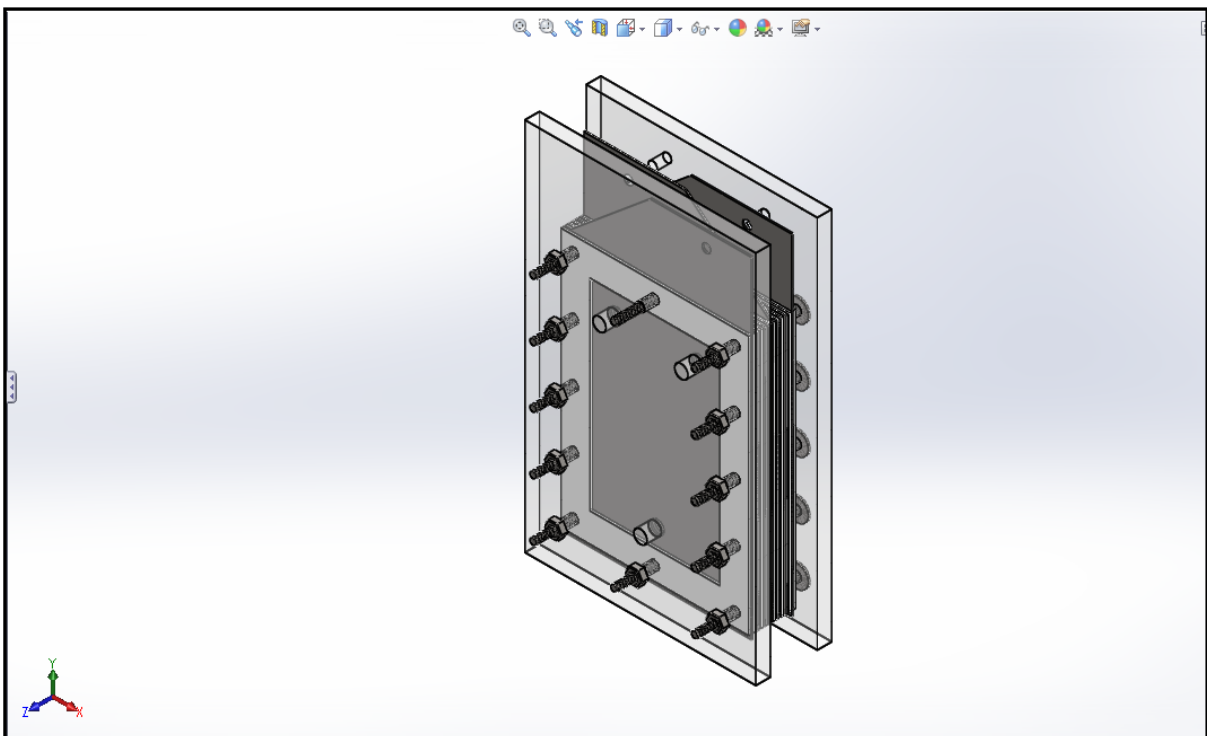









Fig. 3.8– Ensamble final
Fuente: Los autores





3.3.2. Elementos del generador

Tabla 3.1. Elementos del generador

Fuente: Autores

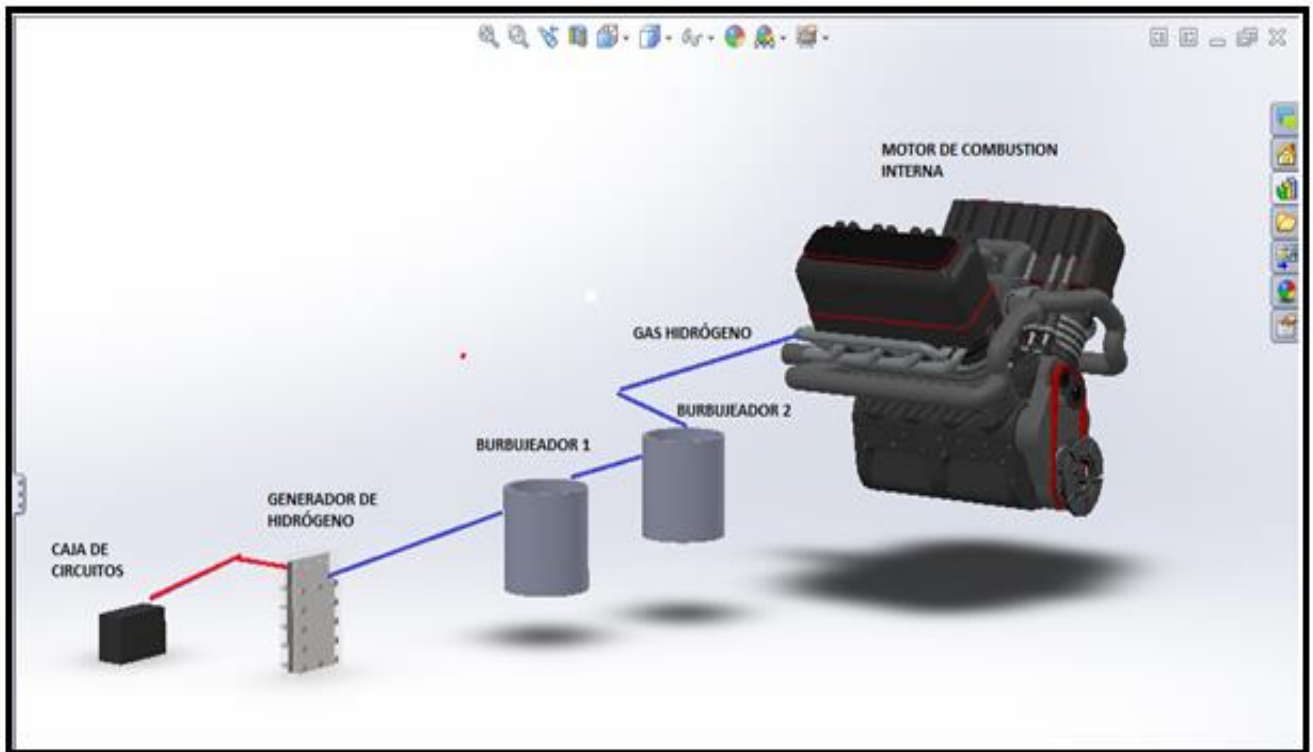
ELEMENTOS PARA CONSTRUIR UN GENERADOR DE HIDRÓGENO			
Núm.	Detalle	Cantidad	Fotografía
1	Placas de acrílico	2	
2	Electrodo positivo	1	
3	Electrodo negativo	2	

4	Electrodos neutros	8	
5	Juntas de caucho	12	
6	Pernos	14	
7	Arandelas	14	

8	Tuercas	16	
9	Acoples	3	
10	Cinta de Teflón	1	
11	Tubo termocontraible de 6 mm	longitud 1m	

3.3.3. Bosquejo del Circuito de Gas

En el siguiente bosquejo se aprecia el circuito de gas que inicia desde el generador línea azul y se transporta por los dos burbujeadores, para posteriormente circular por el múltiple de admisión y finalmente hacia las cámaras de combustión.



*Fig. 3.9– Bosquejo del circuito de gas
Fuente: Los autores*

3.3.3.1. Componentes del circuito de gas

Para las conexiones del circuito de gas de necesito los siguientes elementos:

- 7 acoples en L de 9.5mm para unir por medio de las mangueras al generador con el burbujeador.
- 3m de manguera de 8mm para todas las conexiones.
- 1 deposito que hará de burbujeador y alimentador de electrolito.
- 1 deposito que solo hará de burbujeador.

3.3.4. Circuito eléctrico

El siguiente diagrama elaborado en Multisim 11.0 como se muestra en la Fig.3.10; posee dos componentes muy importantes como son el circuito integrado 555 y el transistor mosfet IRFZ44N, el primero está encargado de generar la señal de control y el segundo de

aplicarla a nuestro generador de gas con los niveles de corriente exigidos; este circuito esta alimentado por los 12VDC de la batería.

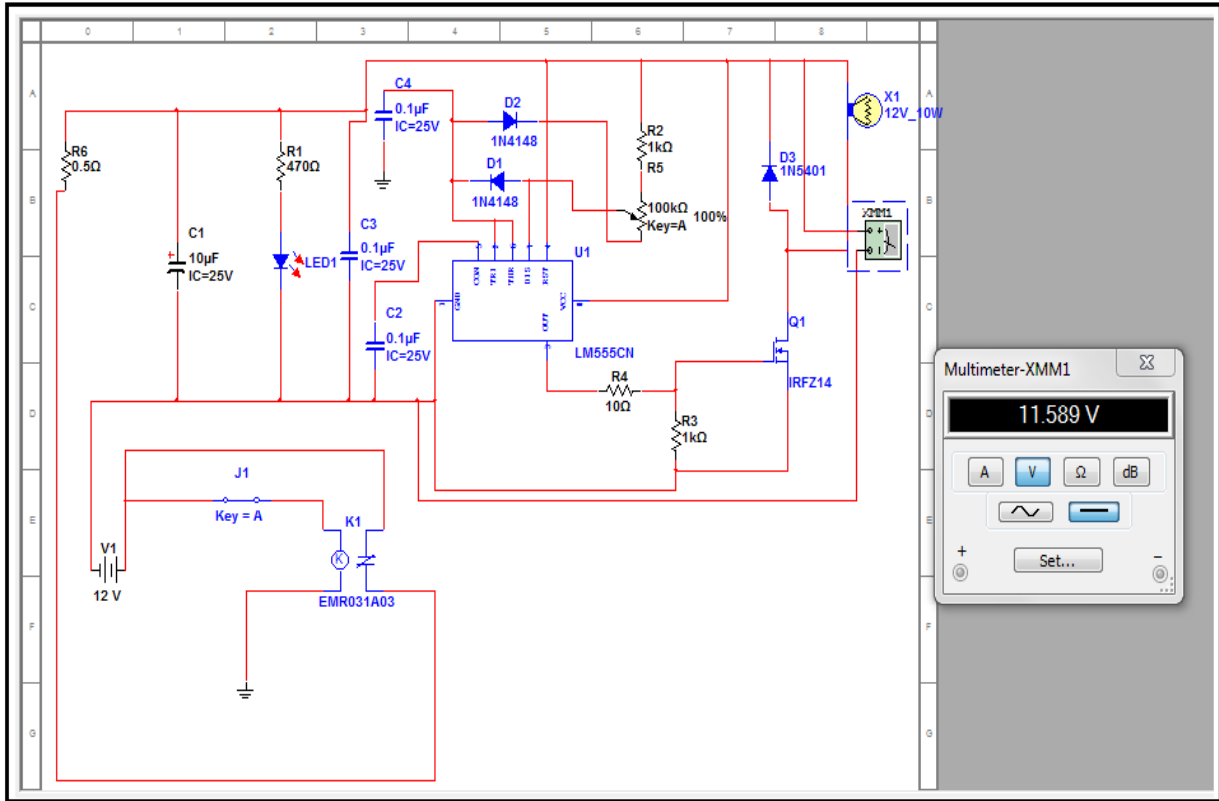


Fig. 3.10– Circuito eléctrico
Fuente: Los autores

3.3.4.1. Elementos que se usaron para la construcción

Tabla 3.2. Materiales del circuito eléctrico.
Fuente: Autores

Lista de materiales para construcción		
Núm.	Material	Especificaciones
1	Resistencia	470ohm a 1/4w
2	Resistencia	1k a 1/4w
1	Potenciómetro	100k
3	Condensadores cerámicos	0.1uF/25v
1	Condensador electrolítico	10uF/25v
1	Circuito integrado	555
1	Base integrado de 8 pines	-

1	Led rojo de	5mm
2	Diodos	1N4148
1	Diodo	3ª 1N5401
1	Transistor mosfet	IRFZ22
1	Disipador	To-220
1	swich	-
1	Caja para circuito	-
1	Relay	5 terminales
1	Amperímetro	10A

En la Fig.3.11 se detalla el circuito final para su posterior implementación en el vehículo Chevrolet Steem 1.6.L.



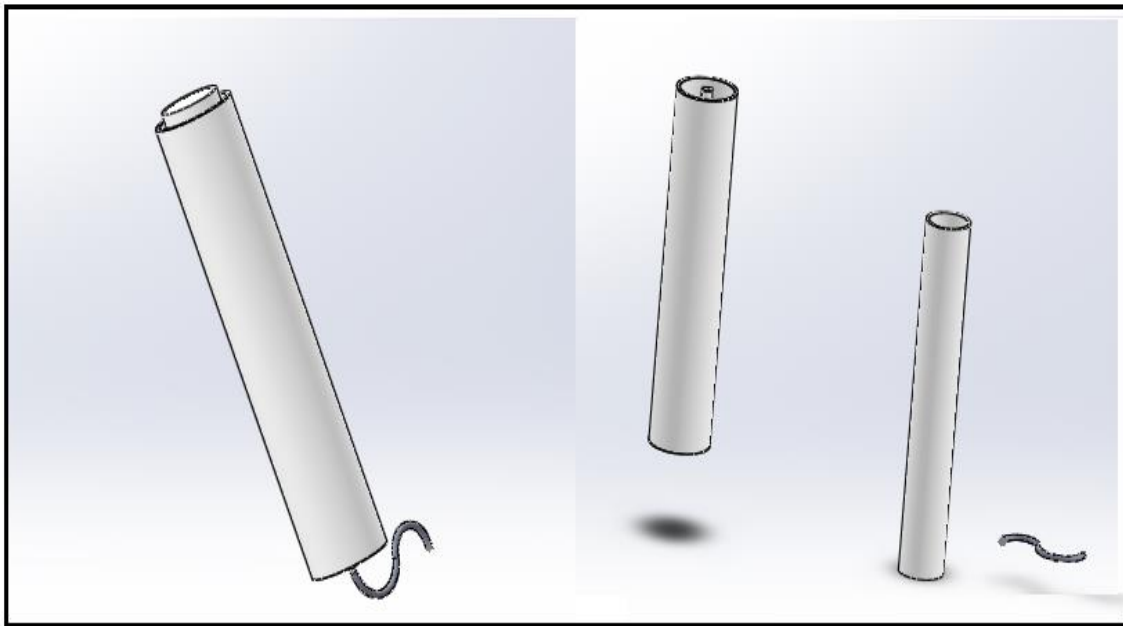
*Fig. 3.11– Circuito Final
Fuente: Los autores*

3.3.5. Diseño del caudalímetro

El caudalímetro es una manera de medir el gas producido por el generador en un tiempo determinado y consta de las siguientes medidas:

- Tubos PVC el primero con una medida de 111mm de diámetro a una altura de 560mm.
- El segundo consta de 810mm de diámetro a 560mm de altura.
- Y un tercero que sirve como conducto de gas de 20mm a una altura de 555mm.

En la Fig.3.12 se detalla un bosquejo del caudalímetro.



*Fig. 3.12– Bosquejo del caudalímetro
Fuente: Los autores*

En la Fig.3.13 se muestra la construcción del caudalímetro que permitirá medir el volumen de gas generado, para hermetizar el sistema se coloca agua en el tubo de mayor diámetro con el fin de no tener pérdidas de gas; siendo esto muy importante para tener la medida lo más exacta posible.



Fig. 3.13– Construcción del caudalímetro
Fuente: Los autores

3.3.6. Construcción del Generador

Ya realizado el prototipo en Solidword procedemos a su construcción, siempre teniendo muy en cuenta el diseño realizado en el software. Además, se detallara con imágenes que se tomaron en el transcurso de la construcción de este prototipo.

Se corta las planchas de metacrilato a la medida de 206 * 160 mm y mediante un talado de banco se realizan los agujeros como muestra la Fig.3.14.

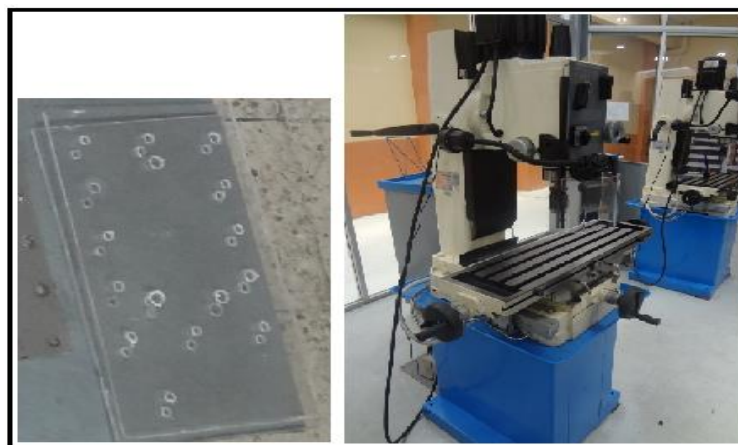


Fig. 3.14– Agujero de metacrilato
Fuente: Los autores

Las chapas de acero inoxidable 304 que funcionan como electrodos, se cortan con una amoladora utilizando un disco de corte; también se utilizó el taladro de banco para realizar los agujeros para los pernos como detalla en la Fig.3.15.



Fig. 3.15– Chapas de acero inoxidable
Fuente: Los autores

Las juntas están hechas a partir de una plancha de goma, se trazó en el caucho las figuras para posteriormente ser recortadas como se detallan en las Fig.3.16 y Fig.3.17. Además, se cortaran los agujeros en el talado de banco.

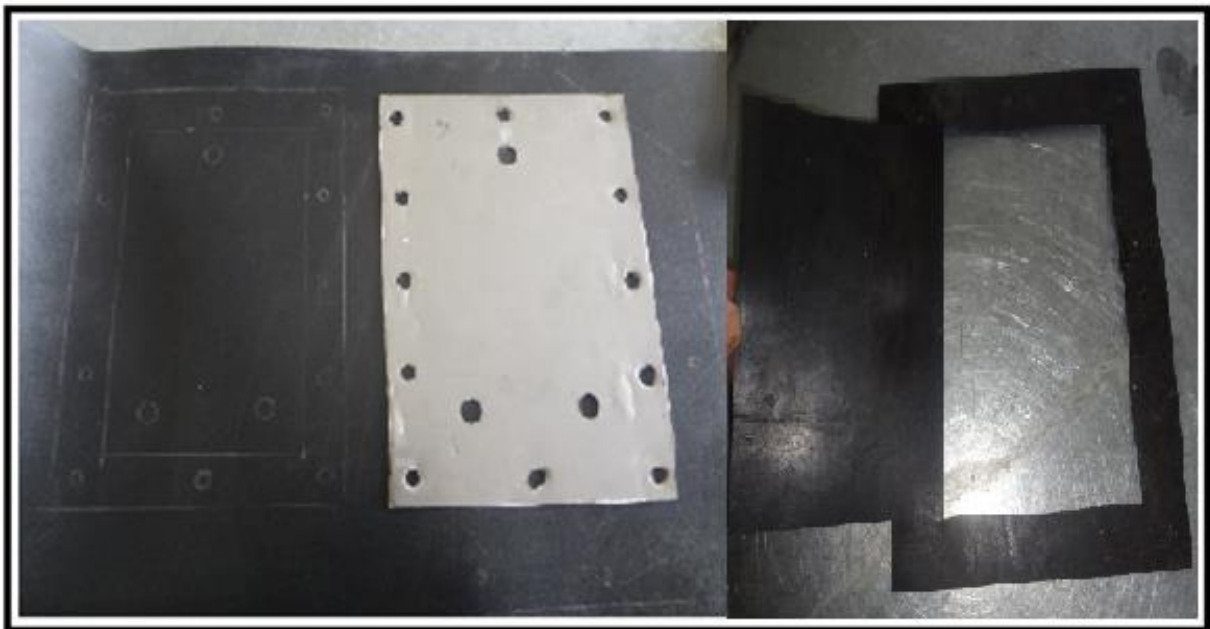


Fig. 3.16– Planchas de goma
Fuente: Los autores

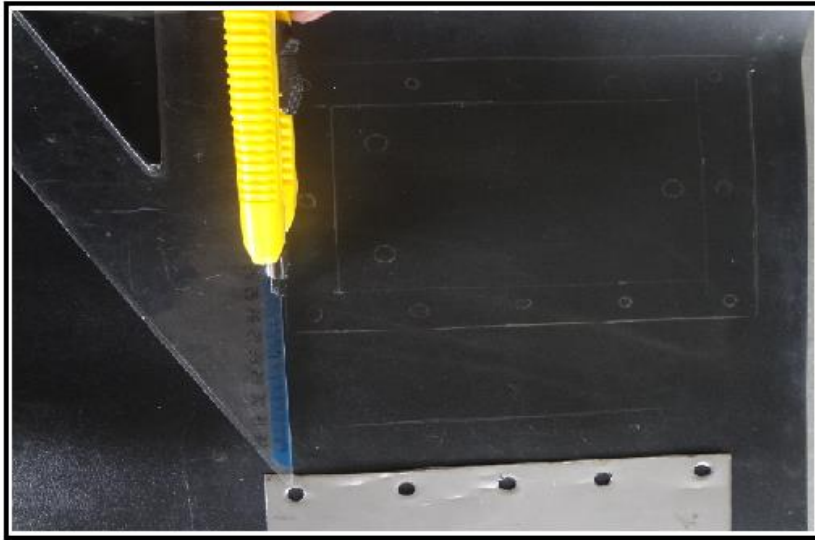


Fig. 3.17– Corte de la planchas de goma
Fuente: Los autores

En la siguiente Fig.3.18 y Fig.3.19 se muestra todas las piezas para poder ensamblarlas y obtener nuestro generador.

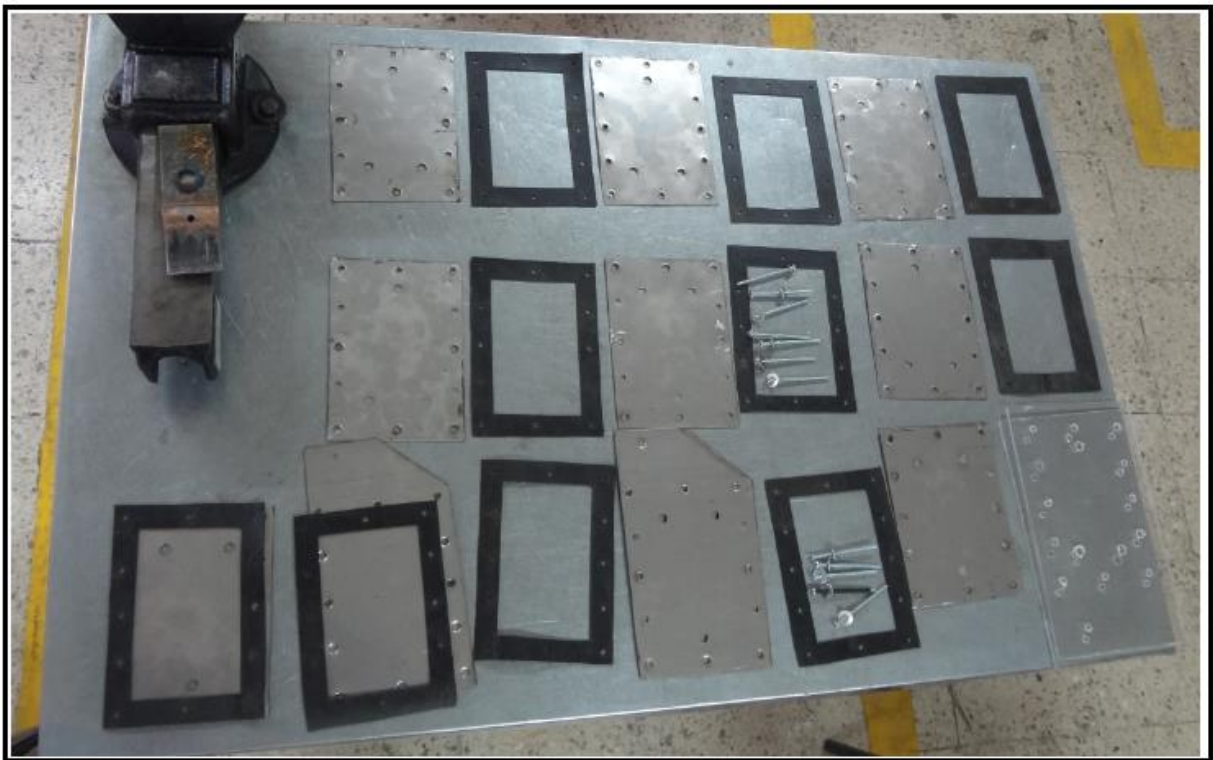


Fig. 3.18– Todas las piezas para el ensamble
Fuente: Los autores



Fig. 3.19– Piezas para el ensamble
Fuente: Los autores

El primer paso para el ensamble es hermetizar todos los pernos para poder incrustarlos en las placas de metacrilato y de esta manera poder insertar la primera junta de caucho como muestra la Fig.3.20.

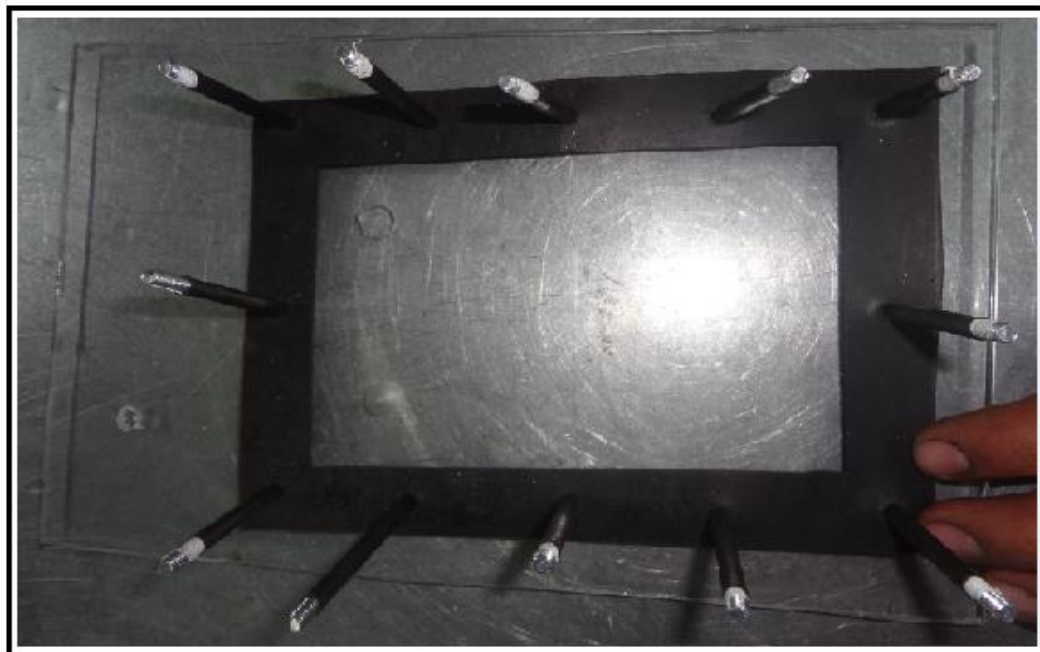


Fig. 3.20– Ensamble de piezas
Fuente: Los autores

La siguiente pieza en acoplarse es el electrodo negativo como se especifica en la Fig.3.21; además, se debe seguir cuidadosamente la configuración que mencionamos anteriormente.



Fig. 3.21– Piezas para el ensamble
Fuente: Los autores

Seguidamente se insertara la junta de caucho como también el electrodo neutro como se detalla en la Fig.3.22.



Fig. 3.22– Piezas para el ensamble
Fuente: Los autores

Las demás piezas se acoplan de igual manera; para no equivocarse se procede a revisar la configuración (-nnnn+nnn-) y el ensamble final será igual al que se observa en la Fig.3.23.



Fig. 3.23– Ensamble Final
Fuente: Los autores

Para verificar si el ensamble final si esta correcto verificamos con un multímetro en posición de continuidad como muestra la Fig.3.24 cada una de los electrodos con cada uno de los tornillos. Si en el caso hay continuidad en alguno de ellos hay que desmontar y tratar de aislarlos.



Fig. 3.24– Verificación que no haya continuidad en los electrodos y tornillos
Fuente: Los autores

3.4. Implementación y montaje del generador de hidrógeno de celda seca

La implementación de este dispositivo generador de hidrógeno se la realizo en el taller de Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca; donde se facilitó las herramientas y equipos necesarios para su correcta instalación.

Herramientas necesarias para la instalación.

- Pinzas
- Soldadora eléctrica
- Guantes
- Mandil
- Gafas
- Taladro
- Multímetro

3.4.1. Instalación

Para una correcta instalación se debe tener en cuenta las normas de seguridad del taller para poder prevenir algún percance o accidente, como también debemos tener a disposición todas las herramientas necesarias para tener un óptimo desempeño.

3.4.1.1. Fijación de los componentes principales

Generador.- Para su correcta instalación se construye una jaula donde será instalada la celda y que a continuación detallaremos su construcción.

Materiales

- Soldadora Lincoln AC-225 AEC WELDER
- Angulo de metal
- Platina de metal
- Pernos



Fig. 3.25– Materiales para construcción de jaula
Fuente: Los autores

Pasos para la construcción de la jaula

- i. Una vez obtenidos todos los materiales a utilizar procedimos a cortar las platinas y el ángulo a una medida de 180* 180mm.
- ii. Luego, se ensambla las piezas para posteriormente soldarlas con suelda 6011.
- iii. Finalmente se colocó los pernos y una platina que fijaran al generador.



Fig. 3.26– Construcción de jaula
Fuente: Los autores

Procedimiento para la instalación del generador

- i. Instalar la jaula con celda en un lugar de fácil acceso y a menor altura que el burbujeador; además, debe estar ubicada en un sitio donde exista mayor ventilación, ya que el generador después de un cierto periodo de tiempo emite calor debido a su funcionamiento, como se observa en la Fig. 3.27.



Fig. 3.27– Espacio para montar el generador y el burbujeador
Fuente: Los autores

- ii. Se procedió a realizar 3 agujeros en el chasis para fijar la jaula con la ayuda de los tornillos tripe de pato.



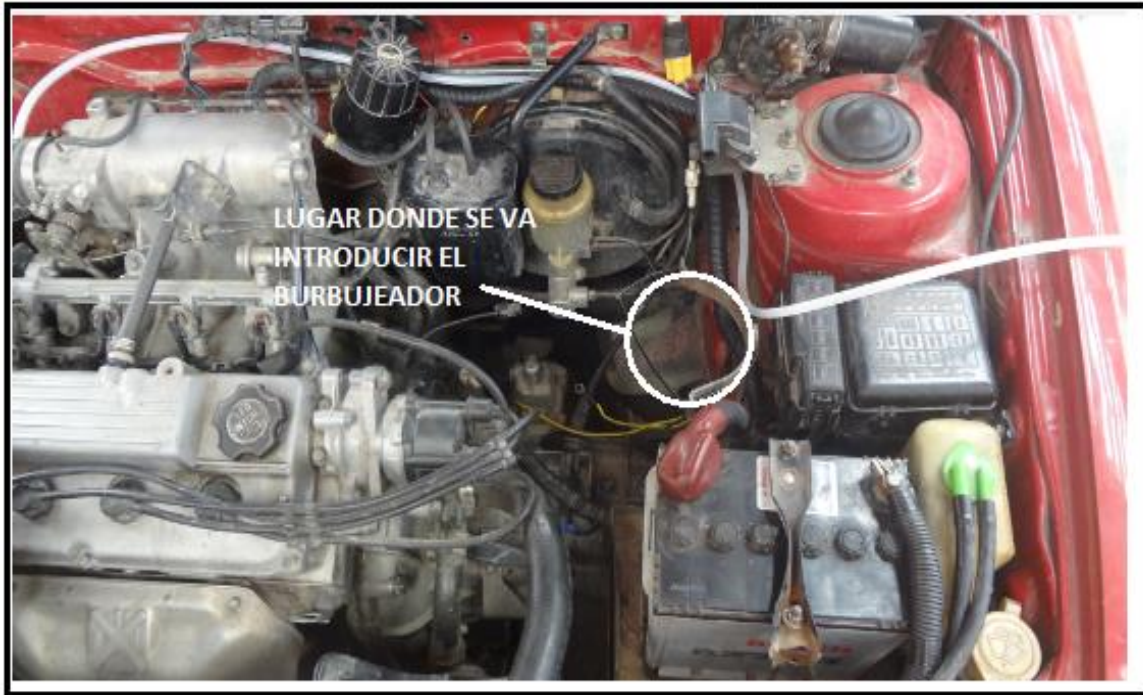
Fig.3.28– Fijación de la jaula en el chasis
Fuente: Los autores

Burbujeador.- Es un recipiente cilíndrico con varios agujeros que permiten la entrada de gas como la salida del mismo; además cumple también la función de abastecer de agua al generador.



Fig.3.29– Burbujeador
Fuente: Los autores

- Se buscó un lugar adecuado para su implementación en el vehículo en nuestro en la Fig.3.30 se muestra la zona donde se introdujo el burbujeador.



*Fig.3.30– Zona donde se introdujo el burbujeador
Fuente: Los autores*

Una vez instalado el generador con los depósitos se procede a acoplar todas las cañerías que van desde el burbujeador hasta el generador proceso de carga de electrolito y desde el generador hacia el burbujeador que se transporta el gas y posteriormente a la entrada hacia el múltiple de admisión; en la Fig.3.31 se detalla con precisión.



*Fig.3.31– Zona donde se introdujo el burbujeador
Fuente: Los autores*

Conexiones eléctricas.

Ya instalados todos los elementos se procederá con la instalación eléctrica mediante los siguientes pasos:

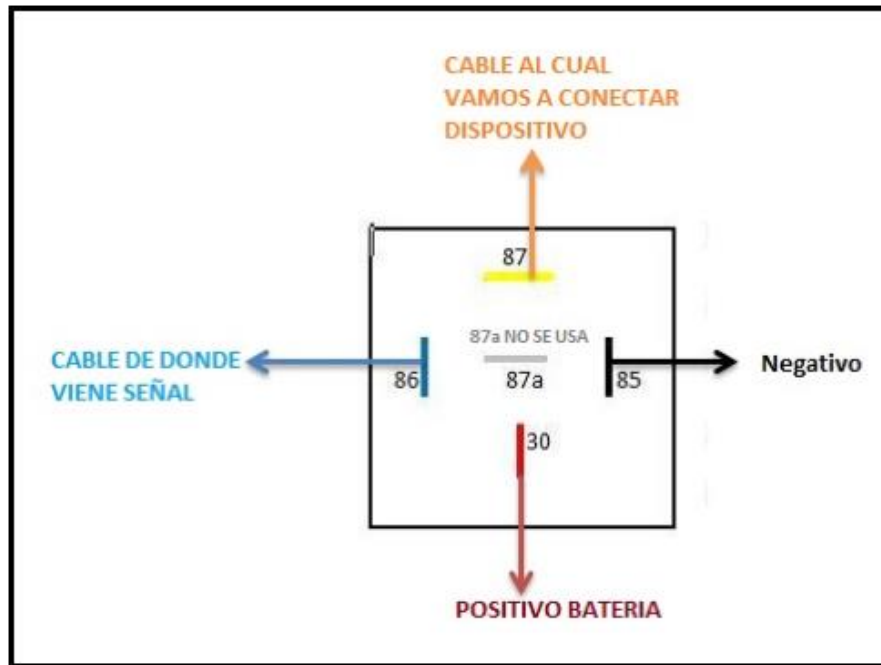
- Todo los circuitos deben funcionar solo cuando el vehículo este en marcha, es decir solo cuando el automóvil este encendido.
- Se buscó un cable en el swich que nos dé un voltaje de 12.18v como muestra la Fig.3.32, el swich en la última posición. Esta señal será la que alimenta y comandara el relé que alimenta el generador en la Fig.3.33 se detalla el procedimiento.
- Para la conexión del relé se procede de la siguiente manera como muestra la Fig.3.34.
- Es muy importante conectar los circuitos a masa de la batería o del chasis.



*Fig.3.32– Búsqueda de cable de 12,18v para alimentar al circuito
Fuente: Los autores*



*Fig.3.33– Relé en el habitáculo del motor
Fuente: Los autores*



*Fig.3.34– Conexiones del relay.
Fuente: Los autores*

Preparación del electrolito

Para preparar la mezcla debemos tener muy en cuenta que se va a trabajar con soluciones muy irritantes por tal motivo se debe usar instrumentos de seguridad tales como:

- Guantes
- Gafas
- Mandil

Posteriormente se procederá a mezclar el agua desmineralizada con la solución ya sea NaOH, KOH, sal o bicarbonato de sodio; Se debe tener una balanza para poder medir la cantidad exacta que se va a mezclar.

También se usará la probeta que servirá para medir en *ml* la cantidad de electrólito, además se aprovechará también para mezclar las soluciones.

En la Fig.3.35 se muestran los materiales para la elaboración de las soluciones que posteriormente serán las que nos proporcionará gas hidrógeno mediante la electrólisis.



Fig.3.35– Elementos a usar para solución
Fuente: Los autores

CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. Introducción

En el capítulo IV se realizó pruebas con el analizador de gases en diferentes vehículos para conocer el beneficio que se obtiene al implementar un generador de hidrógeno; además, se determinara la concentración de hidrogeno por medio de un sensor de gas hidrógeno.

Para mejorar la compresión de las muestras recolectadas de este capítulo se utilizó una herramienta estadística que nos permitirá consolidar los resultados obtenidos en esta investigación.

4.2. Determinación del mejor electrolito para la producción de gas hidrógeno

Para obtener el mayor volumen de gas hidrógeno se realizaron varias pruebas con diferentes componentes como son: el hidróxido de potasio, bicarbonato de sodio, sal, hidróxido de sodio como se muestra en el Anexo 2. De esta manera los que mejores resultados dieron son el hidróxido de potasio y el hidróxido de sodio que dio un aproximado de 1,1 litros a una variación de 8-11A como se muestra en la Fig.4.1.

Prueba de generador de Hidrógeno							
Solucion:	Hidroxido de Sodio	Voltaje de la bateria (v)		12.56			
Num	Cat. de solución (kg)	Cat de electrolito (ml)	Voltaje de consumo generador (v)	Corriente (A)	Volumen (ml/min)	Temperatura del generador (°C)	Coloración
1	0,004	250	11,7	2,05-2,10	100	22	café claro
2	0,004	250	11,27	2,44-2,75	250	26	café claro
3	0,004	250	10,89	3,59-4,15	120	29	café claro
4	0,004	250	10,96	5,40-6,12	130	33	café claro
5	0,004	250	10,65	6,46-7,65	800	37	café claro
6	0,004	250	10,3	8,26-11,13	1100	39	café claro
Total	0,024	250					
Comentario							
En las primeras pruebas de explosión del gas no fue muy eficiente; al proseguir con las pruebas se obtuvieron mejores resultados							

*Fig.4.1- Pruebas con hidróxido de Sodio
Fuente: Los autores*

4.3. Medición de la concentración de hidrógeno mediante la utilización del sensor gas MQ-2.

El sensor de gas MQ-8 sirve para medir concentraciones de hidrógeno en el aire; este dispositivo tiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido; la salida del sensor es una resistencia análoga. El circuito de interfaz es muy simple, todo lo que se necesita es ser alimentarlo con 5V, añadir una resistencia de carga y conectar la salida al conversor análogo – digital.

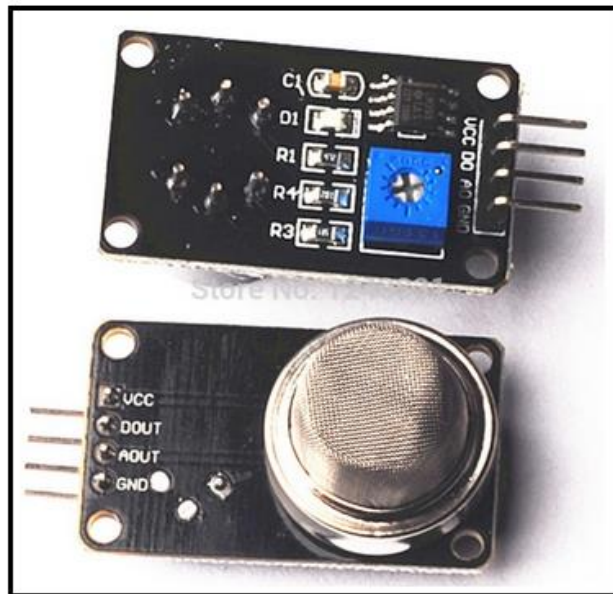
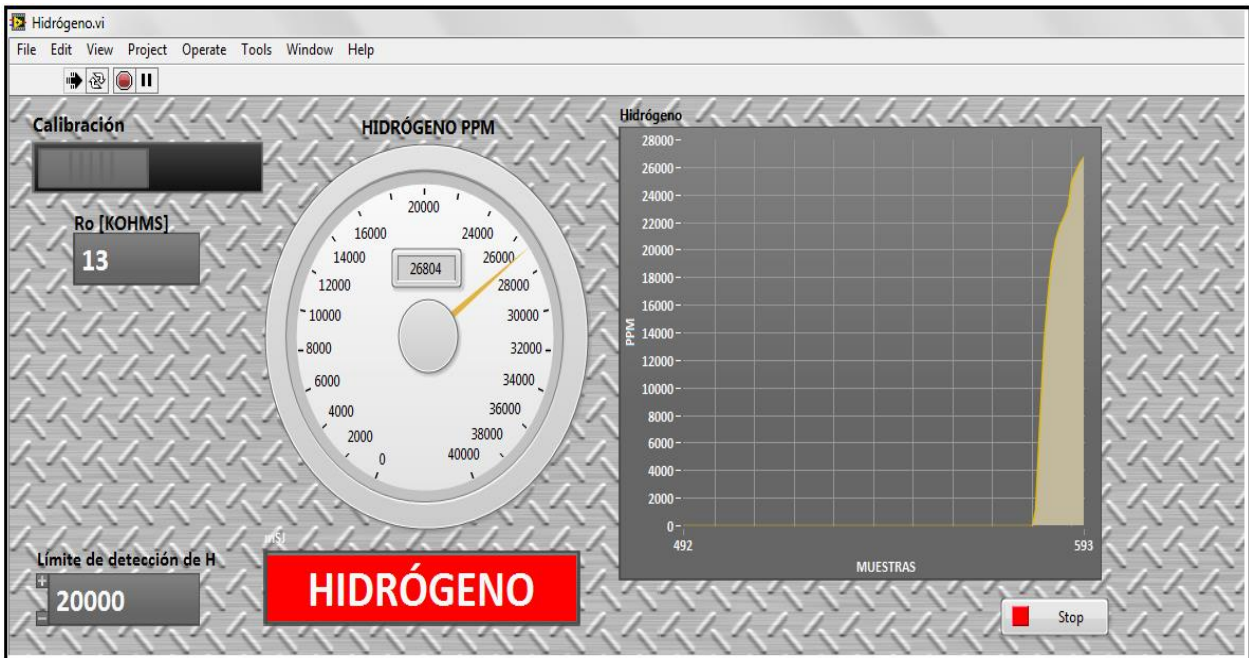


Fig.4.2– Sensor de gas hidrógeno MQ-8

Fuente: <http://arduinotech.dk/produkt-kategori/komponenter/foeler-sensor/>

Se realizó una programa en el entorno Arduino MEGA como se muestra en el Anexo3, mediante esta programación se puede efectuar las mediciones respectivas. Además, se usó otro software de lenguaje de programación visual gráfico como lo es Labview 2013, el cual nos ayudó para mejorar la comprensión de los datos emitidos por el sensor.

En la Fig.4.3 se detalla las muestras realizadas por el sensor MQ-8 oscilan entre 25ppm cuando se encuentra al ambiente y de unos 26902ppm la máxima concentración dado por este dispositivo; los datos obtenidos se encuentran detalladamente en el Anexo 4.



*Fig.4.3– Concentración PPM
Fuente: Los autores*

En cuanto a la Fig.4.4 se observan todos los equipos que se usaron para recolectar los datos los cuales son:

- Generador de hidrógeno
- Batería 12v
- Burbujeador y conductos.
- Caudalímetro que servirá como depósito para introducir el sensor.
- Sensor MQ-8 y Arduino Mega.
- Laptop donde se encuentra la parte visual del programa.



Fig.4.4– Implementos para toma determinar la concentración de hidrógeno
Fuente: Los autores.

4.4. Recopilación de muestras para el estudio estadístico

Para poder obtener las muestras de monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO₂, hidrocarburos HC; y de celda electroquímica para determinar oxígeno molecular O₂ y opcionalmente óxidos de nitrógeno NO_x; se utilizó el equipo de medición de gases MGT 5.

4.4.1. Componentes del analizador de gases MTG 5

Los componentes del analizador de gases MTG5 se describen a continuación:

- Equipo de medición MGT 5.
- Pantalla digital para mostrar valores medidos y una impresora incorporada.
- Sonda que nos sirve para introducir en el escape del vehículo.
- Filtro para analizar de gases.

4.4.2. Procedimiento para realizar la medición de gases contaminantes

Para realizar las mediciones con el analizador de gases MGT-5 se tiene que tener muy en cuenta las siguientes instrucciones:

- Revisar que el vehículo este en perfectas condiciones.
- Para que las medidas sean más exactas el sistema de escape del automotor tiene que estar en perfectas condiciones, no deben existir fugas.
- El vehículo debe estar en neutro.
- Encender el motor del vehículo hasta alcanzar la temperatura normal de funcionamiento.
- Encender el equipo MGT-5, verificar el proceso de autocalibración y posteriormente esperar hasta que se estabilice según las especificaciones del fabricante.
- Con el motor en ralentí realizar algunas aceleraciones y esperar que el equipo de medición se estabilice.
- Insertar la sonda en el tubo de escape como muestra la Fig.4.5.
- Con el vehículo estable realizar algunas mediciones con el analizador e imprimir los datos.



*Fig.4.5– Sonda en el tubo de escape
Fuente: Los autores*

4.4.3. Rangos de análisis de escape según la Norma INEN

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN; en la norma #2204, trata sobre la gestión ambiental, aire, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.

En el apartado seis que trata sobre los requisitos para aprobar la revisión vehicular están los límites máximos de emisiones de gases permitidos para fuentes móviles con motor a gasolina en marcha mínima o ralentí que se detallaran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática)

Fuente: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/2204.pdf>

Año modelo	%CO		Ppm HC	
	0-1500	1500-3000	0-1500	1500-3000
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200

Para realizar las mediciones los vehículos deben estar en condición de marcha mínima o ralentí y a temperatura normal de operación.³²

4.4.4. Análisis y prueba a vehículos

Este análisis se lo realizara en tres vehículos a inyección gasolina que servirán para obtener resultados fiables. Además, se esclarecerá de mejor manera usando un software llamado Minitab 16 que usa métodos estadísticos como es la ANOVA.

4.4.4.1.¿Qué es el método estadístico ANOVA?

La técnica del Análisis de la Varianza (ANOVA o AVAR) es una de las técnicas más utilizadas en los análisis de los datos de los diseños experimentales. Se utiliza cuando queremos contrastar más de dos medias.

El ANOVA es un método muy flexible que permite construir modelos estadísticos para el análisis de los datos experimentales cuyo valor ha sido constatado en muy diversas circunstancias. Básicamente es un procedimiento que permite dividir la varianza de la variable

³² Intituto Ecuatoriano de Normalización, «INEN. Intituto Ecuatoriano de Normalización,» [En línea]. Available: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/2204.pdf>. [Último acceso: 18 11 2014].

dependiente en dos o más componentes, cada uno de los cuales puede ser atribuido a una fuente (variable o factor) identificable.³³

Como se apreciará más adelante los vehículos a usar el generador de gas hidrógeno son vehículos a inyección gasolina que operan con sistemas electrónicos, por tal motivo tiene sus complicaciones y habrá que eludir algunos sensores para que no censan la entradas de este gas y pueda quemarse el gas hidrógeno dentro de los cilindros del motor, los cuales son el sensor MAP, MAF, IAT que son aquellos que censan el flujo de aire, presión y temperatura de ingreso de aire hacia el motor; además, el sensor de oxígeno que nos indica la relación de la mezcla estequiometrica.

Otro de los inconvenientes en estos vehículos es la presencia de convertidores catalíticos que sirven para el control y reducción de gases nocivos expulsados por el motor de combustión interna; por tal motivo el analizador de gases tendrá variaciones al momento de realizar las muestras.

4.4.4.2. Primera prueba

Tabla 4.2. Datos técnicos del vehículo Chevrolet Steem

Fuente: Autores

INFORMACIÓN DEL VEHÍCULO					
Marca:	Chevrolet	Modelo:	Steem GLX		
Año:	1996	Placa:			
Motor:	1590cc	Tipo de motor:	4 cilindros en línea		
Relación: Compresión:	9,5:1	Categoría:	Familiar	Válvulas:	4 por cilindro
Potencia Max:	97,51HP/6000rpm	Torque Max:	127N*m/3000rpm		

³³ H. Gutiérrez Pulido y R. De la Vara Salazar, Análisis y Diseño de Experimentos, Mexico: McGraw-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, 2012, pp. 60-67.

Una de las recomendaciones es no colocar el generador de hidrógeno en zonas donde haya una excesiva temperatura ya que este calor puede transportarse al burbujeador y generador pudiendo variar la temperatura, afectando de esta manera la producción de hidrógeno.

Para realizar estas pruebas el vehículo debe estar funcionando solo con gasolina y estar en ralentí; las muestras proporcionadas por el analizador de gases se detallan en el Anexo 5.

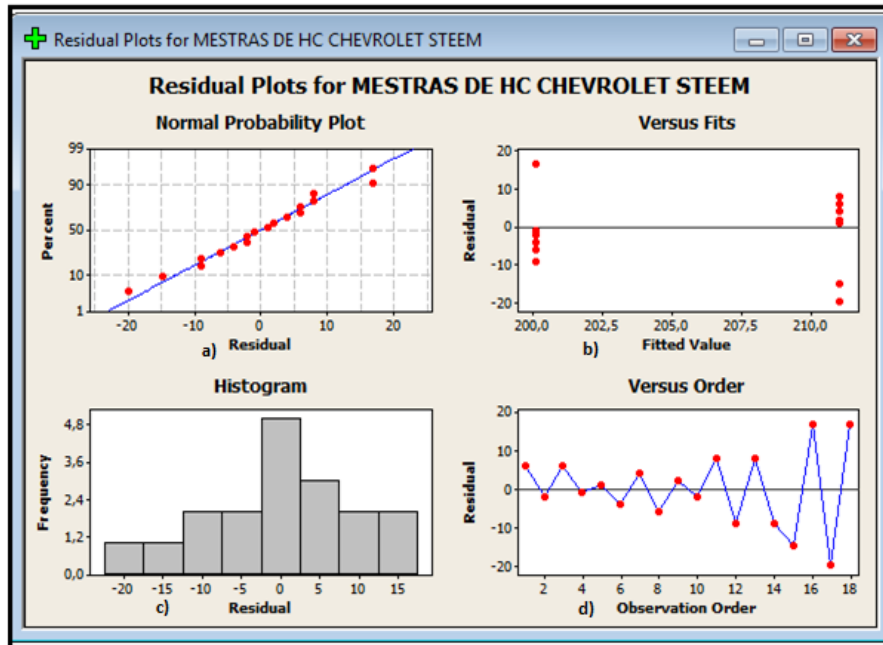
Determinación de las muestras HC

Para asegurar que nuestras muestras recolectadas sean precisas y confiables se realizó un análisis de varianza ANOVA que nos proporciona el Software Minitab, además se detallaron gráficamente los supuestos del modelo de las muestras Hidrocarburos.

Como se observa en la Fig.4.6 a) los puntos tienen a quedar alineados en una línea recta por lo tanto el supuesto de normalidad si se cumple.

En la Fig.4.6d)-c) se muestra que se está cumpliendo el supuesto de varianza constante y hay una distribución normal de las muestras.

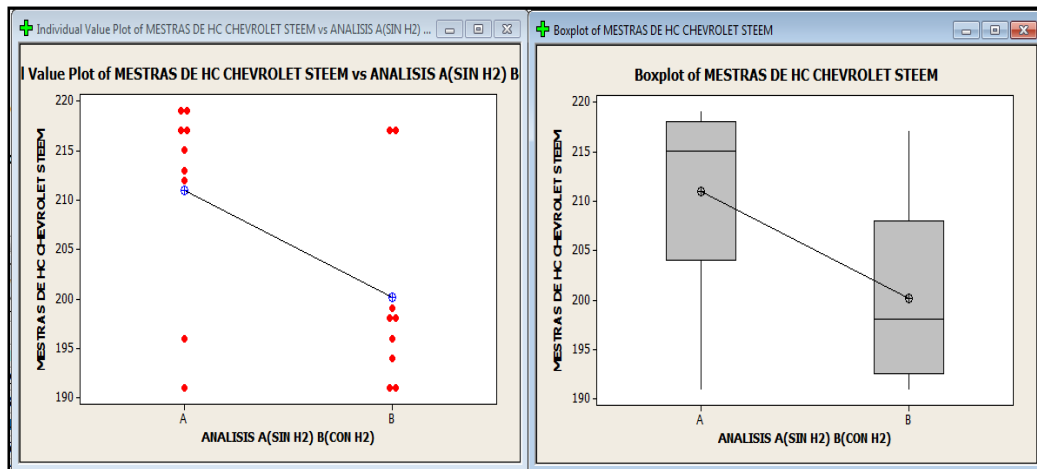
En cuanto a la independencia como se detalla en Fig.4.6-d) los puntos son aleatorios dentro de una banda horizontal por lo tanto el supuesto se está cumpliendo.



*Fig.4.6. Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Chevrolet Steem)
Fuente: Los autores*

Análisis de resultados del Chevrolet Steem

Se determinó por un análisis de cajas como se observa en la Fig.4.7, que hay una notable disminución de hidrocarburos con la implementación del generador de gas hidrógeno en ralentí; además se puede apreciar claramente que la reducción de este gas contaminante es de 213ppm a 197ppm. Además, se mejoraría la reducción de emisiones con un mejor afinado de motor de este vehículo.



*Fig.4.7. Analisis de HC método de cajas
Fuente: Los autores*

Determinación de las muestras CO

En cuanto a los niveles de CO como muestra la Fig.4.8 a) el supuesto de normalidad no se está cumpliendo.

En la Fig.4.8d)-c) se muestra se está cumpliendo el supuesto de varianza constante y hay una distribución normal de las muestras.

En cuanto a la independencia como se detalla en Fig.4.8-d) los puntos son aleatorios dentro de una banda horizontal por lo tanto el supuesto se está cumpliendo.

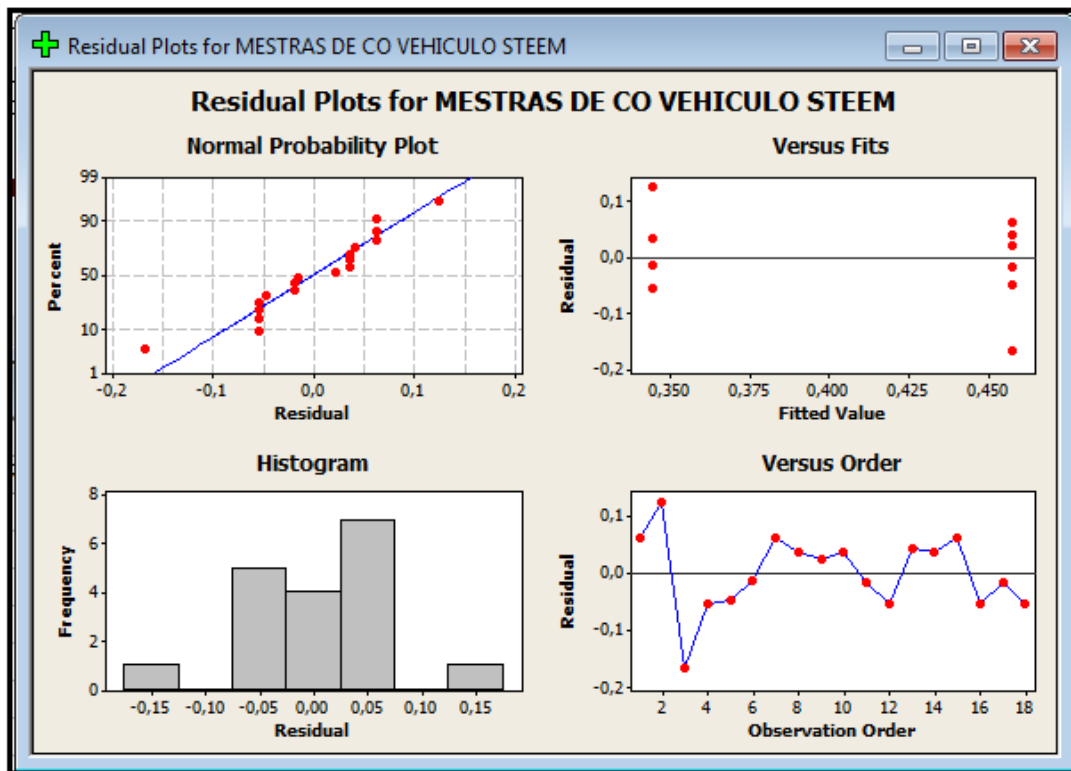


Fig.4.8. Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Chevrolet Steem)

Fuente: Los autores

Análisis de resultados del Chevrolet Steem

Como se detalla en la Fig.4.9 los niveles de CO han disminuido en una pequeña proporción en un 0,113%; con este diagrama de cajas se esclarece de mejor manera la disminución de esta gas toxico.

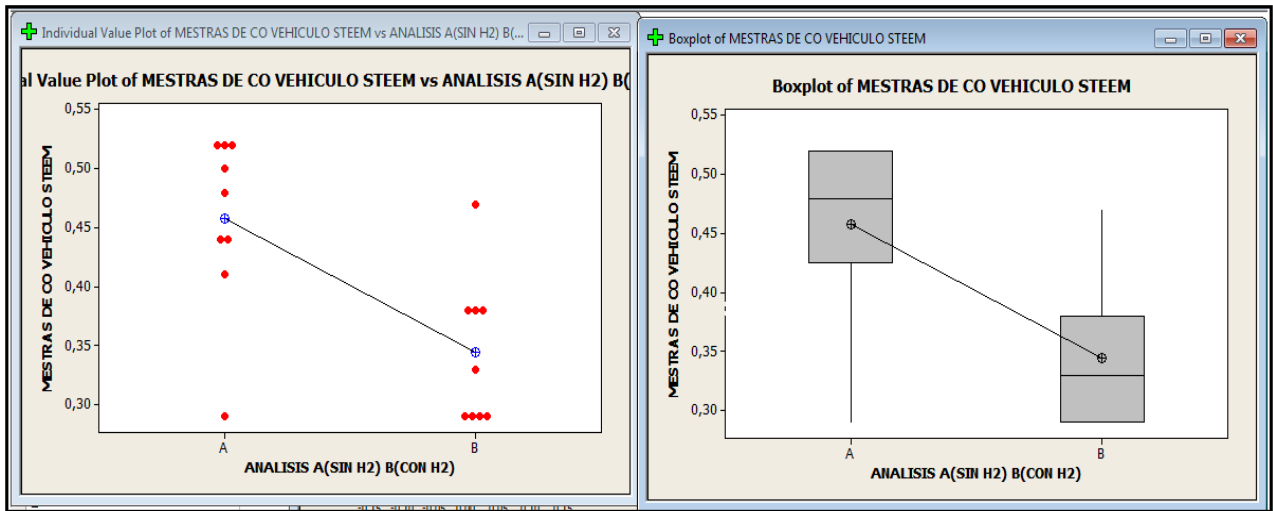


Fig.4.9. Analisis de CO por método de cajas
Fuente: Los autores

4.4.4.3. Segundo prueba

Tabla 4.3. Datos técnicos del vehículo Hyundai Tucson

Fuente: Autores

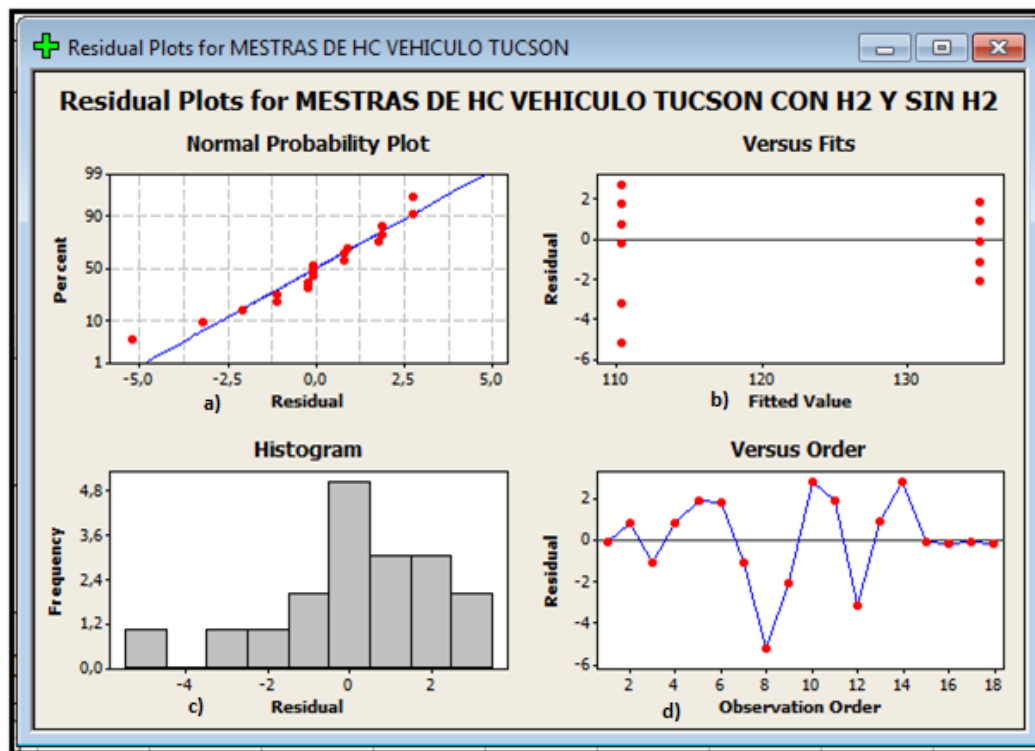
INFORMACIÓN DEL VEHÍCULO					
Marca:	Hyundai	Modelo:	Tucson		
Año:	2005	Placa:			
Motor:	1995cc ³	Tipo de motor:	4 cilindros en línea		
Relación Compresión:	10:1	Categoría:	Todoterreno	Válvulas:	4 por cilindro
Potencia Max:	164Cv/6200rpm	Torque Max:	145N*m/4600rpm		

Determinación de las muestras HC

Como se observa en la Fig.4.10 a) los puntos tienen a quedar más alineados a la línea que en las muestra del vehículo anterior por lo tanto el supuesto de normalidad si se cumple.

En la Fig.4.10d)-c) se muestra que si hay diferencias en esta amplitud por lo tanto no se está cumpliendo el supuesto de varianza constante.

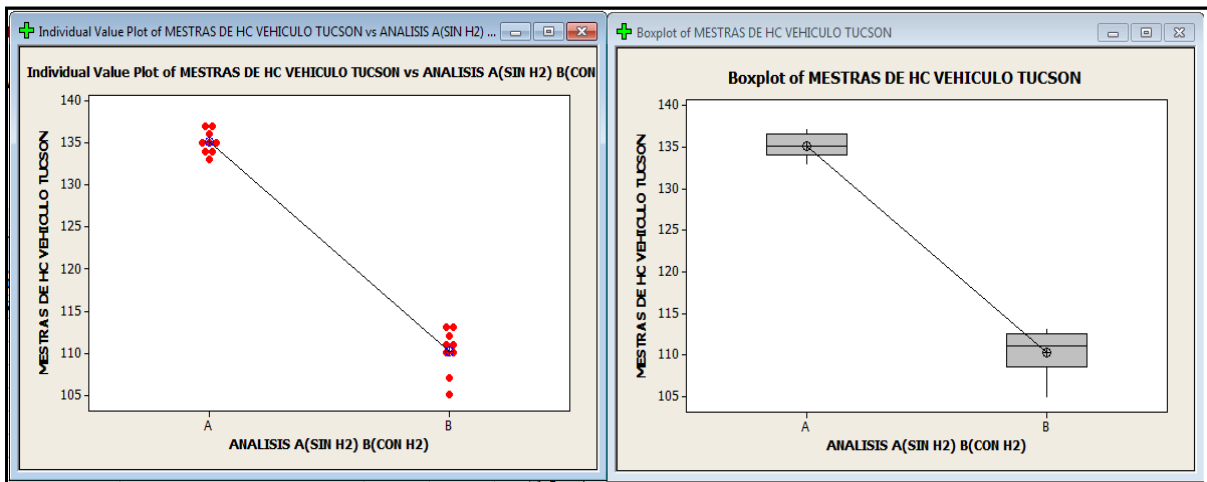
En Fig.4.10-d) la independencia si se está cumpliendo ya que los puntos están siendo aleatorios dentro de una banda horizontal.



*Fig.4.10– Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Hyundai Tucson)
Fuente: Los autores*

Análisis de resultados del Hyundai Tucson

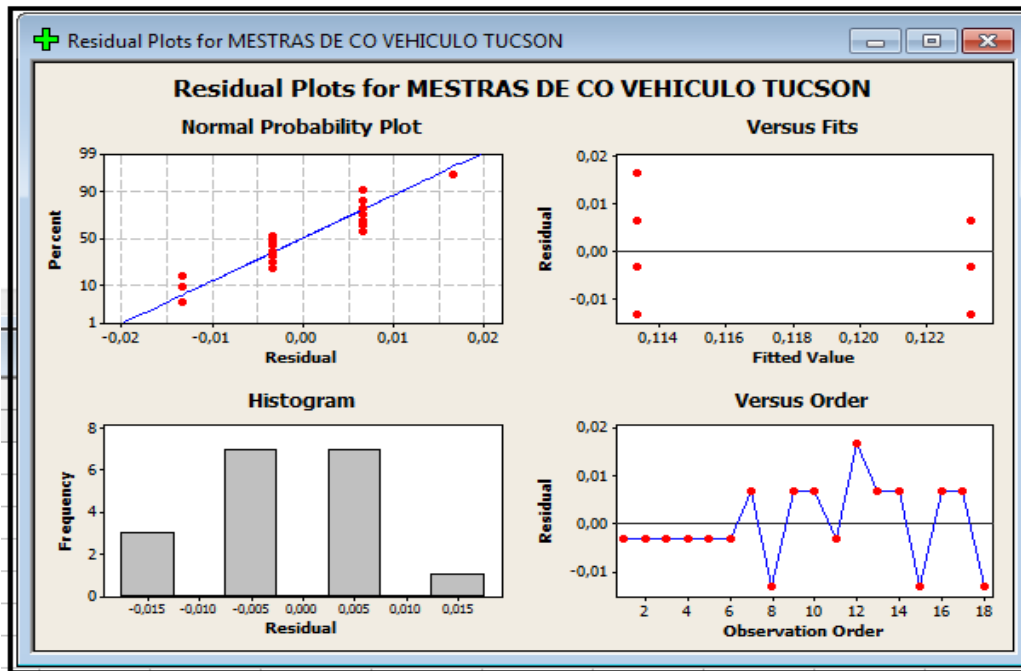
Con el análisis de cajas Fig.4.11, se concluye que si existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos análisis; habiendo una disminución de hidrocarburos al ingresar gas hidrógeno al motor en régimen mínimo de revoluciones (ralentí); además se puede apreciar notoriamente que la reducción de este gas contaminante es de 135ppm a 111ppm.



*Fig. 4.11– Análisis HC por método de cajas
Fuente: Los autores*

Determinación de las muestras CO

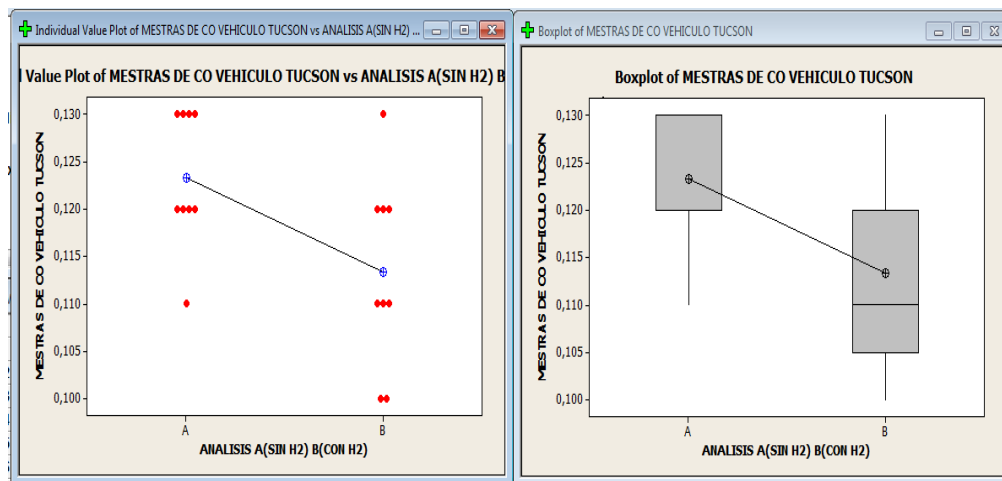
Según el análisis de varianza se observa que los supuestos no se están cumpliendo debido a múltiples factores; la normalidad no está siendo ya que los puntos no están quedando alineados a la línea recta; en cuanto a la varianza constante se cumple la una gráfica y la otra no porque la distribución normal no está uniforme; y por último la independencia cuarto grafico en un comienzo no cumple pero conforme las muestras avanzan hay una aleatoriedad cumpliendo el supuesto.



*Fig. 4.12– Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Hyundai Tucson)
Fuente: Los autores*

Análisis de resultados del Hyundai Tucson

Como se observa en los cuadros estadísticos al usar el gas hidrógeno+gasolina hay una disminución considerable de 135ppm a 111ppm en hidrocarburos no combustionados, al igual que el CO que disminuyó de 0,125% a 0,115% en ralentí, de tal manera que al ingresar este gas al motor se tiene un mayor poder de detonación permitiéndose así tener una mejor combustión de la gasolina que ingresan a los cilindros.




*Fig4.13– Análisis CO por método de cajas
Fuente: Los autores*

4.4.4. Tercera prueba

Tabla 4.4. Datos técnicos del vehículo Kia Sportage

Fuente: Autores

INFORMACIÓN DEL VEHÍCULO					
Marca:	KIA	Modelo:	Sportage		
Año:	2011	Placa:			
Motor:	1975cc ³	Tipo de motor:	4 cilindros en línea		
Relación de Compresión:	10.1:1	Categoría:	Todoterreno	Válvulas:	4 por cilindro
Potencia Max:	142Cv/6000rpm	Torque Max:	184N*m/4500rpm		

Determinación de las muestras HC

En cuanto a las muestras recolectadas en el Kia Sportage según el análisis de varianza se están cumpliendo los tres supuestos como se detalla en la Fig.4.14, los cuales son la normalidad, varianza constante y la independencia.

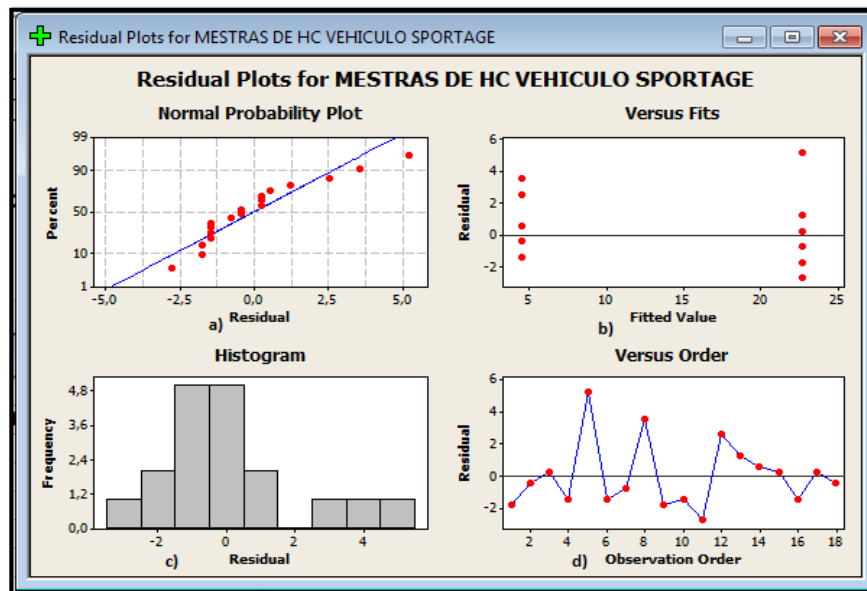


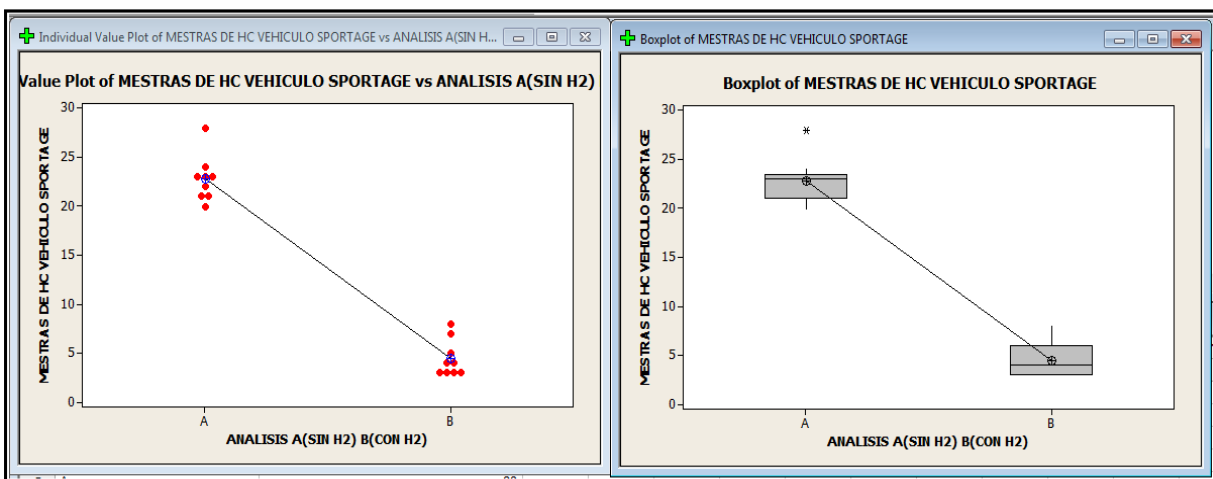
Fig. 4.14– Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Kia Sportage)

Fuente: Los autores

Análisis de resultados

Luego de las pruebas realizadas nos indica que la disminución de hidrocarburos usando el sistema de gas hidrógeno en este vehículo es de 23ppm a 5ppm en ralentí.

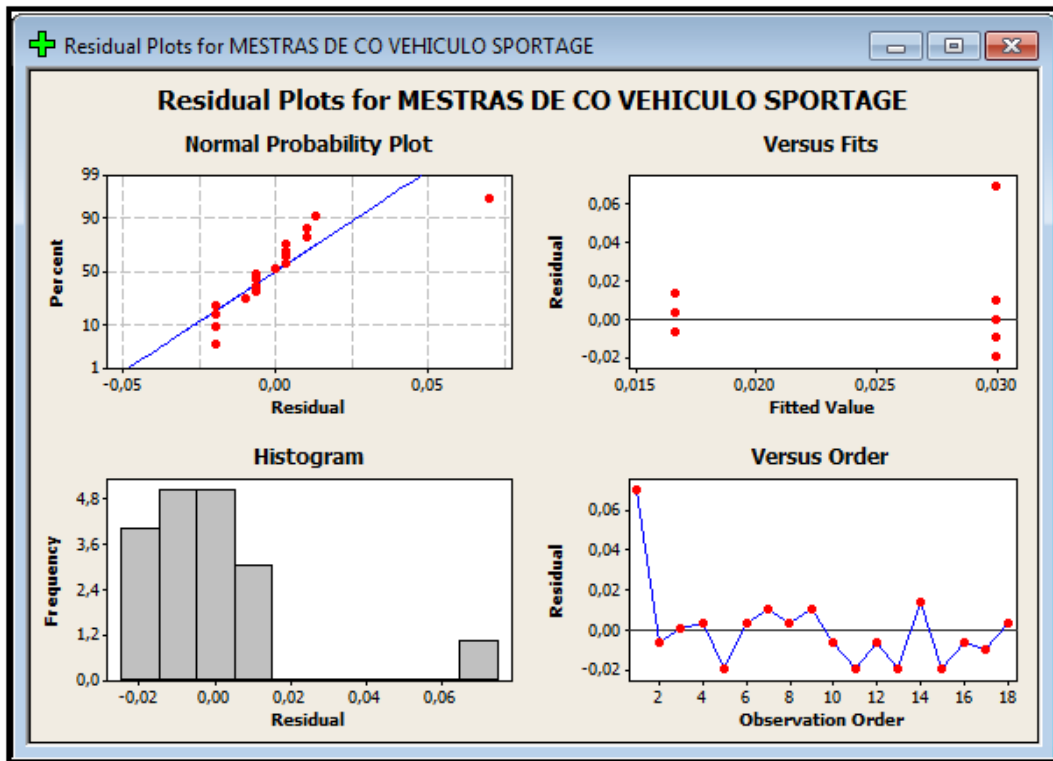
En este vehículo se notó claramente que el catalizador está funcionando a la perfección ya que las emisiones de gases son muy bajas en referencia a los vehículos anteriores; además, que este automóvil es más nuevo que los anteriores por tanto su tecnología cambia.



*Fig.4.15– Análisis HC por método de cajas
Fuente: Los autores*

Determinación de las muestras CO

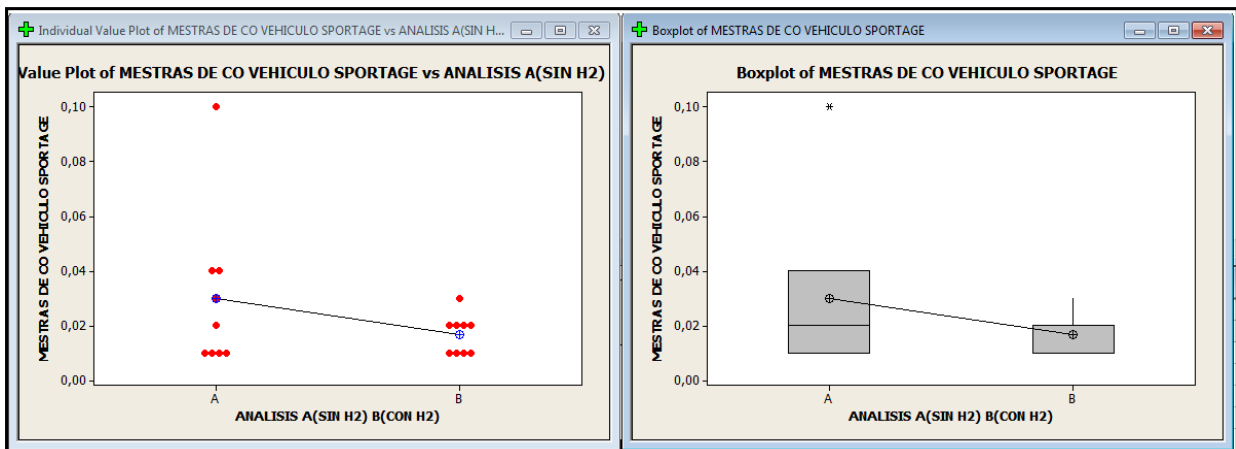
En la Fig.4.16 se muestra que los supuestos del análisis de varianza (normalidad, varianza constante e independencia) no se cumplen en su totalidad.



*Fig. 4.16– Verificación de los supuestos del modelo (Muestras de Kia Sportage)
Fuente: Los autores*

Análisis de resultados del KIA

Como ya se mencionó en el anterior los catalizadores están funcionando muy bien por tan motivo las niveles de CO son muy bajas y casi estadísticamente no se observa mucho cambio o es casi nulo.

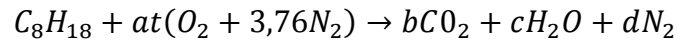


*Fig.4.17– Análisis CO por método de cajas
Fuente: Los autores*

4.5. Análisis de resultados del vehículo Chevrolet Steem

4.5.1. Combustión ideal

La ecuación estequiometria de la combustión ideal con 100% de aire teórico que se produce en un motor Otto es:



$$C \rightarrow 8 = b$$

$$H \rightarrow 18 = 2c$$

$$c = 9$$

$$O \rightarrow 2a = 2b + c$$

$$2a = 2 * 8 + 9$$

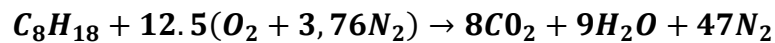
$$a = 12.5$$

$$N \rightarrow 3,76(2)a = 2d$$

$$3,76(2)12.5 = 2d$$

$$d = 47$$

La ecuación estequiometrica igualada es:



4.5.2. Relación aire combustible(A/C) real en un motor de Chevrolet Steem utilizando gasolina

La relación de (A/C) se define como la cantidad de masa de aire que se requiere para quemar completamente una masa de combustible es decir:

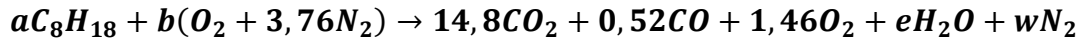
$$A/C = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} = \frac{(NM)_{AIRE}}{(NM)_C(NM)_H}$$

Dónde:

N=número de moles

M=masa molar

Para aplicar esta relación se debe igualar la ecuación estequiométrica de los productos de la combustión, obtenidos en el análisis de gases con los componentes del combustible y del carburante en condiciones estándar.



$$C \rightarrow 8a = 14,8 + 0,52$$

$$a = 1,915$$

$$H \rightarrow 18a = 2e$$

$$18(1,915) = 2e$$

$$e = 17,235$$

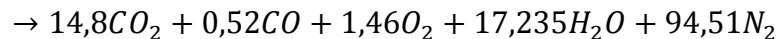
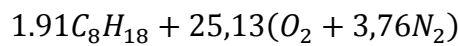
$$O \rightarrow 2b = 14,8(2) + 0,52 + 1,46(2) + e$$

$$b = 25,137$$

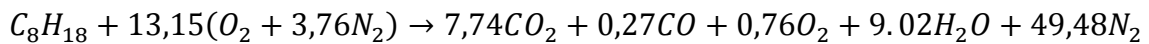
$$N_2 \rightarrow 3,76(2)b = 2w$$

$$3,76(25,137)2 = 2w$$

$$w = 94,51$$



Se divide para 1,86 para obtener el mol de combustible.



Teniendo un exceso de aire del 5,2%

4.5.2.1. Relación de aire combustible (A/C) real de un motor Chevrolet Steem

$$A/C = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} = \frac{13,15[4,76 * 28,9]}{[8 * 12] + [18 * 1,008]} = 13,42 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{combustible}}$$

4.5.2.2. Entalpia de la combustión

$$h_C = H_{\text{producto}} - H_{\text{reaccion}}$$

$$h_C = \sum N_p \bar{h} f_p - \sum N_r h f_{,1}$$

$$h_C = (N \bar{h} f)_{CO_2} + (N \bar{h} f)_{CO} (N \bar{h} f)_{H_2O}] - [(N \bar{h} f)_{C_8H_{18}}]$$

$$h_C = [(7,74 \text{ kmol} * -393520 \text{ kJ/kmol}) + (0,27 \text{ kmol} * -110530 \text{ kJ/kmol}) + (9,02 \text{ kmol} * 285830 \text{ kJ/kmol}) - (1 \text{ kmol} * -249950 \text{ kJ/kmol})]$$

$$h_C = 345397.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol } C_{8H_{18}}}$$

4.5.2.3. Temperatura de flama Adiabática

Puesto que todos los reactivos están en el estado de referencia estándar y $hf=0$ para O_2 y N_2 .

Los valores de hf y h de diversos componentes a 298K.

$$H_{\text{prod}} = H_{\text{reat}} = \sum N_p (\bar{h} f + \bar{h} + \bar{h})_p = \sum N_r (hf + \bar{h} + \bar{h})_r$$

Sustituyendo los valores de libro de termodinámica de Cengel capítulo 15.³⁴

$$(7,74 \text{ kmol}) CO_2 * \left[\frac{-393520 + \bar{h} CO_2 - 9364}{\text{kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{kmol } CO_2} +$$

$$(0,27 \text{ kmol}) CO * \left[\frac{-110530 + \bar{h} CO - 8669}{\text{kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{kmol } CO} +$$

$$(9 \text{ kmol}) H_2O * \left[\frac{-241820 + \bar{h} H_2O - 9904}{\text{kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{kmol } H_2O} +$$

$$(0,762 \text{ kmol}) O_2 * \left[\frac{-393520 + \bar{h} CO_2 - 9364}{\text{kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{kmol } CO_2} +$$

³⁴ B. Michael A y Y. Cengel, Termodinámica, Quinta ed., Mexico, 2006, pp. 271-272. Tablas A18-A26.

$$(49,48\text{Kmol})N_2 * \left[\frac{0 + \bar{h}N_2 - 8669}{\text{Kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}N_2} =$$

$$(1\text{Kmol})C_8H_{18} * \left[\frac{-249950}{\text{Kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}C_8H_{18}}$$

Simplificando a su máxima expresión:

$$7,74\bar{h}CO_2 + 0,27\bar{h}CO + 9,02\bar{h}H_2O + 0,76\bar{h}O_2 + 49,48\bar{h}N_2 = 5829998,374\text{KJ}$$

Para encontrar la temperatura de productos tenemos que realizarnos una suposición se divide el lado derecho de la ecuación por el número total de moles:

$$\frac{5829998,37}{7,74 + 0,27 + 9 + 0,76 + 49,48}$$

$$= 86666,69 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}}$$

Este valor corresponderá a aproximadamente a 2650K en N₂, en 2550K O₂, 1800K CO₂, 2600K COY 2500K en H₂O. El más aproximado a todos es de 2650K pero para realizar la primera prueba debe ser inferior entonces en valor es de 2450K.

Tablas desde A-18 hasta A-16.

$$7,74\bar{h}CO_2 + 0,27\bar{h}CO + 9\bar{h}H_2O + 0,76\bar{h}O_2 + 49,48\bar{h}N_2$$

$$= 7,74(128219) + 0,27(81852) + 9,02(106183) + 0,76(85112)$$

$$+ 49,48(81149)$$

$$7,74\bar{h}CO_2 + 0,27\bar{h}CO + 9,02\bar{h}H_2O + 0,76\bar{h}O_2 + 49,48\bar{h}N_2 = 6052223,4\text{kJ}$$

El valor es mayor que 5829998,374KJ, por consiguiente la temperatura real estará ligeramente por encima de los 2300K. A continuación elegimos 2200K:

$$\begin{aligned}
&7,74\bar{h}CO_2 + 0,27\bar{h}CO + 9,02\bar{h}H_2O + 0,76\bar{h}O_2 + 49,48\bar{h}N_2 \\
&= 7,74(112939) + 0,27(72688) + 9,02(92940) + 0,76(75484) \\
&+ 49,48(72040)
\end{aligned}$$

$$7,74\bar{h}CO_2 + 0,27\bar{h}CO + 9,02\bar{h}H_2O + 0,76\bar{h}O_2 + 49,48\bar{h}N_2 = 5353999.46kJ$$

Para determinar la temperatura de flama adiabática se realizara una interpolación y se obtuvo que la temperatura real de los productos es de $T_{Prod}=2370.43K$.

4.5.3. Relación de aire- combustible (A/C) en un motor a inyección Chevrolet Steem con el generador de hidrógeno.

Con las muestras dadas por el analizador de gases se procede a hacer el siguiente cálculo:



$$C \rightarrow 8a = 12,90 + 0,33$$

$$a = 1,65$$

$$H \rightarrow 18a + 1 = 2e$$

$$18(1,65) + 1 = 2e$$

$$e = 15,377$$

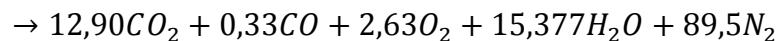
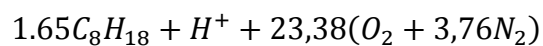
$$O \rightarrow 2b = 12,90(2) + 0,33(1) + 1,46(2) + e + 2,63(2)$$

$$b = 23,381$$

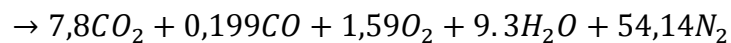
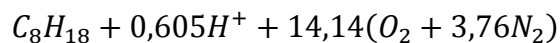
$$N_2 \rightarrow 3,76(2)b = 2w$$

$$3,76(23,38)2 = 2w$$

$$w = 89,5$$



Se divide para 1,653 para obtener el mol de combustible.



Teniendo un exceso de aire del 5,2%.

4.5.3.1. Relación de aire combustible (a/c) real de un motor Chevrolet Steem

$$\begin{aligned} A/C &= \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} = \frac{14,14[4,76 * 28,9]}{[8 * 12] + [18 * 1,008] + (0,43 * 1) + (0,43 * 16)} \\ &= 14,111 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{combustible}} \end{aligned}$$

Entalpia de la combustión

$$h_C = H_{producto} - H_{reaccion}$$

$$h_C = \sum Np\bar{h}f_p - \sum Nr\,hf_{,1}$$

$$h_C = (N\bar{h}f)_{CO_2} + (N\bar{h}f)_{CO} + (N\bar{h}f)_{H_2O} - [(N\bar{h}f)_{C_8H_{18}}]$$

$$\begin{aligned} h_C &= \left[\left(7,8 \text{ kmol} * -\frac{393520 \text{ kj}}{\text{ kmol}} \right) + \left(0,199 \text{ kmol} * -\frac{110530 \text{ kj}}{\text{ kmol}} \right) + \left(9,3 \text{ kmol} * \frac{285830 \text{ kj}}{\text{ kmol}} \right) \right. \\ &\quad \left. + \left(1 \text{ kmol} * -\frac{249950 \text{ kj}}{\text{ kmol}} \right) + \left(0,605 \text{ kmol} * -218000 \frac{\text{ kj}}{\text{ kmol}} \right) \right] \end{aligned}$$

$$h_C = 5867730,47 \frac{\text{ kj}}{\text{ kmol } C_8H_{18}}$$

4.5.3.2. Temperatura de flama Adiabática

Puesto que todos los reactivos están en el estado de referencia estándar y $hf=0$ para O_2 y N_2 .

Los valores de hf y h de diversos componentes a 298K.

$$H_{prod} = H_{reat} = \sum Np(\bar{h}f + \bar{h} + \bar{h})p = \sum Nr(hf + \bar{h} + \bar{h})r$$

Sustituyendo los valores de libro de termodinámica de Cengel capítulo 15.³⁵

³⁵ B. Michael A y Y. Cengel, Termodinámica, Quinta ed., Mexico, 2006, pp. 271-272. Tablas A18-A26.

$$\begin{aligned}
& (7,8\text{Kmol})\text{CO}_2 * \left[\frac{-393520 + \bar{h}\text{CO}_2 - 9364}{\text{Kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{KmolCO}_2} + \\
& (0,199\text{Kmol})\text{CO} * \left[\frac{-110530 + \bar{h}\text{CO} - 8669}{\text{Kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{KmolCO}} + \\
& (9,3\text{Kmol})\text{H}_2\text{O} * \left[\frac{-241820 + \bar{h}\text{H}_2\text{O} - 9904}{\text{Kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{KmolH}_2\text{O}} + \\
& (1,59\text{Kmol})\text{O}_2 * \left[\frac{-393520 + \bar{h}\text{CO}_2 - 9364}{\text{Kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{KmolCO}_2} + \\
& (54,14\text{Kmol})\text{N}_2 * \left[\frac{0 + \bar{h}\text{N}_2 - 8669}{\text{Kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{KmolN}_2} = \\
& (1\text{Kmol})\text{C}_8\text{H}_{18} * \left[\frac{-249950}{\text{Kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{KmolC}_8\text{H}_{18}} \\
& (0,605\text{Kmol})\text{H}^+ * \left[\frac{218000}{\text{Kmol}} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{KmolH}^+}
\end{aligned}$$

Simplificando a su máxima expresión:

$$7,8\bar{h}\text{CO}_2 + 0,199\bar{h}\text{CO} + 9,3\bar{h}\text{H}_2\text{O} + 1,59\bar{h}\text{O}_2 + 54,14\bar{h}\text{N}_2 = 6372233,04\text{KJ}$$

Para encontrar la temperatura de productos tenemos que realizarnos una suposición se divide el lado derecho de la ecuación por el número total de moles:

$$\begin{aligned}
& \frac{6372233,04}{7,8 + 0,199 + 9,3 + 1,59 + 54,14} \\
& = 87256,2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}}
\end{aligned}$$

Este valor corresponderá a aproximadamente a 2400K en N₂, en 2300K O₂, 1660K CO₂, 2400K CO y 2500K en H₂O. El más aproximado a todos es de 2650K pero para realizar la primera prueba debe ser inferior entonces en valor es de 2550K.

Tablas desde A-18 hasta A-16

$$\begin{aligned}
 &7,8\bar{h}CO_2 + 0,199\bar{h}CO + 9,3\bar{h}H_2O + 1,59\bar{h}O_2 + 54,14\bar{h}N_2 \\
 &= 7,8(134368) + 0,199(85537) + 9,3(111565) + 1,59(89004) \\
 &+ 54,14(84814)
 \end{aligned}$$

$$7,8\bar{h}CO_2 + 0,199\bar{h}CO + 9,3\bar{h}H_2O + 1,59\bar{h}O_2 + 54,14\bar{h}N_2 = 6835993,08kJ$$

El valor es mayor que 6372233,04J, por consiguiente la temperatura real estará ligeramente por encima de los 2600K. A continuación elegimos 2400K. Y esto produce:

$$\begin{aligned}
 &7,8\bar{h}CO_2 + 0,199\bar{h}CO + 9,3\bar{h}H_2O + 1,59\bar{h}O_2 + 54,14\bar{h}N_2 \\
 &= 7,8(137152) + 0,199(83015) + 9,3(114273) + 1,59(90956) \\
 &+ 54,14(86650)
 \end{aligned}$$

$$7,8\bar{h}CO_2 + 0,199\bar{h}CO + 9,3\bar{h}H_2O + 1,59\bar{h}O_2 + 54,14\bar{h}N_2 = 6381364,44kJ$$

Para determinar la temperatura de flama adiabática se realizara una interpolación y se obtuvo que la temperatura real de los productos es de $T_{prom}=2601.43K$.

La relación de aire combustible del motor Chevrolet Steem a gasolina se obtuvo el valor de 13,42 [Kg_{aire}/Kg_{combustible}] mientras que cuando se aplica el generador de hidrógeno se obtiene 14,11 [Kg_{aire}/Kg_{combustible}] se debe al ingreso del hidrógeno hacia el motor.

La entalpia de la combustión con el motor funcionando con gasolina se obtiene $345397.5 \frac{kJ}{KmolC_8H_{18}}$ y con el generador de hidrogeno implementado en el vehículo se obtuvo

$\frac{4867730,47J}{KmolC_8H_{18}}$ indicando mayor generación de energía.

CONCLUSIONES

- Se concluye que al adicionar gas hidrógeno a la mezcla aire-combustible se puede disminuir el porcentaje de emisiones contaminantes que se envía al ambiente.
- La producción del gas hidrógeno es proporcional al área de las placas y a la intensidad de corriente que circula por las mismas esto dependerá de la cantidad de solución que se utilice.
- La corriente que circule por las placas no debe ser mayor a 8 amperios, debido a que al sobrepasar este amperaje el gas que producirá el generador tendrá una alta concentración de vapor de agua debido a que la temperatura es elevada en las placas.
- Entre mayor sea el número de placas negativas va a existir mayor producción de hidrógeno debido a que en el polo negativo es donde se descompone el hidrógeno del agua.
- Los materiales que se utilizaron para la construcción del generador de hidrógeno son fáciles de conseguir en nuestro medio y a un coste moderado para su producción.
- Al adicionar gas hidrógeno a la combustión no produjo ningún efecto a funcionamiento del motor sino que por el contrario la combustión se realizó de una forma más eficiente dando como resultado menor producción de contaminantes.
- Los mejores resultados se obtuvieron en la reducción de Hidrocarburos como en el caso del Kia Sportage que hubo una disminución de 24ppm a 5ppm.
- En cuanto a la temperatura de flama adiabática se obtuvo un aproximado de 2370.43K el vehículo funcionando con gasolina y 2601.43K con el generador de hidrógeno esto nos quiere decir que hay una mejor combustión al utilizar el hidrógeno.

RECOMENDACIONES

- Siempre usar implementos de seguridad como guantes, gafas, mandil manipular el electrolito ya que se usa ácidos que pueden afectar la integridad de la persona.
- Para la implementación de este dispositivo debe estar en buenas condiciones el motor ya que si no lo estuviera no se tuviera los resultados deseables.
- El generador de hidrógeno debe estar en un lugar de fácil acceso y debe estar bien fijado hacia el chasis del vehículo; además, no debe estar en lugares demasiado calientes ya que puede afectar la producción de este gas.
- Revisar siempre el cableado ya que pueden haber anomalías en el sistema e interrumpa el paso de corriente al generador inhabilitando la producción de gas hidrógeno.
- En cuanto a la manipulación de este gas, no tiene que haber ningún tipo de llamas o chispa cerca de las mangueras que transportan el hidrógeno ya que se puede producir una explosión ya que puede estropearse los dispositivos.
- La intensidad de corriente no debe superar de 8-10 A ya que comenzaría a calentarse el sistema y empezaría a producir vapor de agua que sería perjudicial para el motor.
- Verificar el electrolito cada 150-200km recorridos, para que siempre haya producción de gas hidrógeno.
- Asegurarse que no hayan fugas en todo los sistemas que conforman el generador de hidrógeno para evitar quedarse sin electrolito.
- Con el uso del hidrógeno en el motor, los elementos móviles internos como: bulón, biela, pistón, cigüeñal etc, que están sometidos a mayores esfuerzos por tanto hay mayor desgaste en las piezas mencionadas, por lo tanto es necesario realizar cambios de aceite en el tiempo exacto que lo recomienda el fabricante.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- J. R. Santander, Técnico en Mecánica y Electrónica Automotriz, Colombia: Copyright 2010 por Diseli, 2010.
- F. Payri y Jm. Desantes, Motores de Combustion Interna Alternativos, Barcelona: Reverté SA, 2011.
- B. Michael A y Y. Cengel, Termodinámica, Quinta ed., Mexico, 2006, pp. 271-272. Tablas A18-A26.
- L. G. JODRA, «EL HIDRÓGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO,» *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)*, p. 1, 2005.
- L. M. Crosbie y D. Chapin, Hydrogen Production by Nuclear Heat, Kyoto: GENESA/ANP2003, 2003
- R. Chang y K. A. Goldsby, «Electroquímica,» de *Química*, Mexico, 2013, pp. 844-849.
- A. J. Konopka y D. P. Gregory, «Present and Future,» de *Hydrogen Production by Electrolysis*, Chicago, Institute of Gas Technology, 1975.
- J. L. Piqué, El hidrógeno y nuestro futuro energético, Primera Edición ed., Barcelona, 2010.
- M. K. Mann, Technical and economic analyses of hydrogen production via indirectly heated gasification and pyrolysis, vol. 1, 1, NREL/CP-430-20036, 1995, pp. 205-236.
- H. Gutiérrez Pulido y R. De la Vara Salazar, Análisis y Diseño de Experimentos, Mexico: McGraw-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, 2012, pp. 60-67.
- J. A. C. Gonzales, J. A. Carta Gonzáles, R. Calero Pérez, A. Colmenar Santos y M. A. Castro Gil, «Los recursos energéticos de la tierra,» de *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables*, Madrid (España), Esther Martín, 2009, pp. 24-93.
- Ehl, Rosemary Gene, Ihde y Aaron, «Faraday's Electrochemical Laws and the Determination of Equivalent Weights,» *Journal of Chemical Education* , p. 226–232.
- R. Evans, E. Chornet, C. Czernik, C. Feik, s. Philips, J. Abedi, Y. Yeboah, D. Day, J. Howard, D. McGee y M. Realff, Renewable hydrogen production by catalytic steam reforming of peanut shells pyrolysis products, Boston, 2002.

Artículos de revistas

- J. L. Fernández Nuevo, M. Gordillo Matín, C. Parapar Barrera y M. Ruiz Yániz, «Informe de la I+D en energía y automoción,» Fundación General CSIC, Madrid, 2012.
- MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG., «Manual del Usuario,» 2005.
- U. P. Salesiana, «Banco dinamométrico,» Cuenca, 2014.
- A. J. Konopka y D. P. Gregory, «Present and Future,» de *Hydrogen Production by Electrolysis*, Chicago, Institute of Gas Technology, 1975.
- M. Laborde, *Oxidación Pracial de Hidrocarburos*, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2004.
- M. S. Pérez, «Aprovechamiento de la energía solar en media y alta temperatura. Sistemas termosolares de concentración.,» Universidad de Sevilla, 2012.

Citas electrónicas

- «<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/2hsnaoh.pdf>,» [En línea]. Available: <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/2hsnaoh.pdf>. [Último acceso: 13 08 2014].
- Intituto Ecuatoriano de Normalización, «INEN. Intituto Ecuatoriano de Normalización,» [En línea]. Available: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/2204.pdf>. [Último acceso: 18 11 2014].
- 2014 by NGK Spark Plug Europe, «www.ngk.de/,» NGK Spark Plugs, 2014. [En línea]. Available: <http://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/sondas-lambda/aspectos-basicos-de-los-gases-de-escape/gases-de-escape-y-gases-contaminantes/>. [Último acceso: 04 09 2014].
- F. Moreno, «<http://www.diariomotor.com/>,» 8 Octubre 2009. [En línea]. Available: <http://www.diariomotor.com/2009/10/08/hidrogeno-vs-gasolina-fuga-de-combustible-con-incendio/>. [Último acceso: 5 mayo 2014].
- Tecnoautos, «<http://tecnoautos.com/>,» [En línea]. Available: <http://tecnoautos.com/automoviles/fichas-tecnicas/ficha-tecnica-del-suzuki-esteem-glx-sedan-saloon-ensamblado-en-1996/>. [Último acceso: 13 08 2014].
- «<http://blog.wikispaces.com/>,» [En línea]. Available: <http://fisicaparainformatica.wikispaces.com/Unidad+III>. [Último acceso: 13 agosto 2014].

ANEXOS

Anexos del Capítulo III

Anexo A.1. Se detallar los planos de todas las partes y por cuantos esta conformad el generador de hidrógeno:

Núm.	Detalle
1	Placa de acrílico delanteras
1	Placa de acrílico posterior
8	Electrodos Neutro
1	Electrodo Positivo
2	Electrodo Negativo
12	Juntas de caucho

Anexos del Capítulo IV

Anexo A.2. Ensayos para mejor producción de gas hidrógeno



Prueba N°1 de generador de Hidrógeno							
Solucion:	sal o cloruro de sodio	Voltaje de la batería (v)		12.56			
Num	Cat. de solución (kg)	Cat de electrolito (ml)	Voltaje de consumo generador (v)	Corriente (A)	Volumen (ml/min)	Temperatura del generador (°C)	Coloración
1	0,004	250	10,34	5,77-5,80	210	22	café claro
2	0,004	250	10,3	6,5-6,96	240	23	café oscuro
3	0,004	250	10,07	7-7,12	247	26	café oscuro
4	0,004	250	9,97	7,30-7,80	250	28	café oscuro y espeso
5	0,004	250	9,34	7,90-8.05	260	30	café oscuro y espeso
Total	0,02	250					
Comentario							
En las primeras pruebas el poco volumen de hidrógeno que se obtiene si es explosivo, además cada vez que se aumentaba la solución se oscurecía más el electrolito ; se al final se obtuvo una solución en forma de colada y poco explosiva							

Prueba N°2 de generador de Hidrógeno							
Solucion:	bicarbonato de sodio	Voltaje de la batería (v)		12.56			
Num	Cat. de solución (kg)	Cat de electrolito (ml)	Voltaje de consumo generador (v)	Corriente (A)	Volumen (ml/min)	Temperatura del generador (°C)	Coloración
1	0,004	250	11,7	2,05-2,10	0	18	café claro
2	0,004	250	11,27	2,44-2,75	100	20	café claro
3	0,004	250	10,89	2,99-3,15	120	23	café claro
4	0,004	250	10,96	3,40-3,12	130	24	café claro
5	0,004	250	11,1	3,60-3,46	145	25	café claro
Total	0,02	250					
Comentario							
En las primeras pruebas de explosión del gas no fue muy eficiente; al proseguir con las pruebas se obtuvieron mejores resultados							

Prueba de generador de Hidrógeno							
Solucion:	Hidroxido de Sodio	Voltaje de la batería (v)		12.56			
Num	Cat. de solución (kg)	Cat de electrolito (ml)	Voltaje de consumo generador (v)	Corriente (A)	Volumen (ml/min)	Temperatura del generador (°C)	Coloración
1	0,004	250	11,7	2,05-2,10	100	22	café claro
2	0,004	250	11,27	2,44-2,75	250	26	café claro
3	0,004	250	10,89	3,59-4,15	120	29	café claro
4	0,004	250	10,96	5,40-6,12	130	33	café claro
5	0,004	250	10,65	6,46-7,65	800	37	café claro
6	0,004	250	10,3	8,26-11,13	1100	39	café claro
Total	0,024	250					
Comentario							
En las primeras pruebas de explosión del gas no fue muy eficiente; al proseguir con las pruebas se obtuvieron mejores resultados							

Anexo A.3. Programación en Arduino Mega 2560 para el sensor MQ-8

```
*****Sensor MQ-8 Gas Sensor*****

***/

#define MQ_PIN          (0) //definir qué entrada analógica canal que se va a utilizar
#define RL_VALUE        (10) //definir la resistencia de carga en el tablero, en kilo ohmios
#define RO_CLEAN_AIR_FACTOR (9.21) //RO_CLEAN_AIR_FACTOR = (resistencia del sensor en
aire limpio) / RO,
//que se deriva de la tabla en la ficha técnica

/*****Software Related Macros*****/
#define CALIBRATION_SAMPLE_TIMES (50) //definir cuántas muestras que se van a tomar en la fase
de calibración
#define CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL (500) //definir el intervalo de tiempo (en milisegundos) entre
cada uno de muestras en el
//fase de calibración
#define READ_SAMPLE_INTERVAL (50) //definir cuántas muestras que se van a tomar en el
funcionamiento normal
#define READ_SAMPLE_TIMES (5) //definir el intervalo de tiempo (en milisegundos) entre cada
muestra en
//normal operación

Serial.print(Ro); //D" La calibración se realiza...\n
Serial.print(""); //Ro=
//Serial.print(""); //kohm
//Serial.print("\n");
}

void loop()
{
// Serial.print(""); //H2:
Serial.print(MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN)/Ro,GAS_H2));
Serial.print(""); //ppm
// Serial.print("\n");
// delay(200);
}

/***** MQResistanceCalculation *****/
Input: raw_adc - valor bruto leer de ADC, que representa el voltaje
Output: la resistencia del sensor calculado
Remarks: El sensor y la resistencia de carga forma un divisor de tensión. Teniendo en cuenta el voltaje
a través de la resistencia de carga y su resistencia, la resistencia del sensor
podría ser derivada.
***/

float MQResistanceCalculation(int raw_adc)
{
return ( ((float)RL_VALUE*(1023-raw_adc)/raw_adc));
}
}
```

```

/***** MQGetGasPercentage *****/
Input:  rs_ro_ratio - Rs divided by Ro
        gas_id     - target gas type
Output: ppm of the target gas
Remarks: Esta función pasa a diferentes curvas a la función
          Porcentaje MQGET que calcula el ppm (partes por millón) de gas objetivo.
*****/
int MQGetGasPercentage(float rs_ro_ratio, int gas_id)
{
  if ( gas_id == GAS_H2) {
    return MQGetPercentage(rs_ro_ratio,H2Curve);
  }
  return 0;
}

/***** MQGetPercentage *****/
Input:  rs_ro_ratio - Rs divided by Ro
        pcurve     - pointer to the curve of the target gas
Output: ppm of the target gas
Remarks: Mediante el uso de la pendiente y un punto de la línea. La x (valor logarítmico de ppm)
          de la línea podría derivarse si se proporciona y (rs_ro_ratio). Como se trata de un
          logarítmica coordenada, potencia de 10 se utiliza para convertir el resultado a no logarítmica
          valor.
*****/
int MQGetPercentage(float rs_ro_ratio, float *pcurve)
{
  return (pow(10,((log(rs_ro_ratio)-pcurve[1])/pcurve[2]) + pcurve[0]]));
}

```

```

/***** MQCalibration *****/
Input: mq_pin - analog channel
Output: Ro of the sensor
Remarks: Esta función asume que el sensor está en aire limpio. utiliza
MQResistanceCalculation que calcula la resistencia del sensor de aire limpio
y luego lo divide con RO_CLEAN_AIR_FACTOR. RO_CLEAN_AIR_FACTOR se trata de
10, que difiere ligeramente entre diferentes sensores.
*****/
float MQCalibration(int mq_pin)
{
    int i;
    float val=0;

    for (i=0;i<CALIBARAION_SAMPLE_TIMES;i++) { //take multiple samples
        val += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
        delay(CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    val = val/CALIBARAION_SAMPLE_TIMES; //calculate the average value

    val = val/RO_CLEAN_AIR_FACTOR; //divided by RO_CLEAN_AIR_FACTOR yields the Ro
    //according to the chart in the datasheet

    return val;
}
/***** MQRead *****/
Input: mq_pin - analog channel
Output: Rs of the sensor
Remarks: Esta función utiliza la resistencia de cálculo para calcular la resistencia del sensor (Rs).
El RS cambios como el sensor se encuentra en la diferente concentración del gas objetivo
Los tiempos de muestra y el intervalo de tiempo entre las muestras se podrían configurar
al cambiar la definición de las macros.
*****/
float MQRead(int mq_pin)
{
    int i;
    float rs=0;

    for (i=0;i<READ_SAMPLE_TIMES;i++) {
        rs += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
        delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
    }

    rs = rs/READ_SAMPLE_TIMES;

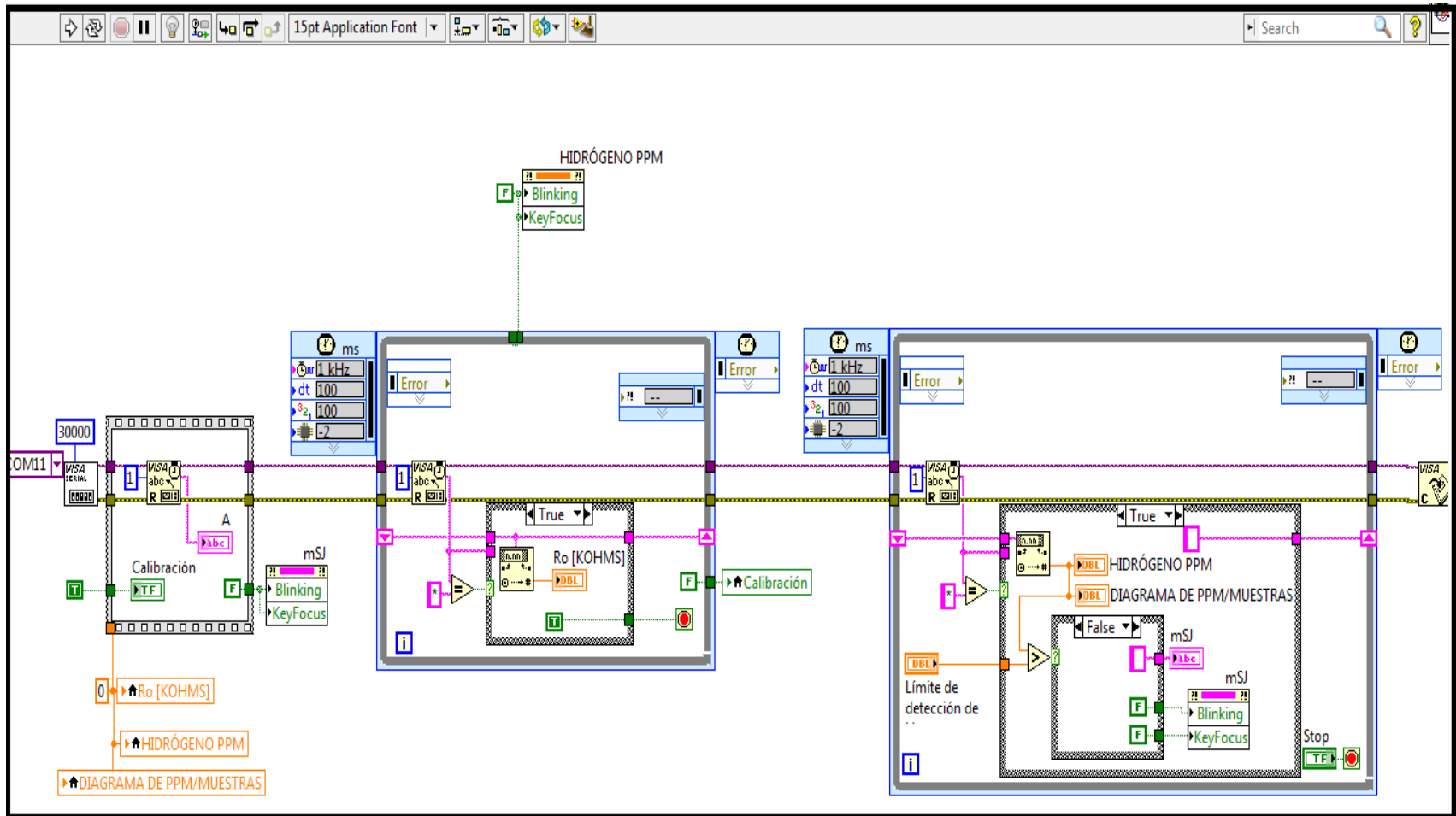
    return rs;
}

```

A.4. Resultados de las muestras del sensor de gas hidrógeno MQ-8

MUESTRAS - Plot 0	PPM - Plot 0
577	19
578	20
579	22
580	41
581	1154
582	7618
583	13360
584	16912
585	19163
586	20785
587	21815
588	22396
589	23232
590	24966
591	25678
592	26326
593	26804
594	26902
595	27196
596	26708
597	26139
598	25588
599	24967
600	24368
601	23790
602	23078
603	22470
604	21744
605	21189
606	20588
607	20138
608	19642
609	19164
610	18874
611	18478
612	18095
613	17775

Anexo. A5. Programación del sensor de hidrógeno MQ-8 en Labview



Anexo A6. Muestras de gases de los diferentes vehículos

Pruebas sin el generador de hidrógeno en el vehículo Chevrolet Steem

Ralentí

<p><i>ralentí</i></p> <p>4 Gas Emission Analyzer</p> <hr/> <p>2014/07/01 PM 6:36 CAR NUMBER: 0000 CO : 0.52 % HC : 217 ppm CO2 : 14.8 % O2 : 1.46 % LAMBDA: 1.041 AFR : 15.3 FUEL : GASOLINE H/C : 1.8500 O/C : 0.0000</p> <hr/>	<p>MGT5 Steem</p> <p>ZQR</p> <hr/> <p>Fecha : 11.09.2014 Hora : 10:09</p> <p>Combustible: Gasolina</p> <p>Prueba visual: OK/No OK HC: 212 ppm CO: 0.35 % CO2: 12.97 % O2: 2.28 % CO Corr: 0.37 % Vol Lambda 1.099 NO 63 ppm T.Aceite 0 °C RPM: 0 rpm</p> <p>Inspector:</p> <p>Propietario:</p> <p>Matricula:</p> <p>Tipo Vehiculo:</p> <p>Matriculacion:</p>
---	---



Pruebas con la implementación del generador de hidrógeno vehículo Chevrolet Steem

Ralentí

M G T S
Steem H^r
7GR

Fecha : 11.09.2014
Hora : 10:25

Combustible: Gasolina

Prueba visual:OK/No OK
HC: 194 ppm
CO: 0.38 %
CO2: 12.95 %
O2: 2.39 %
CO Corr: 0.39 % Vol
Lambda 1.104
NO 63 ppm
T.Aceite 9 °C
RPM: 0 rpm

Inspector:
Propietario:
Matricula:
Tipo Vehiculo:
Matriculacion:
Kilometraje:
Firma

M G T S
7GR
Plus Steem H^r

Fecha : 09.09.2014
Hora : 16:01

Combustible: Gasolina

Prueba visual:OK/No OK
HC: 196 ppm
CO: 0.33 %
CO2: 12.99 %
O2: 2.63 %
CO Corr: 0.34 % Vol
Lambda 1.119
NO 56 ppm
T.Aceite 0 °C
RPM: 0 rpm

Inspector:
Propietario:
Matricula:
Tipo Vehiculo:
Matriculacion:
Kilometraje:
Firma
Sello

Pruebas sin el generador de hidrógeno en el vehículo Hyundai Tucson

Ralentí

Tucson
MGT5
70R

Fecha : 11.11.2014
Hora : 12:02

Combustible: Gasolina

Prueba visual: OK/No OK
HC: 127 ppm
CO: 0.11 %
CO2: 14.73 %
O2: 0.47 %
CO Corr: 0.11 % Vol
Lambda 1.013
NO 4 ppm
T.Aceite 0 °C
RPM: 0 rpm

Inspector:
Propietario:
Matricula:
Tipo Vehículo:
Matriculación:
Kilometraje:

Tucson Sin H₂
MGT5
70R

Fecha : 11.11.2014
Hora : 11:54

Combustible: Gasolina

Prueba visual: OK/No OK
HC: 135 ppm
CO: 0.12 %
CO2: 14.77 %
O2: 0.49 %
CO Corr: 0.12 % Vol
Lambda 1.014
NO 1 ppm
T.Aceite 0 °C
RPM: 0 rpm

Inspector:
Propietario:
Matricula:
Tipo Vehículo:
Matriculación:
Kilometraje:
Firma
Sello

Pruebas con la implementación del generador de hidrógeno en el vehículo Hyundai Tucson

Ralentí

Con "Tucson H⁺"
Fecha : 11.11.2014
Hora : 12:27

Combustible: Gasolina

Prueba visual:OK/No OK
HC: 105 ppm
CO: 0.12 %
CO2: 14.51 %
O2: 0.44 %
CO Corr: 0.12 % Vol
Lambda 1.013
NO 5 ppm
T.Aceite 0 °C
RPM: 0 rpm

Inspector:

Propietario:

Matricula:

Tipo Vehiculo:

Matriculacion:

Kilometraje:

Firma
Sello

"Tucson H⁺"
M G T S

7GR

Fecha : 11.11.2014
Hora : 12:33

Combustible: Gasolina

Prueba visual:OK/No OK
HC: 107 ppm
CO: 0.14 %
CO2: 14.46 %
O2: 0.44 %
CO Corr: 0.14 % Vol
Lambda 1.012
NO 6 ppm
T.Aceite 0 °C
RPM: 0 rpm

Inspector:

Propietario:

Matricula:

Tipo Vehiculo:

Matriculacion:

Kilometraje:

Pruebas sin el generador de hidrógeno en el vehículo Kia Sportage

Ralentí

M G T 5

7GR

Fecha : 05.11.2014
Hora : 18:03

Combustible: Gas

Prueba visual:OK/No OK

HC: 0 ppm
CO: 0 ppm
CO2: 14.04 ppm
O2: 1.051 % Vol
CO Corr: 0.000 % Vol
Lambda: 1.051

NO: 13 ppm
T.Aceite: 0 °C
RPM: 0 rpm

Inspector:

Propietario:

M-

Matricula:

Tipo Vehiculo:

Matriculacion:

Kilometraje:

Firma
Sello

M G T 5

7GR

Fecha : 05.11.2014
Hora : 18:01

Combustible: Gas

Prueba visual:OK/No OK

HC: 0 ppm
CO: 0 ppm
CO2: 14.04 ppm
O2: 1.051 % Vol
CO Corr: 0.000 % Vol
Lambda: 1.051

NO: 13 ppm
T.Aceite: 0 °C
RPM: 0 rpm

Inspector:

Propietario:

M-

Matricula:

Tipo Vehiculo:

Matriculacion:

Kilometraje:

Firma
Sello



Pruebas con la implementación del generador de hidrógeno en el vehículo Kia Sportage

Ralentí

M G T S

70R

Fecha : 06.11.2014
Hora : 15:32

Combustible: Gas

Prueba visual:OK/No OK

HC: 4 ppm
CO: 9.81 %
CO2: 14.64 %
O2: 9.25 %
CO Corrt: 9.81 % Vol
Lambda: 1.009
NO: 39 ppm
T.Aceite: 9 °C
RPM: 9 rpm

Inspector:

Propietario:

Matricula:

Tipo Vehículo:

Matriculación:

Kilometraje:

Firma:
Sello:

M G T S

70R

Fecha : 06.11.2014
Hora : 15:53

Combustible: Gas

Prueba visual:OK/No OK

HC: 5 ppm
CO: 9.81 %
CO2: 14.64 %
O2: 9.15 %
CO Corrt: 9.81 % Vol
Lambda: 1.006
NO: 2 ppm
T.Aceite: 9 °C
RPM: 9 rpm

Inspector:

Propietario:

Matricula:

Tipo Vehículo:

Matriculación:

Kilometraje:

Firma:
Sello: