UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Titulo:

"ALIMENTACIÓN DE UN MOTOR MONOCILÍNDRICO CON HIDRÓGENO OBTENIDO A TRAVÉS DE LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA"

Tesis de grado previo a optar por el título de Ingeniero en Mecánica Automotriz.

Autor: Juan Carlos López Villacres

Director: Ing. Gonzalo Ramiro Riofrío Cruz, Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN

Ing. Gonzalo Ramiro Riofrío Cruz, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **"ALIMENTACIÓN DE UN MOTOR MONOCILÍNDRICO CON HIDRÓGENO OBTENIDO A TRAVÉS DE LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA"**, previa a la obtención del título de Ingeniero **MECÁNICO AUTOMOTRIZ**, realizado por el señor egresado: **JUAN CARLOS LÓPEZ VILLACRES** , la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 06 de Febrero del 2018

Ing. Gonzalo Ramiro Riofrío Cruz, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo **JUAN CARLOS LOPEZ VILLACRES** declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cedula: 1600441800

Fecha: 23/03/2018

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **JUAN CARLOS LÓPEZ VILLACRES**, declaro ser autor de la tesis titulada**: "ALIMENTACIÓN DE UN MOTOR MONOCILÍNDRICO CON HIDRÓGENO OBTENIDO A TRAVÉS DE LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA"**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO EN MECÁNICA EN AUTOMOTRIZ;** autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintitres días del mes de marzo del dos mil dieciocho.

Firma:

Autor: Juan Carlos López Villacres

Cedula: 1600441800

Dirección: Gonzanamá

Correo Electrónico: teojoseph@hotmail.com

Celular: 0987580800

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Gonzalo Ramiro Riofrío Cruz, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Marco Felipe Cabrera Erazo. Mg. Sc.
Ing. Alex Alberto González Hernández. Mg. Sc.
Ing. Rubén Darío Carrión Jaura. Mg. Sc.

DEDICATORIA

A Dios y a mi querida Virgen del Cisne, que me dieron salud y fuerzas para no desmayar en esta carrera de la obtención del título de Ingeniero Automotriz.

A mis adorables hijos y esposa que me supieron apoyar moralmente dándome el impulso fundamental para luchar con las adversidades y barreras que se presentaron a lo largo de mis estudios.

A mis amados padres que supieron estar muy presentes en las necesidades de toda índole, y que me dieron muchas enseñanzas de vida que me ayudaron a ser lo que soy ahora un hombre preparado y humilde, por tal razón me siento orgulloso de ellos.

Juan Carlos López Villacres

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer infinitamente a Dios por darme la vida, protegerme y guiarme por el camino correcto a mis padres Jaime López y Mariana Villacres que confían y creen en mí, a mis hijos y esposa por su inagotable paciencia

Agradezco de manera de la manera más atenta a mi director de tesis al ing. Gonzalo Riofrío, por brindarme su tiempo y conocimientos para llegar a la culminación del proyecto.

Juan Carlos López Villacres

TABLA DE CONTENIDOS

PORTADA i
CERTIFICACIÓN ii
AUTORÍA iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR. iv
DEDICATORIA v
AGRADECIMIENTO vi
TABLA DE CONTENIDOS vii
ÍNDICE DE FIGURAS xii
ÍNDICE DE TABLAS xvi
1.- TÍTULO 1
2.- RESUMEN 2
2.1 ABSTRACT 3
3.- INTRODUCCIÓN 4
4.- REVISIÓN DE LITERATURA 5
4.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 5
4.1.1 Principios termodinámicos 5
4.1.2 Ciclo teórico del motor de combustión interna 6
4.1.3 Principios Físicos 7
4.1.4 Motor de 4 tiempos 9
4.1.4.1 Ciclo teórico de motor OTTO. 11
d.1.4.2 Rendimiento térmico de los motores alternativos 17
4.1.4.3 Cálculo de la eficiencia 18
4.1.4.4 Cálculo de trabajo de la masa de combustible. 19
4.1.5 Análisis de los parámetros básicos de un motor de combustión interna. 19
4.1.5.1 Nomenclatura para el análisis de los parámetros del motor. 20

4.1.6 Parámetros Geométricos 21
4.1.6.1 Diámetro del cilindro 21
4.1.6.2 Carrera del Pistón 21
4.1.6.3 Relación carrera - diámetro 22
4.1.6.4 Sección del pistón 22
4.1.6.5 Cilindrada unitaria 23
4.1.6.6 Relación de compresión 23
4.1.6.7 Volumen de la cámara de combustión 23
4.1.7 Parámetros de funcionamiento 24
4.1.7.1 Régimen y velocidad lineal media del pistón 24
4.1.7.2 Gasto de aire y rendimiento volumétrico 24
4.2. REGULADOR DE PRESIÓN. 25
4.2.1. Sistema de dos reguladores: 25
4.2.2 Sistema de un solo regulador. 26
4.2.3 Principios de funcionamiento 26
4.2.4 Presión diferencial 26
4.2.5 El Equilibrio 26
4.2.6 Etapas de Reducción 27
4.2.7 Ley de Faraday. 29
4.2.8. Ecuación del gas ideal 30
4.3 HIDRÓGENO Y LA ENERGÍA. 31
4.3.1 Razones de eficiencia energética. 31
4.3.2 Razones de dependencia energética. 32

4.4 TIPOS DE MOTORES QUE PUEDEN UTILIZAR HIDRÓGENO. 34
4.4.1 Motor de 4 tiempos. 35
4.4.2 Motor rotativo Wankel. 36
4.5 GENERACIÓN DEL HIDRÓGENO. 37
4.5.1 Electrólisis. 38
4.5.2 Componentes del Generador de Hidrógeno 40
4.5.2.1 Generador de hidrógeno. 40
4.5.2.2 Hidróxido de Sodio 42
4.5.2.3 Agua Destilada 43
4.5.2.4 Burbujeador 44
4.5.2.5 Tanque de almacenamiento de baja presión. 45
4.6 COMPONENTES DE LOS GASES DE ESCAPE 45
4.6.1 Gases inofensivos 46
4.6.2 Gases Contaminantes 47
4.7 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE CONEXIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE HIDRÓGENO 48
4.7.1 Mangueras. 48
4.7.2 Abrazaderas. 49
4.7.3 Depósito de electrolito. 50
4.7.4 Relé 51
4.7.5 Cable eléctrico 53
4.7.6 Fusible y portafusible 54
4.7.7 Interruptor 55
4.7.8 Manómetro. 56

5.- MATERIALES Y MÉTODOS 56
5.1 Materiales 57
5.2. Métodos, Técnicas e Instrumentos 58
5.2.1 Método de observación: 58
5.2.2. Método analítico: 58
5.2.3. Método deductivo: 58
5.2.4. Método científico: 58
6.- RESULTADOS 59
6.1.1 Análisis de los parámetros básicos de un motor Honda GX35. 59
6.1.2 Parámetros geométricos del motor Honda GX35 61
6.1.3 Parámetros de funcionamiento del motor Honda GX35 62
6.1.4 Gasto de aire y rendimiento volumétrico 63
6.2 Análisis de requerimientos mezcla estequiométria en relación del Oxígeno. 63
6.2.1 Cálculo sobre la cantidad de hidrógeno necesario. 64
6.3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA GENERADORA DE HIDRÓGENO Y CONSTRUCCIÓN DE MAQUETA DEL SISTEMA COMPLETO Y ELEMENTOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR MONOCILÍNDRICO. 64
6.3.1 Construcción del generador de Hidrógeno. 64
6.3.2 Diseño del Generador de Hidrógeno 65
6.3.3 Cálculo para áreas y volúmenes. 66
Desarrollo de cálculo para encontrar las áreas y volúmenes. 68
6.3.4 Cálculo de producción de hidrógeno. 69
6.3.5 El almacenamiento necesario. 73

6.3.6 Análisis termodinámico del motor Honda. 74
6.3.6.1 Análisis termodinámico con Gasolina. 74
6.3.6.2 Análisis termodinámico con Hidrógeno. 79
6.3.7 Alimentación de motor con la utilización de regulador de presión. 80
6.3.7.1 Regulador de gas primario. 81
6.3.7.2. Regulador secundario para motores de hasta 20Kw. 83
6.4 DISEÑO DE GENERADOR EN SOFTWARE 84
6.4.1 Diseño de placa de Sujeción. 85
6.4.2 Diseño de placa neutra. 87
6.4.3 Diseño de placa electrodo 88
6.4.4 Diseño de junta aislante. 88
6.4.5 Elementos de sujeción. 89
6.4.6 Ensamble de generador con los componentes diseñados. 90
6.5 ELABORACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL CONJUNTO GENERADOR .. 90
6.5.1 Ensamble del Generador 93
6.6 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA MAQUETA E IMPLEMENTACIÓN DE SUS COMPONENTES. 101
6.6.1 Pasos para la construcción de la estructura de la maqueta. 107
6.6.2 Conexión Eléctrica. 114
6.7. ANÁLISIS DE GASES 117
7.- DISCUSIÓN 125
8.- CONCLUSIONES 126
9.- RECOMENDACIONES 128
10.- BIBLIOGRAFÍA 130
11. ANEXOS 134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Motor de combustión interna 5

Figura 2. Fuerza de desplazamiento del pistón 6

Figura 3. Ciclo de combustión interna genérico. 7

Figura 4. Mecanismo Biela-Manivela 8

Figura 5. Ciclos de motor de 4 tiempos 9

Figura 6. Terminología universal de valores de motor 11

Figura 7. Tiempo de admisión. 12

Figura 8. Tiempo de compresión. 13

Figura 9. Tiempo de trabajo 14

Figura 10.Tiempo de escape 15

Figura 11.Fases de ciclo de cuatro tiempos. 15

Figura 12. Diagrama P-V de un ciclo OTTO teórico. 16

Figura 13.Regulador de una sola etapa 25

Figura 14.Presión de regulación va en aumento. 27

Figura 15.Presión de regulación llega al punto de calibración. 28

Figura 16: Átomo de Hidrogeno 31

Figura 17: Auto BMW a hidrogeno. 35

Figura 18: Motor rotativo del modelo RX-8, Renesis Hydrogen RE, de Mazda 36

Figura 19. Esquema de la electrolisis. 40

Figura 20 Celda electrolítica 42

Figura 21. Hidróxido de sodio 43

Figura 22. Agua destilada 44

Figura 23. Filtro de agua 44
Figura 24. Tanque de almacenamiento 45
Figura 25. Combustión de la mezcla y emisiones de escape. 46
Figura 26. Abrazadera 50
Figura 27. Depósito de refrigerante. 51
Figura 28. Relé 51
Figura 29. Diagrama de bornes. 52
Figura 30. Cables de vehículos 53
Figura 31. Fusible 54
Figura 32. Interruptor con luz piloto 55
Figura 33. Manómetro para presión de gas. 56
Figura 34. Motor Honda GX35. 60
Figura 46.Ensamble completo de generador de hidrogeno en software. 66
Figura 35. Tanque de almacenamiento de hidrógeno 74
Figura 36: Regulador gas primario 81
Figura 37: Funcionamiento interno de regulador. 82
Figura 38: Regulador secundario 83
Figura 39: funcionamiento interno de regulador segunda etapa. 84
Figura 40. Ilustración de partes del generador 85
Figura 41. Placa de sujeción en software 86
Figura 42. Placa neutra de acero inoxidable en software. 87
Figura 43. Placa electrodo en acero inoxidable software. 88
Figura 44. Junta aislante en software. 89

Figura 45. Varillas roscadas en software. 89

Figura 46.Ensamble completo de generador de hidrogeno en software. 90

Figura 47. Placas de sujeción. 91

Figura 48. ***Rayado y corte de placa neutras.*** 92

Figura 49. **C*orte de placas electrodos.*** 92

Figura 50. **C*orte de placas electrodos.*** 93

Figura 51. *Armado de varillas.* 97

Figura 52. *Puesta de junta aislante.* 97

Figura 53. Esquema de reparto de las placas. 98

Figura 54. Acople de placa electrodo negativa. 98

Figura 55. Acople de placa neutra. 99

Figura 56. Acople de placa positiva. 99

Figura 57. ***Ensamble completo.*** 100

Figura 58. Verificación de continuidad de los bornes. 100

Figura 59. Estructura soldada y armada. 107

Figura 60. Panel de control. 108

Figura 61.Componentes pintados. 108

Figura 62. Instalación de tanque de electrolito 109

Figura 63. Instalación de generador y mangueras. 109

Figura 64.Instalacion de tanque. 110

Figura 65.Instalación de burbujeador. 110

Figura 66. Instalación de arrestallamas. 111

Figura 67. Empotramiento de motor. 111

Figura 68. Regulador de gas empotrado. 112

Figura 69. Regulador secundario de gas. 112

Figura 70. Instalación de llave de paso. 113

Figura 71. Conexión de mangueras. 113

Figura 72. Circuito de panel de control. 114

Figura 73. Imágenes de conexiones. 115

Figura 74. Celda en software y celda en diseño real. 116

Figura 75. *Rotulo de taller.* 117

Figura 76. *Analizador de gases MAHA MGT 5.* 118

Figura 77. *Motor funcionando a gasolina.* 118

Figura 78. Sonda conectada en la salida de gases de escape del motor. 119

Figura 79. Sistema funcionando con hidrogeno y censado de gases de escape. 119

Figura 80. Datos con motor funcionando a gasolina mostrados en la interfaz. 120

Figura 81. Datos con motor funcionando a Hidrógeno mostrados en la interfaz. 121

Figura 82. Emisiones de HC de los dos sistemas. 122

Figura 83. Emisiones de CO de los dos sistemas. 122

Figura 84. Emisiones de CO2 de los dos sistemas. 123

Figura 85. Emisiones de O2 de los dos sistemas. 123

Figura 86.Emisiones de Factor Lambda de los dos sistemas. 124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Denominación del motor según la relación S/D 22

Tabla 2. Densidades energéticas de diversos combustibles. 33

Tabla 3 Catálogo de mangueras industriales. 49

Tabla 4. Datos de conductores eléctricos. 54

Tabla 5. Identificación de fusibles por colores. 55

Tabla 6. Datos Técnicos de motor honda GX35 60

Tabla 7. Diámetro de cilindro y pistón del motor Honda 61

Tabla 8. Ficha técnica del generador de gas Hidrógeno 65

Tabla 9. Datos de dimensiones y fórmulas de volumen del generador. 67

Tabla 10. Significado de las siglas de formula. 67

Tabla 11. Valores para cálculo de producción de gas. 70

Tabla 12. Parámetros para el gas hidrógeno. 71

Tabla 13. Datos para el análisis termodinámico utilizando Gasolina. 74

Tabla 14. Datos de motor Honda GRX35 79

Tabla 15. Elementos necesarios para la construcción de un generador de hidrógeno..... 93

Tabla 16. Elementos necesarios para el ensamble de la maqueta. 102

Tabla 17. Resultados de prueba de gases con analizador de gases MAHA GT5. 121

SIMBOLOGÍA

Otto: Apellido del inventor del motor de 4 tiempos.

PMS: Punto muerto superior

PMI: Punto muerto inferior

P – V: Presión Volumen.

GNC: Gas Natural Comprimido

CO_2: Dióxido de Carbono

NO_x: Óxidos Nitrosos

H: Hidrogeno

H_2: Dihidrogeno

HC: Hidrocarburos

PVC: Policluro de vinilo.

RPM: Revoluciones por minuto

Amps: Amperios

PSI: Libras por pulgada cuadrada.

Bar: Unidad de presión muy utilizada en aire comprimido.

Atm: Atmosfera

Cp: Calor especifico a presión constante

Cv: Calor especifico a volumen constante.

1.- TÍTULO

“ALIMENTACIÓN DE UN MOTOR MONOCILÍNDRICO CON HIDRÓGENO OBTENIDO A TRAVÉS DE LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA”

2.- RESUMEN

Se diseñó y construyó una celda electrolítica seca (generador de hidrógeno), utilizando un material altamente resistente a la corrosión como el acero inoxidable, para dar lugar a elementos que hacen la función de placas con carga positiva, carga negativa y carga neutra. Este dispositivo funciona con una tensión de 12 voltios obtenidos de una batería de un vehículo, y a través de éste circula un electrolito el mismo que usa una solución de hidróxido de sodio para mejorar la conducción de corriente a través del agua, dando lugar a un fenómeno llamado electrólisis. La corriente descompone el agua en dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, obteniendo de esta forma el gas hidrógeno que servirá como combustible para un motor. Posteriormente se almacenó el gas hidrógeno para ser suministrado directamente al sistema de alimentación de un motor monocilíndrico de cuatro tiempos, marca Honda, de 35 centímetros cúbicos. Consecutivamente se realizó la construcción de un prototipo en donde se implementaron todos los componentes y sistemas necesarios para poner en marcha el motor con este tipo de combustible. Una vez instalado el sistema y con el propósito de estudiar los efectos del gas hidrógeno en el motor, se realizaron dos pruebas de análisis de gases de escape. La primera prueba se realizó con el motor trabajando con gasolina, mientras que la segunda prueba empleó el hidrógeno como combustible. De esta manera se pudo evidenciar el comportamiento de los gases de escape con uno y otro combustible, a fin de evaluar las incidencias producidas por el uso del hidrógeno como carburante.

2.1 ABSTRACT

Its design was built in a dry electrolytic cell (hydrogen generator), using a highly-resistant to corrosion material as the stainless steel to give place to elements which work as a positive, negative and neutral charge. This device operates with a twelve- volts tension obtained from a vehicle battery through this runs an electrolyte which uses a sodium hydroxide solution to improve the driving of energy through water given place to a phenomenon called electrolysis. The electricity decomposes the water into two atoms of hydrogen and an atom of oxygen obtaining in this way the hydrogen combustible that will serve as fuel for an engine. Afterwards, the hydrogen gas was stored to be directly supplied to the feeding system of a Honda four-stroke engine of thirty-five -cubic cylinders. Consecutively was built a prototype where the components and necessary systems to start this kind of engine were implemented. Once the system was installed and with the purpose of analyse the effects of hydrogen fuel towards the engine, two tests of gas leakage were carried out. The first proof was done with the engine running on gasoline. While in the second proof hydrogen combustible was employed as motor fuel. In this way the behaviour of gas leakage was evidenced with both fuel in order to evaluate the incidences produced by the use of hydrogen gas as fuel.

3.- INTRODUCCIÓN

Los seres humanos han logrado grandes avances en la industria gracias al uso de los combustibles fósiles no renovables, pero a un muy alto costo medioambiental. El aumento de la población mundial hace que más vehículos sean utilizados cada año, produciendo cada vez más emisiones de gases contaminantes a la atmosfera, haciendo que dichos gases contribuyan al calentamiento global, dando lugar a drásticos cambios climáticos nunca antes vistos. Como ejemplo de este efecto resulta el deshielo de los polos y glaciares, lo cual provoca consigo el aumento del nivel del mar.

Debido a esta problemática ha nacido un gran interés en buscar nuevas fuentes de energía, por lo que en el presente trabajo de investigación se intenta dar una aplicación práctica al hidrogeno, debido a sus excelentes propiedades como combustible alternativo para alimentar los motores de combustión interna, obteniéndose a partir del agua, el cual es un recurso renovable y de fácil acceso. Dicho esto, lo que se pretende desarrollar es un sistema de generación de gas hidrogeno, el cual utiliza una tensión de 12 voltios para realizar el proceso de electrolisis y con la ayuda de un electrolito disociar el agua en sus dos moléculas esenciales, obteniendo el carburante que servirá para alimentar un motor monocilíndrico. Al mismo tiempo se debe crear un sistema de alimentación para que dicho motor funcione con los dos tipos de combustible, con la intención de realizar ensayos y análisis de los gases de escape, verificando de esta forma los beneficios que se obtiene al utilizar esta fuente de energía amigable con el medio ambiente.

4.- REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

4.1.1 Principios termodinámicos

La finalidad de un motor es la de realizar un trabajo lo más eficazmente posible, para eso varias personas idearon el motor de combustión interna que remplazaría a la máquina de vapor, de esta manera optimizarían el mundo del motor como se aprecia en la figura 1.

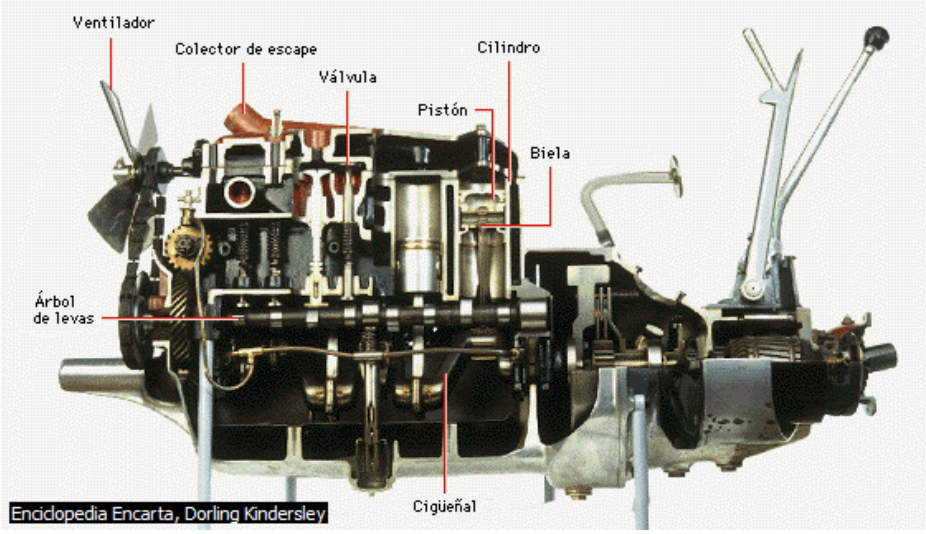


Figura 1. Motor de combustión interna

Fuente: (1)

En el caso de los motores de combustión interna, el trabajo a realizar se consigue gracias a una explosión, esa explosión se consigue gracias a la energía interna del combustible que se enciende. Todo combustible tiene una energía interna que puede ser transformada en trabajo, entonces, en los motores de combustión interna, la energía utilizada para que el motor realice un trabajo es la energía interna del combustible. Esta energía interna se manifiesta con un aumento de la presión y de la temperatura (explosión), que es lo que realizará un trabajo.

Supongamos que tenemos un cilindro dentro del cual hay un combustible mezclado con aire repartido por todo su volumen, en el momento que lo calentamos, hacemos reaccionar dicho

combustible con el oxígeno del aire y, por tanto, aumenta la presión y la temperatura del gas, expandiéndose y presionando al pistón con una fuerza F y desplazándolo hacia abajo. (2)

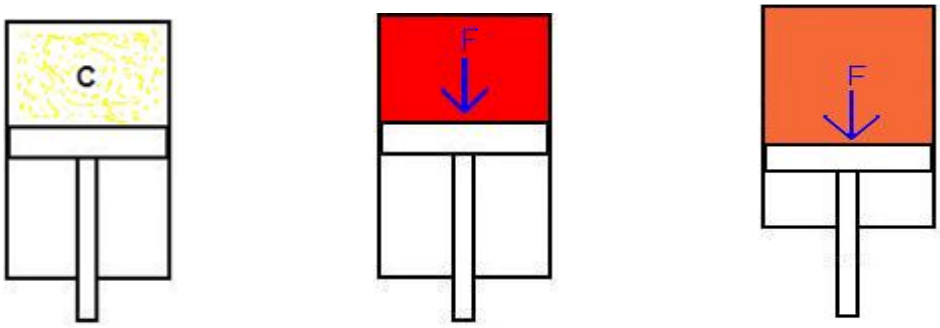


Figura 2. Fuerza de desplazamiento del pistón

Autor: (2)

4.1.2 Ciclo teórico del motor de combustión interna

Para que ocurra esa explosión, como ya se ha mencionado antes tiene que haber un combustible mezclado con aire para que pueda reaccionar y explotar. Por lo tanto, no solo basta con un proceso de explosión del combustible, sino que hace falta un proceso de admisión para que este carburante (aire y combustible) entre en el cilindro. También para poder realizar el ciclo hace falta un proceso de escape, para poder vaciar el cilindro y que pueda volver a entrar el carburante. Con estos tres procesos ya podemos seguir un ciclo (admisión – expansión – escape). Aunque fue Alphonse Beau de Rochas quién optimizó notablemente el motor de combustión interna añadiendo otro proceso al ciclo, el proceso de compresión. Con el proceso de compresión conseguimos que el aumento de presión en el momento de la explosión sea mucho mayor, ya que antes de explotar, los gases reactivos ya están presionados. Así se ha quedado el ciclo del motor de combustión interna hasta hoy, con 4 procesos por ciclo (admisión – compresión – expansión – escape).

Como vemos en la figura 3, podemos ver el ciclo teórico del motor de combustión interna. En 1 tenemos el proceso de admisión ya acabado, con una presión inicial (Pa). De 1 a 2 vemos el proceso de compresión donde el supuesto pistón se desplaza para reducir el

volumen y aumentar la presión del carburante. De 2 a 3 es el momento donde ocurre la explosión del gas, el sistema absorbe calor y aumenta la presión y la temperatura del gas. Ese gas a alta presión y temperatura se expande y desplaza el pistón realizando un trabajo útil (3 a 4). Finalmente de 4 a 1 los gases quemados salen del cilindro dejando a este limpio para volver a empezar el ciclo.

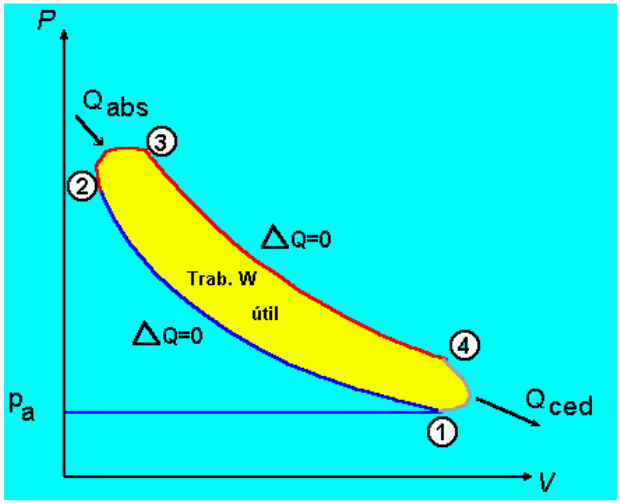


Figura 3. Ciclo de combustión interna genérico.

Autor: (2)

4.1.3 Principios Físicos

Para poder seguir el ciclo, hace falta un mecanismo capaz de producir cuatro carreras de pistón para realizar los cuatro procesos del ciclo, el mecanismo biela-manivela utilizado también en la máquina de vapor es el más adecuado. En la figura 3 observamos en que se basa el mecanismo biela-manivela. En el proceso de expansión es cuando realizamos el trabajo del ciclo, en este instante los gases empujan al pistón con una fuerza F hacia abajo, esa fuerza del pistón es transmitida a la biela, que es la pieza encargada de convertir el movimiento rectilíneo del pistón en rotativo. La biela le da la fuerza al cigüeñal, que es la pieza que girará sobre sí mismo regido a la fuerza que le suministra la biela.

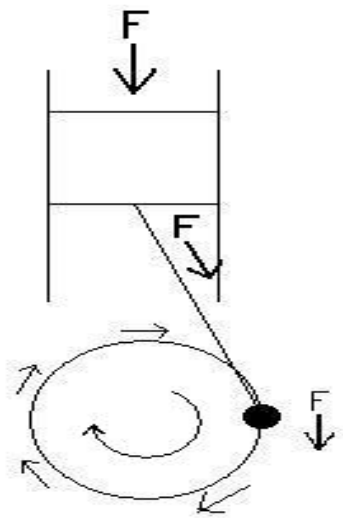


Figura 4. Mecanismo Biela-Manivela

Autor: (2)

La fuerza suministrada al cigüeñal que está en movimiento realiza un trabajo. El trabajo que realiza el motor por cada vuelta que el cigüeñal da sobre sí mismo lo definimos como par motor. Por tanto, el par motor es proporcional a la fuerza de la explosión, ya que no intervienen las vueltas del cigüeñal por unidad de tiempo. Donde sí que intervienen las vueltas del cigüeñal es en la potencia desarrollada, que la definimos como la cantidad de trabajo (par motor) por unidad de tiempo. (2)

La potencia es proporcional al par motor y las vueltas que da el cigüeñal por unidad de tiempo (rpm):

$$\text{Potencia} = \text{Par motor} \times \text{rpm}$$

Ecuación 1

El par motor como ya hemos dicho depende de la fuerza de la explosión. La fuerza de la explosión no es constante para cada velocidad del motor. En una cierta velocidad del motor tenemos el punto de máximo par, que es donde se consigue la máxima fuerza suministrada y por tanto la máxima aceleración del vehículo. Por eso, interesa mantener el par motor lo más alto y constante posible. La potencia se ve reflejada en la aceleración media máxima y en la velocidad punta, es decir, contra más potencia menos tiempo para alcanzar una velocidad y una velocidad máxima mayor del vehículo.

4.1.4 Motor de 4 tiempos

El motor de 4 tiempos fue toda una revolución en el mundo del motor, desde que Alphonse Beau de Rochas ideó este ciclo y más tarde Nikolaus August Otto lo mejoró, ha habido muchos más cambios que han mejorado su rendimiento y hasta hoy en día es utilizado. A continuación la explicación en que se basa el ciclo de 4 tiempos.

Los motores se dividen en dos grandes grupos: motores de ciclo Otto o de encendido por chispa y motores de ciclo Diésel o de encendido por compresión. Aunque sus principios de funcionamiento son diferentes, su esquema y la nomenclatura de sus partes esenciales son semejantes.

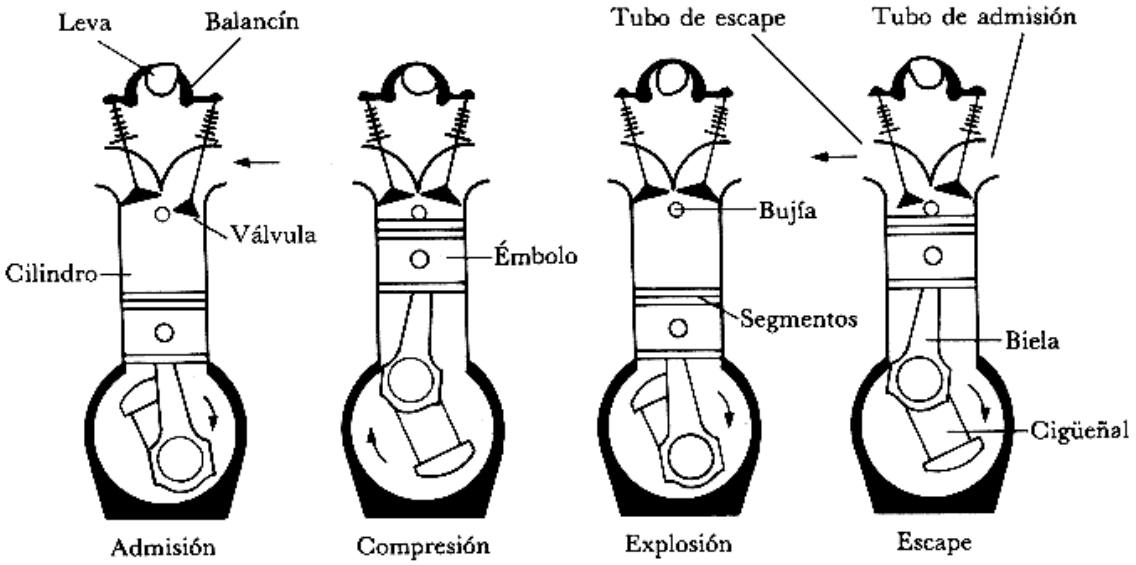


Figura 5. Ciclos de motor de 4 tiempos

Autor: (2)

La figura anterior representa la sección frontal según un plano vertical de un motor alternativo, la cual sirve para conocer la nomenclatura de sus partes, cuyo conocimiento es necesario para explicar su funcionamiento. Éstas, en líneas generales, son:

El cilindro, dentro del cual se mueve el pistón con movimiento rectilíneo alternativo, forma parte, en los motores pluricilíndricos, del bloque de cilindros. Este, que normalmente se fabrica unido a la bancada, se puede considerar como la estructura soporte del motor. En algunos modelos de motores el bloque de cilindros se fabrica separado de la bancada.

La culata constituye la parte superior del cilindro, al cual cierra dejando un volumen comprendido entre ella y el pistón que se denomina cámara de combustión o de compresión en la cual se quema el fluido esta parte se une mediante espárragos al bloque de cilindros.

En el motor de encendido por bujía, esta mezcla se forma en el carburador y entra en el cilindro a través del conducto de admisión y de la válvula de aspiración. La válvula de mariposa del carburador sirve para regular la cantidad de mezcla entrante. Hoy el combustible es inyectado a baja presión en el conducto de admisión, y recientemente, algunas marcas inyectan a baja presión en el interior del cilindro.

En los motores de encendido por chispa se inicia la combustión al saltar la chispa entre los electrodos de la bujía, mientras que en los motores de encendido por compresión el encendido es espontáneo al entrar combustible finamente pulverizado por el inyector en el interior del cilindro cuando su presión es elevada.

El pistón, dotado de segmentos que impiden la fuga de gas entre él y el cilindro, transmite el empuje de dicho gas, a través del perno o bulón, a la biela, y de ésta, a la manivela del cigüeñal.

La biela y el cigüeñal constituyen un sistema mecánico que transforma el movimiento lineal alternativo del pistón en movimiento de giro del cigüeñal, el cual para reducir el rozamiento gira sobre los cojinetes de bancada.

Los colectores de admisión y el de escape son los conductos a través de los cuales se carga y se descarga el fluido operante del interior del cilindro.

Las válvulas de aspiración y de escape, accionadas por un sistema mecánico denominado distribución, que son mantenidas en su asiento por la acción de su correspondiente muelle,

abren y cierran el cilindro permitiendo que los gases frescos y quemados entren y salgan de él en los momentos oportunos. (3)

4.1.4.1 Ciclo teórico de motor OTTO.

Este motor, también conocido como motor Otto, es el más empleado en la actualidad, y realiza la transformación de energía calorífica en mecánica fácilmente utilizable en cuatro fases, durante las cuales un pistón que se desplaza en el interior de un cilindro efectúa cuatro desplazamientos o carreras alternativas y, gracias a un sistema biela-manivela, transforma el movimiento lineal del pistón en movimiento de rotación del árbol cigüeñal, realizando este dos vueltas completas en cada ciclo de funcionamiento.

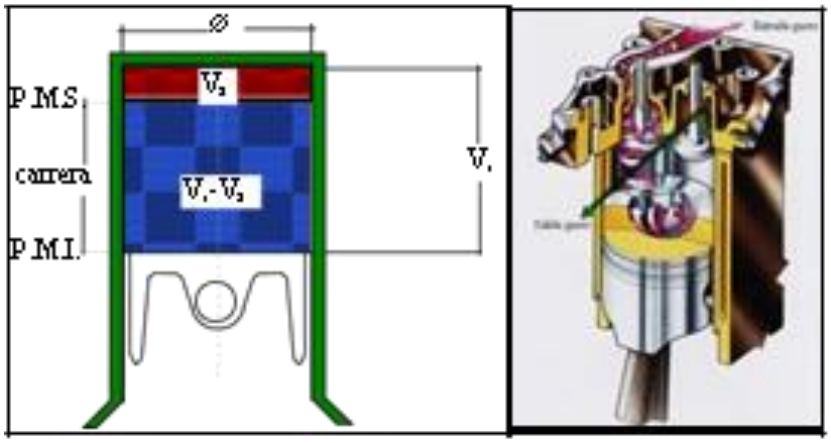


Figura 6. Terminología universal de valores de motor

Autor: (3)

Como se ha dicho la entrada y salida de gases en el cilindro es controlada por dos válvulas situadas en la cámara de combustión, las cuales su apertura y cierre la realizan por el denominado sistema de distribución, sincronizado con el movimiento de giro del árbol.

El funcionamiento teórico de este tipo de motor, durante sus cuatro fases o tiempos de trabajo, es el siguiente:

Primer tiempo: Admisión

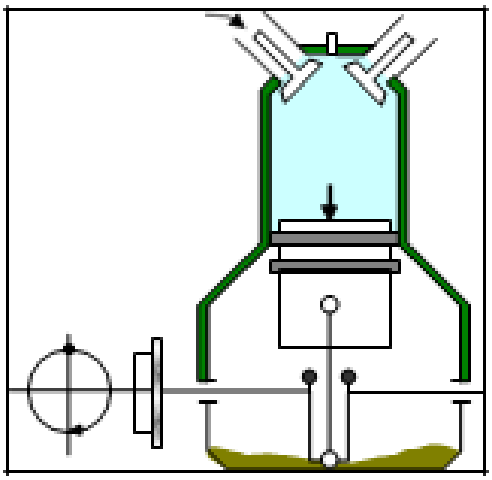


Figura 7. Tiempo de admisión.

Autor: (3)

Durante este tiempo el pistón se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI) y efectúa su primera carrera o desplazamiento lineal. Durante este desplazamiento el cigüeñal realiza un giro de 180º.

Cuando comienza esta fase se supone que instantáneamente se abre la válvula de admisión y mientras se realiza este recorrido, la válvula de admisión permanece abierta y, debido a la depresión o vacío interno que crea el pistón en su desplazamiento, se aspira una mezcla de aire y combustible, que pasa a través del espacio libre que deja la válvula de aspiración para llenar, en teoría, la totalidad del cilindro.

El recorrido que efectúa el pistón entre el PMS y el PMI definido como carrera, multiplicada por la superficie S del pistón determina el volumen o cilindrada unitaria del motor V_1 - V_2 y corresponde al volumen de mezcla teórica aspirada durante la admisión.

Ecuación 2

$$V_1 - V_2 = \mathrm{S} * \mathrm{L} = \frac{\pi * \emptyset^2}{4} * L$$

Se supone que la válvula de admisión se abre instantáneamente al comienzo de la carrera y que se cierra también, de forma instantánea, al final de dicho recorrido.

Total girado por el cigüeñal 180º.

Segundo tiempo: Compresión

En este tiempo el pistón efectúa su segunda carrera y se desplaza desde el punto muerto inferior PMI al punto muerto superior PMS. Durante este recorrido la muñequilla del cigüeñal efectúa otro giro de 180º. Total girado por el cigüeñal 360º.

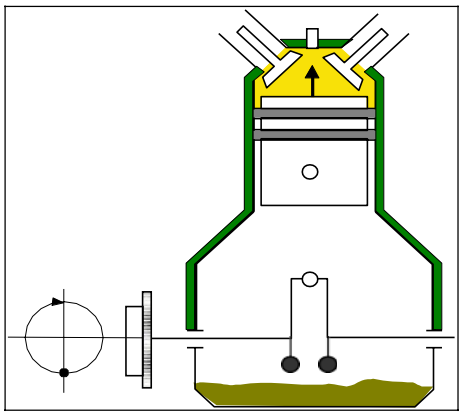


Figura 8. Tiempo de compresión.

Autor: (3)

Durante esta fase las válvulas permanecen cerradas. El pistón comprime la mezcla, la cual queda alojada en el volumen de la cámara de combustión, también llamada de compresión, situada por encima del PMS, ocupando un volumen V_2.

Tercer tiempo: Trabajo

Cuando el pistón llega al final de la compresión, entre los electrodos de una bujía, salta una chispa eléctrica en el interior de la cámara de combustión que produce la ignición de la mezcla, con lo cual se origina la inflamación y combustión de la misma. Durante este proceso se libera la energía calorífica del combustible, lo que produce una elevada temperatura en el interior del cilindro, con lo que la energía cinética de las moléculas aumenta

considerablemente y, al chocar éstas contra la cabeza del pistón, generan la fuerza de empuje que hace que el pistón se desplace hacia el P.M.I. (3)

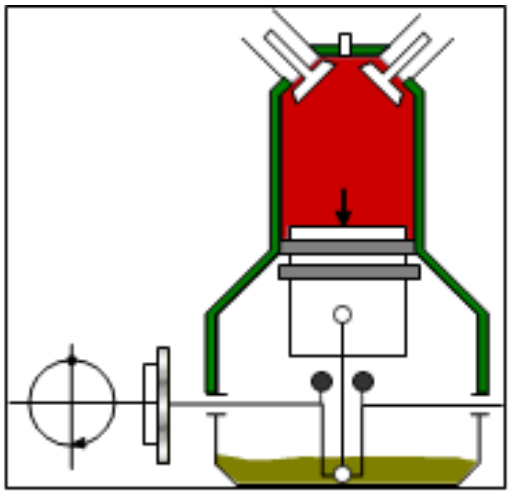


Figura 9. Tiempo de trabajo

Autor: (3)

Durante esta carrera, que es la única que realiza trabajo, se produce la buscada transformación de energía. La presión baja rápidamente por efecto del aumento de volumen y disminuye la temperatura interna debido a la expansión.

Al llegar el pistón al PMI se supone que instantáneamente se abre la válvula de escape.

Total girado por el cigüeñal 540º.

Cuarto tiempo: Escape

En este tiempo el pistón realiza su cuarta carrera o desplazamiento desde el PMI al PMS, y el cigüeñal gira otros 180.

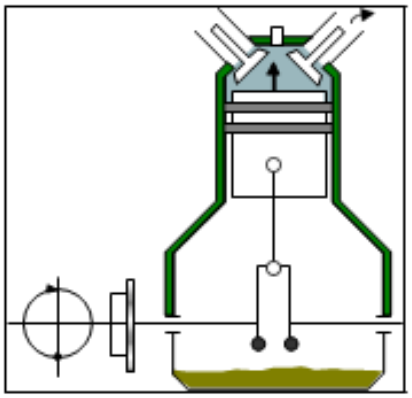


Figura 10.Tiempo de escape

Autor: (3)

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 atmósfera, 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 abre la válvula de admisión. (3)

Total girado por el cigüeñal 720º o dos vueltas.

El conjunto de las fases de funcionamiento de un motor se presenta en la figura siguiente:

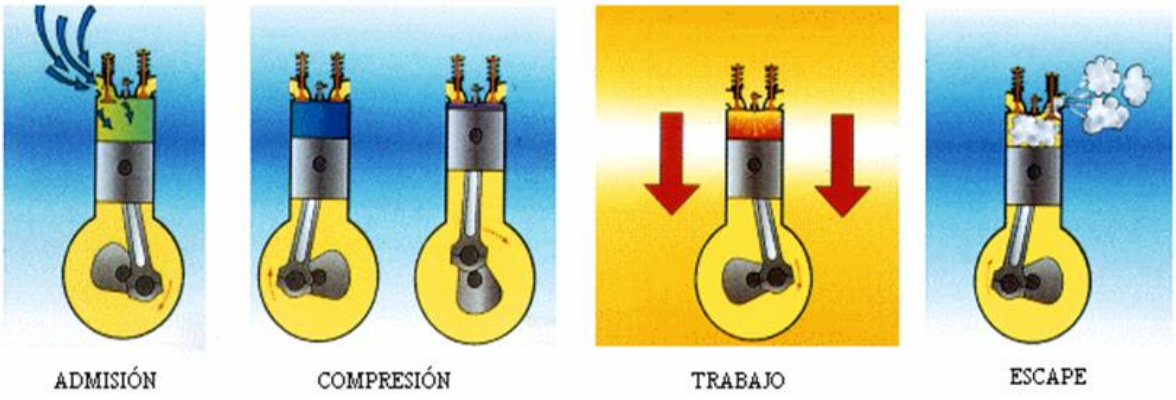


Figura 11.Fases de ciclo de cuatro tiempos.

Autor: (3)

El ciclo Otto teórico representado gráficamente en un diagrama P-V, se puede considerar ejecutado según las transformaciones termodinámicas que se presentan a continuación:

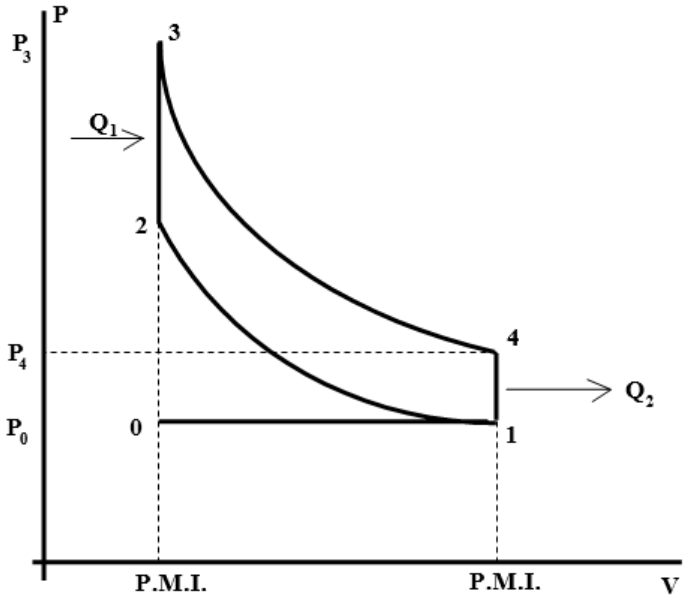


Figura 12. Diagrama P-V de un ciclo OTTO teórico.

Autor: (3)

0-1 Admisión (Isobara): Se supone que la circulación de los gases desde la atmósfera al interior del cilindro se realiza sin rozamiento, con lo que no hay pérdida de carga y, por tanto, la presión en el interior del cilindro durante toda esta carrera se mantiene constante e igual a la atmosférica.

1-2.- Compresión (Adiabática): Se supone que, como se realiza muy rápidamente, el fluido operante no intercambia calor con el medio exterior, por lo que la transformación puede ser considerada a calor constante.

2-3.- Combustión (Isocora): Se supone que salta la chispa y se produce una combustión instantánea del combustible, produciendo una cantidad de calor Q_1. Al ser tan rápida se puede suponer que el pistón no se ha desplazado, por lo que el volumen durante la transformación se mantiene constante.

3-4.- Trabajo (Adiabática): Se supone que debido a la rapidez de giro del motor los gases quemados no tienen tiempo para intercambiar calor con el medio exterior, por lo que se puede considerar que sufren una transformación a calor constante.

4-1.- Primera fase del escape (Isocora): Se supone una apertura instantánea de la válvula de escape, lo que genera una salida tan súbita de gases del interior del cilindro y una pérdida de calor Q_2 que permite considerar una transformación a volumen constante.

1-0.- Segunda fase del escape (Isobara): El pistón al desplazarse hacia el PMS provoca la expulsión de gases remanentes en el interior del cilindro, y se supone que los gases quemados no ofrecen resistencia alguna para salir a la atmósfera, por lo que la presión en el interior del cilindro se mantiene constante e igual a la atmosférica. (3).

d.1.4.2 Rendimiento térmico de los motores alternativos

El rendimiento térmico representa el mayor o menor grado de aprovechamiento de la energía del combustible.

En los motores de ciclo Otto, como el calor Q_1 se introduce a volumen constante y el fluido operante se supone un gas perfecto, la cantidad de calor puesta en juego se puede calcular mediante la variación de la energía interna, por lo que:

$$Q_1 = C_V * (T_3 - T_2)$$ *Ecuación 3*

Análogamente, como el calor Q_2 es sustraído también a volumen constante, se puede decir que:

$$Q_2 = C_V * (T_4 - T_1)$$ *Ecuación 4*

Por consiguiente, el rendimiento térmico ideal para el ciclo Otto teórico resulta:

$$\eta = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = \quad \eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$ *Ecuación 5*

Reemplazando, operando matemáticamente y suponiendo que el calor específico a volumen constante Cv se mantiene constante en ambas transformaciones, quedará

$$\eta = 1 - \frac{1}{{R_C}^{K-1}}$$ *Ecuación 6*

Donde *k* es el exponente adiabático = Cp / Cv de la mezcla utilizada como combustible. Esta fórmula nos indica que a medida que aumenta la relación de compresión Rc aumentará también el rendimiento, pero en la práctica la Rc no puede elevarse más allá de 9 o 10, ya que tanta compresión provocaría en la mezcla una pre ignición, también llamada detonación o pistoneo, que es la explosión de la mezcla por sí misma, debido a la alta temperatura y compresión, unos instantes antes de que salte la chispa de la bujía.

4.1.4.3 Cálculo de la eficiencia

El ciclo idealizado, supone que la sustancia de trabajo es un gas ideal y no una mezcla aire combustible como ocurre en realidad, quedando la eficiencia del ciclo de la siguiente manera.

$$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_{sumin}}$$ *Ecuación 7*

El trabajo aprovechado durante el ciclo queda entonces de la siguiente manera

$$W_{neto} = Q_{4-1} + Q_{2-3}$$ *Ecuación 8*

Y la eficiencia total de los ciclos sería igual a:

$$\eta_t = \frac{W_{neto}}{Q_{2-3}} \quad tambien \;\; \eta_t = 1 - \gamma^{1-k}$$ *Ecuación 9*

4.1.4.4 Cálculo de trabajo de la masa de combustible.

Contando con los datos de los 4 estados termodinámicos se calcula la potencia teórica, procediendo a calcular el trabajo de la masa de combustible al momento de la adición de calor se calcula de la siguiente manera.

$$V_{comb} = \frac{V_T}{Pr_{aire-gasolina}}$$ *Ecuación10*

La masa de la gasolina será entonces.

$$m_{comb} = V_{comb} * \rho_{comb}$$ *Ecuación 11*

Y el trabajo capaz de entregar el combustible durante la explosión conociendo el poder calorífico del combustible es:

$$W_{comb} = m_{comb} * Q_m$$ *Ecuación 12*

Y con los datos que se obtenga de las ecuaciones anteriores se calcula ya la potencia teórica.

$$Pot = \frac{nW_{comb}\omega}{2 * 60}$$ *Ecuación 13*

4.1.5 Análisis de los parámetros básicos de un motor de combustión interna.

Para el análisis de cada uno de los parámetros que caracterizan al motor es importante conocer la nomenclatura que se utiliza para realizar los cálculos. (4)

4.1.5.1 Nomenclatura para el análisis de los parámetros del motor.

Vu=Volumen unitario

Vc=Volumen de la cámara de combustión

VT=Volumen total

S= Carrera del pistón

r= Relación de compresión

Pi= Potencia indicada

Pe=Potencia efectiva

Md=Par motor

RPM= Revoluciones por minuto

SD = relación diámetro – carrera

Ap=$\acute{a}rea\ del\ pist\acute{o}n$

Cm=$velocidad\ media\ del\ pist\acute{o}n$

$\dot{m}f$=$gasto\ masico\ de\ combustible$

$\dot{m}a$=$gasto\ masico\ de\ aire$

ma=$masa\ de\ aire$

mf=$masa\ de\ combustible$

PC=$poder\ calor\acute{\imath}fico$

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

t=$rendimiento\ termico$

ηe=$rendimiento\ efectivo$

ηT=$rendimiento\ total$

ηm=$rendimiento\ mecanico$

gef=$consumo\ especifico\ efectivo$

v=$volumen\ especifico$

i=$numero\ de\ ciclos\ por\ vuelta$

PCI=$poder\ calorifico$

4.1.6 Parámetros Geométricos

4.1.6.1 Diámetro del cilindro

Juntamente 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. (4)

4.1.6.2 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.

4.1.6.3 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.

$$Relacion = \frac{S}{D}$$ *Ecuación 14*

Tabla 1. Denominación del motor según la relación S/D

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

Fuente: (5)

4.1.6.4 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:

$$A_p = \frac{\pi * D^2}{4}$$ *Ecuación 15*

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. (4)

4.1.6.5 Cilindrada unitaria

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

$$V_D = A_p * S$$ *Ecuación16*

4.1.6.6 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.

$$r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_D + V_C}{V_C}$$ *Ecuación 17*

4.1.6.7 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 Vc.

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

$$r = \frac{V_D + V_C}{V_C}$$ *Ecuación 18*

4.1.7 Parámetros de funcionamiento

4.1.7.1 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. (4)

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:

$$C_m = 2 * S * n$$

Ecuación 19

4.1.7.2 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 aspira el motor, se tiene una referencia para valorar la eficiencia con que se realiza el proceso real de renovación de la carga. (4)

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

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

Ecuación 20

Gasto de aire teórico

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

Ecuación 21

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

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

Ecuación 22

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

4.2. REGULADOR DE PRESIÓN.

Es un dispositivo con un mecanismo neumático o electro neumático, diseñado para reducir la presión del gas almacenado en el cilindro, hasta la presión de suministro al motor.

4.2.1. Sistema de dos reguladores:

Utiliza un regulador primario para reducir la alta presión de almacenaje, desde los 200 bares Hasta una presión entre 0.8 y 1.2 bar; ahí pasa a un regulador secundario de baja presión, el cual reduce nuevamente la presión hasta valores de pulgadas de columna de agua, bien sea presión positiva o negativa (vacío). Este sistema se conoce como regulador de presión positiva

Esta modalidad de dos reguladores es típicamente usada con un mezclador del tipo válvula de aire (mezcladores con diafragma de vacío), bien sea en conversiones a circuito abierto (no se utiliza sensor de oxígeno para el control de la mezcla aire / combustible), o en conversiones a circuito cerrado (se usa un sensor controlado por una central electrónica para una mezcla óptima).

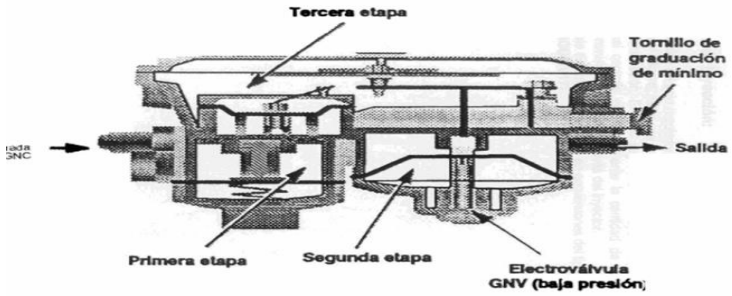


Figura 13.Regulador de una sola etapa

Autor: (6)

4.2.2 Sistema de un solo regulador.

El regulador realiza toda la reducción de presión en tres etapas incorporadas en un solo cuerpo.

1era etapa: se reduce la presión desde los 200 bares. En el cilindro hasta una presión entre 3 y 4 bar.

2da. etapa: se reduce la presión desde el valor anterior hasta unos 0.8bar.

3era etapa: se entrega el gas al motor a una presión ligeramente superior a la presión atmosférica, cuando el vehículo está en mínima, y ligeramente por debajo de la presión atmosférica a cualquier otra velocidad.

Este sistema se conoce como regulador de presión negativa.

4.2.3 Principios de funcionamiento

Los conceptos claves para entender el principio de operación del regulador son:

4.2.4 Presión diferencial

Es la diferencia que existe entre la presión positiva que tiene el GNC en el cilindro (200bar) y la presión negativa (0,01bar) en el mezclador a la entrada del motor. Por otro lado, también es la diferencia entre la presión atmosférica (29,92 pulgadas de mercurio ó 14,7 Lppc.) y la presión a la salida del regulador.

4.2.5 El Equilibrio

Ocurre cuando las presiones en todos los puntos del regulador son iguales en otras palabras, cuando el gas fluye a través del regulador del lado de alta presión al lado de baja presión, sin necesidad de que el diafragma esté en movimiento.

El diafragma del regulador tiene por una de sus caras un contacto directo con la atmósfera, mientras que la otra cara está bajo la acción del gas de expansión. El equilibrio es compensado por la caída de la presión en el lado de baja, causada ésta por la demanda de GNC requerida por el motor.

4.2.6 Etapas de Reducción

La primera etapa de reducción se produce cuando el gas que entra al regulador en alta presión pasa a través de un pequeño orificio a una cámara de mayor volumen, causando la caída de presión. Cuando esto ocurre, el gas se expande y el volumen aumenta. El fluido de enfriamiento del motor, que circula alrededor del regulador, proporciona el calor necesario para que el gas expandido no se congele. Ese calor también sirve para expandir el gas, de manera que aumenta ligeramente su presión.

La expansión del gas, el cual se encuentra a la presión reducida en la primera etapa, actúa contra el diafragma, creando el movimiento que cierra la entrada de gas hasta que se requiera éste nuevamente o que el regulador alcance el equilibrio cuando el flujo sea estable.

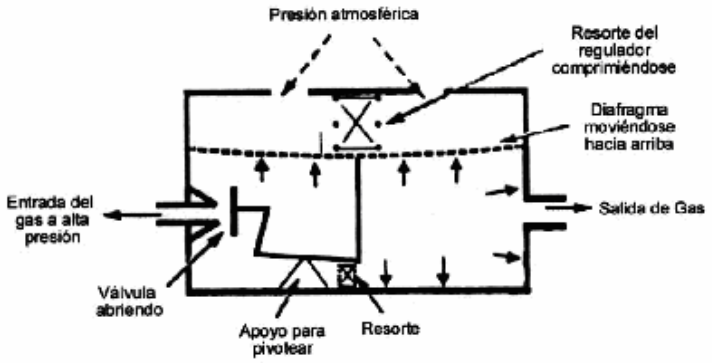


Figura 14.Presión de regulación va en aumento.

Autor: (6)

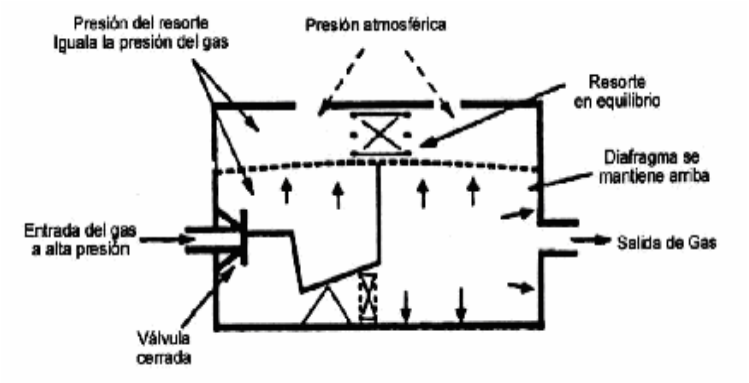


Figura 15.Presión de regulación llega al punto de calibración.

Autor: (6)

Todos los reguladores de alta presión y la combinación con el regulador de alta con regulador de baja, tienen la segunda y tercera etapa, cada una con su respectivo diafragma, de forma de llevar el gas a cámaras adicionales para reducir la presión a los valores especificados. En este caso, la señal de presión atmosférica se recibe siempre a través de la última etapa.

La mayoría de los reguladores de una etapa tienen dos resortes, uno a cada extremo. El más ligero de los dos interviene en la expansión de la presión del gas, abriendo y cerrando la válvula contra el asiento.

Cuando la válvula cierra, se detiene el flujo de gas al interior del regulador. Inmediatamente, al requerirse gas por alta demanda del motor, el resorte de mayor fuerza abre la válvula, permitiendo que el gas entre nuevamente al regulador.

La presión finalmente regulada tendrá valor positivo o negativo. Esta última presión se conoce como succión.

Un motor crea en promedio una presión negativa de 9 pulgadas de mercurio (4,43 Lppc) en el momento que el pistón introduce aire atmosférico al cilindro. El mezclador entonces detecta esa señal, al igual que el regulador en su última etapa. Por supuesto, dependiendo del tipo de regulador, la presión de salida será positiva o negativa. En consecuencia, esta presión no la determina la demanda del motor, sino el diseño del regulador. (6)

Ecuación 23

$$P * V = \frac{m}{v} * R * T$$

$$P * V = \delta * R * T$$

4.2.7 Ley de Faraday.

La ley de Faraday constituye el principio fundamental de la electrólisis. Con la ecuación de esta ley se puede calcular la cantidad de metal que se ha corroído o depositado uniformemente sobre otro, mediante un proceso electroquímico durante cierto tiempo, y se expresa en los siguientes enunciados: "La cantidad de cualquier elemento (radical o grupo de elementos) liberada ya sea en el cátodo o en el ánodo durante la electrólisis, es proporcional a la cantidad de electricidad que atraviesa la solución".

Donde:

Ecuación 24

$$W = \frac{I * T * M}{n * F}$$

W = cantidad de metal que se ha corroído (g).

I= Corriente (A)

T= tiempo en que dura el proceso (s)

M= masa atómica del metal $\left(\frac{g}{mol}\right)$

n= valencia del metal

F= constante de Faraday.$\left(\frac{A*S}{mol}\right)$

"Las cantidades de elementos o radicales diferentes liberados por la misma cantidad de electricidad, son proporcionales a sus pesos equivalentes".

4.2.8. Ecuación del gas ideal

Un gas ideal es un gas hipotético cuyo comportamiento de presión, volumen y temperatura pueden describirse completamente con la ecuación deducida a partir de las leyes de Boyle.Mariotte, de Charles-Gay Lussac a presión contante y la ley de Avogadro.

$$P * V = n * R * T \qquad \textit{Ecuación 25}$$

P = Presión

V= Volumen

n= Moles de gas

R= Constante universal de los gases ideales = 0,082L.atm/K.mol

T= Temperatura absoluta.

Relaciones de masa, masa molar y densidad de un gas.

La densidad es una magnitud que indica la masa que tiene un determinado volumen de sustancia; se calcula como el cociente entre ambas magnitudes (δ=m/V).

Las densidades de los gases son muy bajas, generalmente se expresan en unidades de (g/L). Teniendo en cuenta que la cantidad de moles de un gas puede calcularse como el cociente entre la masa de sustancia y su masa molar, es posible vincular las tres magnitudes en las ecuaciones dadas donde M= masa molar, m= masa y δ= densidad del gas. (7)

$$P * V = n * R * T$$

$$P * V = \frac{m}{M} * R * T$$

4.3 HIDRÓGENO Y LA ENERGÍA.

El hidrógeno es un combustible en el que se están depositando muchas esperanzas y al que se está dedicando un gran esfuerzo investigador. Sin embargo, el hidrógeno no es un combustible más. Por una parte tiene unas propiedades físicas y químicas bastante diferenciadas de los demás combustibles; por otra, no es un recurso natural, es decir, no se encuentra de forma aislada en la naturaleza, sino que se encuentra combinado en otros compuestos, como los hidrocarburos o el agua.

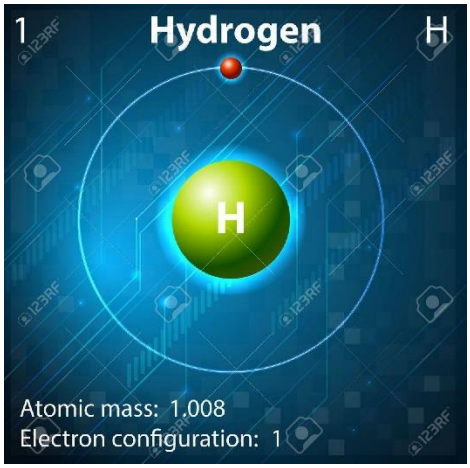


Figura 16: Átomo de hidrógeno

Autor: (8)

El hecho de que el hidrógeno no se encuentre de manera aislada en la naturaleza obliga a tener que obtenerlo por distintos procedimientos, siendo éste un cuello de botella para su uso masivo en el futuro, y uno de los campos en los que más recursos se están invirtiendo, pues muchas de las ventajas de su uso pueden quedar anuladas en función del procedimiento empleado en su obtención. Una vez producido, sus peculiares propiedades físicas y químicas dificultan en gran medida las tareas de manipulación, especialmente las relacionadas con su almacenamiento, transporte y distribución. A la vista de lo anterior, parece que todo es inconvenientes. (9)

4.3.1 Razones de eficiencia energética. La energía química del hidrógeno puede ser convertida de forma directa en energía eléctrica, sin el paso intermedio del accionamiento térmico de un ciclo de potencia. Esta conversión directa se lleva a cabo en las llamadas pilas

de combustible, capaces de convertir por medios electroquímicos la energía química del hidrógeno en energía eléctrica. La supresión del ciclo termodinámico intermedio permite superar las limitaciones impuestas por el rendimiento de Carnot, alcanzándose así elevados rendimientos energéticos. La energía eléctrica producida puede emplearse tanto con fines estacionarios (electricidad como energía final para consumidores industriales, domésticos y de servicios) como con fines de transporte, mediante su uso en vehículos eléctricos. Incluso se puede emplear en aplicaciones portátiles en las que la típica batería sería reemplazada por un cartucho de hidrógeno o metanol y una pila de combustible.

4.3.2 Razones de dependencia energética.

En la actualidad hay una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, de los que quedan cantidades finitas. Así, las reservas de petróleo se estiman en 40 años, las de gas natural en 60 y las de carbón en 200. Esta limitación de reservas va unida en muchas ocasiones a una elevada concentración de los yacimientos (muy elevada en el caso del petróleo, menor en el del gas natural y reducida en el caso del carbón), lo que facilita presiones políticas por parte de los países productores. Estas dos circunstancias obligan a volver la vista hacia otras fuentes energéticas: renovables y nuclear. Si bien el hidrógeno no es una fuente energética sí facilita el transporte y almacenamiento de ellas, y puede ser producido a partir de fuentes renovables y nucleares, por lo que puede jugar un papel importante en cuanto a la reducción de la dependencia energética, que también se ve favorecida por el elevado rendimiento en la conversión. (9)

Razones medioambientales. Aunque de manera indirecta las razones anteriores repercuten de manera favorable en el medio ambiente, existe una ventaja adicional para el uso con fines energéticos del hidrógeno: su combustión sólo libera vapor de agua, libre de CO_2. Esto supone que si en el proceso de producción no se ha emitido CO_2 (habiendo varias alternativas para ello), la producción de electricidad a partir de hidrógeno está libre de emisiones de CO_2, al igual que la electricidad producida por vía renovable y nuclear. Sin embargo, la ventaja de producir hidrógeno a partir de energía renovable es que permite regularizar la frecuente aleatoriedad de la producción eléctrica con renovables, pudiendo además destinar la energía

eléctrica a aplicaciones de transporte y portátiles, siendo las primeras un importante contribuyente a las emisiones de CO_2. (9)

Como ya se ha dicho, el hidrógeno no es un recurso sino un vector energético, es decir, un portador de energía. Esto supone que se ha de producir a partir de fuentes energéticas, conteniendo una cierta cantidad de energía una vez producido. En Tabla 1.2 se recogen las densidades energéticas (volumétricas y másicas) de diversos combustibles en su forma habitual de suministro. Se aprecia que el hidrógeno es capaz de almacenar aproximadamente el triple de energía por unidad de masa que los demás, pero al ser tan ligero (89,3 g/Nm^3) es el que menor energía almacena por unidad de volumen (aproximadamente la tercera parte del gas natural, que se sirve canalizado). Este hecho implica ciertos problemas en el transporte, almacenamiento y distribución del hidrógeno, como con la gasolina o el butano, especialmente en aplicaciones en las que el hidrógeno deba ser desplazado por el sistema (aplicaciones de transporte y portátiles).

Tabla 2. Densidades energéticas de diversos combustibles.

		Energía almacenada		
	Densidad kg/m^3	**Volumen** kWh/m^3	**Volumen** kWh/Nm^3	**Masa** kWh/kg
H_2 liquido (1 bar; -252,8 °C)	**70,71**	**2.375**	**3**	**33,59**
H_2 Gas (300 bar; 25 °C)	**20,55**	**690**		
H_2 Gas (700 bar; 25 °C)	**47,96**	**1.611**		
Gas natural (1 bar; 25 °C)	**0,65**	**9,1**	**10**	**13,93**
Butano liquido (25 °C)	**550**	**7.000**	**33**	**12,73**
Gasolina	**750**	**9.270**	**-**	**12,36**

Fuente: (9)

En tanto el hidrógeno precisa un elemento de conversión final, que puede ser directo o indirecto. Las pilas de combustible son un sistema directo de conversión de energía, es decir,

transforman la energía química del hidrógeno en energía eléctrica; los motores de combustión interna (alternativos o turbinas de gas) transforman la energía química del hidrógeno en energía mecánica, la cual puede ser empleada para mover un alternador o como propulsión para un sistema de transporte. Aunque los problemas técnicos inherentes a la combustión de hidrógeno son menores que los que se presentan en las pilas de combustible, hoy día el impulso y el apoyo gubernamental a éstas últimas es mucho mayor que a los primeros, estando justificado por su mayor eficiencia y, posiblemente, por las presiones de los asesores científicos a los organismos gubernamentales. Las pilas de combustible presentan elementos en común tanto con las baterías como con los motores de combustión interna. Así, las pilas de combustible se asemejan a las baterías en que es la electroquímica la que rige el comportamiento de ambas, produciendo así los dos dispositivos corriente continua. Por el contrario, las pilas de combustible se diferencian de las baterías en que no almacenan energía, sino que transforman la energía química de un flujo de hidrogeno en electricidad de modo continuo, cesando la producción eléctrica al cesar el suministro de hidrógeno. Esta característica de producción continua de electricidad es común al motor de combustión interna, si bien éste está sometido al límite de Carnot y la pila de combustible no. (9)

4.4 TIPOS DE MOTORES QUE PUEDEN UTILIZAR HIDRÓGENO.

La principal ventaja de utilizar el hidrógeno en motores de combustión interna es que podemos aprovechar toda la experiencia tecnológica acumulada en este campo. Tengamos en cuenta que la configuración del propio motor de hidrógeno es conceptualmente la misma que la de los motores de combustión interna alternativos de combustibles clásicos (con sus cilindros, pistones, cigüeñal, sistema de refrigeración y demás elementos constructivos). De esta manera, a la hora de desarrollar un motor de combustión interna de hidrógeno podemos partir de una base de conocimientos desarrollada durante muchas décadas. (10)

4.4.1 Motor de 4 tiempos.

El diseño del motor es básicamente el mismo que el de un motor de gasolina, es decir, es un motor que sigue el ciclo Otto. Muchos fabricantes de automóviles se han decantado por este tipo de configuración a la hora de desarrollar nuevos motores de hidrógeno.

De entre todos ellos, el fabricante alemán BMW sea, probablemente, el que más ha avanzado en este campo. En el año 2000 presentó su modelo 750 hL, el primer automóvil propulsado a hidrógeno fabricado en serie en todo el mundo. El vehículo va equipado con un motor ambivalente de doce cilindros propulsado a hidrógeno y gasolina. Rinde una potencia de 204 CV, y tiene una aceleración de 0 a 100 km/h en 9,6 segundos, alcanzando una velocidad máxima de 226 km/h. cuando el motor es alimentado con hidrógeno, el vehículo dispone de una autonomía de unos 350 kilómetros, gracias a los 140 litros de capacidad de su tanque criogénico en el que se si llegara a agotarse el hidrógeno y no hubiera una estación de servicio cercana, el vehículo cambiaria automáticamente al sistema de combustión convencional, utilizando gasolina como combustible, almacenada en un segundo tanque, y que le proporcionaría unos cientos de kilómetros de autonomía adicionales. La única diferencia, en el ámbito de la aspiración, respecto al motor convencional de gasolina del mismo modelo, es la adopción de válvulas adicionales para la admisión del hidrógeno. (10)

Figura 17: Auto BMW a hidrogeno.

Autor: (10)

4.4.2 Motor rotativo Wankel.

Este tipo de motor parece dar buenos resultados al emplear hidrógeno como combustible, según se ha demostrado mediante ensayos realizados con dinamómetro y una vez resueltos los problemas que presentaba en lo que a estanqueidad se refiere.

Estos buenos resultados se deben a la propia configuración del motor, que minimiza las dificultades de combustión que se dan en otros tipos de motores. El motor rotativo no suele dar problemas de preencendido, ya que la entrada, compresión y combustión del hidrógeno suceden en partes distintas del rotor, de manera que la cámara de entrada permanece más fría, evitando el retroceso de la llama.

Figura 18: Motor rotativo del modelo RX-8, Renesis Hydrogen RE, de Mazda

Autor: (10)

En el motor Wankel es posible el aprovechamiento de la elevada temperatura de ignición del hidrógeno. Se está investigando la posibilidad de incluir agua pulverizada en la mezcla de entrada, la cual se evaporaría al quemarse el hidrógeno, llegando a ejercer presiones muy altas de forma elástica, a diferencia de lo que ocurre en el pistón, en el cual se daría una detonación.

Otra ventaja más de este motor radica en su relación potencia/peso, ya que este motor puede llegar a desarrollar altas potencias en comparación con su tamaño, lo que permite tener un sistema motriz de alta potencia sin emisiones y de reducido tamaño. La compañía Reg Technologies ha conseguido una relación potencia/peso cerca de los 0,34 kg/CV, una

cantidad muy reducida si la comparamos con los 2,72 kg/CV que presenta el motor de cuatro tiempos (de pistón).

Sin embargo, el motor rotativo no está libre de defectos, pues presenta un problema en lo que a lubricación se refiere. El aceite empleado en la lubricación de los sellos se encuentra en contacto con la mezcla de aire e hidrógeno, con lo que, al producirse la combustión, no sólo se quemará el hidrógeno, sino que se quemará también ese aceite.

En realidad, este hecho presenta dos problemas al mismo tiempo. El primero es la desaparición del lubricante, con lo que el consumo del mismo aumentará y corriendo el peligro de que el motor se quede sin lubricación; y el segundo es que se producirán emisiones contaminantes al medio ambiente, resultantes de la combustión del lubricante. Al ser quemado, el aceite producirá CO_2 además de sulfuros, NOx, etc., lo cual ha provocado que los vehículos equipados con motor rotativo de combustión interna de hidrógeno no sean considerados Z.E.V. (Zero Emision Vehicle), es decir, vehículos de emisión cero.

La aplicación más reciente del motor rotativo de hidrógeno la encontramos en el modelo RX-8 Hydrogen RE del fabricante japonés Mazda.

4.5 GENERACIÓN DEL HIDRÓGENO.

Se puede plantear diferentes alternativas para la producción del H. Uno de tantos y bastante prometedor, consiste en una planta de producción de metano, proceso llevado a cabo en Chicago, donde el H es una etapa intermedia. En dicho proceso, el H debería resultar más barato que el metano. En la actualidad, el H se produce en grandes cantidades sobre todo por el proceso inverso: a partir de gas natural. Dos fábricas situadas en Los Ángeles son capaces de producir 30 Tm/día quemando metano en presencia de agua, descomponiéndola por ese medio para liberar H. El O se combina con el Carbono del metano formando CO_2, destinado a la fabricación de bebida

La electrólisis es una manera eficaz de obtener H. Este, en el proceso, no se produce en su forma molecular normal (H_2) sino como átomos aislados (H) que pueden atacar una gran gama de materiales. Los electrodos en particular están expuestos a una rápida corrosión de modo que se hacen necesarios metales nobles muy costosos, como el oro o el platino. Pero recientemente se ha llegado a un electrólito polímero sólido que permite pasar fuertes corrientes a través de delgadas membranas de plástico haciendo sólo una pequeña inversión en platino dividido finamente. Como resultado de ello el costo de capital ha ascendido hasta un nivel que, aun cuando la planta sólo se usara un tercio del tiempo, haría que el proceso fuese rentable.

En la celda de energía, el proceso es reversible: en la misma célula se recombinarán el oxígeno y el hidrógeno para volver a producir electricidad de una manera muy eficaz. En los coches podrían dar como resultado el necesario aumento de autonomía. El almacenamiento de energía en forma de H nos permitirá aprovechar fuentes de energía discontinuas y ocasionales de energía natural, así como complementar los suministros eléctricos en las horas puntas de demanda. Un ejemplo sería aprovechar las centrales nucleares de forma constante y no como puntas de carga, tal y como se utilizan en algunas zonas del planeta. La obtención de H a partir de calor solar o nuclear está aún por ver. Este proceso no es fácil ya que se requiere una temperatura de 3000 ºC para disociar los gases componentes del agua, e incluso así resultaría difícil separarlos antes de que se volvieran a enfriar recombinándose. (5)

4.5.1 Electrólisis.

Electrólisis. Procede de dos radicales, “electro” que hace referencia a electricidad y “lisis” que quiere decir división. A partir de la electrólisis se estudian procesos en que la energía eléctrica ocasiona cambios químicos en compuestos iónicos fundidos elevados al estado líquido, o en soluciones o mezclas homogéneas de electrolitos. En un proceso de electrólisis, la corriente eléctrica puede separar sustancias iónicas o soluciones con sustancias electrolíticas disueltas.

El proceso de electrólisis se realiza en la celda electrolítica, consiste en un recipiente donde se coloca la sustancia que se va a electrolizar; dentro de esta misma sustancia se sumergen

dos conductores eléctricos llamados electrodos, construidos por materiales inertes que se conectan en una fuente de corriente directa.

El polo positivo de la batería se representa mediante una línea delgada y larga, y el negativo mediante una línea gruesa y corta. A los electrodos se les llama cátodo (polo negativo), conectado al polo positivo de la batería, y el ánodo (polo positivo) se conecta al polo negativo de la misma batería. La corriente eléctrica es un flujo de electrones impulsados por la acción de una batería que los saca del ánodo (dejándolo por esto con carga positiva) y los conduce hasta el cátodo (dejándolo por tal razón con carga negativa)

La sustancia por electrolizar, depositada en la celda electrolítica, se disocia en ion es por la estabilidad química; los cationes son atraídos hacia el ánodo. Conviene recordar que el cátodo y el ánodo han adquirido corriente eléctrica por la acción dela batería conectada a los electrodos.

Mediante análisis espectroscópico y de rayos X se ha determinado el ángulo de enlace entre el hidrógeno y el oxígeno, que es de 104.5°, y la distancia media entre los átomos de hidrógeno y oxígeno, que es de 96.5 pm o, lo que es lo mismo, 9.65×10^{-8} milímetros.

La disposición de los electrones en la molécula de agua le comunica asimetría eléctrica por la diferente electronegatividad del hidrógeno y del oxígeno. La electronegatividad es la capacidad de un átomo para atraer los electrones compartidos en un enlace covalente. Como el oxígeno es más electronegativo que el hidrógeno, es más probable que los electrones, que poseen carga negativa, estén más cerca del átomo de oxígeno que del de hidrógeno, lo cual provoca que cada átomo de hidrógeno tenga una cierta carga positiva que se denomina carga parcial positiva, y el de oxígeno, una negativa, ya que tiene los electrones más cerca. Esto significa que el agua es una molécula polar, pues tiene una parte o polo negativa y otra positiva, aunque el conjunto de la molécula es neutro. De este carácter polar derivan casi todas sus propiedades fisicoquímicas y biológicas.

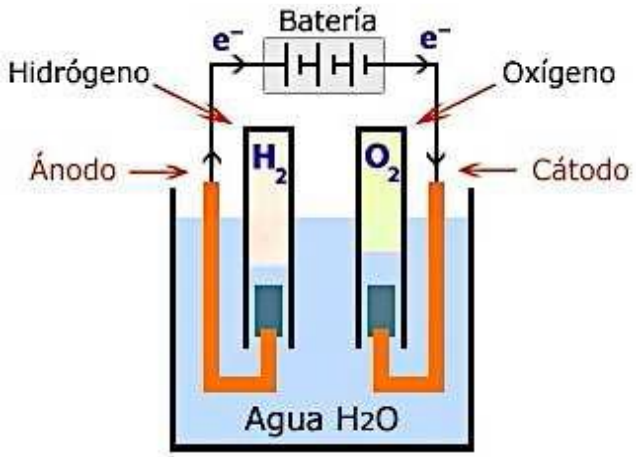


Figura 19. Esquema de la electrolisis.

Fuente: (11)

Cuando dos moléculas de agua están muy cerca entre sí se establece una atracción entre el oxígeno de una de las moléculas, que tiene carga parcial negativa, y uno de los hidrógenos de la otra molécula, que tiene carga parcial positiva. Una interacción de este tipo se denomina enlace o puente de hidrógeno, y las moléculas de agua se ordenan de tal modo que cada molécula puede asociarse con otras cuatro. Esta interacción es la que se da con el hielo.

4.5.2 Componentes del Generador de Hidrógeno

4.5.2.1 Generador de hidrógeno.

Conocido como hidrolizador, celda de hidrógeno o Generador de Hidrógeno, es un dispositivo que se emplea para mejorar el rendimiento de los motores de combustión interna de gas, gasolina, diésel, biodiesel o turbosina. Un Generador de Hidrógeno, utiliza como materia prima agua y corriente continua, que por medio de un proceso de electrólisis, el Generador de Hidrógeno nos proporciona por separado hidrógeno y oxígeno, estos gases altamente combustibles son enviados a la entrada de aire del motor donde se mezclan con el combustible utilizado.

La energía del hidrógeno mejora la combustión, proporciona mayor potencia, reduce el consumo de combustible y al quemarse mejor disminuye los contaminantes. Básicamente, un generador de hidrógeno es un dispositivo que separa el hidrógeno y el oxígeno del agua,

de manera que el gas de hidrógeno puede ser utilizado en diversas aplicaciones y puede ser en los motores de: Motos, camiones, plantas de Luz, excavadoras, trenes, barcos y aviones y más en el campo automotriz, puesto que puede aportar con la reducción de gases contaminantes producto de la combustión. Está compuesto por varias placas y láminas en donde se comunican con el electrólito que es suministrado por un conducto proveniente del depósito de agua destilada, cuando el generador de hidrogeno es activado, la corriente que por el electrolito circula hace que se separe el hidrógeno y el oxígeno del agua en forma de gas mediante un proceso llamado electrólisis. Para ello utilizan energía eléctrica de la batería del auto o bien de baterías adicionales. Ambos elementos resultantes desplazan parte de la gasolina y el aceite en los cilindros. Esta mezcla favorece la combustión y el rendimiento y reduce el consumo y las emisiones.

Un generador de hidrógeno implica que se usa la energía eléctrica del vehículo, en este caso la batería de 12 voltios de corriente directa y un alternador de diferentes amperios hora, para fracturar (electrolizar) el agua y producir el plasma H_2O, lo cual implicaría que necesitaríamos sacar el 200% a este sistema eléctrico, esto exige habilidades excepcionales de física, química, electrónica, electricidad, ingeniería mecánica, gastos bastante considerables, gran dosis de paciencia, mucha investigación, para alcanzar lo óptimo en todo el sistema. Hay muchos tipos de generadores de hidrógeno H_2O, en general tienen sumergido en agua (húmedos o secos) placas de diferentes metales desde acero hasta platino, dependiendo del presupuesto, con electrolitos (que permiten o facilitan el paso de la corriente eléctrica en el baño electrolítico), para finalmente producir plasma de agua H_2O que se conduce por tuberías y sistemas de seguridad, etc. a diferentes entradas que alimentan de combustible el vehículo, siendo la más común el filtro del aire aunque no la más eficiente, el carro requerirá de ajuste en el tiempo, es decir hay que sincronizarlo para la alta velocidad de combustión que tiene el hidrógeno.

Figura 20 Celda electrolítica

Fuente: (12)

El hidrógeno es el elemento más abundante en el Universo (75%), pero también es el combustible con mayor energía que existe. El hidrógeno contiene (119,3 KJ/Kg) casi tres veces más capacidad energética que la gasolina (46 KJ/Kg). La combustión del hidrógeno nos proporciona energía y agua. Por su abundancia, capacidad energética y no contaminación, es la forma energética más conveniente para el humano y el planeta. (5)

4.5.2.2 Hidróxido de Sodio

El Hidróxido de Sodio es una sustancia incolora e higroscópica que se vende en forma de trozos, escamas, hojuelas, granos o barras. Se disuelve en agua con fuerte desprendimiento de calor y la disolución acuosa se denomina lejía de sosa. Tanto la sosa cáustica como la lejía atacan la piel.

En su mayor parte la sosa cáustica y la lejía de sosa se obtienen en la electrólisis cloro- álcali. Se calienta una solución de Carbonato de Sodio con la cantidad correspondiente de cal apagada (Hidróxido de Calcio) así precipita el Carbonato de Calcio insoluble y en la solución queda Hidróxido de Sodio.

La sosa cáustica tiene muchas aplicaciones en la industria química, principalmente en forma de lejía de sosa, que se prepara donde ha de usarse y en cualquier concentración deseada por disolución en agua de la sosa sólida. Como campos principales de empleo citaremos:

industrias de algodón, seda artificial, plásticos, textiles y de jabón, en la fabricación de diversos productos químicos, etc.

Se envasa herméticamente en tambores y así se la amacena y distribuye. Como material de construcción para envases y depósitos es adecuado el hierro. El aluminio no puede emplearse, porque la lejía de sosa la disuelve formando aluminato, pero es posible emplear plásticos para el recubrimiento de vasijas. En el trabajo con sosa o con lejía es necesario utilizar gafas protectoras, porque tanto trocitos de sólido como gotas de solución atacan rápidamente los ojos.

En el agua, el hidróxido de sodio se separa en cationes de sodio (átomos de sodio con una carga positiva) y el anión hidróxido (átomos de hidrógeno y oxígeno cargados negativamente), lo que disminuye la acidez del agua. (5)

Figura 21. Hidróxido de sodio

Autor: (13)

4.5.2.3 Agua Destilada

El agua destilada es aquella cuya composición se basa en la unidad de moléculas de H_2O. En esta se han eliminado las impurezas e iones mediante destilación. La destilación consiste en separar los componentes líquidos de una mezcla. Debido a su relativa elevada pureza, algunas propiedades físicas de este tipo de agua son significativamente diferentes a las del agua de consumo diario. Por ejemplo, la conductividad del agua destilada es casi nula (dependiendo

del grado de destilación) pues a diferencia del agua del grifo común, carece de muchos iones que producen la conductividad, habitualmente cloruros, calcio, magnesio y fluoruros.

Figura 22. Agua destilada

Autor: (14)

4.5.2.4 Burbujeador

El burbujeador es un elemento adaptado a partir de un filtro de agua purificador para hogares en donde se realiza orificios para adecuar que exista flujos de gases en el agua que contiene como se aprecia en la figura 22, su estructura es fuerte, resiste presiones medias, la corrosión y a la temperatura. Este dispositivo actúa como una válvula check o anti retorno, permitiendo que el gas circule en un solo sentido, también actúa como un arrestallamas.

Figura 23. Filtro de agua

Fuente: (12)

4.5.2.5 Tanque de almacenamiento de baja presión.

Son tanques de forma cilíndrica que poseen o no costura en su armazón, empleados a contener permanentemente gases disueltos o licuados, cuya presión de operación sea menor a 62 bares a temperatura ambiental.

Figura 24. Tanque de almacenamiento

Fuente: (12)

4.6 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 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 Figura 25.

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 el 0,2%.

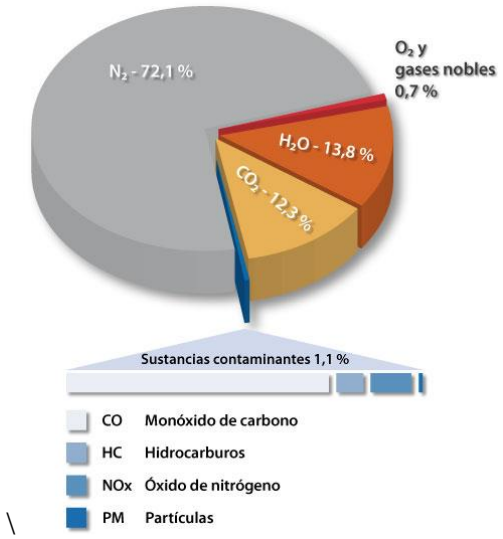


Figura 25. Combustión de la mezcla y emisiones de escape.

Autor: (4)

4.6.1 Gases inofensivos

Nitrógeno (N_2)

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 (H_2O)

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 (O_2)

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 (CO_2)

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 estequiometria λ entre 0,99 y 1, en condiciones normales los niveles de CO_2 deben estar aproximadamente por un 13%.

4.6.2 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 deben estar por 0,2%, con una mezcla estequiometria muy cerca de 1.

Óxido y dióxido de nitrógeno (NOx)

Se abrevia como NOx porque existen muchos compuestos posibles con diferente número de átomos: NO, NO_2, N_2O 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 (SO_2)

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 esta 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 el ecuador que han optado por eliminar al TEL (tetraetilo de plomo- (C_2H_5)Pb) de la 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 estequiometria muy cercana a $\lambda=1$. (4)

4.7 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE CONEXIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE HIDRÓGENO

4.7.1 Mangueras.

Una manguera es un tubo hueco diseñado para transportar fluidos de un lugar a otro. A las mangueras también se les llama tubos, aunque los tubos generalmente son rígidos mientras

que las mangueras son flexibles. Las mangueras usualmente son cilíndricas. Para la unión de mangueras se utilizan distintos tipos de racores.

Las mangueras de goma son conductos flexibles utilizados para conducir sustancias, sólidas líquidas o gaseosas.

Posee la capacidad de resistir multiplicidad de fluidos corrosivos, absorber vibraciones, provee una adecuada flexibilidad y fácil aplicación.

Tabla 3 Catálogo de mangueras industriales.

Manguera PVC transparente para trasiego de agua y aire comprimido en herramientas neumáticas y otros usos industriales.

Tubo : PVC
Refuerzo: Poliéster trenzado
Cubierta : PVC
Temperatura : -29ºC a 50ºC

Código	Diámetro interno		Presión trabajo
	Pulgadas	mm	PSI
06504250	1/4"	6.4	140
06505250	5/16"	7.9	140
06506250	3/8"	9.5	140
06508250	1/2"	12.7	115
06510250	5/8"	16	115
06512250	3/4"	19.1	85
06516250	1"	25.4	85
06520250	1 1/4"	31	55
06524250	1 1/2"	38	55
06532250	2"	50.8	45

Fuente: (15)

4.7.2 Abrazaderas.

Las abrazaderas son conocidas como piezas de metal o PVC que tienen como función principal asegurar y sujetar alguna tubería o conducto en posición vertical u horizontal, en alguna pared, techo, guía o cualquier otra base.

Dependiendo del tipo de material con el que se fabrica una abrazadera, se pueden clasificar en:

Abrazaderas metálicas

Abrazaderas isofónicas

Abrazaderas de aluminio

Abrazaderas de PVC

Figura 26. Abrazadera

Autor: (16)

4.7.3 Depósito de electrolito.

Usualmente los depósitos de líquido refrigerante utilizados en el campo automotriz, son ideales para almacenar agua y gases, estos están diseñados de forma tal que soporta altas temperaturas, presiones elevadas, absorbe las vibraciones que genera el automotor sin deformarse, además el material con el que es construido este debe ser capaz de soportar la humedad y la corrosión, estos poseen una tapa hermética que tiene las funciones de no dejar que el líquido que contiene se derrame, internamente posee una válvula que se abre a una cierta presión para evitar que el deposito explote debido a la elevación de presión en el sistema de refrigeración.

Consta de varios conductos tantos como de alimentación como de retorno, los cuales hacen la función de conectarse a las mangueras necesarias en el motor.

Figura 27. Depósito de refrigerante.

Fuente: (12)

4.7.4 Relé

El relé es un conector electromecánico, que hace la función de un interruptor el cual se controla con un circuito eléctrico, esta energía alimenta una bobina interna que posee este dispositivo, este acciona unos contactos para cerrar o abrir los circuitos eléctricos independientes.

Este dispositivo es capaz de controlar corrientes de mayor potencia, debido a que la corriente de comando que se necesita para este dispositivo es de pequeña intensidad, de esta manera se evita utilizar cantidad exagerada de cables de potencia.

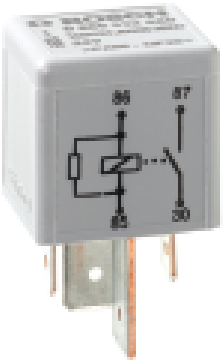


Figura 28. Relé

Autor: (17)

Terminales y Numeración

Existen relevadores con distintos números de terminales, sin embargo los usos más comunes para el auto son de 4 y 5 terminales, a su vez a cada una de las terminales le corresponde un número de identificación el cual sirve para conectarlos correctamente, estos números de identificación son 85, 86, 30, 87 y 87a encontrarás estos números justo al lado de cada terminal del relevador. En algunos relevadores puede venir un pequeño diagrama impreso el cual nos facilitará aún más el trabajo.

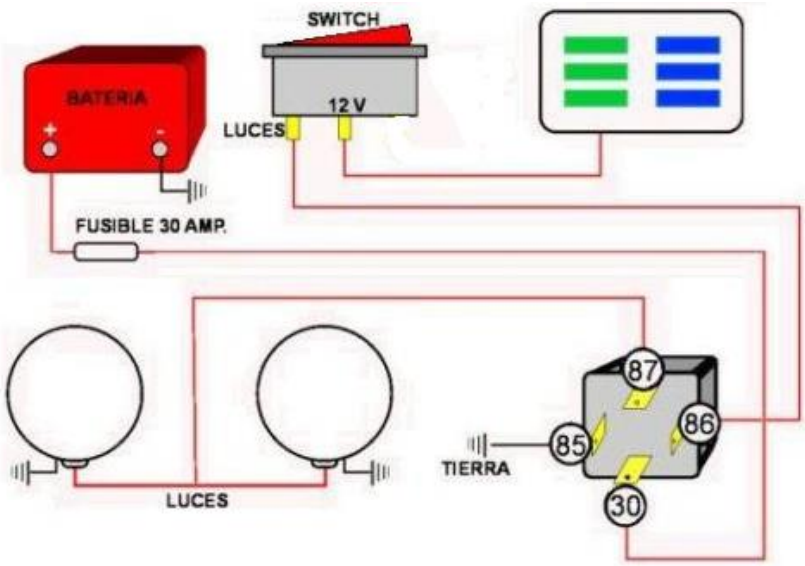


Figura 29. Diagrama de bornes.

Autor: (17)

El relevador está formado por dos circuitos, uno es el área de control y el otro es el área de carga.

Área de Control

Para conectar un relevador debemos alimentar las terminales 85 y 86 con corriente y tierra, éstas terminales corresponden a la bobina que es la que se encargará de mover los contactos cada vez que se le aplique corriente a estas terminales, cabe mencionar que en alguna parte

del circuito entre las terminales (85 o 86) debe haber un interruptor que activará el relevador, de otra forma sin un interruptor el relevador estará activado todo el tiempo.

Para estas terminales el cable puede ser de un bajo calibre debido a que el flujo de corriente para hacer funcionar la bobina es mínimo. En el ejemplo siguiente se muestra la energía entrando por la terminal 85 y aterrizando por la terminal 86 pero también puede ser a la inversa "no tiene polaridad"

4.7.5 Cable eléctrico

Los cables eléctricos que se utiliza en la instalación de circuitos automotrices, en su mayoría están hechos de cobre, este material es un excelente conductor de electricidad, generalmente se encuentran recubiertos de un material aislante, el grosor dependerá de la tensión que va a manejar dicho conductor y dependiendo el uso que se le den.

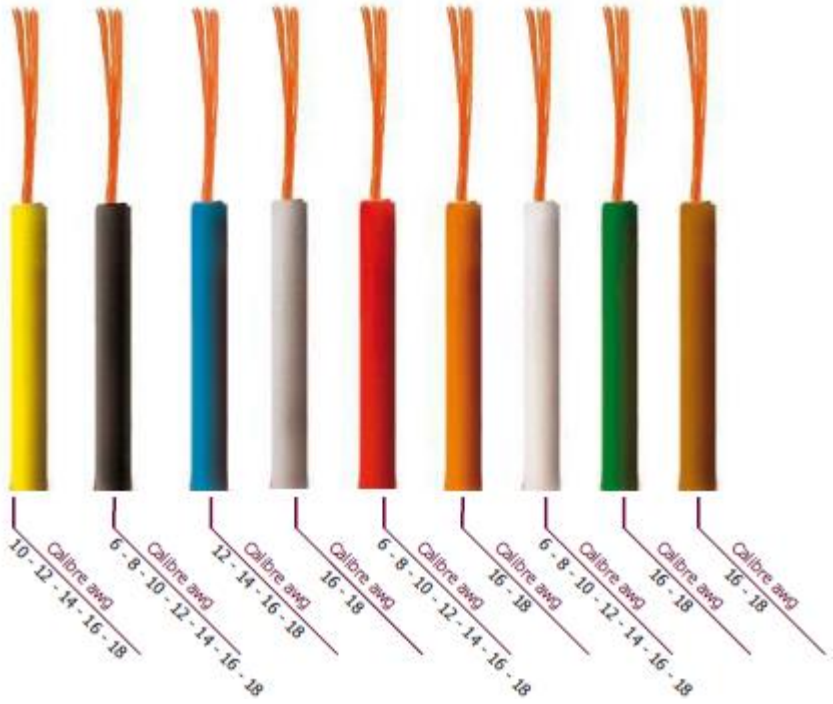


Figura 30. Cables de vehículos

Autor: (18)

Tabla 4. Datos de conductores eléctricos.

CABLES VEHICULO TFF y TWK PRINCEX 60 ºC 600 V

Calibre Awg	# Ind	# Hilos X Ind	Ø Hilo mm	Ø Tot Conduc mm	Area mm²	Espesor Ind mm	Dimensiones Exteriores mm	Capacidad Corriente (Amperios)	Peso Total Aprox Kg/Km
6 (Ne. Rj. Bl.)	1	266	0,254	4,77	13,48	1,31	7,40	55	157,09
8 (Ne. Rj. Bl.)	1	168	0,254	3,66	8,51	1,17	6.00	40	101,84
10 (Am. Ne. Rj. Bl.)	1	104	0,254	3,20	5,27	0,80	4,80	30	61,73
12 (Az. Am. Ne. Rj. Bl.)	1	65	0,254	2,51	3,29	0,84	4,20	25	42,20
14 (Az. Am Ne. Rj. Bl.)	1	41	0,254	1,98	2,08	0,81	3,60	18	28,68
16 (Nar. Ca. Gr. Vr. Az. Am. Ne. Rj. Bl.)	1	26	0,254	1,50	1,32	0,80	3,10	13	19.97
18 (Nar. Ca. Gr. Vr. Az. Am. Ne. Rj. Bl.)	1	16	0,254	1,22	0,81	0,79	2,80	10	14,27

Ne. - Negro, Rj. - Rojo, Bl. - Blanco, Az. - Azul, Am. - Amarillo, Nar. - Naranja, Ca. - Cafe, Gr. - Gris, Vr. - Verde

Autor: (18)

4.7.6 Fusible y portafusible

Es un elemento de seguridad utilizado para prevenir sobrecarga o daños en los circuitos eléctricos, tanto el cableado eléctrico como en los aparatos de los vehículos. Está compuesto indispensablemente por un conductor delgado generalmente de estaño, que se funde a un determinado flujo de corriente, de tal manera hace que se caliente el filamento y se funda por el denominado efecto Joule.

El portafusible hace la función de soporte y conexión de los terminales del fusible a los diferentes circuitos que posee el vehículo este debe estar ubicado donde no exista humedad para que sus componentes metálicos no se sulfaten.

Figura 31. Fusible

Autor: (19)

Los fusibles se identifican según su amperaje por el color que poseen, estos colores son estándar para los fusibles de los vehículos, otra manera de identificar es el número que viene en la parte superior que nos dice sobre el amperaje que soporta.

Tabla 5. Identificación de fusibles por colores.

Ficha Maxi

Corriente nominal	Color	Código	Unidades x caja
20 A		FMX 20	20
30 A		FMX 30	20
40 A		FMX 40	20
50 A		FMX 50	20
60 A		FMX 60	20
70 A		FMX 70	20
80 A		FMX 80	20

Fuente: (19)

4.7.7 Interruptor

Generalmente se lo utiliza para interrumpir o desviar el curso de la corriente, y de esta manera poder controlar componentes eléctricos, circuitos, etc. En la actualidad existen diversas aplicaciones de los interruptores manuales como los que se utiliza para encender un foco hasta los interruptores automáticos que son más sofisticados.

De igual manera estos tienen distintas características pero por lo general se clasifican, en capacidades de voltaje, corriente y funciones.

Figura 32. Interruptor con luz piloto

Autor: (20)

4.7.8 Manómetro.

Un manómetro es un instrumento de medida de la presión en fluidos (líquidos y gases) en circuitos cerrados. Miden la diferencia entre la presión real o absoluta y la presión atmosférica, llamándose a este valor, presión manométrica. A este tipo de manómetros se les conoce también como "Manómetros de Presión".

Todos los manómetros de presión tienen un elemento que cambia alguna propiedad cuando son sometidos a la presión. Este cambio se manifiesta en una escala o pantalla calibrada directamente en las unidades de presión correspondientes. La aguja nos mide la presión en el interior del circuito.

Figura 33. Manómetro para presión de gas.

Autor: (21)

5.- MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la realización del presente proyecto de tesis, se empleó de forma continua los conocimientos adquiridos durante la formación académica, de las cátedras impartidas por los docentes de nuestra universidad, aportando de esta manera la utilización de métodos científicos, método deductivo, técnicas y procesos investigativos, los cuales ayudan a construir de manera satisfactoria el proyecto presente que tiene como objetivo central la ALIMENTACIÓN DE UN MOTOR MONOCILÍNDRICO CON HIDRÓGENO OBTENIDO A TRAVÉS DE LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA.

Dicho proyecto empieza en la necesidad de construir un sistema para producir hidrogeno, para posteriormente servir como combustible de un motor monocilíndrico y de esta manera conocer la importancia de utilizar dicho combustible, el cual se evalúa con procesos de medición de gases de escape del motor, logrando reducción de gases de contaminación ambiental.

5.1 Materiales

Los materiales utilizados para la realización del proyecto se mencionan a continuación.

- Computadora
- Material de oficina
- Software de diseño INVENTOR 2011
- Bibliografía Física y Virtual
- Motor Honda GRX 35
- Tanque de Almacenamiento
- Filtro de Agua de casa
- Mangueras
- Abrazaderas
- Relé
- Manómetro
- Acero inoxidable
- Platina
- Acoples
- Cables
- Bornes
- Amperímetro
- Swicht
- Fusible
- Hidróxido de Sodio
- Agua destilada

- Material de cerrajería para la construcción de la maqueta
- Pintura

5.2. Métodos, Técnicas e Instrumentos

Para el desarrollo del presente proyecto de tesis se utilizó diferentes métodos en los que se aprovechan técnicas de la investigación científica. Los métodos a utilizados son los siguientes:

5.2.1 Método de observación: La observación permitió obtener información sobre la situación actual del problema y a la vez permitió conseguir información directa para obtener un parámetro claro sobre el problema a tratar.

5.2.2. Método analítico: Este método sirvió en la medida que realizamos el análisis no solamente de aspectos teóricos, científicos, sino también de los resultados o productos que se lograron en el proceso investigativo de este proyecto.

5.2.3. Método deductivo: Este método aplicamos partiendo de hechos generales, luego de realizar un proceso investigativo, llegando a determinar, evaluar y emitir juicios de valor de aspectos particulares al aplicando las conclusiones sobre el tema de investigación.

5.2.4. Método científico: Este método es el conjunto de reglas que señalo el procedimiento para llevar a cabo la investigación cuyos resultados sean aceptados como válidos por la comunidad científica.

a) Técnicas e instrumentos

Las técnicas que ayudaron al proyecto obteniendo información bibliográfica que van desde fichas bibliográficas, libros, sitios web, videos, donde se encontrarán datos importantes para la elaboración del equipo necesario para la producción del hidrogeno.

6.- RESULTADOS

En la presente investigación se hará uso de un motor monocilíndrico de 35cc a fin de poder analizar el comportamiento de los gases que genera utilizando gasolina y luego hidrógeno como combustibles. Como primera parte de la investigación, se requiere desarrollar un generador de hidrógeno, que será el encargado de poder obtener dicho combustible a partir de la electrólisis del agua.

Continuadamente se realiza el cálculo de gasto de aire teórico con el propósito de entender el comportamiento del flujo de aire que necesita el motor para su funcionamiento, de esta forma se podrá entender los componentes necesarios para que dicho motor funcione correctamente con hidrogeno.

Luego se diseña y construye las piezas del generador de gas de hidrógeno, y se observa paso a paso los componentes que constituyen los diferentes elementos que posee el conjunto como es: sistema generador, de seguridad, de almacenamiento y de alimentación, con el fin de entender su funcionamiento.

Por último se procede a la construcción, de una estructura donde van alojados todos los elementos del presente proyecto, con el propósito de hacer una maqueta donde se pueda observar el funcionamiento de la presente investigación, para poder ser presentada y expuesta.

6.1.1 Análisis de los parámetros básicos de un motor Honda GX35.

Se ha optado por la utilización del motor Honda por la cilindrada que posee, constituye una forma compacta y eficiente de demostración de su funcionamiento, cabe mencionar que el motor es uno de los más pequeños del mercado en versión de ciclo de 4 tiempos, la gran mayoría de motores de este tamaño se encuentran en ciclo de 2 tiempos dichos motores no se pueden utilizar para el presente proyecto por la razón que estos ocupan una mezcla de gasolina y aceite para su funcionamiento y la necesidad en el proyecto es inyectar el gas de hidrogeno sin ninguna mezcla, el motor puede emplearse en un prototipo debido al tamaño que posee, teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente se lo eligió, a continuación las características técnicas.

Este motor estacionario Honda modelo GX35, a gasolina de cuatro tiempos (no usa mezcla), monocilíndrico, eje horizontal, refrigerado por aire forzado, lubricado por aceite, cuya relación de compresión es de 8,0:1 con potencia máxima de 1,6 hp a 7000 RPM de encendido transistorizado y arranque manual con piola retráctil y puede funcionar en distintas posiciones.

Figura 34. Motor Honda GX35.

Fuente: (22)

Tabla 6. Datos Técnicos de motor honda GX35

MODELO	UMC 435E
Modelo motor	GX35T
Código descripción motor	GCAMT
Tipo motor	4-tiempos, árbol de levas, 1 cilindro
Desplazamiento	35.8 cm^3
Diámetro y carrera	39.0 × 30.0 mm
Potencia motor (de acuerdo con SAE J1349*)	1.0 kW (1.4 ps)/7,000 rpm
Max. torsión motor (de acuerdo con SAE J1349*)	1.6 N·m (0.16 kgf·m, 1.2 lbf·ft)/5,500 rpm
Velocidad ralentí	3,100 ± 200 rpm
Velocidad máxima motor	MIN. 10,000 rpm
Sistema refrigeración	Aire forzado
Sistema de encendido	Magneto transistorizado
Capacidad depósito aceite	0.10 L

Capacidad depósito gasolina	0.63 L
Bujía	CMR5H (NGK)

Fuente: (22)

6.1.2 Parámetros geométricos del motor Honda GX35

Para comenzar con el cálculo del *gasto teórico aire* antes debemos considerar ciertos parámetros de dicho motor como es el diámetro del cilindro el cual lo utilizaremos directamente en el desarrollo de las ecuaciones.

Tabla 7. Diámetro de cilindro y pistón del motor Honda

Cilindrada de motor	Diámetro del pistón (mm)	Diámetro del cilindro (mm)
35,8 cc	38,99	39,0

Fuente: (22)

Como siguiente paso debemos saber la carrera del pistón para ser reemplazado en la fórmula de la relación, sin embargo verificando en la tabla el fabricante también proporciona este dato que es:

$$S = 30\ mm.$$

Para clasificar el tipo de motor, se usa la *ecuación 1* en donde se verifica la relación que tiene entre carrera y el diámetro del cilindro.

$$\frac{S}{D} = \frac{30mm}{39}$$

$$\frac{S}{D} = 0{,}76$$

Dicho resultado que verificado en la Tabla 1, menciona que este motor se clasifica en el tipo de los Supercuadrados por ser el resultado inferior a 1.

Seguidamente se aplica la Ecuación 2 para obtener el dato de la sección transversal del pistón, reemplazando se obtiene.

$$A = \frac{\pi * (3{,}9cm)^2}{4}$$

$$A = 11{,}94\ cm^2$$

Para obtener la cilindrada unitaria se debe utilizar la Ecuación 3 reemplazando se obtiene

$$V_d\ = 11{,}94\ cm^2 * 3cm$$

$$V_d\ = 35{,}83\ cm^3$$

La relación de compresión se proporciona de los datos del fabricante y el valor obtenido es de:

$$r = 8 : 1$$

El volumen de la cámara de combustión se la consigue con la aplicación de la ecuación 5 donde despejamos Vc, por tanto nos da el resultado siguiente:

$$V_c = \frac{35{,}83\ cm^3}{(8-1)}$$

$$V_c = 5{,}11\ cm^3$$

6.1.3 Parámetros de funcionamiento del motor Honda GX35

La Ecuación 6 nos facilita para saber la velocidad lineal del pistón a determinadas RPM, en este caso a 7000 rpm.

$$Cm = 2 * 0.03\text{m} * 7000\,\frac{\text{rpm}}{\text{min}}$$

$$Cm = 420\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{min}} = 7\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

La velocidad media del pistón a 7000 rpm es de $7\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

6.1.4 Gasto de aire y rendimiento volumétrico

Gasto de aire teórico o caudal a 2000 rpm es el que proporciona la ecuación 8 en donde reemplazamos los datos teniendo como resultado:

$$Q_t = 35{,}83\ cm^3 * \frac{2000}{2 * 60}$$

$$Q_t = 597{,}16\,\frac{cm^3}{s}$$

$$Q_t = 0{,}000597\ \frac{m^3}{s}$$

Teniendo en cuenta que el motor consume aire por cada dos vueltas

$$Q_t = \frac{0{,}000597\ \frac{m^3}{s}}{2} = 0{,}0002985\,\frac{m^3}{s}$$

$$Q_t = 17{,}91\ \frac{l}{min}$$

6.2 Análisis de requerimientos mezcla estequiométria en relación del Oxígeno.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos del consumo de aire a cierta cantidad de revoluciones del motor se realiza el cálculo estequiométrico sobre la necesidad de hidrógeno que tendría dicho motor para funcionar correctamente tenemos que:

El motor cuando funciona a 2000 rpm, consume la cantidad de aire de Q_t = 17,91 litros en un minuto, y se sabe que el aire está formado en su mayoría por nitrógeno, y solo el 21% es de Oxigeno lo que nos da que el motor para que funcione a esa velocidad está consumiendo 3,76 litros por minuto de Oxigeno, este valor sirve para calcular la cantidad de hidrógeno necesario que se debe introducir para la combustión interna del motor.

6.2.1 Cálculo sobre la cantidad de hidrógeno necesario.

Se sabe que para formar la molécula de agua se necesita dos elementos gaseosos, en las proporciones que son 2 moléculas de Hidrógeno y 1 molécula de Oxígeno, esta relación es proporcional en términos de volumen, dando como igualdad de mezcla de 2 litros de Hidrógeno con 1 litro de Oxígeno.

Para realizar los cálculos tenemos que el motor a 2000 rpm consume 3,76 litros de Oxígeno en 1 minuto entonces tenemos que:

$$Q\text{hidrógeno} = Qox\acute{\imath}geno * 2$$

$$Q\text{hidrógeno} = 3{,}76\frac{l}{min} * 2$$

$$Q\text{hidrógeno} = 7{,}52\frac{l}{min}$$

6.3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA GENERADORA DE HIDRÓGENO Y CONSTRUCCIÓN DE MAQUETA DEL SISTEMA COMPLETO Y ELEMENTOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR MONOCILÍNDRICO.

6.3.1 Construcción del generador de Hidrógeno.

El generador de hidrógeno que se pretende diseñar será uno de tipo de celda seca ya que resulta ser un dispositivo compacto, sencillo y fácil de usar, este tipo de generador disipa de

manera eficiente el calor producido por la electrólisis, este estará alimentado por corriente continua de 12 voltios.

Tabla 8. Ficha técnica del generador de gas Hidrógeno

Especificaciones Del Generador de Hidrógeno	
Número de Placas	31
Número de Placas Positivas	3
Número de Placas Negativa	4
Número de Placas Neutras	24
Número de Separadores	31
Cámaras Generadoras	6
Entradas de electrolito	2
Salidas de Gas Hidrogeno	2
Voltaje	12 VDC
Amperaje	32 amps
Capacidad de Agua	420 cm^3
Caudal de producción	1,4litros por minuto

Fuente: (12)

6.3.2 Diseño del Generador de Hidrógeno

Para el diseño de la celda se tomó en cuenta sus diferentes partes que la constituyen, observando que sus dimensiones sean las adecuadas para la producción de hidrógeno, por este motivo se debe diseñar las piezas especificando su tamaño, material y forma. Para obtener este resultado se utiliza un software llamado Autodesk Inventor Professional el cual facilita diseñar en computadora antes de construir físicamente.

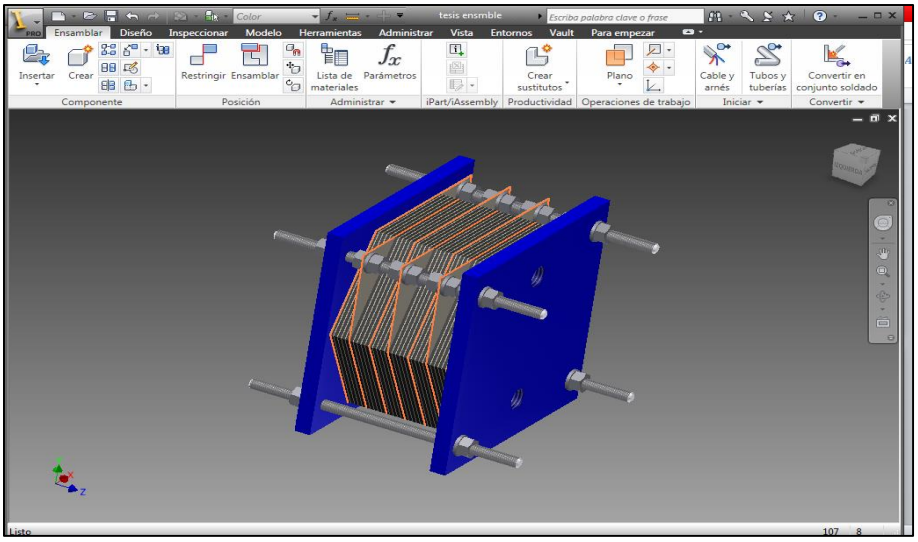


Figura 35.Ensamble completo de generador de hidrogeno en software.

Autor: (12)

6.3.3 Cálculo para áreas y volúmenes.

Antes de realizar cualquier cálculo es necesario saber y verificar de donde se obtiene los datos para poder aplicar cada formula correctamente en la figura siguiente se aprecia de donde provienen dichos datos.

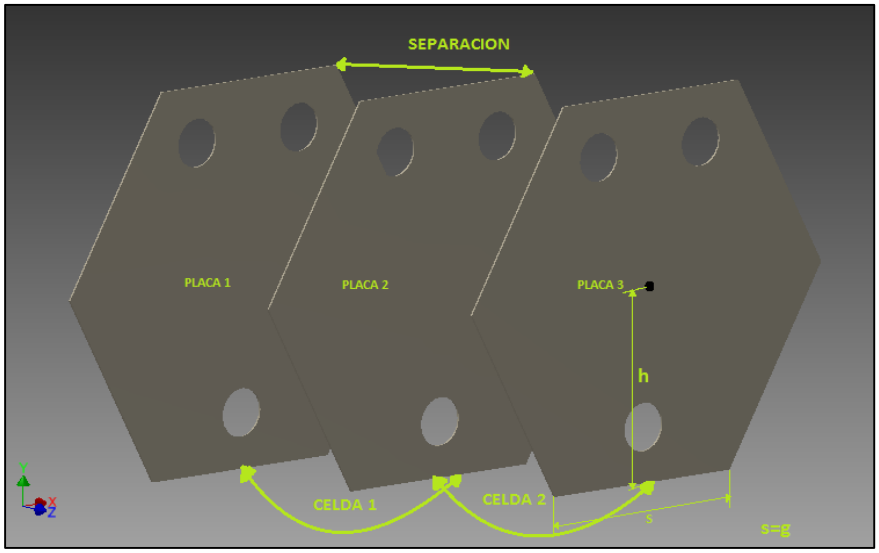


Figura 28. Medidas tomadas para cálculos

Fuente: Autor.

Para proceder con los cálculos se muestra a continuación los datos de las dimensiones y fórmulas que se utilizan para hallar las áreas y volúmenes durante el cálculo:

Tabla 9. Datos de dimensiones y fórmulas de volumen del generador.

Datos.	Formulas.
s= 6 cm	$\boldsymbol{A = \frac{s \cdot h}{2} \cdot n}$
h= 5.2 cm	$\boldsymbol{ATc = A \cdot n}$
e= 0.015cm	$\boldsymbol{Vc = A \cdot e}$
n = 30	$\boldsymbol{VTc = A \cdot e \cdot n}$

Fuente: (12)

Donde:

Tabla 10. Significado de las siglas de formula.

s = longitud de lado de hexágono
h = altura desde el lado de hexágono hacia el centro.
e = espesor de la celda
n = número de celdas.
A = área de hexágono.
AT_c = Área total de las celdas en $\boldsymbol{cm^2}$
V_c = Volumen de cada celda en $\boldsymbol{cm^3}$
VT_c = Volumen total de las celdas en $\boldsymbol{cm^3}$

Fuente: (12)

Desarrollo de cálculo para encontrar las áreas y volúmenes.

Ecuación 10

Área de hexágono.

$$A = \frac{s \cdot h}{2} \cdot n$$

$$A = \frac{6 \cdot 5.2}{2} \cdot 6$$

$$A = 93.53 \ \mathbf{cm^2}$$

Para encontrar el área total de las placas de la celda que estarán en contacto con el electrolito, se utiliza la siguiente formula:

Área total de las celdas

$$ATc = A \cdot n$$

$$ATc = 93.53 \cdot 30$$

$$ATc = 2805.9\text{cm}^2$$

Para determinar el volumen de cada cámara que estará en contacto con el electrolito se obtiene:

Volumen de cada celda

$$Vc = A \cdot e$$

$$Vc = 93.53 \cdot 0.15$$

$$Vc = 14.029\text{cm}^3$$

Con el volumen de cada cámara se determina el volumen total de electrolito que contiene la celda:

Volumen total de las celdas

$$\boldsymbol{VTc = A \cdot e \cdot n}$$

$$\boldsymbol{VTc = 14.029 \cdot 30}$$

$$\boldsymbol{VTc = 420\ cm^3}$$

6.3.4 Cálculo de producción de hidrógeno.

Para calcular, la producción de gas de Hidrógeno, se calcula cuánto gas genera en 1 minuto o 60 segundos, con una intensidad de 32 A y en condiciones de presión y temperatura normales, es decir a 1 atm y 25ºC (298ºK) respectivamente . Resulta necesario utilizar las siguientes ecuaciones como la Ley de Faraday del peso equivalente respectivamente:

$$m = \frac{E \cdot I \cdot t}{F} \qquad y \qquad E = \frac{Pa}{V}$$

Donde:

Tabla 11. Valores para cálculo de producción de gas.

m= Masa de la sustancia alterada (g)	¿?
E= Peso equivalente (g/mol)	¿?
I= Intensidad de corriente (A)	32 amperios
t= Tiempo (s)	60 segundos
F= Constante de Faraday	$96500\frac{C}{mol}$
P_a= Peso atómico (g)	1g
V= Valencia (mol)	2 mol

Fuente: (12)

Resolviendo la ecuación de peso equivalente obtenemos:

Peso equivalente

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

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

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

Utilizando la formula sobre la Ley de Faraday, y con todos los datos disponibles calculamos el número de moles que posee el hidrogeno:

Masa de la sustancia alterada

$$\boldsymbol{m = \frac{E \cdot I \cdot t}{F}}$$

$$\boldsymbol{m = \frac{0{,}5 \cdot 32 \cdot 60}{96500}}$$

Una vez que se sabe el número de moles se puede calcular el volumen de gas hidrógeno generado en cada celda con la fórmula de los gases ideales teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 12. Parámetros para el gas hidrógeno.

Parámetros	**Valores**
P= Presión (atm)	1 atm
V= Volumen (l)	
n= Numero de moles del gas (mol)	n = m
R= constante universal de los gases	$0{,}082\ \frac{atm \times l}{mol \times °K}$
T= Temperatura (K)	298K

Fuente: (12)

Una vez conocido el valor del número de moles se calcula el volumen de gas hidrógeno generado en cada celda con la fórmula de los gases ideales:

Volumen de gas hidrógeno

$$\boldsymbol{P \cdot V = n \cdot R \cdot T}$$

$$\boldsymbol{V = \frac{n \cdot R \cdot T}{P}}$$

$$\boldsymbol{Vh = \frac{9,94 \times 10^{-3} \cdot 0,082 \cdot 298}{1\ atm}}$$

$$\boldsymbol{Vh = 0,24\ l}$$

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

Volumen total de gas

$$\boldsymbol{Vtotal\ H = 0,24l \cdot 6}$$

$$Vtotal\ \boldsymbol{H = 1,44}\ l$$

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

Volumen del gas de oxígeno

$$\boldsymbol{V\ total\ O = \frac{Vh}{2}}$$

$$\boldsymbol{Vtotal\ O = \frac{1,44\ l}{2}}$$

$$\boldsymbol{V\ total\ O = 0,72\ l}$$

Posteriormente, se suman los volúmenes totales de ambos gases con la finalidad de obtener el flujo de gas proporcionado por el generador:

Volumen total de flujo

$$\boldsymbol{V\ total\ de\ flujo = Vtotal\ H + V\ total\ O}$$

$$\boldsymbol{V\ total\ de\ flujo = 1,44\ l + 0,72\ l}$$

$$V\ \boldsymbol{total\ de\ flujo = 2,1}6l$$

Por último, hay que tener muy en cuenta que el resultado anterior se puede dar, al asumir que la celda en su interior está completamente llena, pero en la práctica no ocurre de ese modo por la razón que al producir el gas hidrogeno el nivel de agua baja, a una razón de capacidad de la celda de un 65% de agua y 35% de gas, cuando esto ocurre solo el 65% de la celda tiene contacto con el agua y solo en este volumen se da la electrolisis consecuentemente, se debe obtener el 65% del volumen total de flujo para lograr una expresión más practica:

Volumen practico de flujo de gas

$$\boldsymbol{V\ practico = V\ total\ de\ flujo \cdot 0,65}$$

$$\boldsymbol{V\ practico = 2,16l \cdot 0,65}$$

$$V\ \boldsymbol{practico = 1,4}\ l$$

Tenemos como resultado que el flujo de producción de gas hidrógeno de 1,4 $\frac{l}{min}$, es inferior al consumo de mezcla del motor a 2000 rpm que es $Q\text{hidrógeno} = 7{,}52\frac{l}{min}$, por lo tanto se considera que el sistema es necesario proporcionar un sistema de almacenamiento de tanques para lograr que el motor arranque y funcione correctamente.

6.3.5 El almacenamiento necesario.

Debido a lo antes expuesto se debe determinar el tiempo que se requiere que funcione el motor en este caso se considerara unos 8 minutos debido a que el generador no abastece para que funcione directamente, tomando en cuenta que el generador consume 32 amps para la producción de gas hidrógeno y que resultaría inviable construir una celda más grande, por la razón que en el mercado no se encuentra baterías con proporciones que sobrepasen los requerimientos de la energía necesaria.

Para calcular el almacenamiento se calcula de la siguiente forma:

Para que el motor funcione 8 minutos a 2000rpm se necesita multiplicar el flujo Q hidrógeno por la unidad de tiempo:

$$FV_{8min} = Q\text{hidrógeno} * t$$

$$F_{8min} = 7{,}52\frac{l}{min} * 8min$$

$$F_{8min} = 60{,}17\ l$$

Dado la cantidad que se debe almacenar para que el motor funcione, se almacena en dos tanques de 25 litros, para después ser suministrado al motor.

Figura 36. Tanque de almacenamiento de hidrógeno

Fuente: (12)

6.3.6 Análisis termodinámico del motor Honda.

Para dicho análisis se tomara en cuenta los dos tipos de combustibles con los que funciona el motor, con la finalidad de obtener las dos potencias, como cuando funciona con gasolina y con el hidrogeno, con este cálculo se evidencia la potencia que genera cada combustible.

6.3.6.1 Análisis termodinámico con Gasolina.

Para este proceso de análisis con gasolina se tomó los siguientes datos de la ficha técnica.

Tabla 13. Datos para el análisis termodinámico utilizando Gasolina.

Datos	
Relación de compresión	8:1
Temperatura inicial	17°C = 290K
Presión del aire inicial	93.6 kPa (P.atm promedio en Loja)
Volumen inicial del cilindro	$3.5 * 10^{-5}\ m^3$
Presión máxima	4.6 MPa

Potencia	1.0 Kw (1.3 Hp a 7000rpm)
CP	1004 J/kgK
CV	717 J/kgK
k=CP/CV	1.4
Relación de proporción de gasolina - aire	1:12000
Densidad de la Gasolina	680kg/m^3
Poder calorífico de la gasolina	$44300KJ/kg$

Autor: (12)

Los datos iniciales son los siguientes:

$P_{1=}$93.6 kPa ; $V_1 = 3{,}5 * 10^{-5}\ m^3$; $T_1 = 290$K

Como se está calculando el ciclo Otto, el siguiente es el primer proceso reversible de la compresión adiabática 1»2

$$T_2 = T_1\gamma^{k-1} = 666{,}24K \quad ; \quad P_2 = P_1\gamma^k = 1720{,}29kPa$$

De la ecuación de la relación de compresión se utiliza lo siguiente:

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

Ahora despejamos V_2, y sustituimos valores:

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

$$V_2 = \frac{3.5 * 10^{-5}\ m^3}{8}$$

$$V_2 = 4{,}3 * 10^{-6}\ m^3$$

Seguidamente el proceso reversible, el calentamiento isométrico 2»3

$$V_2 = V_3 = 4{,}3 * 10^{-6}\ m^3 \quad ; \quad P_3 = 4{,}6MPa = 4600kPa$$

Como siguiente paso se utilizara la ecuación de los gases ideales.

Despejamos T_3

$$T_3 = \frac{T_2 P_3}{P_2}$$

$$T_3 = \frac{666{,}24K * 4600kPa}{1720{,}29kPa}$$

$$T_3 = 1781K$$

Se continua con el siguiente proceso reversible, expansión adiabática de 3»4

$$V_1 = V_4 = 3{,}5 * 10^{-5}\ m^3 \quad ; \quad T_4 = T_3 \left(\frac{1}{\gamma}\right)^{k-1} = 775{,}23K$$

El siguiente proceso reversible es el enfriamiento isométrico de 4»1

Utilizando la ecuación de gases ideales igualamos:

Despejamos P_4

$$P_4 = \frac{T_4 P_1}{T_1}$$

$$P_4 = \frac{775{,}23K * 93{,}6kPa}{290K}$$

$$P_4 = 250{,}2121kPa$$

Seguidamente se calcula el calor del proceso 2»3 y 4»1 utilizando las ecuaciones 2 y 3.

$$Q_{2-3} = 0.718 \frac{KJ}{kg * K}(1781K - 666{,}24K)$$

$$Q_{2-3} = 800{,}39\frac{KJ}{kg}$$

$$Q_{4-1} = 0.718\frac{KJ}{kg * K}(290K - 775{,}23K)$$

$$Q_{4-1} = -348{,}39\frac{KJ}{kg}$$

El trabajo aprovechado se calcula con la ecuación 7 quedando como:

$$W_{neto} = -348{,}39\frac{KJ}{kg} + 800{,}39\frac{KJ}{kg}$$

$$W_{neto} = 451{,}93\frac{KJ}{kg}$$

Se obtiene la eficiencia con la ecuación 8:

$$\eta_t = \frac{451{,}93\frac{KJ}{kg}}{800{,}39\frac{KJ}{kg}}$$

$$\eta_t = 0{,}5646$$

Para encontrar la potencia del motor debemos antes encontrar datos necesarios como es la masa del combustible para esto se utiliza la ecuación 9.

$$V_{comb} = \frac{3.5 * 10^{-5}\ m^3}{12000}$$

$$V_{comb} = 2{,}92 * 10^{-9}\ m^3$$

La masa de la gasolina será entonces se utiliza la ecuación 10.

$$m_{comb} = 2{,}92 * 10^{-9}\, m^3 * 680\,\frac{kg}{m^3}$$

$$m_{comb} = 1{,}98 * 10^{-6} kg$$

Y el trabajo capaz de entregar el combustible durante la explosión conociendo el poder calorífico del combustible se utiliza la ecuación 11:

$$W_{comb} = 1{,}98 * 10^{-6} kg * 44300\,\frac{KJ}{kg}$$

$$W_{comb} = 0{,}0878 KJ$$

Y con los datos que se obtenga de las ecuaciones anteriores se calcula ya la potencia teórica con la ecuación 12.

$$Pot = \frac{0{,}0878 KJ * 7000\,\frac{rev}{min}}{2 * 60\,\frac{seg}{min}}$$

$$Pot = 5{,}125 KW$$

Este dato último se debe multiplicar por la eficiencia para obtener la potencia neta para dicho motor.

$$Pot_{neta} = Pot * n_t$$

$$Pot_{neta} = 5{,}125 KW * 0{,}5646$$

$$Pot_{neta} = 2.89 KW$$

6.3.6.2 Análisis termodinámico con Hidrógeno.

Para este proceso de análisis con Hidrógeno no es necesario repetir todo el proceso se tomara en consideración desde la utilización de la ecuación 9, se tomó los siguientes datos de la ficha técnica.

Tabla 14. Datos de motor Honda GRX35

Datos	
Relación de compresión	8:1
Volumen inicial del cilindro	$3.5 * 10^{-5}\ m^3$
Presión máxima	4.6 MPa
Potencia	1.0 Kw (1.3 Hp a 7000rpm)
k=CP/CV	1.4
Relación de proporción de hidrógeno - aire	1:3,5
Densidad del Hidrógeno	0.0838kg/m^3
Poder calorífico del Hidrógeno	141900KJ/kg

Autor: (12)

Para encontrar la potencia del motor debemos antes encontrar datos necesarios como es la masa del combustible para esto se utiliza la ecuación 9.

$$V_{comb} = \frac{3.5 * 10^{-5}\ m^3}{3,5}$$

$$V_{comb} = 1 * 10^{-5}\ m^3$$

La masa de la gasolina será entonces se utiliza la ecuación 10.

$$m_{comb} = 1 * 10^{-5}\ m^3 * 0.0838 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{comb} = 8,38 * 10^{-7} kg$$

Y el trabajo capaz de entregar el combustible durante la explosión conociendo el poder calorífico del combustible se utiliza la ecuación 11:

$$W_{comb} = 8{,}38 * 10^{-7} kg * 141900 \frac{KJ}{kg}$$

$$W_{comb} = 0{,}1189 KJ$$

Y con los datos que se obtenga de las ecuaciones anteriores se calcula ya la potencia teórica con la ecuación 12.

$$Pot = \frac{0{,}1189 KJ * 7000 \frac{rev}{min}}{2 * 60 \frac{seg}{min}}$$

$$Pot = 6{,}93 KW$$

Este dato último se debe multiplicar por la eficiencia para obtener la potencia neta para dicho motor.

$$Pot_{neta} = Pot * n_t$$

$$Pot_{neta} = 6{,}93 KW * 0{,}5646$$

$$Pot_{neta} = 3.91 KW$$

6.3.7 Alimentación de motor con la utilización de regulador de presión.

Para la alimentación con gas hidrógeno al motor Honda de 35,8 centímetros cúbicos es necesario, tomar en cuenta algunos parámetros indicadores del tipo de regulador necesario para que funcione el motor, como el caudal de mezcla de combustible - aire el cual debe de ser autorregulado dependientemente de la aceleración, también la presión de funcionamiento del regulador, con la finalidad de que no existan fugas de gas.

La aplicación del sistema de regulación de presión de gases, al sistema de alimentación con hidrógeno, es ideal para la mezcla de aire combustible necesario para el funcionamiento del motor, ya que posee un regulador primario de presión que es de 30 psi de presión de gas hidrógeno provenientes de los tanques de almacenamiento, dicho gas pasa a tener 10psi, pasando al regulador secundario a una presión constante durante su funcionamiento. El regulador secundario posee dos conexiones y es el encargado de suministrar de combustible al motor cuando este por medio de su conexión al motor, la misma que es mediante una manguera la cual detecta una baja presión o presión negativa y acciona un servomotor lineal que acciona el balancín que posee dentro del regulador y se abre la válvula de paso, haciendo que pase el combustible hidrógeno al motor tratando de compensar dicha depresión que este genera, para mantenerse en equilibrio.

6.3.7.1 Regulador de gas primario.

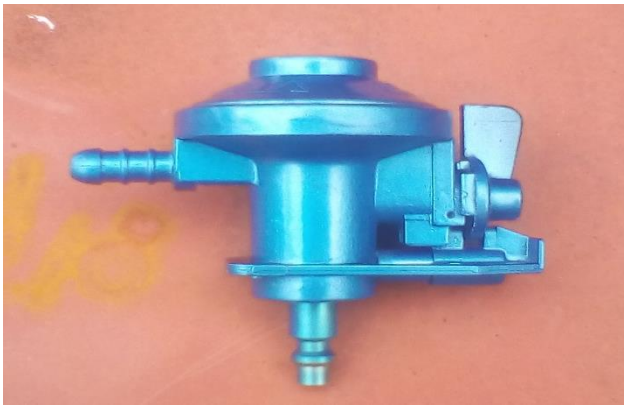


Figura 37: Regulador gas primario

Autor: (12)

Características de regulador primario.

Presión de entrada: 200psi

Presión de salida: 10psi

Conexiones: 2 vías.

Funcionamiento de la primera etapa.

El gas ingresa al regulador por el conducto de entrada "1" a unos 30 psi, pasando a través de un orificio hasta la válvula "A", solidaria a un sistema de palancas con la membrana "3". Sobre la misma hay un resorte "2" que junto con las deformaciones de la membrana, se comprimirá y descomprimirá. La tensión del resorte regulará la presión que se acumulará en la primera cámara. Una vez alcanzada la presión de trabajo en la primera etapa (8psi a 10psi.), la válvula "A" se cerrará. La mayor o menor presión en esta etapa definirá la potencia para la cual está diseñado el regulador. Es decir con mayor presión, posibilitará la entrega de mayor caudal de gas y por el orificio "4" es por donde sale el gas a presión constante.

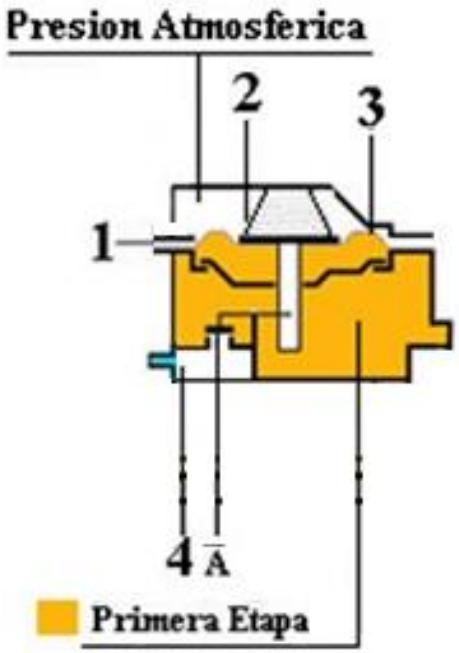


Figura 38: Funcionamiento interno de regulador.

Autor: (23)

6.3.7.2. Regulador secundario para motores de hasta 20Kw.

Figura 39: Regulador secundario

Autor: (12)

Características del regulador secundario:

Presión de entrada: 15psi

Presión de salida: 5 psi

Capacidad nominal de operación: hasta 200 $\frac{\text{ltrs}}{min}$

Conexiones: 2 vías

El motor para obtener su potencia máxima, la que se consigue a 7000 rpm, necesita un caudal de mezcla de aire combustible de $Qt = 125{,}71\ \frac{l}{min}$, y el regulador antes mencionado tiene capacidad de hasta 200$\frac{l}{min}$, lo cual quiere decir que su capacidad es mayor a la requerida asegurando su funcionamiento sin los conocidos ahogos por falta de mezcla o también mezcla demasiado pobre.La manguera de conexión del regulador y para toda la instalación del proyecto, es de 9,5mm diámetro la cual tiene una capacidad de caudal 340 litros por minuto a una presión de 2 bares y resiste una sobrepresión de hasta 120 psi.

Funcionamiento del regulador secundario.

El gas ingresa al regulador por el conducto de entrada "5" a unos 10 psi, pasando a través de un orificio hasta la válvula "B", solidaria a un sistema de palancas con la membrana "8".

La salida de gas “6” se comunica mediante una unión de mangueras en T a la membrana “8” que es la que registra la depresión haciendo que el vástago se mueva dando así movimiento al sistema de palancas, las cuales dan la apertura a la válvula B y por consiguiente alimentar al motor en función de la depresión en la admisión que se da en cada movimiento del acelerador del carburador.

En esta etapa se encuentra el registro de mínima “7” el que actúa sobre el sistema de palancas que en conjunto con la membrana son los que mantienen la presión necesaria para lograr una buena alimentación al sistema de admisión del motor.

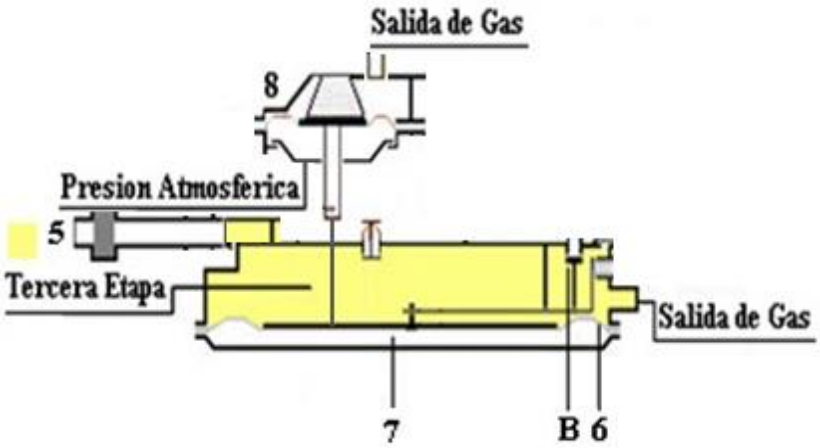


Figura 40: funcionamiento interno de regulador segunda etapa.

Autor: (23)

6.4 DISEÑO DE GENERADOR EN SOFTWARE

Para el diseño de la celda se tomó en cuenta sus diferentes partes que la constituyen y realizar un diseño robusto, observando que sus dimensiones sean las adecuadas para la producción de hidrogeno, por este motivo se debe diseñar las piezas especificando su tamaño, material y

forma. Para obtener este resultado se utiliza un software llamado Autodesk Inventor Professional el cual facilita diseñar en computadora antes de construir el generador.

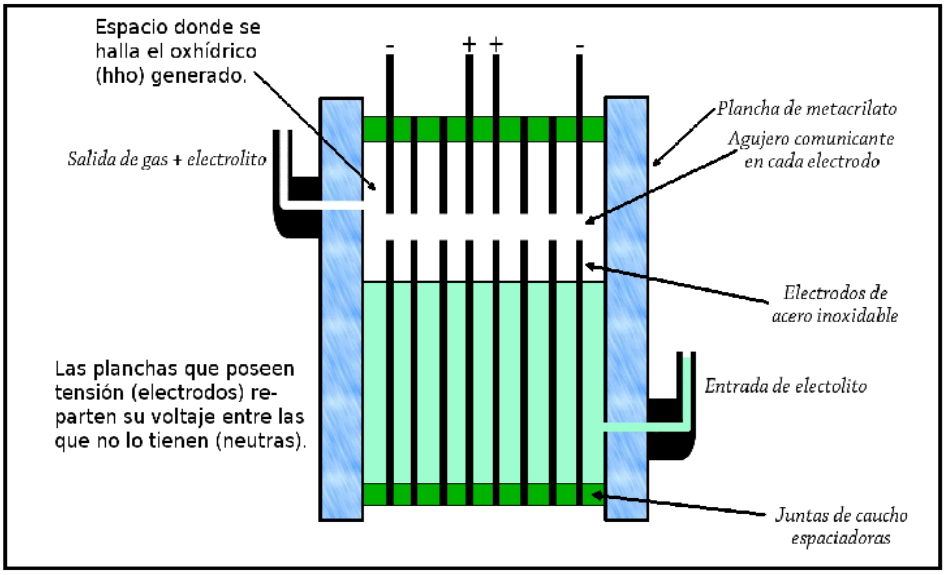


Figura 41. Ilustración de partes del generador

Autor: (1)

6.4.1 Diseño de placa de Sujeción.

Lo primero en diseñar son las dos placas que se sitúan a los extremos, para estas se debe utilizar un material resistente a la deformación por el motivo que deben soportar cierta presión para el ajuste y hermeticidad de la celda, para cumplir con tal propósito se diseñó con el tol o platina de 8mm de espesor.

Son dos placas rectangulares de medidas de 12cm por 12,5cm, estas poseen distintas perforaciones y roscas como se puede apreciar en la figura.

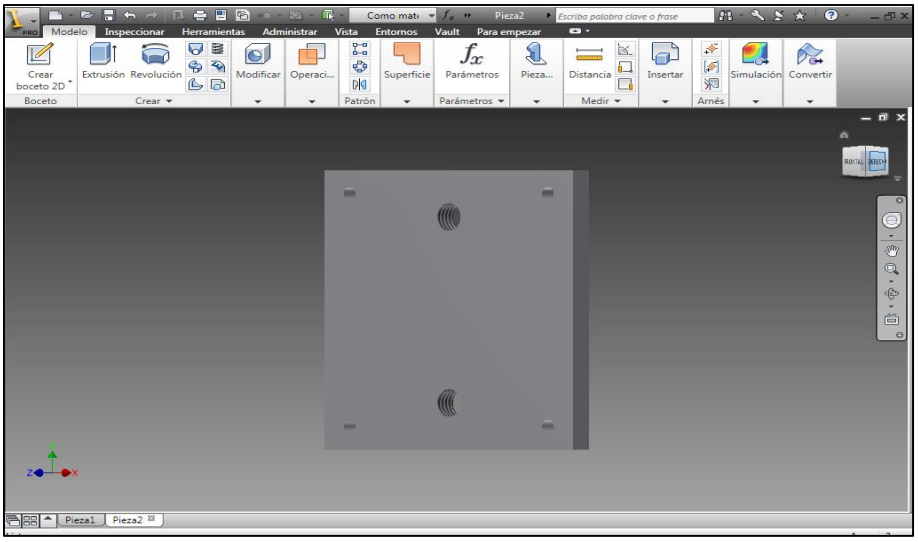


Figura 42. Placa de sujeción en software

Autor: (12)

Se puede apreciar los agujeros de diferente diámetro, de los cuales los que tienen 6mm de diámetro sirve para insertar pernos, y sirve también para ajustar los electrodos y las juntas, dando de esta forma hermeticidad del artefacto. También posee 4 agujeros roscados de 12mm, 2 en cada platina, los agujeros inferiores tienen como misión de permitir el paso del electrolito hacia las placas de la celda haciendo que se inunde y los agujeros superiores sirven para evacuar los gases producto de la electrolisis.

Para evacuar los gases hacia el depósito de electrolito, se utilizó acoples en L de 12mm de diámetro en material de bronce, los cuales se colocaron en la platina.

La configuración que se empleó en las placas de acero inoxidable para obtener la mayor producción de hidrógeno es la siguiente:

$$-nnnn + nnnn -$$

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

6.4.2 Diseño de placa neutra.

Las placas neutras sirven para reducir la diferencia de potencial que existe entre los diferentes polos, ya que si se trabajara con 2 electrodos sin ninguna placa neutra y la entrada de voltaje sea de 12V la diferencia de potencial seria 12V, pero al poseer electrodos neutros entre las placas positiva y negativa, obtendremos saltos de tensión, obteniendo más capacidad de producción de hidrógeno.

Cuantos más electrodos neutros, los saltos de tensión serán menores. En este caso, la tensión entre electrodos seria 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 2,7v.

Las placas neutras son de acero inoxidable, las cuales tienen una característica de diseño en forma de hexágono el cual conforma una reducción de tamaño y peso del generador.

La celda se la diseño con 24 placas neutras con forma de hexágono, que en uno de sus lados mide 60mm con un espesor de 0,5mm y 3 perforaciones de 13 mm de diámetro para la interconexión entre sí de las placas.

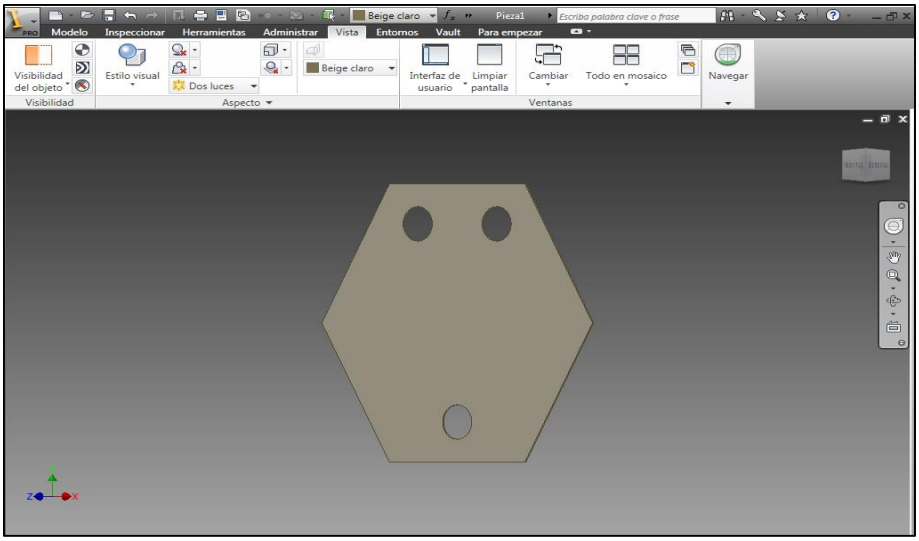


Figura 43. Placa neutra de acero inoxidable en software.

Autor: (12)

6.4.3 Diseño de placa electrodo

El generador contiene 4 electrodos de carga positiva y 3 electrodos de carga negativa, todos estos de acero inoxidable los cuales tienen una forma hexagonal y su longitud de su lado es de 60mm con un espesor de 0,5mm, además tienen una pequeña prolongación en la parte superior la cual permite introducir el perno por donde conducirá la corriente con la que trabaja.

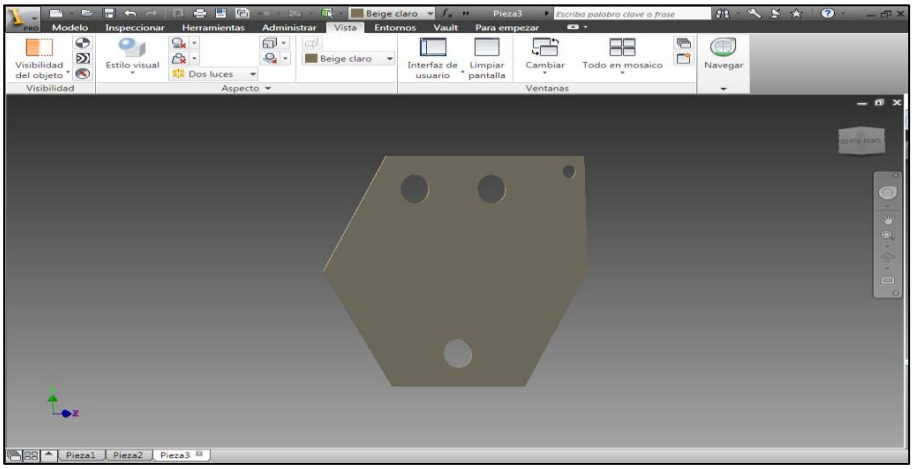


Figura 44. Placa electrodo en acero inoxidable software.

Autor: (12)

6.4.4 Diseño de junta aislante.

Para la hermeticidad de la celda seca, tenemos las juntas de material aislante, que van ubicadas entre las placas, con esto se garantiza que no se unan las placas y ocasionen corto circuito creando un espacio en donde se llena de electrolito, estas también tienen forma hexagonal pero son huecas como se puede apreciar en la figura.

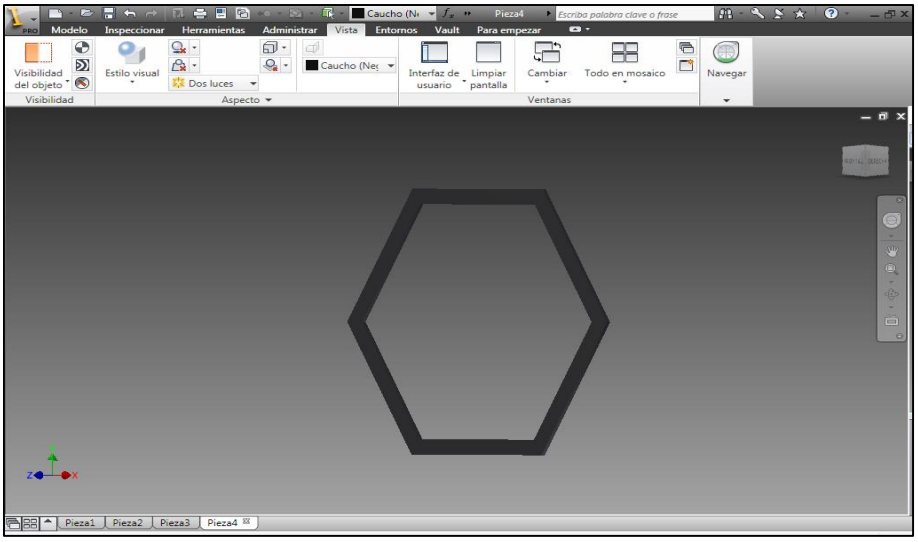


Figura 45. Junta aislante en software.

Autor: (12)

6.4.5 Elementos de sujeción.

Para la sujeción de todos los componentes, se empleó varillas roscadas de 8mm de diámetro por 14 cm de largo, las tuercas junto con las arandelas, aprietan el conjunto de placas y también conectan los electrodos pues un perno está totalmente aislado de los demás, ya que es necesario para interconectar el polo positivo. En total son 4 varillas roscadas de 8 mm de diámetro, 26 tuercas y 24 arandelas.

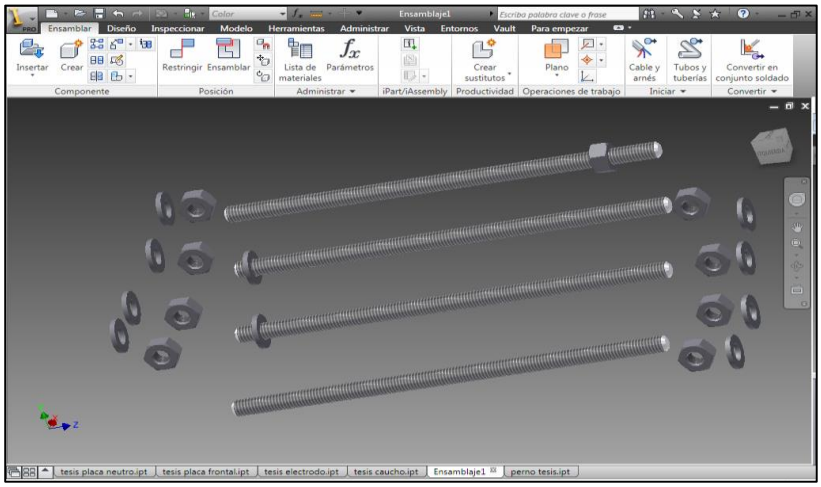


Figura 46. Varillas roscadas en software.

Autor: (12)

6.4.6 Ensamble de generador con los componentes diseñados.

Una vez diseñado todos los elementos que posee la celda, se procedio a realizar el ensamblaje, el diseño se elaboro con el fin de obtener una perspectiva clara de lo que se va a construir, verificando posibles errores de diseño. En la figura se observa el ensamble completo.

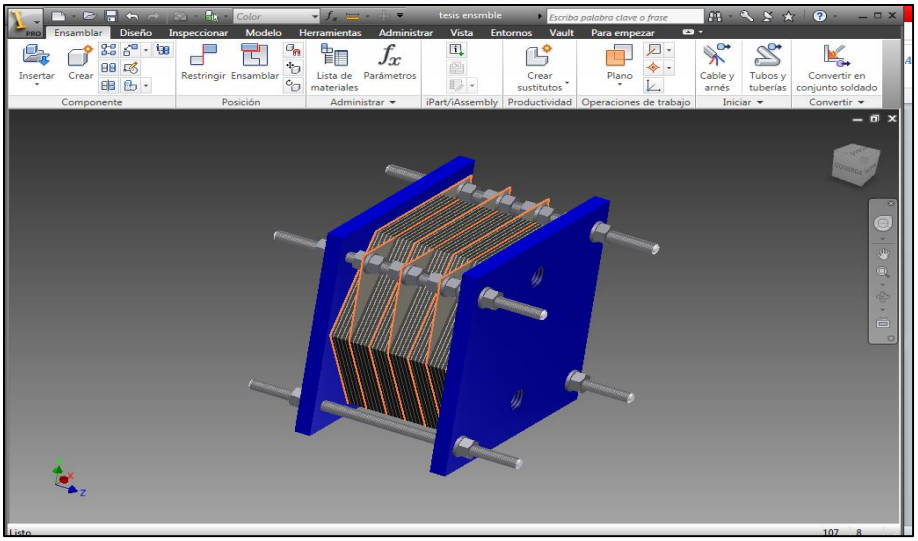


Figura 47.Ensamble completo de generador de hidrogeno en software.

Autor: (12)

6.5 ELABORACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL CONJUNTO GENERADOR

La construcción de esta maqueta que se basa en el FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR MONOCILINDRICO CON HIDROGENO, OBTENIDO POR EL PROCESO DE ELECTROLISIS DEL AGUA se la realizó en el taller propio domiciliado en el cantón Gonzanamá, Parroquia Luginuma, donde existe la facilidad de herramienta necesaria para la construcción de dicha propuesta.

Ya ejecutado el diseño en Inventor 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 trascurso de la construcción de este prototipo.

Herramientas necesarias para la realización:

Herramienta manual en general

Amoladora

Taladro de mano

Taladro de pedestal

Mandil

Gafas

Multímetro

Machuelos

Como primer paso se realizó el corte de 2 planchas de platina a la medida de 125x120 mm con la ayuda de una amoladora y mediante un taladro de banco se realizan todos los orificios, con un machuelo se efectuó el roscado de 4 agujeros en donde van ubicados los acoples para las mangueras de 3/8 de diámetro.

Figura 48. Placas de sujeción.

Fuente: (12)

A continuación con la ayuda de una amoladora se cortó la plancha de acero inoxidable para formar las placas tanto las positivas como negativas y neutras con medidas iguales al diseño que se encuentra en el bosquejo realizado por computadora, igualmente se utilizó el taladro de banco para realizar los orificios por donde circulará el electrolito y los gases producto de la electrolisis, se obtuvieron 4 placas positivas o (electrodo +), 3 placas negativas o (electrodo -) y 24 placas neutras.

Figura 49. ***Rayado y corte de placa neutras.***

Fuente: (12)

Posteriormente se elaboró las placas electrodos, de la misma forma que la anterior, con una pestaña para poder ser conectada

Figura 50. ***Corte de placas electrodos.***

Fuente: (12)

Las juntas están elaboradas de neopreno o caucho sintético, se dibujaron líneas con la forma deseada, por donde se realizaron los cortes con una tijera, se obtuvieron 32 de estos elementos esenciales para la estanqueidad del dispositivo.

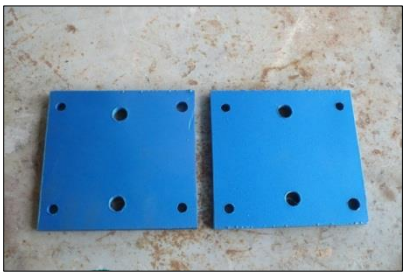
Figura 51. ***Corte de placas electrodos.***
Fuente: (12)

6.5.1 Ensamble del Generador

Antes de comenzar el ensamble se verificó que estén completas todas las piezas necesarias para el ensamble por tal razón se elaboró una tabla con el número necesario de cada elemento.

Tabla 15. Elementos necesarios para la construcción de un generador de hidrógeno.

ELEMENTOS NESESARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE UN GENERADOR DE HIDROGENO			
NUMERO	DETALLE	CANTIDAD	IMAGEN

1	PLACAS DE PLATINA	2	
2	ELECTRODO POSITIVO	4	
3	ELECTRODO NEGATVO	5	
4	ELECTRODO NEUTRO	24	

5	JUNTAS DE CAUCHO	31	
6	VARILLAS ROSCADAS	4	
7	ARANDELAS	25	
8	TUERCAS	26	

9	Aislantes	1	
10	ACOPLES	4	
11	CINTA TEFLON	1	

Fuente: (12)

Como primer paso ubicamos la placa de platina donde se ubica los pernos de sujeción y se aísla eléctricamente un perno por donde ira conectado el polo positivo del generador.

Figura 52. *Armado de varillas.*

Fuente: (12)

Ubicamos la primera junta de caucho, cerciorando que este bien centrado en la placa de platina, con esto garantizamos el montaje correcto de las demás placas.

Figura 53. *Puesta de junta aislante.*

Fuente: (12)

Para evitar la equivocación en el ensamble, se realizó un esquema donde se muestra la posición en donde debe ir cada elemento del generador de hidrógeno.

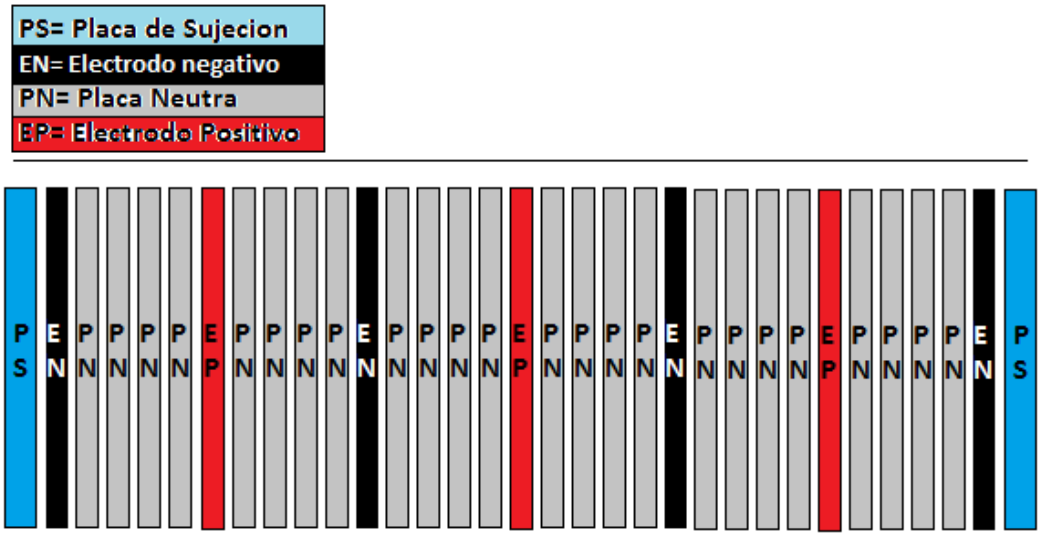


Figura 54. Esquema de reparto de las placas.

Fuente: (12)

La pieza que se ensambla es la placa electrodo negativa, además se debe seguir ensamblando cuidadosamente respetando la configuración antes mencionada.

Figura 55. Acople de placa electrodo negativa.

Fuente: (12)

A continuación se ubica en la parte superior una junta de caucho aislante junto una placa neutra como se observa en la figura este proceso de ensamblaje continúa hasta tener 4 placas neutras.

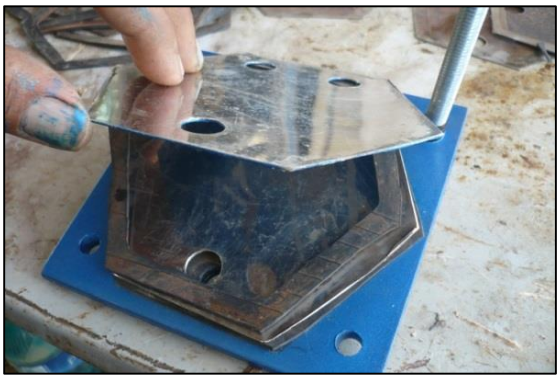


Figura 56. Acople de placa neutra.

Fuente: (12)

Se fija la placa electrodo positiva, hay que tener en cuenta que antes de insertar esta placa se debe identificar el perno que se encuentra aislado como se aprecia en la figura.

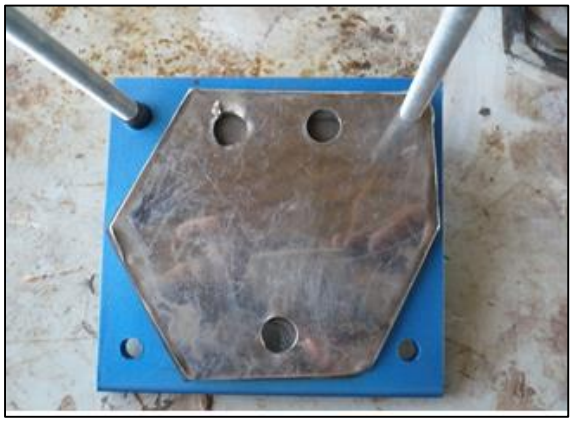


Figura 57. Acople de placa positiva.

Fuente: (12)

Las demás piezas se continua ensamblando de la misma manera y orden, para no equivocarse siempre hay que estar verificando el orden (-nnnn+nnnn-) como se aprecia en la figura 52.

Por último se ubica la placa de platina, y se da ajuste preciso con las tuercas que se encuentran en cada extremo para evitar fugas y el generador quede estanco como se detalla en la figura 56.

Figura 58. ***Ensamble completo.***

Fuente: (12)

Para verificar si el ensamblaje es correcto se procedió a verificar con un multímetro en posición de continuidad como se aprecia en la figura, revisamos principalmente el perno que se encuentra aislado de esta manera se terminó con el ensamblaje del generador de hidrógeno.

Figura 59. Verificación de continuidad de los bornes.

Fuente: (12)

6.6 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA MAQUETA E IMPLEMENTACIÓN DE SUS COMPONENTES.

Para el ensamble se tomó en cuenta el aspecto del espacio de la maqueta y como distribuir de una forma ordenada sus elementos, logrando además una buena función de sus componentes y de su presentación.

Asegurarse de tener todos los insumos, componentes y herramientas necesarias.

Soldadora eléctrica 110v

Electrodos 6011

Herramientas utilizadas.

Machuelos

Taladro

Destornilladores

Herramientas de taller

Multímetro.

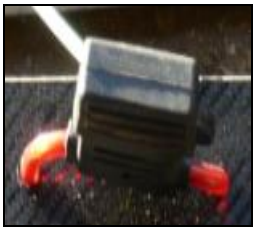
Antes de comenzar la construcción y el ensamble se verifico que estén completas todas las piezas necesarias para el ensamble por tal razón se elaboró una tabla con el número necesario de cada elemento.

Tabla 16. Elementos necesarios para el ensamble de la maqueta.

ELEMENTOS NESESARIOS PARA EL ENSAMBLE DE LA MAQUETA			
Núm.	DETALLE	CANTIDAD	IMAGEN
1	Estructura de maqueta	1	
2	Tanque de almacenamiento de hidrogeno	2	
3	Generador de hidrogeno	1	

4	Motor de 35cc. Y 4 Tiempos	1	
5	Depósito de electrolito de 3 vías y tapa de llenado.	1	
6	Burbujeador de vaso transparente.	1	
7	Arresta llamas o arresta flamas.	1	
8	Manguera 3/8 transparente y reforzada	3 metros	

9	Abrazaderas para manguera de 3/8	17	
10	Acoples de manguera 3/8	9	
11	Llave de Paso de aire	1	
12	Cinta teflón	1	
13	Acople en T para manguera 3/8	2	

14	Amperímetro	1	
15	Relé de 70 amperios	1	
16	Interruptor de tecla	1	
17	Porta fusible	1	
18	Cable # 8 flexible para instalación	3 metros	

19	Bornes para batería	2	
20	Pernos, tuercas y tornillos	30	
21	Manómetro	1	
22	Regulador primario de Gas	1	
23	Regulador secundario	1	

Fuente: (12)

6.6.1 Pasos para la construcción de la estructura de la maqueta.

Primero

Una vez obtenido todos los materiales, se procede a cortar el tubo, la platina y la plancha corrugada según el espacio necesario para albergar y fijar todos los componentes que conforma el mencionado proyecto.

Segundo

Luego se ensamblo las piezas cortadas y se soldó todos los puntos donde fue necesario para formar la estructura.

Tercero

Se limaron las partes soldadas con la amoladora dando así un acabado presentable, luego se macillo y se lijo las imperfecciones.

Figura 60. Estructura soldada y armada.

Fuente: (12)

Cuarto.

Luego se incorporó a la maqueta un panel de control en donde fueron albergados los componente eléctricos, se efectuó unos orificios en donde se ubica los componentes de control y medición: amperímetro, relé, swicht y porta fusible.

Figura 61. Panel de control.

Fuente: (12)

Por último se dio una capa de pintura a todos los elementos necesarios con el fin de dar protección contra la oxidación del metal.

Figura 62.Componentes pintados.

Fuente: (12)

En seguida se instaló en la estructura de la maqueta, el depósito de electrolito, este debe ir en el punto más alto que se pueda ya que se necesita el efecto de la gravedad sobre el líquido para que este llene la celda y además tenga un flujo constante del electrolito.

Figura 63. Instalación de tanque de electrolito

Fuente: (12)

Seguidamente se incorporó la celda, realizando 4 orificios de ¼ de diámetro para la sujeción de la base, en este paso se realizó también las conexiones de las mangueras de la celda hacia el deposito observando que el punto más bajo del depósito vaya conectado con la entrada del electrolito de la celda, asegurándolas con abrazaderas para evitar posibles fugas del gas hidrógeno.

Figura 64. Instalación de generador y mangueras.

Fuente: (12)

Seguidamente se instaló el tanque de almacenamiento del gas de hidrogeno, el cual se le realizo un orificio para la instalación de un adaptador de manguera 3/8, como se puede

apreciar en la figura, se realizó una correa de acero inoxidable, para sujetar el tanque con la maqueta.

Figura 65.Instalacion de tanque.

Fuente: (12)

El burbujeador fue el siguiente elemento instalado en la maqueta, se buscó un punto alto de la maqueta, como se aprecia en la figura, este elemento tiene como objetivo mostrar la producción de hidrógeno de la celda por medio del burbujeo y también de filtrar partículas de vapor.

Figura 66.Instalación de burbujeador.

Fuente: (12)

Tenemos el arresta llamas el cual se ubicó en la esquina de la maqueta, este posee un entrada y salida del gas, la entrada se conectó con el burbujeador, y la salida hacia la llave de paso

del motor, con esto nos aseguramos de que el burbujeador no explote por el retroceso de la llama.

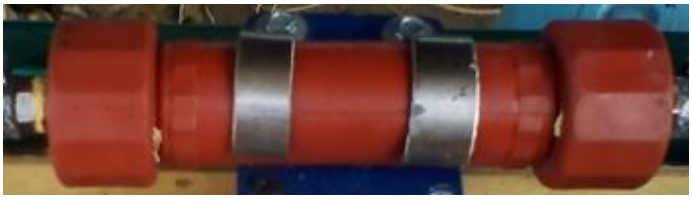


Figura 67. Instalación de arrestallamas.

Fuente: (12)

Con relación al motor se ubicó en la parte frontal izquierda, para su mejor manipulación, dar arranque de la mejor manera y como punto importante se verifica que la salida de gases de escape quede libre sin obstáculos. Se taladro orificios en la platina corrugada, para sujetar el motor con cuatro tornillos de ¼ de diámetro. Como se aprecia en las figuras.

Figura 68. Empotramiento de motor.

Fuente: (12)

Se procede a ubicar el regulador primario de gas con un tornillo, en la parte superior, en posición continua con el depósito del electrolito este tiene la función de regular la presión de gas y actuar como válvula check.

Figura 69. Regulador de gas empotrado.

Autor: (12)

Continuamente se procede a instalar el regulador secundario en la parte más baja del proyecto con una platina de acero inoxidable más cuatro tornillos tripa de pato, como se aprecia en la figura, el cual tiene la función de administrar al motor la mezcla necesaria para el funcionamiento.

Figura 70. Regulador secundario de gas.

Autor: (12)

La llave de paso de gas al motor se adapta en la entrada de aire del carburador, la cual alimenta directamente al motor con el gas hidrogeno y se desconectó el tanque de gasolina que poseía el motor.

Figura 71. Instalación de llave de paso.

Fuente: (12)

Una vez instalado todos los elementos se procedió hacer la conexión de las mangueras por donde circula el gas desde el depósito hacia el motor, siempre verificando en el bosquejo realizado sobre la dirección de las mangueras.

Figura 72. Conexión de mangueras.

Fuente: (12)

6.6.2 Conexión Eléctrica.

Ya instalados todos los componentes se procede con la instalación eléctrica, que controlará el paso de energía a la celda de hidrogeno, siempre observando el diagrama del circuito realizado en el programa Bright Spark para no equivocarse y siguiendo los siguientes pasos:

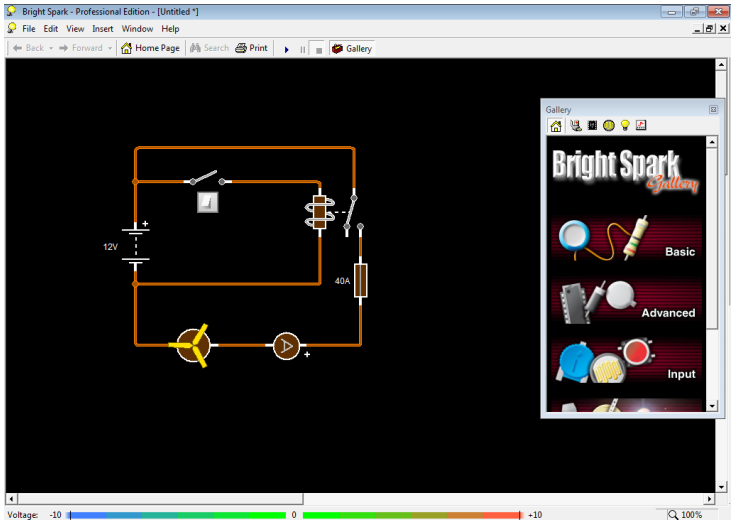


Figura 73. Circuito de panel de control.

Fuente: (12)

Este circuito debe funcionar solamente cuando el interruptor de tecla este en la posición ON (o cuando se enciende la luz amarilla), y la estructura de la maqueta deberá estar conectada al polo negativo de la batería

Ubicar los componentes en el panel de control, y medir los cables para ser cortados según el requerimiento.

Una vez cortados los cables se remacho en sus extremos terminales de conexión.

Verificando el diagrama del circuito, se realizó la correcta instalación de los conectores hacia la celda generadora de hidrógeno la cual posee un terminal positivo y otro negativo, y se verifico su funcionamiento.

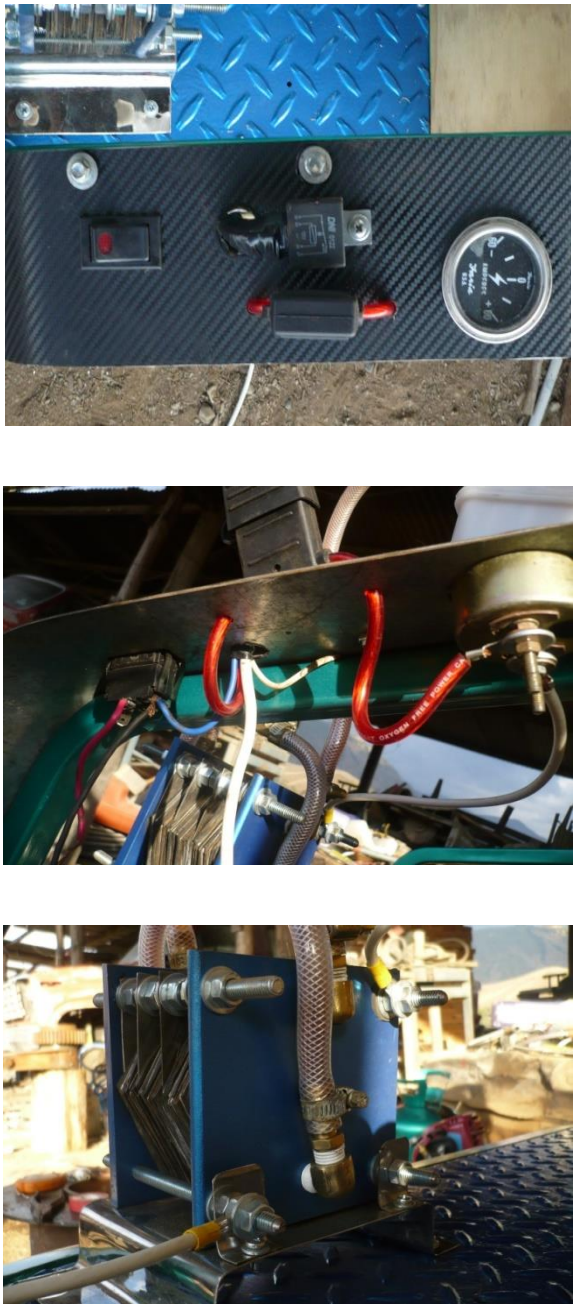


Figura 74. Imágenes de conexiones.

Fuente: (12)

El diseño de la celda electrolítica o generador de hidrógeno se lo realizo en un software, llamado Autodesk Inventor 2011, dicho programa nos proporcionó un diseño sin errores de

medidas, es decir que al diseñar los elementos se pudo corregir diferentes medidas que no coincidían con respecto a las demás, de esta manera se ahorró tiempo en la construcción y en la ejecución de líneas de trazado en los materiales a cortar, obteniendo un producto igual al diseñado como se aprecia en las figuras siguientes.

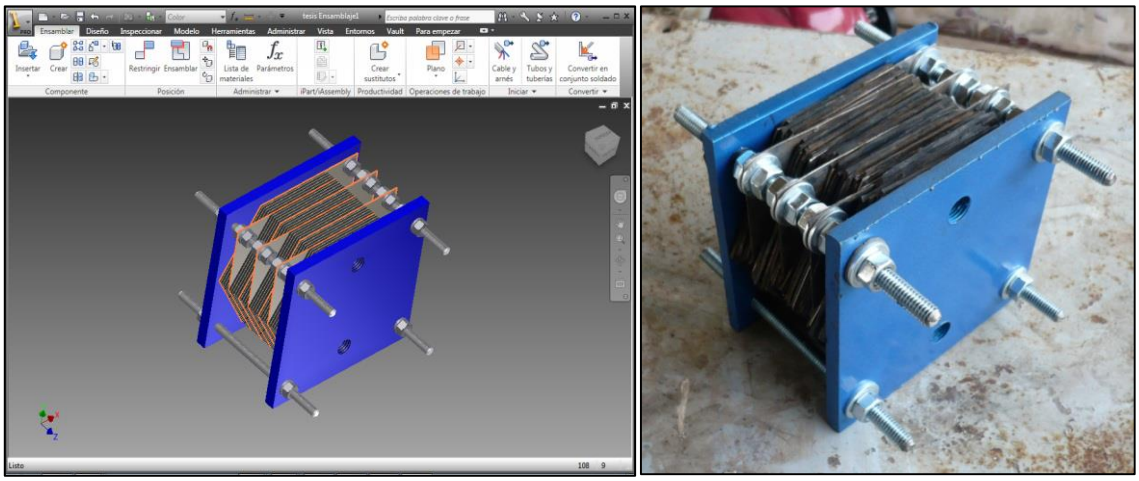


Figura 75. Celda en software y celda en diseño real.

Fuente: (12)

La celda se la diseño de 31 placas, de las cuales 3 de ellas son negativas, otras 4 son positivas y 24 son neutras, con una capacidad de electrolito aproximada de medio litro, mediante un estudio de campo se determinó el caudal con que produce hidrógeno dicha celda, esta produce 1,35 litros por minuto muy cercano a lo calculado anteriormente.

Para poder alimentar el motor constantemente, se optó por almacenar el gas hidrógeno en un tanque de 12 litros de capacidad, ya que la celda por sí sola no tiene la capacidad de producción para mantener el motor funcionando, ya que este consume 3,37 litros por minuto de gas hidrógeno a 4000 rpm. La celda tarda 15 minutos en llenar el tanque con 21 litros de hidrógeno a una presión de 30 psi, llegando a consumir hasta 40 amperios de corriente continua. El motor de 35cc. con este volumen de hidrógeno logra estar encendido constantemente durante 6 minutos hasta que se agota el gas, sin mantener funcionando la celda, es decir solo lo que contiene el tanque. Y cuando está almacenado y funcionando el generador de hidrógeno alrededor de 10 minutos.

Se elaboró un dispositivo de seguridad llamado cortafuegos el cual tiene la misión de impedir el retroceso de la llama, dado que en las pruebas de funcionamiento se verifico que en ocasiones se encendía el hidrógeno en la manguera de alimentación al motor, y era potencialmente peligroso sin este dispositivo.

6.7. ANÁLISIS DE GASES

Las pruebas de análisis de gases se efectuaron en la ciudad de Cuenca, en el taller mecánico FIXCAR, propiedad del ing. Boris Mauricio Coello Salcedo, ubicado en la Avenida Unidad Nacional 4-85 y Esmeraldas.

Figura 76. *Rotulo de taller.*

Fuente: (12)

Para el procedimiento de la investigación se contó con un analizador de gases marca MAHA de procedencia alemana modelo MGT5, el cual trabaja por infrarrojos para el análisis de CO, CO_2, HC; además cuenta con un analizador electroquímico de oxígeno y permite calcular el valor lambda.

Figura 77. *Analizador de gases MAHA MGT 5.*

Fuente: (12)

Como primer paso de la prueba, se hizo funcionar el motor con gasolina, hasta que alcance valores de temperatura óptimos de funcionamiento es decir hasta que el motor alcance la temperatura de alrededor de 80°C, ya que en este punto es donde se debe efectuar una correcta medición de gases.

Figura 78. *Motor funcionando a gasolina.*

Fuente: (12)

Posteriormente para la prueba se apaga el motor y se coloca la sonda del equipo analizador, en la salida de gases de escape, dicha sonda tiene por misión recoger una parte de los gases los cuales pasan por unos elementos de filtrado y luego transportarlos hacia el equipo de medición.

Figura 79. Sonda conectada en la salida de gases de escape del motor.

Fuente: (12)

Encender el MGT-5, verificar el proceso de auto calibración y posteriormente esperar hasta que se estabilice según las especificaciones del fabricante, se enciende el motor y se acelera hasta las 4000 rpm o a media carga.

Figura 80. Sistema funcionando con hidrogeno y censado de gases de escape.

Autor: (12)

En la primera prueba se hizo funcionar el motor a gasolina, y en la interfaz de datos del equipo de análisis de gases, se observó los primeros datos que arrojaba los gases de escape como se aprecia en las siguientes figuras.

Figura 81. Datos con motor funcionando a gasolina mostrados en la interfaz.

Fuente: (12)

En la segunda medición se la ejecuto haciendo funcionar el motor con el gas Hidrógeno y con las mismas condiciones de funcionamiento para obtener datos contundentes cuyos valores serán tabulados posteriormente.

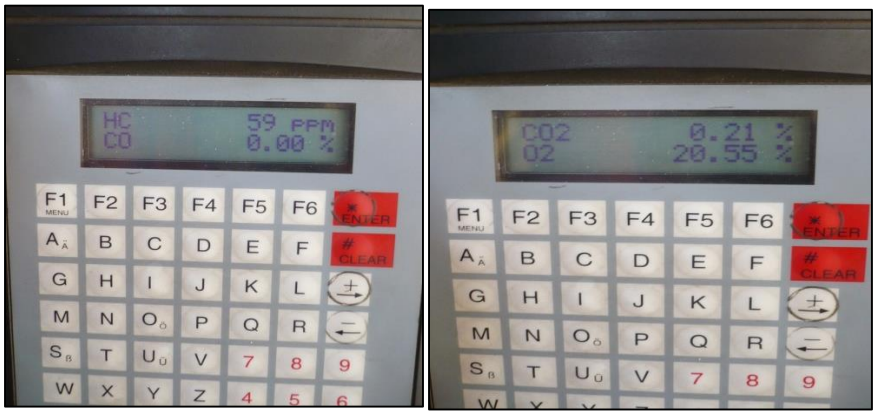


Figura 82. Datos con motor funcionando a Hidrógeno mostrados en la interfaz.

Fuente: (12)

Resultados obtenido en la prueba de gases.

Tabla 17. Resultados de prueba de gases con analizador de gases MAHA GT5.

Gases medidos	**Sistema convencional a gasolina**	**Sistema alimentado con gas hidrógeno**	**Porcentaje de variación**
HC	344 ppm	40 ppm	88,37 % menos
CO	4,59 %	0,00%	100% menos
CO_2	2,82 %	0,21%	92,55 % menos
O_2	13,37 %	20,55%	53,7 % mas
Lambda	1,936 λ	------- λ	…….

Autor: (12)

Con los resultados obtenidos en las anteriores pruebas se realizó un breve análisis para cada uno de los gases en función al porcentaje de variación entre ambos tipos de combustibles.

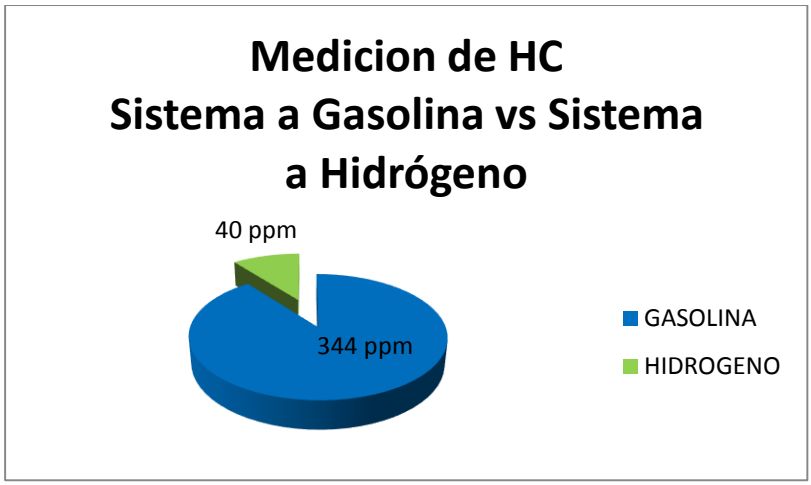


Figura 83. Emisiones de HC de los dos sistemas.

Fuente: (12)

Las emisiones que se obtuvieron en la medición de Hidrocarburos no quemados o HC, para el sistema de Gasolina son de 344 partículas por millón que se encuentra en un rango normal, y para el sistema de Hidrógeno es de 40 partículas por millón, obteniéndose una disminución de 88,37%.

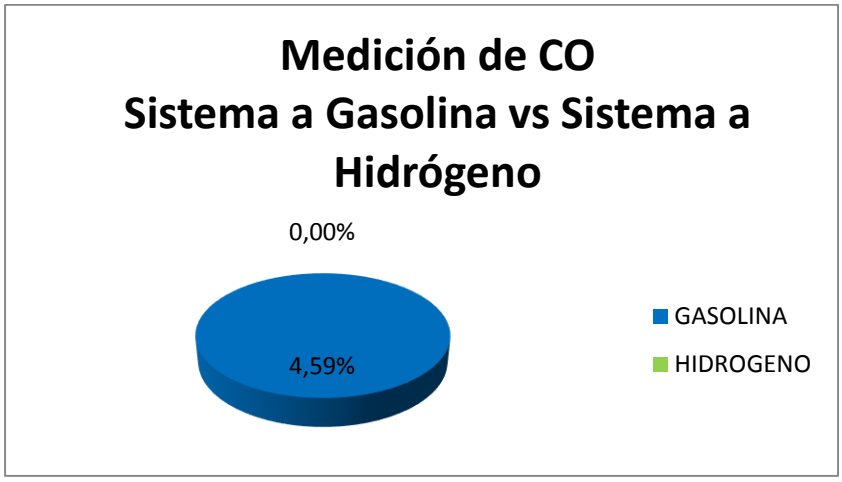


Figura 84. Emisiones de CO de los dos sistemas.

Fuente: (12)

A lo que se refiere al CO o monóxido de carbono, obtuvimos para el sistema de gasolina un 4,59 %, y para el sistema de hidrógeno es de 0,00% el cual nos indica que no está produciendo dicho gas toxico, obteniendo un 100% de reducción.

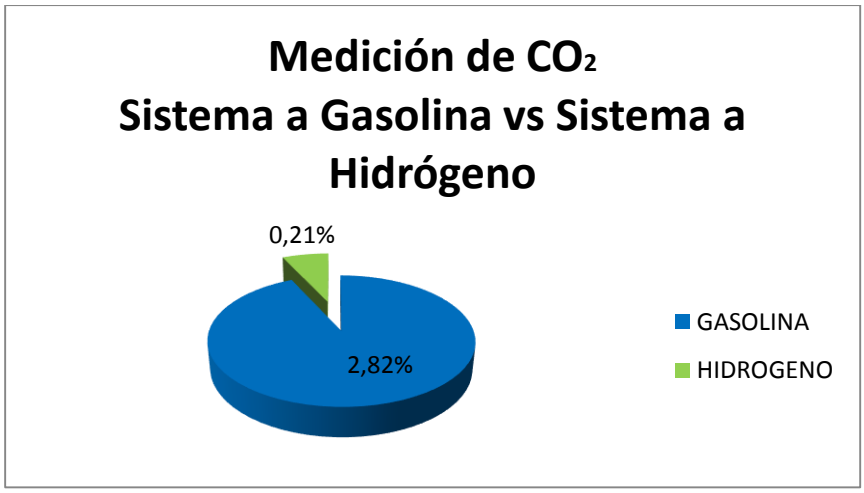


Figura 85. Emisiones de CO_2 de los dos sistemas.

Fuente: (12)

Para el caso del CO2 o Dioxido de Carbono obtubimos que en el sistema de gasolina es del 2,82% el cual nos indica que existe una mezcla pobre, y para el sistema de hidrógeno tenemos un 0,21% este valor es bajo por que este tipo de combustible no contiene particulas de carbono, la reduccion que se obtubo es de 92,55%.

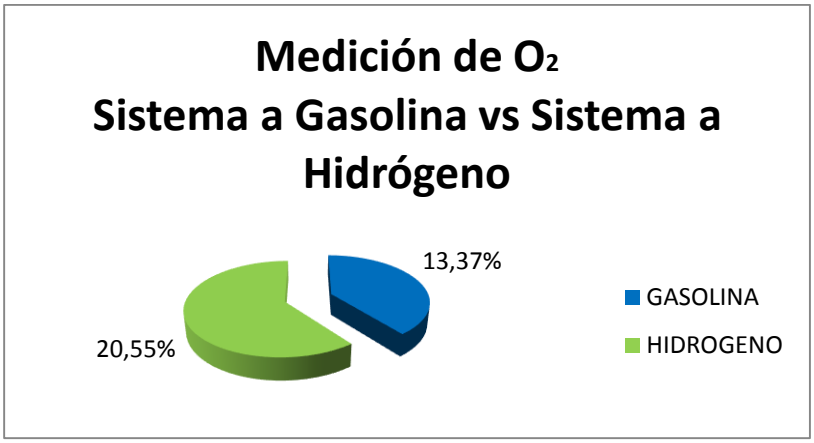


Figura 86. Emisiones de O_2 de los dos sistemas.

Fuente: (12)

En la medicion de Oxigeno obtuvimos para el sistema de gasolina el 13,37%, este valor nos indica una mezcla pobre por que es el oxigeno que sobro de la combustion, y para el sistema de hidrógeno el valor es de 20,55%, obtuviendo un aumento del 53,7% este valor nos dice que el motor esta produciendo mas vapor de agua.

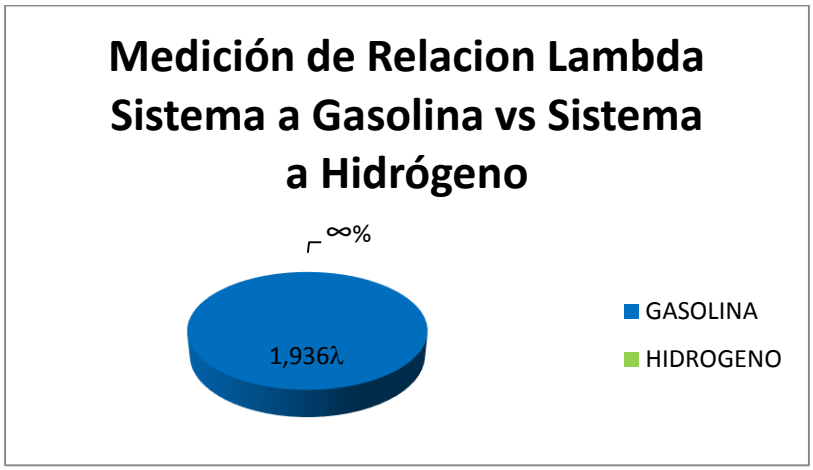


Figura 87.Emisiones de Factor Lambda de los dos sistemas.

Fuente: (12)

En el factor lambda como valor para el sistema a gasolina obtuvimos 1,936λ el cual es claro indicador de relación de mezcla de aire combustible y nos señala que existe una mezcla pobre, mientras que para el sistema hidrógeno nos da un valor infinito, se debe a que no estamos utilizando carburantes a base de carbono. Dándonos una reducción total.

7.- DISCUSIÓN

La alimentación de aire y combustible que necesita el motor se la pudo realizar con la obtención de datos como el consumo de mezcla, los cuales permiten determinar el tipo de regulador de presión y caudal, se implementó dos reguladores de presión, uno primario y otro secundario, trabajando en serie, el primero regula la presión proveniente de los tanques de almacenamiento, y el secundario alimenta el motor a una presión menor y a un caudal directamente proporcional a las diferentes rpm de funcionamiento.

En el presente proyecto se trató sobre el diseño y construcción de una celda electrolítica la cual en primera instancia tubo un rendimiento bajo de producción de gas hidrógeno, conforme se investigó con respecto a las celdas, se pudo determinar que las proporciones de mezcla del electrolito era deficiente, se adiciono hidróxido de sodio hasta alcanzar una óptima producción.

Se realizaron los cálculos de producción de hidrógeno, aplicando los conocimientos adquiridos y lo investigado sobre el tema, dichos cálculos nos arrojó un resultado muy cercano a la producción real del generador, la diferencia que se presenta puede variar por variables como la temperatura ambiente en el momento que se obtiene la muestra.

Dado que en el medio que nos encontramos resulta muy atractivo la idea de utilizar un carburante amigable con el medio ambiente, y aplicar a los motores de combustión interna sin alterar en grandes proporciones su estructura y su funcionalidad, por tal motivo se investigó y se optó por el hidrógeno como carburante por sus propiedades antes mencionadas, se suministró al motor del presente proyecto y se lo hizo funcionar, seguidamente se realizó el análisis de gases, tal prueba nos arrojó datos determinantes sobre las emisiones de gases contaminantes, se concluyó que existe una clara disminución y puede mencionarse que es un motor con emisiones contaminantes cero.

8.- CONCLUSIONES

- El Generador de Hidrógeno se diseñó en computadora mediante software Autodesk Inventor 2009, que posteriormente se construyó con materiales resistentes a la corrosión como es el acero inoxidable y acorde con las medidas realizadas en el programa, logrando producir el combustible gas hidrógeno, el cual alimenta al motor de 35cc. Este dispositivo tiene como capacidad de generar hasta 1,35 litros por minuto de gas hidrógeno, y este es almacenado en dos tanques de acero.

- La alimentación de la mezcla de aire – combustible hidrógeno la realiza los reguladores de presión que cumplen con la función de realizar la mezcla necesaria para el funcionamiento del motor simulando la operación del carburador pero en este caso con gas hidrogeno, el trabajo que realiza el sistema es normal a todos los regímenes de rpm, el generador de gas hidrógeno es alimentado con una batería de 12 voltios, y se mantiene la producción de gas con un consumo de 30 amperios de corriente.

- Una buena razón para que el hidrógeno sea sustituto de los hidrocarburos, es que su producción se da al separar las moléculas del agua al ser electrolizada dando lugar a un combustible limpio, que al ser utilizado en el motor, el único residuo que nos da de este proceso es vapor de agua. Debido a que el hidrógeno no se encuentra en estado gaseoso natural sino combinado con otros elementos, resulta un tanto difícil la producción de dicho combustible, porque se necesita una gran cantidad de energía.

- Los motores que pueden funcionar con combustible hidrógeno gaseoso son todos los de combustión interna de ciclo Otto, con modificaciones tanto en el encendido como en la alimentación, también existe el motor rotativo Wankel que con su diseño lo hace más apropiado para utilizar dicho combustible ya que no presente riesgos de retroceso de flama.

- Se construyó un prototipo en donde se alojó el sistema completo de generación, el sistema de almacenamiento, el sistema de alimentación del motor, el sistema eléctrico y el sistema de seguridad obteniendo de esta manera un sistema autónomo el cual posteriormente sirvió para la realización del análisis de gases de escape, durante la configuración normal del motor con el sistema de alimentación con gasolina y con la configuración realizada del sistema de gas hidrógeno dándonos como resultados contundentes de una reducción extraordinaria de emisiones de los gases contaminantes.

9.- RECOMENDACIONES

- Para el diseño del Generador de Hidrogeno en el programa de diseño por computadora es necesario tener conocimiento teórico – práctico del manejo de dicho programa.

- Para realizar la alimentación de hidrógeno al motor hay que tener muy en cuenta, el tipo de regulador de gas que se va utilizar, tomando en cuenta la cilindrada y la potencia del motor, para hacer la correcta elección del regulador que en este caso será el de dos etapas.

- Después de haber realizado este proyecto se puede concluir que la adaptación de la alimentación de gas hidrogeno para el motor debe tener total hermeticidad en todos los puntos de conexiones de conductos principalmente en los tanques de almacenamiento para garantizar que no exista fugas ya que es un gas muy inflamable.

- Para una óptima producción de hidrógeno se debe seguir la configuración de las placas dispuestas en el proyecto, debido a que el generador está diseñado para producir mayor cantidad de hidrógeno además se debe respetar la polaridad de los bornes. Además las conexiones de las mangueras que se conectan a los diferentes componentes deben ser bien revisados para que no existan fugas, esto se lo puede hacer con un poco de agua combinado con jabón aplicándolos en las juntas, para que por medio de las burbujas delate los puntos de fuga de gas.

- Hay que tener muy en cuenta que los motores de ciclo Otto, presentan problemas de retroceso de flama, por lo general en el encendido, por eso es muy recomendable tener instalado un dispositivo arresta flama para evitar explosiones.

- En la construcción de la maqueta se debe tener en cuenta, los equipos de protección personal como es el casco para soldar, lentes transparentes para la protección de ojos, mascarilla de nariz, ya que se utiliza soldadora, amoladoras, taladros, sopletes para pintura y demás equipos necesarios.

- Para el análisis de emisiones de gases se debe buscar un centro de diagnóstico especializado, para proceder el diagnostico el motor debe alcanzar la temperatura normal de funcionamiento para que los datos sean reales, se debe hacer primero a gasolina y después a hidrógeno para comparar en los datos la reducción o aumento de los mismos.

10.- BIBLIOGRAFÍA

1. **2009, Enciclopedia encarta.** *Motor de combustion interna.* Loja : Encarta, 2017.

2. **Martinez, Albert.** Motores de Combustion Interna. *Treball de recerca.* San Celoni España : IES Baix Monseni, 2007.

3. **Ingoldaracena.** UNIVERSIDAD DE CASTILLA - LA MANCHA. *Ciclo Terico de Funcionamiento.* [En línea] 28 de Abril de 2005. [Citado el: 01 de 10 de 2017.] https://previa.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/ciclo_teorico.pdf.

4. **Torres, Edison Quezada y Diego.** *Implementacion de un generador de Hidrogeno de celda seca en un vehiculo chevrolet Steem 1.6L.* Cuenca : s.n., 2014.

5. **Quezada, Edison y Torres , Diego.** Implementación de un generador de hidrógeno de celda seca en un vehículo Chevrolet Steem 1.6L. [En línea] 12 de Noviembre de 2014. [Citado el: 15 de Mayo de 2017.] https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7354/1/UPS-CT004305.pdf.

6. **Baquero, Miguel y Avila, Omar.** AUTOMATIZACION Y DISEÑO DEL SISTEMA MEZCLADOR DE COMBUSTIBLES EN VEHICULOS CON EQUIPOS DE CONVERSION A GAS. [En línea] 24 de enero de 2008. [Citado el: 10 de Octobre de 2017.] http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16660/T44.08%20B229a.pdf?sequence=1.

7. **Lefevre, Zulema.** Quimica. [aut. libro] Raymond Chang - Kenneth Goldsby. s.l. : Mc. Graw Hill, 2013.

8. **123rf. [En línea] [Citado el: 2 de 02 de 2018.] https://es.123rf.com/photo_21832550_ilustraci%C3%B3n-del-elemento-hidr%C3%B3geno.html.**

9. Linares, Jose y Moratilla, Beatris. *Hidrogeno y la Energia.* Madrid : Asociacion Nacional de Ingenieros del ICAI, 2007.

10. Fabrega, Marc. HIDROGENO Aplicacion en motores de combustion interna. [En línea] 1 de Marzo de 2009. [Citado el: 2 de Febrero de 2017.] https://www.google.com/search?q=HIDROGENO+Aplicacion+en+motores+de+combustion+interna&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab&gfe_rd=cr&dcr=0&ei=d7hwWsrwJ9SK8QfX7pXgAw.

11. wordpress. Produccion de hidrogeno. *Electrolisis del agua.* [En línea] [Citado el: 12 de Octubre de 2017.] https://producciondehidrogenoporelectrolisis.wordpress.com/descripcion-electrolisis/.

12. Villacres, Juan Carlos Lopez. *ALIMENTACIÓN DE UN MOTOR MONOCILÍNDRICO CON HIDRÓGENO OBTENIDO A TRAVÉS DE LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA.* Loja : Autor, 2017.

13. INALQUIM. INALQUIM INDUSTRIAS QUIMICAS. *HIDROXIDO DE SODIO.* [En línea] [Citado el: 20 de 11 de 2016.] http://www.inalquim.com/industrias-petroleras/hidroxido-de-sodio/.

14. Ecured. Ecured. *Agua destilada.* [En línea] 8 de Octubre de 2011. [Citado el: 05 de 04 de 2017.] https://www.ecured.cu/Archivo:Agua_destilada.jpg.

15. Goodyear. CENTRAL DE MANGUERAS S.A. *CATALOGO DE MANGUERAS.* [En línea] [Citado el: 10 de Julio de 2017.] https://centraldemangueras.com/catalogo/MANGUERAS-INDUSTRIALES.pdf.

16. Aba norma group. ABA Abrazderas. [En línea] [Citado el: 10 de 08 de 2017.] http://www.normagroup.com/norma.nsf/res/ABA_DS_Catalogue_es.pdf/$file/ABA_DS_Catalogue_es.pdf.

17. Bosch. Catalogo bosch. [En línea] 2015. [Citado el: 02 de 05 de 2017.] http\\www.boschautopartes.mx.

18. PRINCEX C.I. CABLES AUTOMOVIL. *CABLES MONOPOLARES FLEXIBLES.* [En línea] [Citado el: 02 de 05 de 2017.] http://www.princex.com.co/productos.php?linea=Monopolares_Flexibles_&id=3.

19. Genrod. Fusibles Genrod. *Catalogo fusibles.* [En línea] 2014. [Citado el: 02 de 05 de 2017.] www.fusiblesgenrod.com.

20. Steren. Steren Swicht de balancin de 2 polos. *Swicht.* [En línea] [Citado el: 15 de 05 de 2017.] http://www.steren.com.mx/switch-de-balancin-de-2-polos-1-tiro-2-posiciones-con-piloto.html.

21. Area de la tecnologia. TECNOLOGIA. *Manometro.* [En línea] [Citado el: 10 de 08 de 2017.] http://www.areatecnologia.com/herramientas/manometro.html.

22. Honda engines. Motor honda. *GRX35.* [En línea] [Citado el: 02 de 05 de 2016.] http://engines.honda.com/models/model-detail/gx35.

23. Martinez, Pablo, Savicha, Breiner y Tenesaca, Julio. Análisis y construcción de un banco funcional con sistema de alimentación dual GLP-Gasolina en un motor con gestión electrónica para el laboratorio de motores de combustión interna. [En línea] 29 de Marzo de 2012. [Citado el: 15 de Octubre de 2017.] https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1774/13/UPS-CT002050.pdf.

24. RAMÍREZ, Patricio. *Transferencia de Calor.* Loja : UNL, 2012.

25. CARRIÓN, Carlos. *Máquinas eléctricas.* México : Mc Graw-Hill, 2008.

26. ALVARADO, José y ROMERO, Edgar. *Energías Renovables.* Bogotá : CEAC, 2009.

28. ABA SWEDEN. [En línea] [Citado el: 02 de 05 de 2017.] http://www.normagroup.com/aba/en/About/.

11. ANEXOS

ANEXO A.

VISTA DE CALLE DE TALLER DE FIXCAR EN LA CIUDAD DE CUENCA PROPIEDAD DEL ING. BORIS MAURICIO COELLO SALCEDO, UBICADO EN LA AVENIDA UNIDAD NACIONAL 4-85 Y ESMERALDAS.

ANEXO B.

EQUIPO DE MEDICION DE GASES CONECTADO AL PROTOTIPO.

ANEXO C.

CONSUMO DE CORRIENTE EN AMPERIOS CUANDO LA CELDA ELECTROLITICA ESTA A PLENA PRODUCCION DE HIDROGENO.

ANEXO D.

MAXIMA PRESION DE ALMACENAMIENTO PERMITIDA PARA EL PROTOTIPO.