



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, mediante la construcción de un equipo reactor para la generación de hidrógeno para uso vehicular

Colcha Tuquerres, Jinson Wladimir y Gonzalez Heras, Josue Abraham

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.

12 de agosto del 2022

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Colcha Jinson_Gonzalez Josue_Implementación del reactor d...

Scanned on: 1:7 August 14, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	523
Words with Minor Changes	38
Paraphrased Words	153
Omitted Words	0



Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.

C.C.: 0502509995



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, mediante la construcción de un equipo reactor para la generación de hidrógeno para uso vehicular”** fue realizado por los señores **Colcha Tuquerres, Jinson Wladimir y Gonzalez Heras, Josue Abraham** el mismo cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 13 de agosto del 2022



Firmado electrónicamente por:

**LEONIDAS
ANTONIO QUIROZ
ERAZO**

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.

C.C.: 0502509995



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Colcha Tuquerres, Jinson Wladimir y Gonzalez Heras, Josue Abraham** con cédula de ciudadanía N° **1750184614** y **1754417721**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, mediante la construcción de un equipo reactor para la generación de hidrógeno para uso vehicular”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 13 de agosto del 2022

Colcha Tuquerres, Jinson Wladimir

C.C.: 1750184614

Gonzalez Heras, Josue Abraham

C.C.: 1754417721



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de publicación

Nosotros, **Colcha Tuquerres, Jinson Wladimir y Gonzalez Heras, Josue Abraham**, con cédula de ciudadanía N° **1750184614** y **1754417721**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Investigación de la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, mediante la construcción de un equipo reactor para la generación de hidrógeno para uso vehicular”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 13 de agosto del 2022

Colcha Tuquerres, Jinson Wladimir

C.C.: 1750184614

Gonzalez Heras, Josue Abraham

C.C.: 1754417721

Dedicatoria I

A mi padre Luis Anibal Colcha y mi madre Maria Fanny Tuquerres, quienes nunca dejaron de creer en mí, quienes cada día supieron darme su apoyo moral y proporcionarme los recursos necesarios para finiquitar este arduo camino hacia el éxito académico.

Hoy que he alcanzado la meta tan anhelada, les dedico a ustedes este logro, ya que sin su apoyo esto no se hubiese realizado.

Ahora que regreso a ver el proceso recorrido todos estos años de estudio, logro ver lo que han logrado hacer de mí, lo cual es un reflejo de la calidad de seres humanos que tengo como padre y madre.

A mis hermanos Pablo y Jhordan, que el presente trabajo sirva de ejemplo para su futura preparación académica, que a pesar de los obstáculos que se presenten en su futuro, cuentan con mi apoyo incondicional.

Colcha Tuquerres, Jinson Wladimir

Dedicatoria II

Dedico este trabajo a mi madre, Elena Heras y mi padre, Jorge Gonzalez, por ser la luz en mi vida, por darme siempre ese empujón para seguir adelante, gracias a su apoyo y amor incondicional me han forjado en mi formación personal y profesional.

A mi hermano Moisés que es mi ejemplo a seguir, gracias por los consejos y enseñanzas a lo largo de mi vida, crecemos a paso lento, pero nunca olvidándonos de ser personas de bien.

A mi sobrino Isaac que es la mayor alegría en nuestra familia, espero cuando crezca sea incluso mejor que su padre y su tío, sin dejar a un lado el camino de Dios.

De igual manera está dedicado a mis queridos amigos, que llegaron a ser parte de mi vida y darme ese gran aliento para ser una mejor persona y seguir adelante.

Gonzalez Heras, Abraham Josue

Agradecimiento I

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud y vida a lo largo de la carrera universitaria.

Agradezco el apoyo incondicional y primordial de mis padres quienes supieron guiarme y darme fuerzas para seguir adelante y alcanzar esta meta académica, recalcando que sin el apoyo de ellos este trabajo no hubiese sido posible.

A mi amigo y compañero de tesis quien me acompañó en el arduo camino universitario y fue una parte primordial en la realización del presente trabajo.

Y en particular al Ing. Leonidas Quiroz quien, en calidad de director de tesis, supo compartir sus conocimientos y consejos para guiarnos por el camino correcto hacia el éxito del presente trabajo.

Colcha Tuquerres, Jinson Wladimir

Agradecimiento II

Le doy las gracias a Dios por haber guiado mi camino, por brindarme la salud y vida necesaria para lograr mi objetivo y culminar este proyecto.

A mis padres, que siempre me dieron las fuerzas y apoyo necesario para seguir adelante, siendo ellos mi mayor ejemplo de superación.

A mi compañero de tesis quien estuvo desde el principio de este largo camino y hemos permanecido unidos para desarrollar este proyecto, siendo este el resultado del gran esfuerzo que hemos hecho.

A mis amigos, que me ayudaron a forjar la persona que soy ahora, gracias a sus consejos y enseñanzas que me fueron y serán útiles dentro de mi vida profesional.

A nuestro tutor de tesis Ing. Leonidas Quiroz que ha sido un pilar importante en la investigación y desarrollo del presente trabajo, direccionándonos por el camino de bien tanto personal y profesional, le quedo muy agradecido.

Gonzalez Heras, Abraham Josue

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria I	6
Dedicatoria II	7
Agradecimiento I.....	8
Agradecimiento II.....	9
Índice de contenidos	10
Índice de figuras	14
Índice de tablas.....	16
Índice de ecuaciones.....	18
Resumen.....	19
Abstract	20
Capítulo I: Introducción.....	21
Antecedentes.....	21
Planteamiento del problema.....	22
Justificación e Importancia	23
Objetivos.....	24
<i>Objetivo General.....</i>	24

<i>Objetivos Específicos</i>	24
Variables de investigación	25
<i>Variables Dependiente</i>	25
<i>Variables Independientes</i>	25
Hipótesis	25
Capítulo II: Fundamentación Teórica	26
El motor de combustión interna	26
Sistema de admisión	26
Sistema de alimentación de combustible MEC y MEP	28
Generación de hidrógeno	30
<i>Electrólisis</i>	31
<i>Ley de Faraday</i>	32
<i>Ley de ohm</i>	34
<i>Ecuación del gas ideal</i>	34
<i>Relaciones de masa, masa molar y densidad de un gas</i>	35
<i>Peso equivalente</i>	36
<i>Tipos de celdas electrolíticas</i>	36
<i>Celdas secas de hidrógeno</i>	37
<i>Análisis del sistema de hidrógeno y gasolina</i>	38
<i>Análisis del sistema de hidrógeno y diésel</i>	38
<i>Manufactura para la instalación</i>	39

<i>Esfuerzo, cargas y deformaciones de carga muertas</i>	43
<i>Factor de seguridad</i>	43
<i>Conductores</i>	44
<i>Fusibles</i>	46
<i>Interruptores</i>	48
<i>Terminales</i>	49
<i>Arduino</i>	50
Capitulo III: Metodología de desarrollo del proyecto	52
Elección del reactor de hidrógeno	52
<i>Dimensionamiento del reactor de hidrógeno</i>	53
<i>Cálculo del flujo de hidrógeno del reactor de hidrógeno</i>	55
<i>Equipos utilizados en la implementación del reactor de hidrógeno</i>	61
<i>Implementación del reactor de hidrógeno</i>	65
<i>Módulo de automatización de reactor de hidrógeno</i>	70
<i>Módulo de medición de flujo de hidrógeno</i>	73
<i>Obtención del electrolito base para el generador de hidrógeno</i>	76
<i>Comprobación y verificación del reactor de hidrógeno</i>	77
<i>Mantenimiento del generador de hidrógeno y módulo de encendido</i>	79
<i>Mantenimiento del módulo de encendido</i>	80
Capitulo IV: Resultado de la investigación	81
Determinación de la cantidad de electrolito para la producción de hidrógeno	81

Comparación datos teóricos y datos reales del flujo de hidrógeno	82
Análisis de soportes del generador y burbujeador	84
Capítulo V: Marco administrativo	92
Financiamiento	92
Recursos humanos	92
Recursos tecnológicos	92
Recursos materiales	93
Costo de construcción e implementación	95
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones	97
Conclusiones	97
Recomendaciones	97
Bibliografía	99
Anexos	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Proceso de conversión de energía de MCI.....</i>	26
Figura 2	<i>Admisión en motores de combustión interna de encendido provocado.</i>	27
Figura 3	<i>Admisión en motores de combustión interna de encendido por compresión.....</i>	28
Figura 4	<i>Sistema de alimentación de motores Otto.....</i>	29
Figura 5	<i>Sistema de alimentación motores diésel</i>	30
Figura 6	<i>Diagrama simplificado de una celda electrolítica</i>	32
Figura 7	<i>Celda seca de hidrógeno.....</i>	37
Figura 8	<i>Representación del ciclo termodinámico del motor Otto.....</i>	38
Figura 9	<i>Representación del ciclo termodinámico del motor diésel</i>	39
Figura 10	<i>Método de conexión fija (soldada) de estructuras metálicas.....</i>	40
Figura 11	<i>Método de conexión remachada en estructuras metálicas</i>	41
Figura 12	<i>Método de conexión atornillada en estructuras metálicas.....</i>	42
Figura 13	<i>Estructura vehicular.....</i>	43
Figura 14	<i>Fusibles de uso automotriz.....</i>	47
Figura 15	<i>Interruptores automotrices.....</i>	49
Figura 16	<i>Terminales automotrices</i>	49
Figura 17	<i>Arduino UNO.....</i>	50
Figura 18	<i>Arduino micro</i>	51
Figura 19	<i>Reconocimiento de la necesidad del reactor de hidrógeno.....</i>	53
Figura 20	<i>Generador de hidrógeno</i>	54
Figura 21	<i>Ubicación del burbujeador/depósito.....</i>	54
Figura 22	<i>Componentes de la parte superior del burbujeador.....</i>	55
Figura 23	<i>Base metálica para generador.....</i>	66
Figura 24	<i>Base metálica para burbujeador.....</i>	67
Figura 25	<i>Montaje de generador de hidrógeno.....</i>	67

Figura 26 <i>Montaje del burbujeador/depósito</i>	68
Figura 27 <i>Colocación de mangueras</i>	69
Figura 28 <i>Medidor de nivel de electrolito</i>	70
Figura 29 <i>Funcionamiento lógico del módulo de encendido</i>	71
Figura 30 <i>Simulación del hardware del módulo de encendido</i>	72
Figura 31 <i>Funcionamiento del módulo de encendido del reactor de hidrógeno</i>	73
Figura 32 <i>Funcionamiento lógico del módulo de medición</i>	74
Figura 33 <i>Simulación del hardware del módulo de medición</i>	75
Figura 34 <i>Módulo de medición de flujo de hidrógeno</i>	75
Figura 35 <i>Medición de hidrógeno</i>	76
Figura 36 <i>Verificación del generador de hidrógeno</i>	78
Figura 37 <i>Proceso de mantenimiento módulo de encendido del generador de HHO</i>	80
Figura 38 <i>Cantidad de solución para la generación de hidrógeno</i>	82
Figura 39 <i>Comparación del flujo de hidrógeno</i>	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Métodos de producción de hidrógeno</i>	31
Tabla 2 <i>Dimensiones y propiedades del acero estructural en sección rectangular</i>	40
Tabla 3 <i>Características AWG para alambre de cobre a 25°C</i>	46
Tabla 4 <i>Área del espacio de trabajo</i>	56
Tabla 5 <i>Área del cuadrado excedente</i>	56
Tabla 6 <i>Área en contacto con electrolito</i>	56
Tabla 7 <i>Volumen de la cámara del generador</i>	57
Tabla 8 <i>Carga del generador de hidrógeno</i>	57
Tabla 9 <i>Peso equivalente del hidrógeno</i>	57
Tabla 10 <i>Número de moles de hidrógeno</i>	58
Tabla 11 <i>Volumen de gas de hidrógeno</i>	58
Tabla 12 <i>Generación total de hidrógeno</i>	59
Tabla 13 <i>Cantidad de oxígeno en el reactor</i>	59
Tabla 14 <i>Cantidad total de oxígeno generado en el reactor de hidrógeno</i>	60
Tabla 15 <i>Flujo total de HHO teórico</i>	60
Tabla 16 <i>Selección de componentes para el sistema de reactor de hidrógeno</i>	61
Tabla 17 <i>Mantenimiento del generador de hidrógeno</i>	79
Tabla 18 <i>Pruebas de electrolito</i>	81
Tabla 19 <i>Análisis del estrés de Von Mises de las bases del generador de HHO</i>	84
Tabla 20 <i>Análisis de la deformación de las bases del generador de HHO</i>	86
Tabla 21 <i>Análisis del factor de seguridad de las bases del generador de HHO</i>	87
Tabla 22 <i>Análisis del Estrés de Von - Mises de la base del burbujeador</i>	88
Tabla 23 <i>Análisis de la deformación en las bases del burbujeador</i>	89
Tabla 24 <i>Análisis del factor de seguridad de las bases del burbujeador</i>	90

Tabla 25 <i>Recursos humanos</i>	92
Tabla 26 <i>Recursos tecnológicos</i>	93
Tabla 27 <i>Recursos materiales</i>	94
Tabla 28 <i>Costo neto del proyecto</i>	95

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Cantidad de carga</i>	33
Ecuación 2 <i>Cantidad de masa disuelta en un electrodo</i>	33
Ecuación 3 <i>Ley de Ohm</i>	34
Ecuación 4 <i>Ley de los gases ideales</i>	34
Ecuación 5 <i>Densidad de un gas</i>	35
Ecuación 6 <i>Relación de masas y moles</i>	36
Ecuación 7 <i>Peso equivalente</i>	36
Ecuación 8 <i>Resistividad eléctrica</i>	45
Ecuación 9 <i>Diámetro del cable mediante método AWG</i>	45
Ecuación 10 <i>Potencia eléctrica</i>	48

Resumen

El presente trabajo de carácter investigativo se enfocó en la incidencia del sistema de Inyección Bi – Fuel y Dual – Fuel de hidrógeno, para el correcto desarrollo se realizó una investigación exhaustiva y cálculos teóricos necesarios para la posterior comparativa y análisis de resultados. Para la generación del hidrógeno se optó por la fabricación de un reactor de HHO, ya que se tiene disponible los materiales y componentes necesarios para su construcción y cumple con los diferentes parámetros que requieren cada uno de los vehículos utilizados, generalmente la manera más óptima para la generación de hidrógeno es haciendo uso de la mezcla de agua destilada con hidróxido de potasio (KOH). Para la separación de los elementos se empleó la electrolisis como principal medio de obtención de HHO, mediante una fuente externa de energía eléctrica. Se requirió la medición de flujo de hidrógeno que se produce, para esto se realizó con el módulo de medición de flujo de hidrógeno construido especialmente para este sistema. Todo este sistema se implementó en conjunto con el sistema de admisión (Entrada de aire hacia el motor) tanto en el vehículo Otto como en el vehículo Diesel, para esto se fabricó bases metálicas a la medida tanto para el generador de hidrógeno como para el burbujeador / depósito. Todo el sistema debe funcionar en “KOER” (key on engine run), esto establece que el sistema debe estar en funcionamiento siempre y cuando el motor esté en funcionamiento por lo cual se realizó un módulo de automatización que cumple con las condiciones de funcionamiento. En el apartado de análisis de resultados se comparó los valores de producción de hidrógeno tanto teórico como el obtenido por el sistema, dándonos resultados favorables y superando las perspectivas teóricas calculadas.

Palabras claves: Generador de hidrógeno, Inyección dual – fuel, hidróxido de potasio, sistema de inyección.

Abstract

The present research work focused on the incidence of the Bi-Fuel and Dual-Fuel hydrogen injection system, for the correct development an exhaustive research and theoretical calculations necessary for the subsequent comparison and analysis of results were carried out. For the generation of hydrogen, we opted for the manufacture of an HHO reactor, since the materials and components necessary for its construction are available and it complies with the different parameters required by each of the vehicles used, generally the most optimal way for the generation of hydrogen is making use of the mixture of distilled water with potassium hydroxide (KOH). For the separation of the elements, electrolysis was used as the main means of obtaining HHO, by means of an external source of electrical energy. The measurement of the hydrogen flow produced was required, which was done with the hydrogen flow measurement module built especially for this system. This entire system was implemented in conjunction with the intake system (air intake to the engine) in both the Otto vehicle and the Diesel vehicle, for this was manufactured custom metal bases for both the hydrogen generator and the bubbler / tank. The whole system must operate in "KOER" (key on engine run), this establishes that the system must be in operation as long as the engine is running, for which an automation module was made to meet the operating conditions. In the results analysis section, the hydrogen production values, both theoretical and obtained by the system, were compared, giving favorable results and exceeding the calculated theoretical perspectives.

Keywords: Hydrogen generator, Dual fuel injection, potassium hydroxide, potassium hydroxide, injection system.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Para la obtención de hidrógeno, existe una gran variedad de métodos, que difieren únicamente en sus pasos. Uno de los métodos más utilizados en la industria es la electrolisis ya que esta divide el agua en Hidrógeno [H_2] y Oxígeno [O_2], tomando en cuenta que el rendimiento, se vincula directamente con la electricidad que se emplea para su proceso (Al-Rousan & Musmar, 2011).

Se debe considerar que para la obtención de una transferencia de electrones en el agua se utiliza un soluto, que debe ser en este caso Hidróxido de potasio [KOH], Hidróxido de sodio [NaOH] o a su vez la utilización de Cloruro de Sodio [NaCl] para acelerar gradualmente la descomposición del agua y controlar la generación de calor (Al-Rousan & Musmar, 2011).

De acuerdo a: “Reducción del consumo de combustible en motores de gasolina introduciendo gas HHO en el colector de admisión”. (Al-Rousan A. A., 2010) En este trabajo utiliza un generador de hidrógeno, determinando que la electrolisis del agua destilada se convierte en HHO con el uso de bicarbonato de sodio en la reacción para que este pueda controlar la generación de calor, presentando el hidrógeno como una fuente de energía limpia y fácil montaje en el motor de combustión interna del vehículo.

“El material utilizado en el cátodo, en este caso puede ser acero inoxidable grado 302 o 304, y en el ánodo se recomienda el uso de acero inoxidable grado 316L”. (Díaz, 2020).

En el Ecuador, el acero inoxidable grado 304, para la utilización en el reactor de HHO como cátodo, tiene un costo de 31\$ americanos según establece la norma NTE INEN 115, con medida estándar de 1,220 m x 2,440 m. En el caso del acero inoxidable grado 316L, tiene un costo de 50\$ aproximadamente, en la ciudad de Quito.

De acuerdo a: “Análisis de un generador de HHO de celda seca para su aplicación en motores de combustión interna”. (Díaz-Rey, González-Gil, & González-Estrada, 2017) Menciona que es de suma importancia utilizar tensión de 12 V, que no supere la capacidad de 40 Ah – 45 Ah, tomando en cuenta la utilización de un sistema de seguridad que resguarde dicho sistema, es indispensable la utilización de un fusible de 10 A colocando un interruptor de encendido y apagado para la activación del generador de HHO, dependiendo del tipo de vehículo y con cada una de las condiciones de los mismos se determina la cantidad de L/min que se debe suministrar en la admisión del vehículo.

Actualmente en el Ecuador, comienzan a llegar vehículos que disponen de pilas de combustible de hidrógeno, como es el Honda FCX (Linares Hurtado & Moratilla Soria, 2007), sin embargo, no existe un sistema de suministro de hidrógeno, para vehículos que basen su funcionamiento netamente en el hidrógeno, sería necesario infraestructuras nuevas que satisfagan dicho requerimiento del mismo (Frey, 2020). Las personas que disponen de un vehículo están aceptando cada vez más la utilización de hidrógeno para mejorar en aproximadamente un 30% el rendimiento del mismo.

Planteamiento del problema

Actualmente, el hidrógeno como una fuente de energía alternativa para su uso en el campo automotriz está siendo mayoritariamente aceptada por las personas que disponen de vehículos, ya sea a gasolina o diésel. Sin embargo, existe una gran controversia debido a que dependiendo de la cilindrada del motor en la cual se requiera administrar el hidrógeno, aumentara el tamaño del generador de HHO, esto debido a que requiere mayor cantidad de gas para poder funcionar y generar un mayor rendimiento en el vehículo.

La gran problemática es debido a que cantidad de flujo de hidrógeno se requiere para abastecer las diferentes condiciones de funcionamiento del motor, debido a que se encuentra directamente vinculada con el factor lambda, que determina si se trata de mezcla rica o pobre

con respecto a la relación aire/combustible en los motores de combustión interna (García, 2014).

Al implementarlo en el vehículo se considera la dosificación (Control de encendido y apagado del generador) de HHO, ya que esta debe ser controlada por que a determinadas revoluciones una mala inyección de hidrógeno en la admisión genera un ahogamiento provocando que la mezcla tienda a ser muy rica y el vehículo pierda rendimiento. Por otra parte, para la generación del hidrógeno, se considera el almacenaje del agua para que se pueda realizar de manera continua y el vehículo pueda tener una mayor autonomía, este es uno de los mayores inconvenientes al momento de su diseño (Díaz, 2020).

Con lo mencionado anteriormente se determina lo factible que es realizar la construcción de un generador de hidrógeno, considerando que poco a poco este tipo de proyectos se van introduciendo a la industria automotriz y es considerado como una nueva manera de mejorar el rendimiento del motor. Es importante establecer un proceso de diseño y manufactura de un equipo de electrólisis para la producción de hidrógeno con el uso de una solución apropiada de tal manera que este pueda ser aplicado a las condiciones propias de las fuentes móviles que utilizan motores de combustión interna como sistemas de potencia y tracción. según las consideraciones del vehículo con base a experimentos realizados por distintos autores, donde se obtendrá distintos datos de flujo que se debe suministrar para que el vehículo se encuentre de manera estable en su funcionamiento.

Justificación e Importancia

A lo largo del mundo se ha vuelto prioridad la búsqueda de combustibles alternos para optimizar los productos derivados del petróleo, con el objetivo disminuir la contaminación y dependencia de los mismos. Centrado en el mismo objetivo se ha buscado la optimización del uso de los productos derivados del petróleo. El hidrógeno presenta un poder calorífico de 141,9

[KJ/g] que es superior al poder calorífico de la gasolina y diésel que son 47 [KJ/g] y 45 [KJ/g] respectivamente; esto denota que el hidrógeno es un combustible más eficaz en comparación al volumen que se requiere de gasolina para efectuar el mismo trabajo al momento de la explosión en la cámara de combustión.

Con el aumento de la contaminación y la necesidad de investigar opciones en donde se aproveche de mejor manera los combustibles, el uso del hidrógeno se ha enfocado en el ámbito de ser combustible para producir energía eléctrica; sin embargo, una opción factible es el uso hidrógeno para optimizar tanto el rendimiento del combustible, como el cuidado de las partes internas del motor de combustión interna. La fabricación de un reactor de hidrógeno para las respectivas pruebas y obtención de resultados positivos, generará un enorme impacto en la comunidad automotriz e impulsará a seguir con la investigación e innovación de procesos de producción sustentables de sistemas de generación de hidrógeno para uso automotriz; además que el hidrógeno al combustionar produce agua y la reducción de gases contaminantes, es una alternativa para cuidar el medio ambiente, convirtiéndose en un llamativo proceso de optimización de los motores actuales, lo cual impulsará el desarrollo en el sector automotriz.

Objetivos

Objetivo General

Investigar la incidencia del sistema de inyección BI – FUEL y DUAL – FUEL de hidrógeno, mediante la construcción de un equipo reactor para la generación de hidrógeno para uso vehicular.

Objetivos Específicos

Investigar la fundamentación teórica científica necesaria de la generación de hidrógeno por electrólisis del agua en oxi-hidrógeno.

Establecer una ubicación apropiada del reactor de hidrógeno dentro del habitáculo del motor, tomando en cuenta las dimensiones constructivas y entorno físico al que va estar sometido.

Construir un reactor de hidrógeno por electrolisis del agua con el soluto adecuado para la división de las moléculas de hidrógeno y oxígeno.

Implementar el sistema de inyección de hidrógeno por aspersion en motores de combustión interna.

Variables de investigación

Variables Dependiente

Volumen de producción de hidrógeno por minuto.

Variables Independientes

Materiales a usas para su construcción.

Ensamblaje de los componentes que conforman el reactor de hidrógeno.

Ubicación del reactor de hidrógeno dentro del habitáculo del motor.

Hipótesis

¿La construcción del sistema de inyección BI – Fuel y Dual – Fuel de hidrogeno, generará la suficiente cantidad de hidrógeno para cumplir con el requerimiento del motor Otto y Diesel?

Capítulo II

Fundamentación Teórica

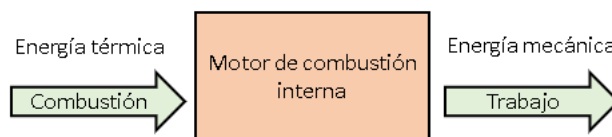
El motor de combustión interna

Se determina a un motor de combustión interna a una maquina térmica que transforma de tal manera la energía térmica que se encuentra almacenada en un fluido de combustible a energía mecánica, de tal manera que se produce un trabajo (Calleja, 2011).

Dicho proceso se aplica en la cadena cinemática del automóvil de tal manera que genera el movimiento del mismo.

Figura 1

Proceso de conversión de energía de MCI



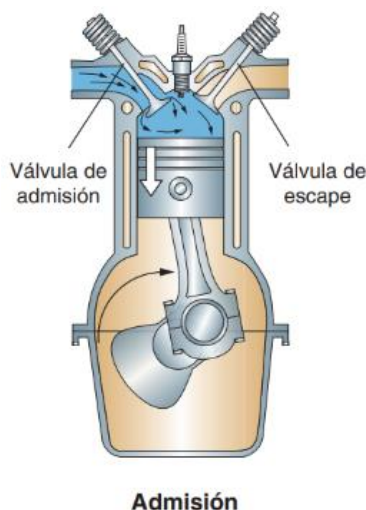
Nota. Conversión de la energía en el motor de combustión interna.

Sistema de admisión

La admisión de los vehículos tanto MEP y MEC tiene el principal objetivo de proporcionar aire a una determinada temperatura y velocidad, que esta depende del régimen del motor. El aire es de vital importancia para la combustión de los motores de combustión interna ya que afecta de manera directa al proceso de combustión del mismo, lo que se relaciona con el rendimiento propio del motor, en el caso de los motores MEP, se tiene el siguiente ciclo de trabajo, véase figura 2.

Figura 2

Admisión en motores de combustión interna de encendido provocado.



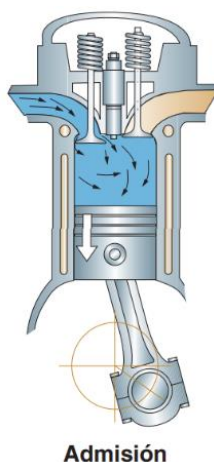
Nota. Ciclo de trabajo de admisión en motores de encendido provocado – gasolina. Tomado de Dominguez Soriano & Ferrer Ruiz (2008).

De igual manera se debe tomar en cuenta que en los motores de combustión en la admisión en algún caso se dispone de un turbo compresor, que ayuda a que ingrese una mayor cantidad de aire hacia la cámara de combustión del motor, de tal manera que sea mayor a la que se genera por la presión atmosférica.

Al tener una mayor cantidad de oxígeno dentro de la cámara de combustión esta genera que la mezcla se oxide mucho más rápido, lo que se traduce en una mayor potencia generada del motor diésel. Sin embargo, esta también puede llegar a utilizarse en motores de encendido provocado, en la figura 3 se puede observar el proceso de admisión en este tipo de motor MEC.

Figura 3

Admisión en motores de combustión interna de encendido por compresión



Nota. Ciclo de trabajo de admisión en motores de encendido por compresión – diésel. Tomado de Dominguez Soriano & Ferrer Ruiz (2008).

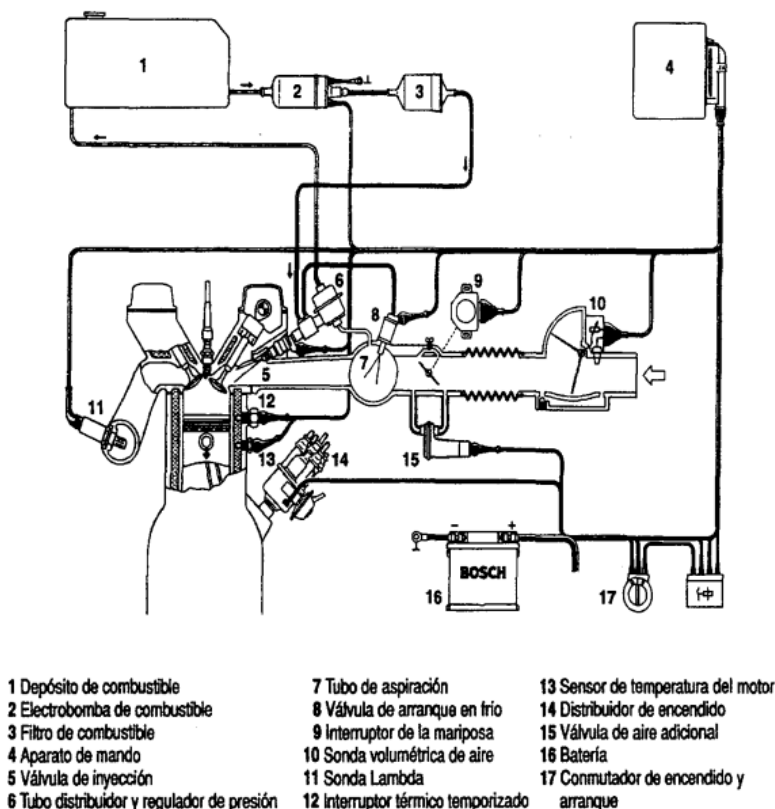
Al hablar de la admisión en los motores diésel y gasolina, este va a ser del mismo principio ya que los dos tipos de motores necesitan de aire, en este caso oxígeno, para generar la combustión del carburante.

Sistema de alimentación de combustible MEC y MEP

En el caso del sistema de alimentación de combustible, de los motores Otto, estos se identifican principalmente porque está formado por un depósito de combustible, una bomba de combustible, y un sistema de dosificación y pulverización del combustible, del estado líquido hasta las proporciones requeridas por el motor. En vehículos, llamémoslos de años inferiores, se utilizaba el carburador como mecanismo de dosificación del combustible, donde se mezclaba directamente con el aire de la admisión. Ahora, se utilizan sistemas de inyección que han reemplazado directamente a este sistema de carburación, ya que, al ser mucho más precisos al momento de dosificar combustible, reduce de manera sustancial la contaminación por gases, asegurando de tal manera una mezcla mucho más estable.

Figura 4

Sistema de alimentación de motores Otto



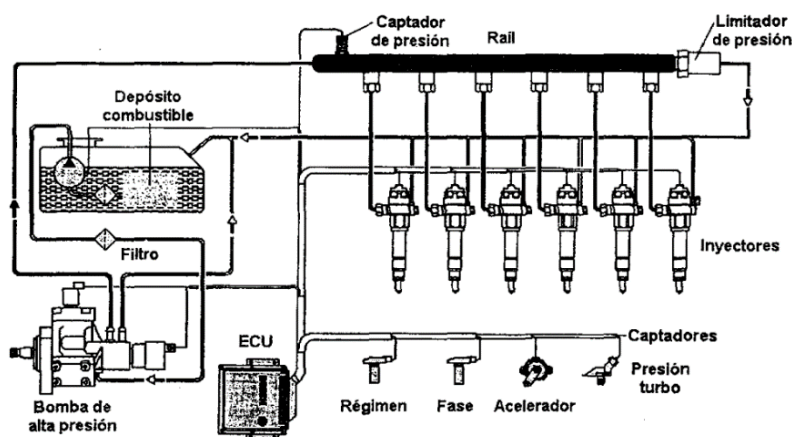
Nota. Circuito de alimentación de los motores Otto, sistema de inyección L-Jetronic Bosch.

Tomado de Payri (2011).

En el caso de los motores diésel, no se realiza una dosificación de combustible de manera estequiométrica con el aire, sin embargo, se trata de realizar en términos relacionados, una mezcla pobre. Esta se basa principalmente a la demanda o régimen del motor diésel, el cual se regula a base de un mecanismo que regula dicha presión de combustible. Este se diferencia principalmente en que consta de una bomba de inyección, sus conductos son mucho más rígidos debido a las altas presiones y sus inyectores son de alta presión.

Figura 5

Sistema de alimentación motores diésel



Nota. Circuito de alimentación de los motores diésel. Tomado de Payri (2011).

Generación de hidrógeno

Para la obtención de hidrógeno se debe considerar cuales son los principales procesos por los cuales las distintas sustancias o materia debe pasar para que se pueda obtener el hidrógeno. Este se puede obtener directamente del agua salada del mar, ya que este se encuentra en un 11,19% en peso (Jodra, 2005). De igual manera este puede obtenerse mediante la biomasa, ya que los organismos tanto vivos, como vegetales contienen una cierta cantidad de hidrógeno en su composición, de igual manera del biogás.

Por ello se llega a determinar que para la obtención del hidrógeno se debe utilizar una molécula de agua ya que esta es estable para la obtención de hidrógeno, mediante la utilización de una fuente de energía externa, esta se puede obtener por medio de procesos de disociación o de alguna reacción en la cual el hidrógeno forme parte de los productos, provenientes de la reacción, en la tabla 1 se puede diferenciar las diferentes reacciones mediante las que se puede obtener hidrógeno.

Tabla 1*Métodos de producción de hidrógeno*

N°	Fórmula química	Característica
1	$H_2O \rightarrow H_2 + 1/2O_2$	Ciclos mediante altas temperaturas
	$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$	
2	$2H^+ + 2e \rightarrow H_2$	Electrólisis
	$2OH^- - 2e \rightarrow H_2O + 1/2O_2$	
3	$\begin{cases} C \\ CH \\ -CH_2- \end{cases} + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	Combustibles fósiles
4	$\begin{cases} hv \\ \gamma \end{cases} + H_2O \rightarrow H_2 + 1/2O_2$	Mediante radiación, foto procesos

Nota. Distintos métodos químicos mediante las cuales se puede obtener hidrógeno. Tomado de Jodra (2005).

Electrólisis

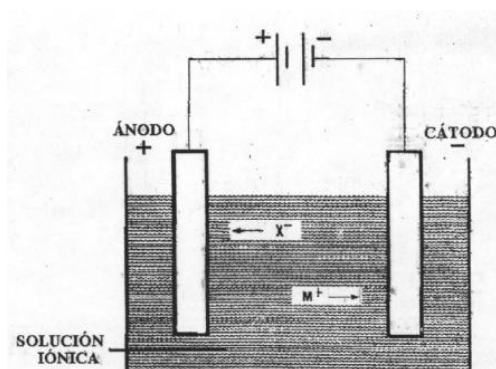
El proceso de electrólisis se realiza mediante la utilización de celdas electrolíticas, este consiste en una celda que se construye por medio de dos electrodos, que se conectan mediante un entorno conductor, en este caso una disolución y mediante una fuente de energía externa, algún circuito externo (Isgró, 2015).

En este caso los electrodos deben ser resistentes a la corrosión, de tal manera que estos tengan una buena conductividad, de igual manera disponer de propiedades catalíticas adecuadas, debido a que estas van a funcionar como un cátodo y otra será el ánodo (Isgró, 2015).

La sustancia en la cual se encuentra inmersa en la celda electrolítica, se denomina electrolizador, de tal manera que, al aplicar un voltaje externo a las placas, este se ionice separando las moléculas de hidrógeno y oxígeno, de tal manera que los iones negativos se dirigen al ánodo y los cationes al cátodo (Isgró, 2015). En la figura 6 se evidencia una celda electrolítica.

Figura 6

Diagrama simplificado de una celda electrolítica



Nota. Representación gráfica del funcionamiento de una celda electrolítica. Tomado de Vera (2007).

Ley de Faraday

La ley de Faraday, determina de la manera cuantitativa de cómo se desarrolla la electrolisis, esto determina la masa que se forma en manera de producto o de reactivo que se ha consumido, en cualquiera de los electrodos, es proporcional a la cantidad de energía eléctrica que se introduce en el sistema y la masa molar que se tiene (Vera, 2007).

Se determina de igual manera la cantidad de carga que pasa a través del sistema eléctrico o de los circuitos eléctricos, la cual se mide en Coulomb. Tomando en cuenta que la carga de 1 mol de e^- es de 96,485 C igual a 1 F (Vera, 2007).

Dicha ecuación de carga se determina mediante:

Ecuación 1. Cantidad de carga

$$Q = t \times I$$

En las que: Q = carga eléctrica [Coulomb]

t = tiempo de funcionamiento [seg]

I = Intensidad de corriente eléctrica [A]

La ley de Faraday establece las siguientes cuestiones:

- 1) La cantidad de sustancia disuelta en la electrolisis, es proporcional a la cantidad de electricidad consumida (Vera, 2007).
- 2) Las cantidades que se depositan en la o se disuelven en el paso de la corriente son proporcionales a su equivalencia en gramos (Vera, 2007).

La ecuación de Faraday se determina mediante:

Ecuación 2. Cantidad de masa disuelta en un electrodo

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

En las que: m = Cantidad de masa disuelta en un electrodo [mol]

E = peso equivalente [mol]

t = tiempo de activación [seg]

I = Corriente [A]

F = constante de Faraday, 96 500 [C/mol]

Ley de ohm

La ley de Ohm relaciona la intensidad que circula en un circuito eléctrico, siendo esta proporcional a la tensión de la fuente, sin embargo, es inversamente proporcional a la resistencia del circuito. Siempre se debe tomar en cuenta que cuando la intensidad aumenta, el voltaje va a aumentar, pero la resistencia va a disminuir. Por otra parte, si la intensidad baja, la resistencia va a aumentar y el voltaje va a disminuir (Torres, 2018).

La ecuación de la ley de ohm se determina mediante:

Ecuación 3. Ley de Ohm

$$I = \frac{V}{R}$$

En las que: I = Intensidad de corriente [A]

V = voltaje [V]

R = resistencia [Ω]

Ecuación del gas ideal

Lo correspondiente a presión, temperatura y volumen están relacionados en una única **fórmula** la cual es llamada ley de los gases ideales. De tal manera que un gas ideal se refiere a un gas hablando hipotéticamente compuesto, esto debido a que las moléculas de estos gases no se atraen ni se repelen y estas no ocupan ningún volumen en el espacio (Academy, 2022).

La ecuación de los gases ideales se determina de la siguiente manera:

Ecuación 4. Ley de los gases ideales

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

En las que: P = presión del gas [atm]

V = volumen que ocupa el gas [m³]

T = temperatura a la que se encuentra el gas [°K]

n = número de moles del gas [mol]

R = constante del gas ideal, $\left[R = 8,31 \frac{J}{K \cdot mol} \right]$

Relaciones de masa, masa molar y densidad de un gas

La densidad es la que determina la cantidad de masa que ocupa una sustancia en determinado volumen, esta se calcula con la formula general, que relaciona la masa y el volumen.

La ecuación de la densidad se determina mediante:

Ecuación 5. Densidad de un gas

$$\delta = \frac{m}{V}$$

En las que: δ = densidad del gas [g/L]

m = masa del gas [g]

V = volumen del gas [L]

Tomando en cuenta que la densidad de los gases es considerablemente baja, esta se puede relacionar con respecto a la masa de la sustancia como tal, con respecto a su masa molar. De esta manera se tiene una relación de las tres magnitudes, con respecto a la ecuación ideal de los gases.

La ecuación que relaciona las magnitudes se determina mediante:

Ecuación 6. Relación de masas y moles

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

En las que: m = masa [g]

M = masa molar [g/mol]

V = masa/volumen, que este puede ser reemplazado en la ecuación
[m³ ó L]

Peso equivalente

Este se define como la cantidad de masa o sustancia, especificada en gramos que genera de determinada forma un equivalente químico (Évora, 2006).

La ecuación del peso equivalente se la determina mediante:

Ecuación 7. Peso equivalente

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

En las que: E = peso equivalente []

Pa = []

V = []

Tipos de celdas electrolíticas

Una celda electrolítica, funciona a partir de una fuente de energía externa que en este caso puede ser una batería, de tal manera que se encuentra materiales tanto, ánodos como cátodos, los cuales pueden diseñarse o fabricarse con materiales como aceros inoxidable.

En este caso la formación de hidrógeno aparecerá en el cátodo, de igual forma aparecerá oxígeno, sin embargo, este aparecerá en el ánodo. Se debe considerar que, la cantidad de hidrógeno que se generará, será mayor que la cantidad de oxígeno.

Para la generación de hidrógeno, con aplicación en la industria automotriz, se han diseñado dos tipos de celdas que generan hidrógeno. Este tipo de celdas electrolíticas se basan en la utilización de aceros inoxidable para la generación de hidrógeno.

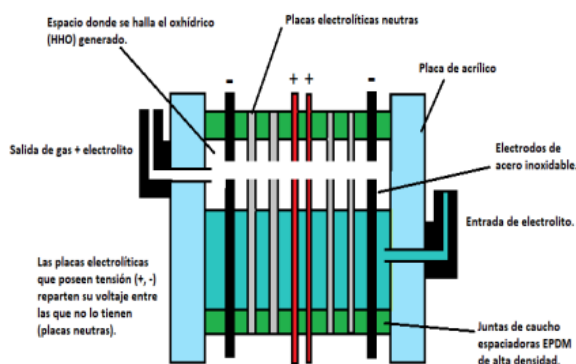
En este caso se describe cual es el funcionamiento de las celdas secas de hidrógeno, para la obtención de hidrógeno.

Celdas secas de hidrógeno

En este caso, ha este tipo de celdas se las considera debido a que los equipos se encuentran separados, es decir, que tanto el electrolito como la cantidad de gases se van a generar y almacenar en distintas componentes. Esto difiere de la celda húmeda, que contiene tanto el depósito como la generación de hidrógeno.

Figura 7

Celda seca de hidrógeno



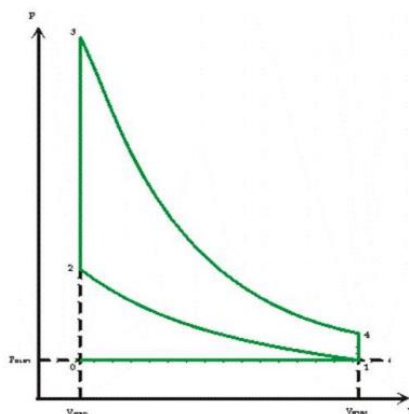
Nota. Representación gráfica de una celda de hidrógeno seca. Tomado de Juárez Sandoval, Cruz Gomez, Juárez Cerón, & Ochoa Barragan (2018).

Análisis del sistema de hidrógeno y gasolina

En el caso del vehículo de ciclo Otto tendrá una gran repercusión en lo que conlleva su ciclo termodinámico, de tal forma que va a influir de manera directa en el ciclo de expansión, debido al poder calorífico del hidrógeno, siendo este de 141,9 KJ/g, a comparación de la gasolina que es de 47 KJ/g. Esto afecta directamente en la presión de la combustión del combustible, ya que, al añadirlo directamente a la admisión del vehículo, aumentara la presión en el ciclo de expansión, lo que conlleva a de manera ineludible al aumento de la temperatura del motor. En la figura

Figura 8

Representación del ciclo termodinámico del motor Otto



Nota. El ciclo de expansión se ve afectado directamente en el ciclo termodinámico del motor Otto. Tomado de Rafael Morales & Guzmán (2014).

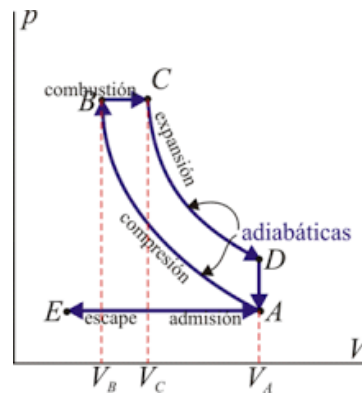
Análisis del sistema de hidrógeno y diésel

En el caso de los motores de combustión de encendido por compresión se toma en cuenta que estos trabajan a un volumen constante, es decir, que la presión de la combustión o de la expansión en este caso no se va a ver afectada, por lo que se trabaja a altas compresiones para que el combustible, en este caso diésel pueda llegar a combustionar. Por ende, el hidrógeno en este caso, no varía en gran medida el ciclo termodinámico del motor.

Sin embargo, si se refiere al poder calorífico del diésel es de 45 KJ/g muy por debajo del hidrógeno, como antes se mencionó.

Figura 9

Representación del ciclo termodinámico del motor diésel



Nota. El ciclo termodinámico del motor diésel no se ve afectado debido a que se efectúa a presión constante, por lo que no varía ningún ciclo. Tomado de Rafael Morales & Guzmán (2014).

Manufactura para la instalación

En el caso de la manufactura para la instalación es indispensable la utilización de soportes que ayuden a soportar el peso tanto de los depósitos como del electrolito que va a contener en su interior, por ello se determina los materiales que van a ser necesarios para la sujeción de los elementos.

Materiales. Para la sujeción de los materiales se determina la cantidad de peso que estos van a soportar, es decir, cuál va a ser su principal función, en este caso se optó por platina de acero estructural de 1/8", debido a su resistencia a la tracción de un máximo de 56 kgf/mm^2 . Que en este caso es recomendable ya que para este tipo de sistema no se necesita una mayor cantidad de resistencia mecánica, en la tabla 2 se puede observar dicha característica.

Tabla 2

Dimensiones y propiedades del acero estructural en sección rectangular

Propiedades mecánicas	ASTM A36		INEN 2215 grado E185	
	Kgf/mm ²	MPa	Kgf/mm ²	MPa
Límite de fluencia mínima	25	250	19	185
Resistencia de la tracción mínima	40	400	30	300
Resistencia de la tracción máxima	56	550	55	540
Alargamiento (%) mínimo con probeta $L_o = 26\%$	26 %		18 %	

Nota. Medidas y datos de las platinas de acero estructural. Tomado de Adelca (2022)

Métodos de fijación. Se determinan tres tipos de métodos de fijación, de las cuales varían con respecto a los tipos de elementos con los cuales se sujetan, por lo cual se definen las conexiones soldadas, remachadas y atornilladas (Mott, 1996).

Conexiones soldadas. En este caso se tiene la aplicación de soldadura, en contacto directo de los distintos elementos que sean destinados para su conexión. Por ello este tipo de fijación se utiliza de manera única y no es posible su desmontaje. En la figura 10, se representa este tipo de fijación.

Figura 10

Método de conexión fija (soldada) de estructuras metálicas

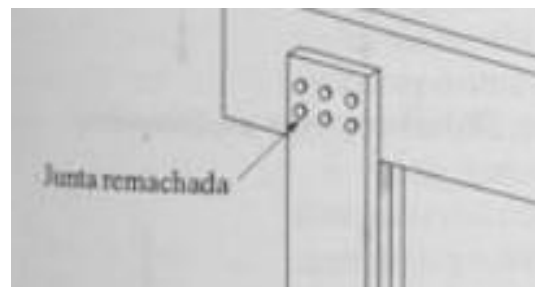


Nota. Las conexiones fijas, son de manera permanente, se debe tomar en cuenta que si se requiere su separación estas deben ser dañadas o fracturadas, perdiendo propiedades de los materiales. Tomado de Mott (1996).

Conexión remachada. En el caso de las conexiones que requieren un remache para poder juntarse o conectarse, en este caso son fijaciones que son fijas, sin embargo, estas pueden ser retiradas para poder cambiar o desmontar el sistema que se requiera. En la figura 11 se puede visualizar un tipo de conexión mediante remaches.

Figura 11

Método de conexión remachada en estructuras metálicas

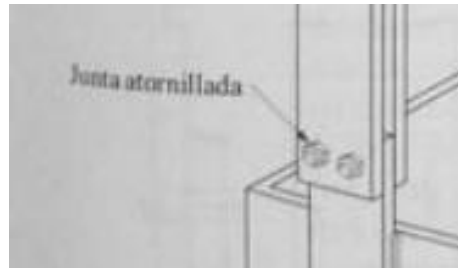


Nota. Las conexiones remachadas dependen de los denominados remaches, que debe tener un orificio preestablecido para la colocación del mismo. Tomado de Mott (1996).

Conexión atornillada. En este caso para la unión de dos o más elementos se requiere la utilización de componentes como son el tornillo y la tuerca, que van a sujetar y soportar el peso de las mismas. En la figura 12 se puede identificar la conexión atornillada de dos placas.

Figura 12

Método de conexión atornillada en estructuras metálicas



Nota. Las conexiones atornilladas son de fácil remoción ya que únicamente se retira la tuerca y el perno de sujeción y este puede montarse y desmontarse. Tomado de Mott (1996).

Estructura vehicular

En el caso de la estructura vehicular hablando en términos generales este se clasifica únicamente en el chasis y en el bastidor, véase figura 13. De tal manera que este es donde se va a realizar la sujeción de los distintos elementos propios o adheridos al vehículo.

Bastidor. En este caso este se conforma de un conjunto de perfiles de manera rígida que forman el denominado cuadrado o cuadro, este no se deforma. En este se destina tanto al montaje de diferentes partes que constituyen a la forma propia del vehículo.

Chasis. Son las partes que no están montadas directamente al chasis, sin embargo, en algunos vehículos su estructura como tal se forma a partir de una sola estructura, el chasis y el bastidor forman una sola estructura.

Figura 13

Estructura vehicular



Nota. Disposición de la estructura: chasis y bastidor del vehículo. Tomado de Palomino (2017).

Esfuerzo, cargas y deformaciones de carga muertas

Esfuerzo. Se la define como la fuerza aplicada en un punto específico, en determinado cuerpo. En el sistema internacional este se mide en $\frac{F}{A} = \frac{N}{mm^2}$

Carga. Están se definen a las diferentes fuerzas externas que son aplicadas a lo largo de la periferia del objeto, medida en **Newtons (N)** en el sistema internacional

Deformación. Se define como el cambio en la estructura de los objetos, la cual se genera por una fuerza externa que actúa sobre dicho objeto, se mide en **milímetros (mm)**.

Factor de seguridad

La determinación del factor de seguridad, se basa en distintos factores, pero se debe tomar en cuenta que este factor tiene que ser mayor mientras más sea la complejidad de lo que se requiera diseñar.

Este coeficiente o factor de seguridad, reduce el fallo o los errores que pueda tener el diseño, por ello para la ingeniería se deben considerar un factor de seguridad comprendido entre 2 y 5. Este relaciona tanto la resistencia del material del cual este fabricado cualquier

sistema, como de las cargas a las cuales se va a someter el mismo (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, 2015).

Conductores

Se fabrican con el único fin de transmitir electricidad, por lo general se fabrican de cobre, ya que este tiene una conductividad elevada, con respecto a otros materiales, considerando que es el más barato de producir.

Los cables eléctricos siempre vendrán recubiertos de un plástico aislante, que este va a depender de las condiciones de trabajo que este tendrá, por ejemplo: la intensidad de corriente, la tensión, el entorno donde se va a utilizar y por último la temperatura propia a la cual va a trabajar. El recubrimiento de este varía entre las 500 micras y hasta los 5 cm de espesor.

Métodos de selección. Para la selección de que tipo de cable se necesita para el sistema eléctrico que se necesite montar o utilizar, se deben seguir los siguientes parámetros.

- La longitud del conductor, se basa en los elementos eléctricos a los cuales van a estar conectados, su sección debe estar lo suficientemente apta para soportar la intensidad de corriente para que no se eleve la temperatura debido a su poca resistencia.
- La resistencia de un cable es directamente proporcional a la longitud del cable, sin embargo, la resistencia del cable es inversamente proporcional a la sección del conductor eléctrico.

Los principales cálculos para determinar qué tipo de cable eléctrico se debe utilizar, se determina mediante la sección del mismo, ya que de esta manera permitirá saber cuál es el más recomendable según el uso del mismo, de este varía la resistencia, la intensidad de corriente, y la frecuencia de ser necesaria.

Se define la fórmula para la obtención de la sección de cable para un determinado uso, con respecto a su intensidad, resistencia y caída de voltaje que en este caso es de aproximadamente 3% (Fink G., Wayne H., & Carroll M., 1981).

La ecuación para determinar la sección de cable, en base a su resistencia, intensidad y resistividad del cobre, $0,0172 \left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$.

La ecuación de la resistividad eléctrica se determina mediante:

Ecuación 8. Resistividad eléctrica

$$S = \rho \times \frac{L}{R}$$

En las que: S = sección del cable conductor, [mm^2]

ρ = resistividad del cobre, $\left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$

L = longitud del cobre, [m]

R = resistencia medida del cable, [Ω]

Determinación de la sección del cable método AWG. El American Wire Gauge, es un índice que clasifica los distintos espesores y los diferentes calibres de elementos de sección circular y rectangular de origen metálico. Dicho índice determina, un método de determinación del diámetro de los cables, tomando en cuenta la clasificación AWG que estos tengan, y para que entorno de trabajo se va a utilizar (Torres & González Ortiz, 2013).

La ecuación del diámetro del cable según el índice AWG en mm se determina mediante:

Ecuación 9. Diámetro del cable mediante método AWG

$$d = 0.127 \text{ mm} \times 92^{\frac{n-36}{39}}$$

En las que: $n = \text{calibre del cable ha determinarse}$

Con la sección transversal se puede determinar las diferentes características que dispone el cable eléctrico, en la tabla 3 se determina las diferentes características del cable de cobre.

Tabla 3

Características AWG para alambre de cobre a 25°C

AWG	Diámetro del cable		Sección transversal		Resistencia eléctrica		Corriente máxima admitida		Frecuencia máxima
	mm	pulgada	mm ²	kcmil	Ω /km	Ω /kft	GND [A]	Alimentación [A]	
	10	2.588	0.1019	5.26	10.4	3.277	0.9989	55	
11	2.305	0.0907	4.17	8.23	4.132	1.260	47	12	3200 Hz
12	2.053	0.0808	3.31	6.53	5.211	1.588	41	9.3	4150 Hz
13	1.828	0.0720	2.62	5.18	6.571	2.003	35	7.4	5300 Hz
14	1.628	0.0641	2.08	4.11	8.286	2.525	32	5.9	6700 Hz

Nota. Características de distintos cables utilizados en la industria automotriz para las conexiones eléctricas. Tomado de Alonso (2001).

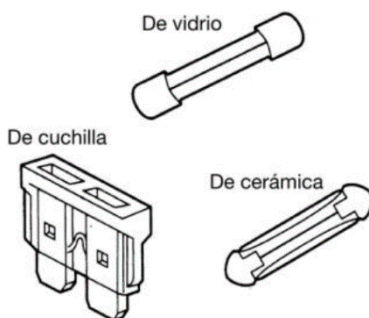
Fusibles

El fusible se considera, en términos resumidos y apropiados, como una conexión débil en el circuito eléctrico. De tal manera, si existe una sobrecarga de intensidad en el mismo, este actúa de manera rápida, fundiéndose al instante, previniendo el daño en los elementos a la cual esta interconectado en el circuito (Denton, 2016).

Para el caso de los automóviles, existen tres tipos principales: los de cuchilla, son los más utilizados debido a su rápido actuar ante cualquier fallo y vibración del motor. De vidrio, este tipo se utiliza en circuitos de baja intensidad, sin embargo, ocupan un mayor espacio dentro del circuito y por último fusibles de cerámica, en este caso se utilizan para voltajes altos, en circuitos que requieren una mayor prestación. En la figura se puede observar los tres diferentes tipos de fusibles más comunes utilizados en el ámbito automotriz.

Figura 14

Fusibles de uso automotriz



Nota. Fusibles de cuchilla, de vidrio y de cerámica utilizados en los automóviles. Tomando de Denton (2016).

Método de selección. Para la selección de los fusibles se debe considerar distintos aspectos, por ejemplo:

- La corriente máxima DC que debe circular para que el elemento funcione de manera correcta.
- Se debe considerar un valor de amperaje más alto que proteja tanto el cableado como el elemento eléctrico conectado.
- Se considera una derivación de la fórmula de la Ley de Ohm, se trata de la potencia eléctrica.

Potencia eléctrica. La potencia eléctrica disipada en un circuito es directamente proporcional a la cantidad, tanto de voltaje como de la intensidad de corriente que se consume.

La ecuación de potencia eléctrica se determina mediante:

Ecuación 10. Potencia eléctrica

$$W = V \times I$$

En las que: W = potencia, [Watts]

V = tensión, [V]

I = Intensidad de corriente, [A]

Interruptores

Un interruptor tiene como principal objetivo cambiar la dirección de la corriente con la conexión y desconexión del mismo. Como bien su nombre lo dice, este interrumpe, valga la redundancia, el paso de la corriente eléctrica. En este caso los interruptores que se usan en el ámbito automotriz, tienen la función de accionar un relé que este determina el funcionamiento de distintos componentes eléctricos del mismo. Para ello se determinan distintos tipos de interruptores, sin embargo, basado en el ámbito automotriz del interruptor automotriz, que este tiene distintas representaciones según el uso requerido.

Este tipo de interruptores se forman de contactos de acero inoxidable, y el mecanismo de activación. El mecanismo de este tipo de interruptores se activa cuando se mueve una pequeña palanca ya sea de dos o tres posiciones, quitando el contacto del circuito o activando el mismo. En la siguiente figura se determina los tipos de interruptores automotrices que se utilizan en el ámbito ingenieril.

Figura 15

Interruptores automotrices



Nota. Diferentes tipos de interruptores automotrices que se utilizan en la ingeniería.

Terminales

Los terminales tienen la función de realizar una conexión rápida de elementos eléctricos, referido al ámbito automotriz. Sin embargo, las conexiones eléctricas esta diseñadas con un cierto límite de vida útil, en este caso se ven afectados los distintos elementos a los cuales se van a acoplar los mismos.

Existe una gran variedad de terminales que se utilizan en el campo automotriz, referido a esto se utilizan terminales circulares de conexión rápida, terminales de punta, terminales de lengüeta, terminales de cobre, terminales machos y hembra diferente tipos de manguitos de unión, véase la figura 16, donde se evidencia los distintos tipos de conectores automotrices.

Figura 16

Terminales automotrices



Nota. Terminales de uso eléctrico automotriz. Tomado de Denton (2016).

Arduino

El Arduino se considera de uno de los entornos de software libre más utilizados para la construcción de diferentes entornos interactivos las cuales cumplan con los distintos requisitos del programador. De tal manera que este tipo de software y hardware que se puede utilizar con distintos componentes que sean compatibles con el mismo.

Tipo. Existe una variedad de tipos de Arduino las cuales se describen en el siguiente apartado:

Arduino UNO. Este tipo de Arduino se diseñan sobre una placa general. Este tiene 14 pines las cuales funcionan como entrada y salida, de los cuales 6 de ellos sirven como función del PWM, de igual manera existen 6 tipos de entradas analógicas y entradas I2C.

Figura 17

Arduino UNO



Nota. Arduino más común para la programación. Tomado de Perez (2018).

Arduino Nano. Este tipo de Arduino está basado en el tipo de Arduino ATmega328. Este tipo de Arduino se basa en distintas características del Arduino. La única diferencia es el tamaño en la cual está determinado el Arduino. Esta admite diferentes tipos de programaciones como el Arduino uno. Véase la figura 18.

Figura 18

Arduino micro



Nota. Arduino micro que se utiliza por el tamaño del mismo. Tomado de Perez (2018).

Método de programación. Para programar Arduino se debe considerar que tipo de tareas se deben efectuar, con respecto a los tipos de sensores o actuadores que se van a utilizar (Arduino, 2022).

La programación está estructurada de la siguiente manera:

1. Comentarios. En esta parte el programador determina cual es la esencia del código, es decir, explica la funcionalidad del código y que interviene en el mismo.
2. Variables. Se utilizan distintos nombre, letras o palabras a la cual se le asigna un número que se utilizara a lo largo del código de programación. Pero a menudo, esta variable va cambiando conforme se requiera en la programación.
3. Funciones. Es el procedimiento que se ejecutara en la programación, se lo determina mediante nombres y estos ya se encuentran preestablecidos dentro de las librerías propias del programa o software que se utilice para la programación.

Existen un sinnúmero de métodos de programación, sin embargo, este depende de la metodología de cada persona. Ya que no se puede definir una estructura la cual se debe seguir.

Capítulo III

Metodología de desarrollo del proyecto

Elección del reactor de hidrógeno

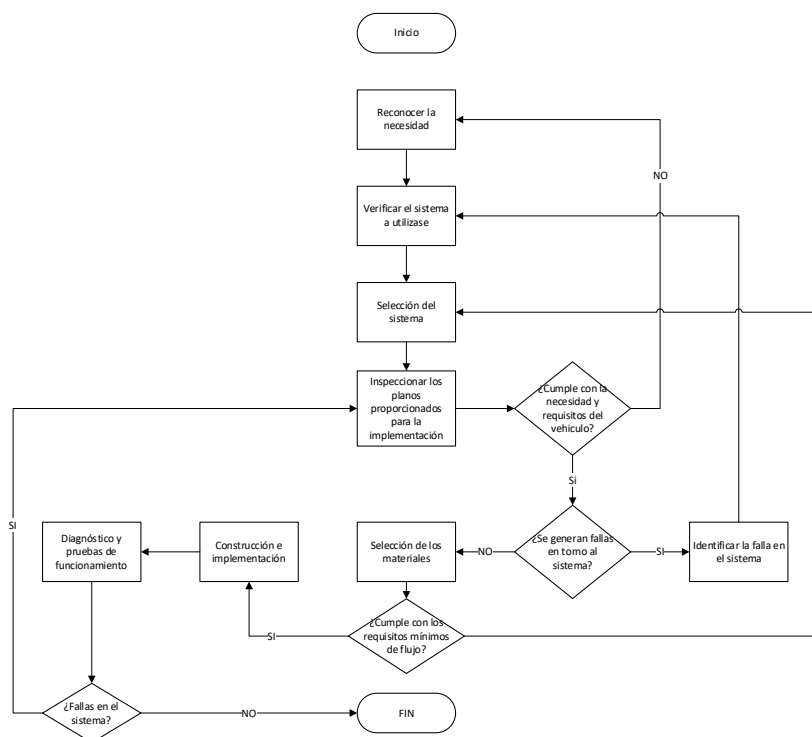
El reactor de hidrógeno se seleccionará acorde a la necesidad y el entorno en el cual va funcionar. El mismo debe cumplir con algunos requisitos:

- Producción de hidrógeno a través de la electrólisis.
- Funcionamiento con un voltaje de 12 a 14 V.
- Herméticamente cerrado, evitando descargas de hidrógeno por conductos no designados para este fin.
- Materiales flexibles a vibraciones y movimientos bruscos, los cuales se dan en los diferentes entornos y situaciones de funcionamiento de los vehículos a instalar.
- Terminales positivo y negativo debidamente separados y fijos para evitar cortocircuitos con el movimiento.
- De tamaño reducido de tal manera que sea de fácil instalación dentro del habitáculo del motor, sin la necesidad de mover o retirar componentes o sistemas que puedan afectar el funcionamiento normal del motor.

Se muestra un diagrama de flujo donde se especifica de manera rápida, la selección e implementación del reactor de hidrógeno en el vehículo, tanto diésel como gasolina.

Figura 19

Reconocimiento de la necesidad del reactor de hidrógeno



Nota. El diagrama determina el proceso para la pre - implementación del reactor de hidrógeno.

Una vez analizado los requisitos por satisfacer, se optó por un reactor de hidrógeno basado en el funcionamiento de electrólisis para la producción de hidrógeno, constando de un cierto número de placas de acero inoxidable y cauchos aislantes que conforman la celda. La electrólisis se producirá acorde a la corriente aplicada ya sea en mayor o menor medida, esto satisfaciendo el requisito de funcionamiento con voltaje variable el cual será proporcionado por el sistema de carga eléctrica del vehículo.

Dimensionamiento del reactor de hidrógeno

Para una correcta ubicación de los elementos que componen el sistema de generación de hidrógeno, se estimó unas dimensiones de 15cm x 11cm para el generador de hidrógeno, siendo estas medidas ideales para la ubicación del mismo en espacios ajustados de la parte

baja del motor, esto considerando el espacio suficiente para los respectivos soportes o bases para cada componente.

Figura 20

Generador de hidrógeno



Nota. Se muestra la estimación de las dimensiones del generador de hidrógeno.

Por parte del burbujeador, es necesario que se ubique en la parte alta del habitáculo del motor para la correcta circulación tanto del electrolito hacia el generador, como el hidrógeno desde el generador hacia el burbujeador. Igualmente se debe considerar el espacio necesario para el soporte o base de sujeción para el mismo.

Figura 21

Ubicación del burbujeador/depósito

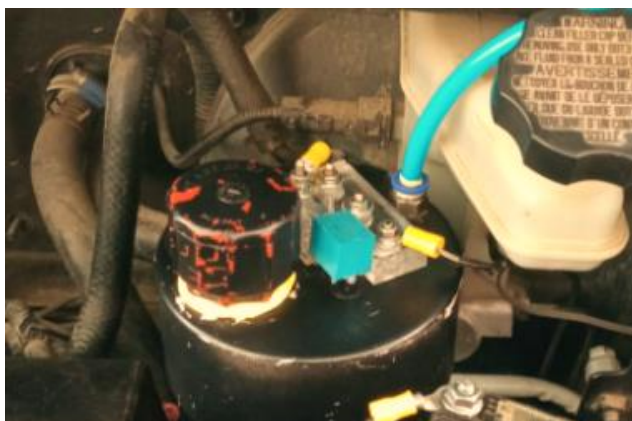


Nota. Se indica la ubicación establecida para la instalación del burbujeador/depósito y sus respectivas entradas de mangueras.

Tomando en cuenta estas condiciones y que el burbujeador es de forma cilíndrica, las dimensiones óptimas son 160mm de altura con 112,30mm de diámetro exterior, considerando un espacio aproximado de 70mm libres por arriba del burbujeador para la tapa superior, los módulos de medición de nivel de electrolito y la manguera de salida de hidrógeno.

Figura 22

Componentes de la parte superior del burbujeador



Nota. Espacio necesario en la parte superior del burbujeador para la tapa superior, módulo de medición de nivel de electrolito y manguera de salida de hidrógeno.

Cálculo del flujo de hidrógeno del reactor de hidrógeno

Cálculo del volumen interno. Como primer cálculo se realiza el proceso matemático para la obtención de área de trabajo, de las placas del generador de hidrógeno. Dicho proceso se lo determina en la tabla 4.

Tabla 4*Área del espacio de trabajo*

Ecuación	Datos	Resultado
$A_{in} = b \times h$	$b = 0,140 \text{ [m]}$ $h = 0,140 \text{ [m]}$	$A_{in} = 0.019 \text{ [m}^2\text{]}$

Nota. El área de trabajo se considera para determinar la ubicación del generador.

Se determina el área del cuadrado que no forma parte de la placa cuadrada, en la tabla 5.

Tabla 5*Área del cuadrado excedente*

Ecuación	Datos	Resultado
$A = l^2$	$l = 0,015 \text{ [m]}$	$A = 0,0025 \text{ [m}^2\text{]}$

Nota. El área del cuadrado tiende a definir el tamaño de las placas analizadas posteriormente.

Se determina el área final de la placa que va a estar en contacto con el electrolito, tomando en cuenta el área en contacto y el área sobrante, véase la tabla 6.

Tabla 6*Área en contacto con electrolito*

Ecuación	Datos	Resultado
$A_p = A_{in} - 2(A)$	$A_{in} = 0,019 \text{ [m}^2\text{]}$ $A = 0,0025 \text{ [m}^2\text{]}$	$A_p = 0,014 \text{ [m}^2\text{]}$

Nota. Dimensionamiento del área de las placas, en base a los datos del generador.

Al existir un volumen ocupado por electrolito y otro por el hidrógeno se procesa a calcular el área que ocupa las placas en el generador, véase tabla 7.

Tabla 7*Volumen de la cámara del generador*

Ecuación	Datos	Resultado
$V_c = A_p \times \text{espesor}_c$	$\text{espesor}_c = 6 \times 10^{-3} \text{ [m]}$ $A_p = 0,014 \text{ [m}^2\text{]}$	$V_c = 0,84 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$

Nota. El volumen de la cámara del generador de HHO se realiza en base al espesor de las placas y el área de las mismas, ya que estas van a estar en la parte interna y tiene que tener un volumen donde se pueda generar el hidrógeno y oxígeno.

Cálculo de flujo del gas HHO. Con valores tales como el voltaje y el tiempo de funcionamiento del generador, para la generación de hidrógeno, véase tabla 8.

Tabla 8*Carga del generador de hidrógeno*

Ecuación	Datos	Resultado
$Q = I \times t$	$I = 12 \text{ [A]}$ $t = 60 \text{ [seg]}$	$Q = 720 \text{ [C]}$

Nota. Carga la cual va a recibir el reactor de hidrógeno desde la batería.

Se determina de tal manera el peso equivalente del hidrógeno.

Tabla 9*Peso equivalente del hidrógeno*

Ecuación	Datos	Resultado
$E = \frac{Pa}{V}$	$Pa = 1 \text{ [g]}$ $V = 2 \text{ [mol]}$	$E = 0,5 \text{ [mol]}$

Nota. Para la obtención del Pa y V, se debe revisar las propiedades químicas del hidrógeno.

Para el debido cálculo de moles, se debe determinar mediante la fórmula de Faraday, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10

Número de moles de hidrógeno

Ecuación	Datos	Resultado
$m = \frac{E \times I \times t}{F}$	E = 0,5 [mol]	$m = 3,73 \times 10^{-3} \text{ [mol]}$
	I = 12 [A]	
	F = 96500 $\left[\frac{\text{C}}{\text{mol}} \right]$	
	t = 60 [seg]	

Nota. La cantidad de moles, se determina con el fin de conocer la cantidad de hidrógeno se va a producir dentro del generador.

Mediante la fórmula de los gases ideales, se calcula el volumen de gas de hidrógeno que se genera en cada una de las celdas, véase tabla 11.

Tabla 11

Volumen de gas de hidrógeno

Ecuación	Datos	Resultado
$P \times V = n \times R \times T$	P = 1 [atm]	$V_H = 0,091 \text{ [L]} \text{ (en cada celda)}$ $V_H = 9,1 \times 10^{-8} \text{ [m}^3\text{]}$
	n = 3,73x 10 ⁻³ [mol]	
	R = 0,082 $\left(\frac{\text{atm} \times \text{l}}{\text{mol} \times \text{K}} \right)$	
	T = 298 [°K]	

Nota. El número de moles, es igual a la masa de hidrógeno.

Se determina el valor total de generación de hidrógeno, considerando el número de placas dentro del generador, véase tabla 12.

Tabla 12

Generación total de hidrógeno

Ecuación	Datos	Resultado
$V_{\text{total-H}} = \text{Nro placas} \times V_H$	Nro de placas = 9 placas	$V_{\text{totalH}} = 0,819 \text{ [L]}$
	$V_H = 0,091 \text{ [L]}$	$V_{\text{totalH}} = 8,19 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]}$

Nota. Obtenido de los autores.

De igual manera se calcula la cantidad de oxígeno que se genera en el reactor de hidrógeno, que mediante definición este será la mitad de hidrógeno producido en el reactor, véase tabla 13.

Tabla 13

Cantidad de oxígeno en el reactor

Ecuación	Datos	Resultado
$V_o = \frac{V_H}{2}$	$V_H = 0,091 \text{ [L]}$	$V_o = 0,045 \text{ [L]}$
		$V_o = 4,55 \times 10^{-8} \text{ [m}^3\text{]}$

Tomando en cuenta el número de celdas para determinar la cantidad total de oxígeno que se debe generar en el reactor de hidrógeno, véase tabla 14.

Tabla 14

Cantidad total de oxígeno generado en el reactor de hidrógeno

Ecuación	Datos	Resultado
$V_{\text{total-O}} = \text{Nro placas} \times V_{\text{O}}$	Nro de placas = 9 placas	$V_{\text{total-O}} = 0,405 \text{ [L]}$
	$V_{\text{O}} = 0,045 \text{ [L]}$	$V_{\text{total-O}} = 4,05 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]}$

Para la obtención total del flujo de HHO, se deben considerar el volumen total tanto de hidrógeno como de oxígeno.

Los datos resultantes se muestran en la tabla 15.

Tabla 15

Flujo total de HHO teórico

Ecuación	Nomenclatura	Resultado
$V_{\text{HHO}} = V_{\text{total-H}} + V_{\text{total-O}}$	$V_{\text{total-H}} = 0,819 \text{ [L]}$	$V_{\text{HHO}} = 1,224 \text{ [L]}$
	$V_{\text{total-O}} = 0,405 \text{ [L]}$	$V_{\text{HHO}} = 1,22 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$

El volumen que se genera en el reactor de hidrógeno por minuto es de $1,21 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ o (1,22 L), por lo que es suficiente para la cilindrada de los motores tanto gasolina como diésel, en el que se procede a implementar.

En los datos se considera que la salida de producción de hidrógeno se coloca directamente después del filtro de combustible.

Equipos utilizados en la implementación del reactor de hidrógeno

Tabla 16

Selección de componentes para el sistema de reactor de hidrógeno.

COMPONENTE	NORMATIVA	DETALLES
Burbujeador /depósito de hidrógeno	Acorde a: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE 2266:2000 Transporte, almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos.	<ul style="list-style-type: none"> - Depósito cilíndrico PVC resistente a la corrosión y oxidación. - Apto para soportar vibraciones y movimientos bruscos.
Mangueras de alta presión	Acorde a: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE 2266:2000 Transporte, almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos.	<ul style="list-style-type: none"> - Mangueras flexibles color azul. - Medidas: 3/8" x 1/4". - Resistentes a la intemperie, la corrosión y oxidación. - Diseñada para soportar temperaturas de hasta 150°C. - Se usarán para la conducción de electrolito e hidrógeno dentro del sistema de reactor de hidrógeno.
Acoples rápidos	Acorde a: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE 260:2010.	<ul style="list-style-type: none"> - Se busca un acoplamiento hermético, esto para no tener presencia de fugas tanto en las entradas como en las

COMPONENTE	NORMATIVA	DETALLES
Electrolito	<p data-bbox="448 285 886 449">Instalaciones de gases de combustibles para uso residencial, comercial e industrial.</p> <p data-bbox="448 554 886 651">Acorde a: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE 2288:2000.</p> <p data-bbox="448 709 886 869">Productos químicos industriales peligrosos. Etiquetado de precaución.</p>	<p data-bbox="1013 285 1409 382">salidas, ya sea del burbujeador o del generador.</p> <ul data-bbox="967 420 1409 1184" style="list-style-type: none"> - Se selecciona acoples rápidos 8mm de tipo neumáticos. - Para el reactor de hidrógeno se hace uso de hidróxido de potasio. - Dicho compuesto comprenderá el electrolito conjuntamente con agua destilada. - Al contacto de estos dos elementos se dará una reacción exotérmica.
Agua destilada	<p data-bbox="448 1226 873 1390">Acorde a: REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 055.</p> <p data-bbox="448 1449 688 1478">Aguas envasadas.</p>	<ul data-bbox="967 1226 1409 1659" style="list-style-type: none"> - Se recomienda que el agua destilada sea de la más alta calidad disponible. - Evitar presencia de minerales, los mismos que aportan a la oxidación. - Se usará la marca

COMPONENTE	NORMATIVA	DETALLES
Cable eléctrico	Acorde a: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE 0210:1978. Conductores, alambres y cables para uso eléctrico.	<p>Cálculo de sección del conductor. Para ellos se hace uso de la siguiente fórmula:</p> $S = P * \frac{L}{R}$ <p>Datos:</p> $P = 0,00416 \text{ mm}^2 * \frac{\Omega}{m}$ $L = 6 \text{ m}$ $R = 0,00265 \Omega$ $S = 0,00416 \text{ mm}^2 * \frac{\Omega}{m} * \frac{6 \text{ m}}{0,00265 \Omega}$ $S = 2,48 \text{ mm}^2 \approx 2,5 \text{ mm}^2$ <p>- Para el cableado eléctrico se usará cables de 4 mm^2 de sección con una capacidad de 30 A acorde a la corriente eléctrica que circula por el sistema de producción de hidrógeno.</p>
Relé	Acorde a: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE 0077:1976.	- Se selecciona un relé de uso común en el ámbito automotriz ($12\text{V}-30\text{Amp}$).

COMPONENTE	NORMATIVA	DETALLES
Conectores	<p>Símbolos gráficos para esquemas eléctricos. Contactos, interruptores, mandos mecánicos, arrancadores y elementos de relés electromecánicos.</p> <p>Acorde a: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE 0077:1976.</p> <p>Símbolos gráficos para esquemas eléctricos. Contactos, interruptores, mandos mecánicos, arrancadores y elementos de relés electromecánicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sus capacidades cumplen con los parámetros de funcionamiento, principalmente con el amperaje. - Para el correcto montaje y conducción del cableado se selecciona conectores de tipo Faston. - Cada conector va acorde a cada cable según su sección.
Switch Interruptor	<p>Acorde a: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE 0077:1976.</p> <p>Símbolos gráficos para esquemas eléctricos. Contactos, interruptores, mandos mecánicos, arrancadores y elementos de relés electromecánicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema de carga del vehículo va proporcionar de 12 a 14 V al reactor de hidrógeno, por ende, se selecciona un switch interruptor de tipo universal. - El switch interruptor seleccionado tiene un rango máximo de funcionamiento de 125 V – 30 Amp.

COMPONENTE	NORMATIVA	DETALLES
Amarras plásticas	N/D	- Se selecciona amarras plásticas de 30 cm de longitud para la sujeción de mangueras, evitando contacto con elementos del motor.

Nota. Se detalla las consideraciones que se tomó para la selección de los componentes más apropiados para el sistema de reactor de hidrógeno.

Implementación del reactor de hidrógeno

Según el Reglamento Europeo CE 79/2009 del 14 de enero del 2019 Artículo 10, se procede a la instalación del sistema de generación de hidrógeno en los dos vehículos de prueba especificados anteriormente.

El procedimiento que se explica, aplica para los dos vehículos seleccionados para la prueba:

- Chevrolet Luv D-max 3.0 CRDI.
- Kia Sportage.

Bases metálicas. La base metálica para el generador de hidrógeno debe instalarse necesariamente en la parte baja del motor debido al espacio disponible en el habitáculo del mismo.

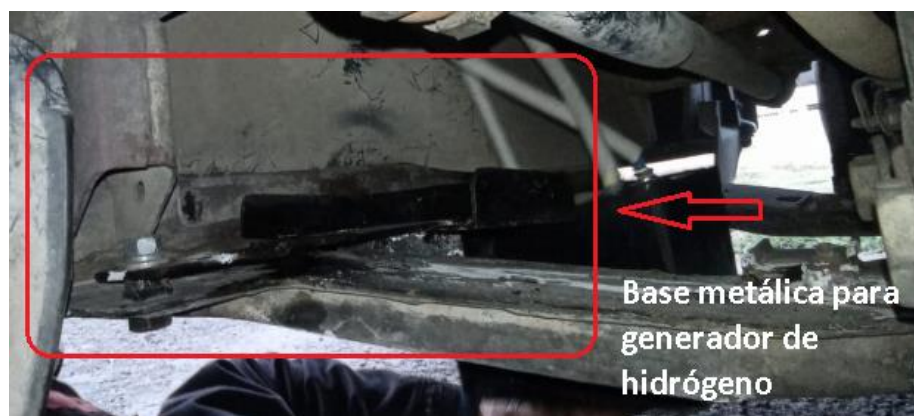
Para la correcta sujeción de este componente se recomienda los siguientes pasos:

- Colocar la base metálica fabricada a la medida, la cual va empernada en la parte izquierda delantera del bastidor del vehículo.

- Ajustar los pernos 14mm que sujetan la base metálica con un torque recomendado de 20N*m.

Figura 23

Base metálica para generador.



Nota. Se especifica la ubicación donde fue montada la base metálica para el generador de hidrógeno.

La base metálica que sujetará al burbujeador/depósito de electrolito se coloca en la parte superior del habitáculo del motor, específicamente al lado derecho de la batería, en la parte posterior del motor.

Para la correcta sujeción de este componente se recomienda los siguientes pasos:

- Colocar la base metálica fabricada a la medida, la cual va empernada en la base de sujeción de la parte posterior del motor, dicha base está ubicada al lado derecho de la batería, en la parte posterior del motor.
- Ajustar los pernos 14mm que sujetan la base metálica con un torque recomendado de 20N*m.

Figura 24

Base metálica para burbujeador



Nota. Se especifica la ubicación donde fue montada la base metálica para el burbujeador/Depósito.

Generador de hidrógeno. Ya instalada la base metálica respectiva colocar el generador de hidrógeno dentro de la base, teniendo en cuenta los siguientes aspectos.

- Ubicación de los acoples de las mangueras, tanto de entrada de electrolito como salida de hidrógeno.
- Ubicación de los conectores tanto positivo como negativo que alimentaran de corriente eléctrica al generador de hidrógeno, esto para evitar confusiones o corto circuito al momento de realizar las conexiones eléctricas.

Figura 25

Montaje de generador de hidrógeno



Nota. Se indica el montaje del generador de hidrógeno en su base metálica.

Burbujeador. Colocar en la parte derecha de la batería donde está acoplada su base metálica, teniendo en consideración el espacio suficiente para cerrar el capot sin ningún problema.

Figura 26

Montaje del burbujeador/depósito



Nota. Se indica la ubicación en donde se monta el burbujeador/depósito, sujetado firmemente a la base metálica hecha a la medida.

Mangueras. Son tres mangueras que conducirán electrolito, hidrógeno y oxígeno. Estas mangueras irán conectadas desde el generador de hidrógeno hasta el burbujeador.

Para una fácil instalación cada manguera va asegurada con acoples rápidos 8mm tipo neumáticos, simplemente se debe aplicar fuerza al introducir la punta de la manguera en el acople rápido.

Por la parte superior del burbujeador/depósito se tiene otro acople rápido por el cual será la salida del hidrógeno hacia el sistema de admisión del vehículo.

Todas las mangueras ya conectadas se sujetan al habitáculo del motor por medio de amarras plásticas para evitar problemas de torceduras o enredos de las mismas en otros sistemas del motor o elementos en movimiento.

Se recubre cada manguera con protección térmica para evitar cualquier percance por motivos de alta temperatura del motor o sus componentes.

Figura 27

Colocación de mangueras



Nota. Se muestra la colocación de las mangueras en el burbujeador/depósito sujetadas por los acoples rápidos de 8mm tipo neumático.

Conexiones eléctricas. Dentro de las conexiones eléctricas se establece mediante cálculos matemáticos que el cable ideal para los parámetros de funcionamiento es el AWG| 12 (calibre 12). Las características del cable seleccionado se especifican en la Tabla 3.

La alimentación eléctrica del generador de hidrógeno será controlada por un módulo automatizado. La activación se dará por el control de masa y la parte positiva de la conexión ira conectada directo al positivo de la batería, para evitar caídas de voltaje por otros componentes eléctricos del vehículo.

Por parte del burbujeador, este cuenta con medidor de nivel de electrolito el cual es alimentado por los mismos 12V que proporciona la batería.

Figura 28

Medidor de nivel de electrolito



Nota. El medidor cuenta con dos indicadores leds los cuales son de color rojo y naranja.

El led rojo se enciende cuando el nivel del electrolito sea demasiado bajo para un correcto funcionamiento. El led naranja se enciende cuando el nivel de electrolito es el ideal.

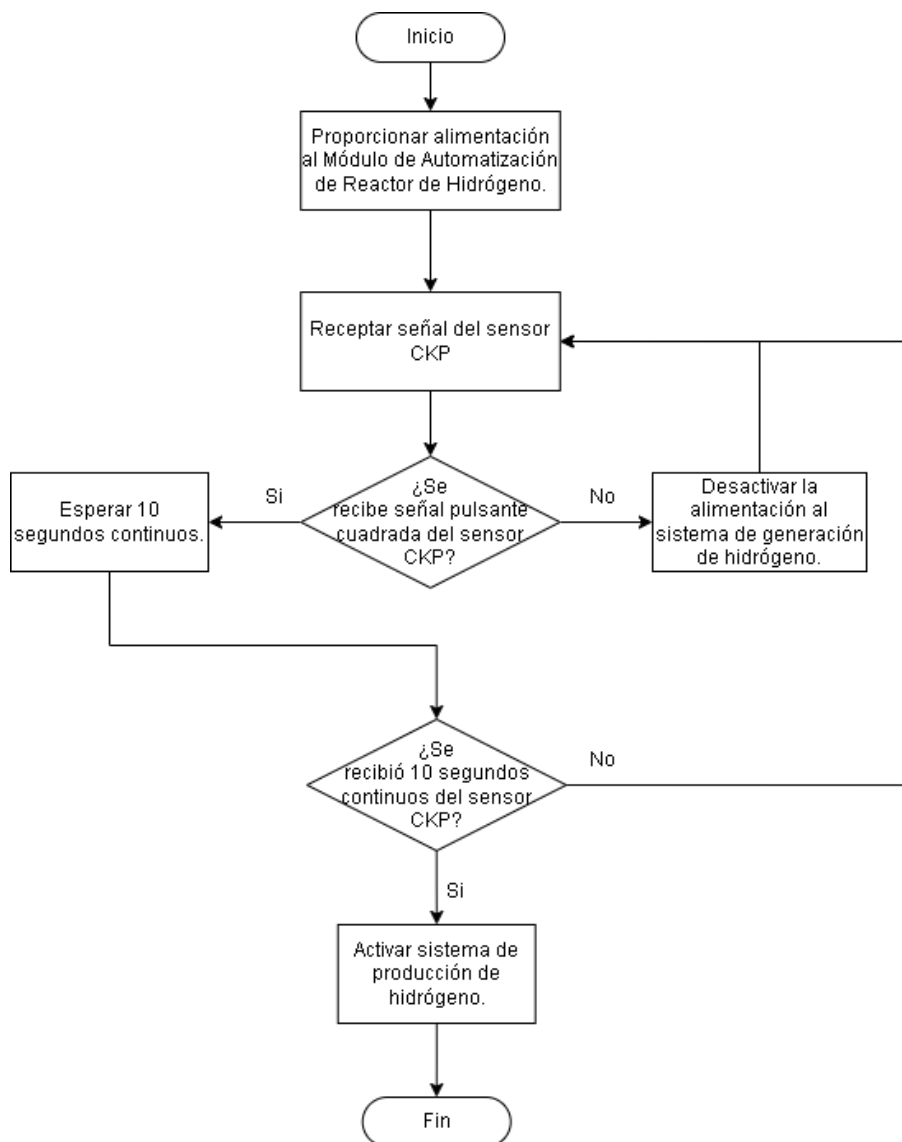
Módulo de automatización de reactor de hidrógeno

El sistema de generación de hidrógeno para el correcto funcionamiento debe cumplir con el requisito "KOER" (key on engine run), esto establece que el sistema debe estar en funcionamiento siempre y cuando el motor esté en funcionamiento. Para esto se toma la señal del sensor "CKP" (Sensor de posición de cigüeñal) el cual genera pulsaciones solo cuando el motor esté girando.

Para cumplir la condición se estableció el siguiente diagrama de flujo el cual es reflejado en la programación del módulo.

Figura 29

Funcionamiento lógico del módulo de encendido

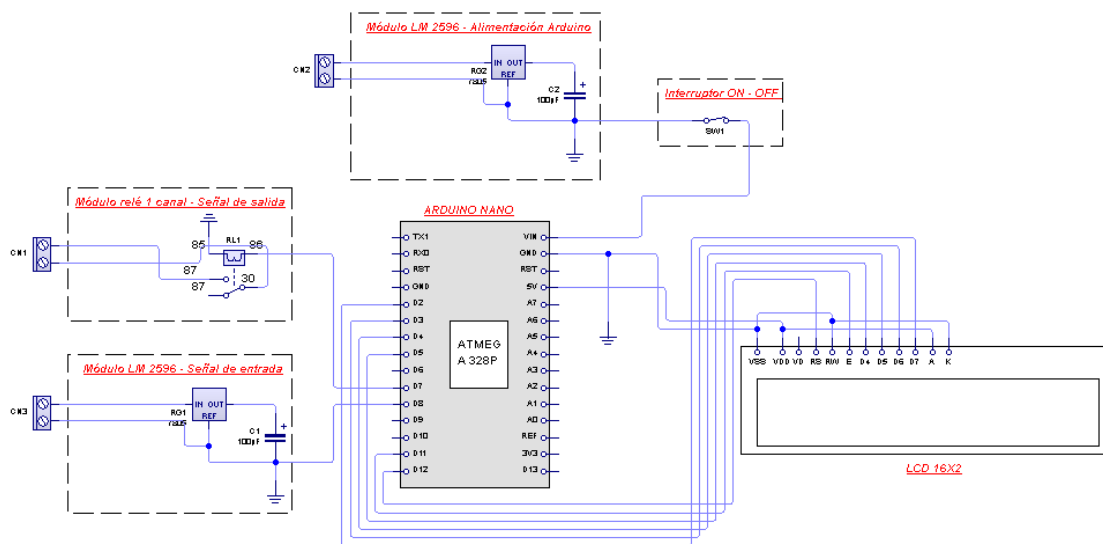


Nota. Esta secuencia va a reflejarse en la programación del Arduino nano.

Se procede a realizar simulaciones del hardware del módulo de automatización del reactor de hidrógeno para verificar su funcionamiento ante la condición establecida:

Figura 30

Simulación del hardware del módulo de encendido



Nota. Esquema eléctrico realizado en un software libre para su correcto entendimiento.

Para la construcción del módulo se utilizó:

- Arduino nano V3.
- 2 módulos reductores LM2596.
- Módulo relé 1 canal.
- LCD 1602.
- Cables DuPont M/M, H/H y M/H.
- Interruptor universal.
- Acoples rápidos para cable eléctrico.
- Termo fundente 5mm.

Figura 31

Funcionamiento del módulo de encendido del reactor de hidrógeno



Nota. Módulo de encendido montado dentro del vehículo de prueba.

Este módulo de automatización recibirá alimentación directamente de la batería del vehículo, por esto trabaja con valores de 12 a 14 V. La respectiva programación del Arduino nano se encuentra en el apartado de anexos.

Módulo de medición de flujo de hidrógeno

Para la correcta medición de la producción de hidrógeno se desarrolla un módulo de medición de flujo de hidrógeno, haciendo uso de los siguientes componentes:

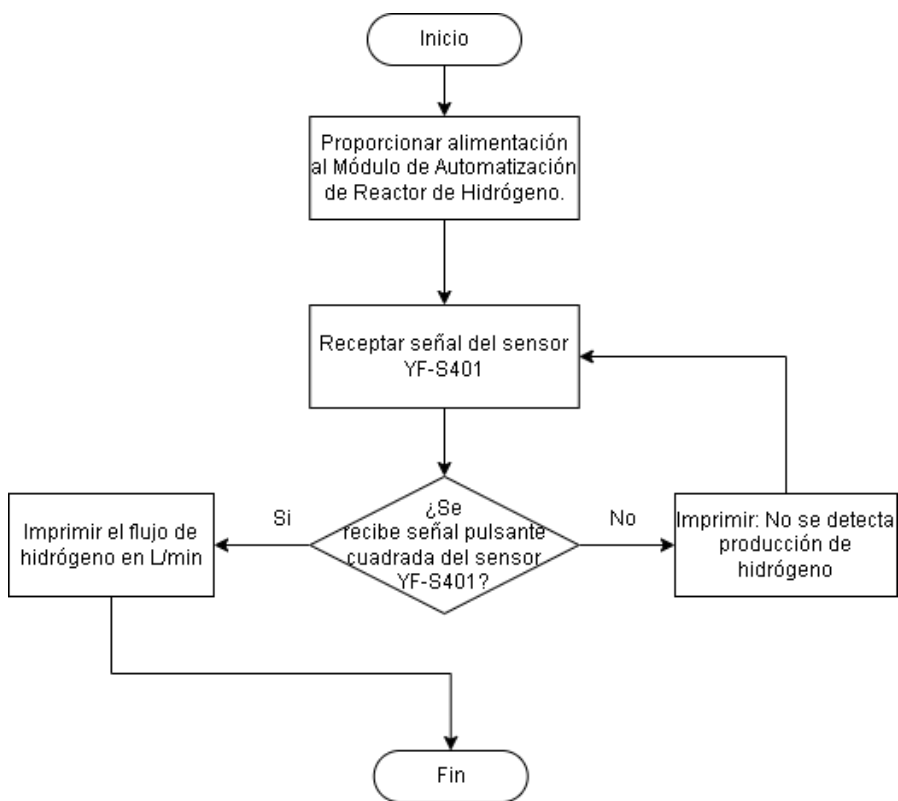
- Arduino UNO.
- LCD 1602.
- Cables DuPont M/M, H/H y M/H.
- Interruptor universal.
- Acoples rápidos para cable eléctrico.
- Termo fundente 5mm.
- Módulo reductor LM2596.
- Sensor YF-S401.

Con el uso del sensor YF-S401 se tiene la capacidad de medir hasta la menor cantidad de flujo producido por el sistema de generación de hidrógeno, debido a que el sensor tiene un rango de trabajo de 0.3 – 6 L/min.

Dentro de la lógica que debe seguir el módulo se estableció el siguiente diagrama de flujo que refleja el comportamiento adecuado del mismo.

Figura 32

Funcionamiento lógico del módulo de medición

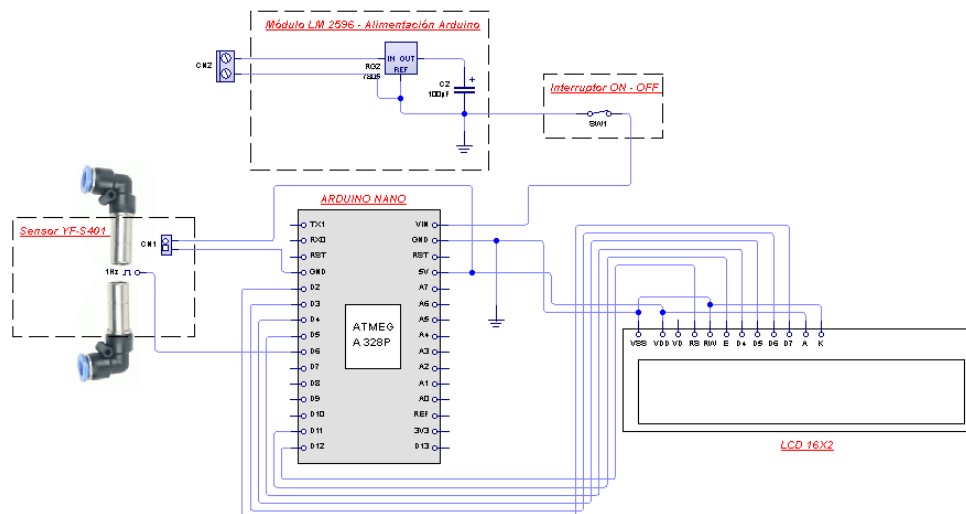


Nota. Se define la correcta lógica para la medición de flujo de hidrógeno.

Se procede a realizar simulaciones del hardware del módulo de medición de flujo de hidrógeno para verificar su funcionamiento ante la condición establecida:

Figura 33

Simulación del hardware del módulo de medición



Nota. Esquema realizado en el software libre LiveWire.

Con la verificación del correcto funcionamiento del módulo de medición de flujo de hidrógeno se procede a la conexión de los componentes y sensor para la implementación en el sistema de generación de hidrógeno.

Figura 34

Módulo de medición de flujo de hidrógeno



Nota. El contenedor del módulo se fabricó con las dimensiones mínimas posibles para la instalación dentro del habitáculo del vehículo.

Con esto se conoce la producción de hidrógeno en tiempo real, valor el cual se comprará con el valor calculado anteriormente en el apartado de Cálculo del flujo de hidrógeno del reactor de hidrógeno.

Figura 35

Medición de hidrógeno



Nota. Se comprueba la correcta medición de hidrógeno mediante el módulo.

Este módulo de medición recibirá alimentación directamente de la batería del vehículo, por esto trabaja con valores de 12 a 14 V. La respectiva programación del Arduino nano se encuentra en el apartado de anexos.

Obtención del electrolito base para el generador de hidrógeno.

Para la preparación de electrolito se recomienda evitar el contacto del KOH con la piel, para esto usar medidas de protección como:

- Guantes de protección.
- Gafas de protección.
- Mascarilla.

Tener en cuenta la proporción ideal para la mezcla de hidróxido de potasio y agua destilada la cual es 190/1. Esto representa que por cada 190 partes de agua destilada debe existir 1 parte de KOH.

Se determina las unidades manejables para la correcta proporción de mezcla, en 1 gal. de agua destilada debe existir aproximadamente 80gr. de KOH. Para una correcta mezcla se la debe realizar en un contenedor aparte, para tener la posibilidad de agitar la mezcla hasta que se disuelva completamente el KOH.

Comprobación y verificación del reactor de hidrógeno

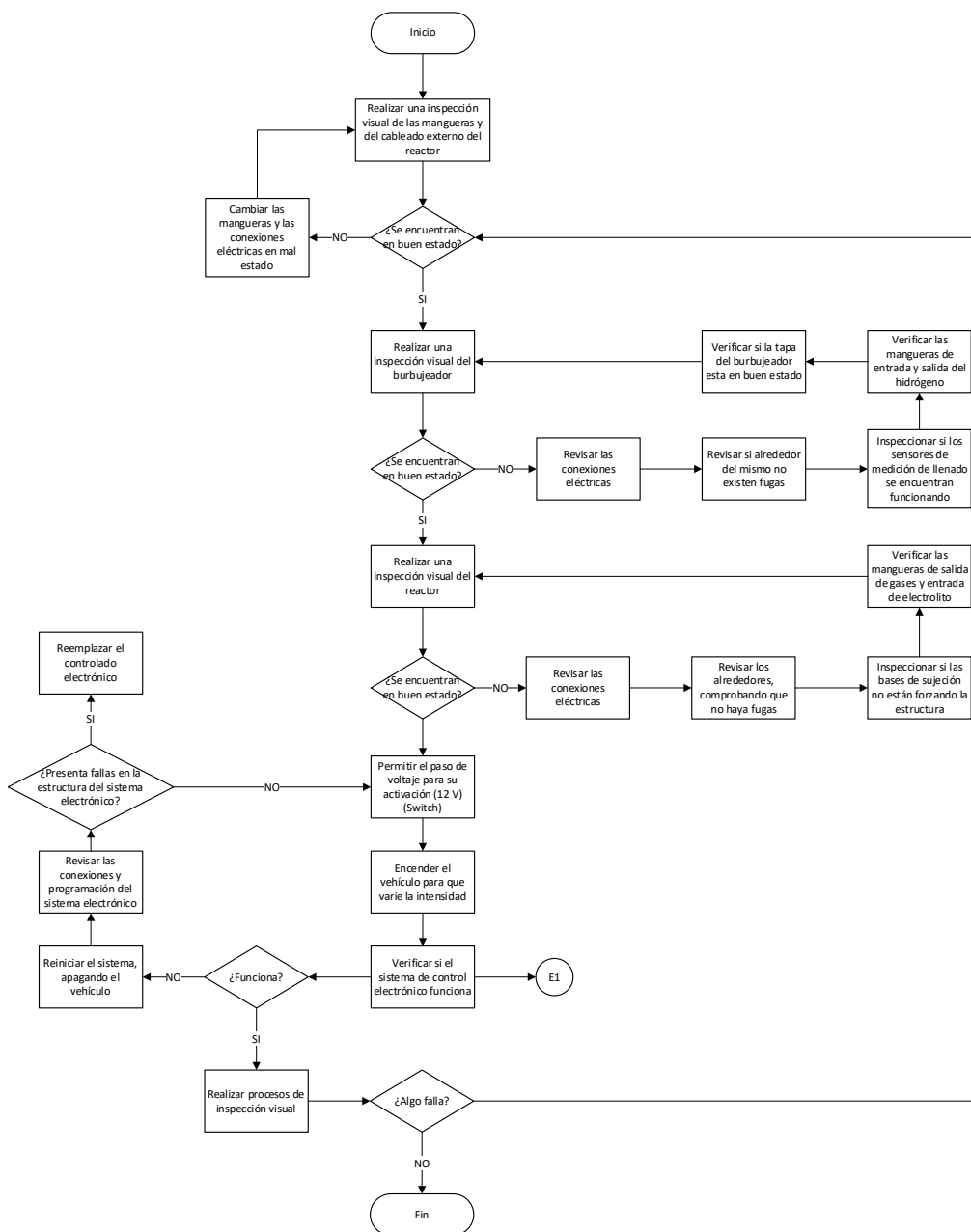
Comprobación. Para la comprobación del sistema se define los siguientes pasos:

1. Encender el vehículo y esperar a que este llegue a su temperatura de funcionamiento nominal, en este caso es de (80 – 95 °C).
2. Encender el módulo de control de encendido del reactor de hidrógeno, mediante el interruptor que este dispone, y observar las mangueras del burbujeador ya por estas pasaran burbujas de hidrógeno, dando un visto bueno a su correcto funcionamiento.
3. Retirar de manera adecuada la manguera mediante el acople que este dispone, (reducción de 8 mm a 5 mm) presionando el seguro que este dispone para poder sacarla.
4. Colocar la manguera dentro de un recipiente que contenga agua y jabón.
5. De manera inmediata al sumergir la manguera se observan burbujas en la superficie, acercar cuidadosamente una llama para que esta combustione, tomando en cuenta que este tipo de generador produce tanto hidrógeno que se traduce en una explosión instantánea y oxígeno alterando la combustión propia de la misma, de tal manera que la explosión aumenta. De esta manera se comprueba la existencia de hidrógeno producida.

Verificación. Para la verificación del sistema generador de hidrógeno se tienen que tomar en cuenta todos los componentes que este dispone, en la figura 32 se determina el procedimiento para la verificación del mismo.

Figura 36

Verificación del generador de hidrógeno



Nota. La verificación se basa en revisar los componentes para un buen funcionamiento.

Mantenimiento del generador de hidrógeno y módulo de encendido

Para el mantenimiento del generador de hidrógeno se debe tomar en cuenta el kilometraje de funcionamiento del vehículo, en la tabla 17 se especifica el kilometraje para el cambio de eléctrico del vehículo.

Tabla 17

Mantenimiento del generador de hidrógeno

Mantenimiento del generador de hidrógeno					
			Comprobación	Limpiar el	Retirar el
	Comprobación del nivel de electrolito en el burbujeador.	Comprobar que ningún elemento de conexión del generador de hidrógeno (Mangueras) tenga daños o torceduras	de fugas en el sistema, este se puede realizar soplando en la manguera de salida de hidrógeno, con el vehículo apagado	sistema con la utilización de vinagre y agua para que se desprenda toda impureza de las placas, haciéndolo funcionar 1 hora	agua con vinagre y llenarlo nuevamente de agua destilada con hidróxido de sodio (1 gramo de KOH/47 ml Agua destilada)
Detalle					
Kilometraje	Tomando en cuenta el indicador de nivel del mismo				
150	✓	✓			
300		✓	✓		
450	✓	✓			
600		✓	✓		

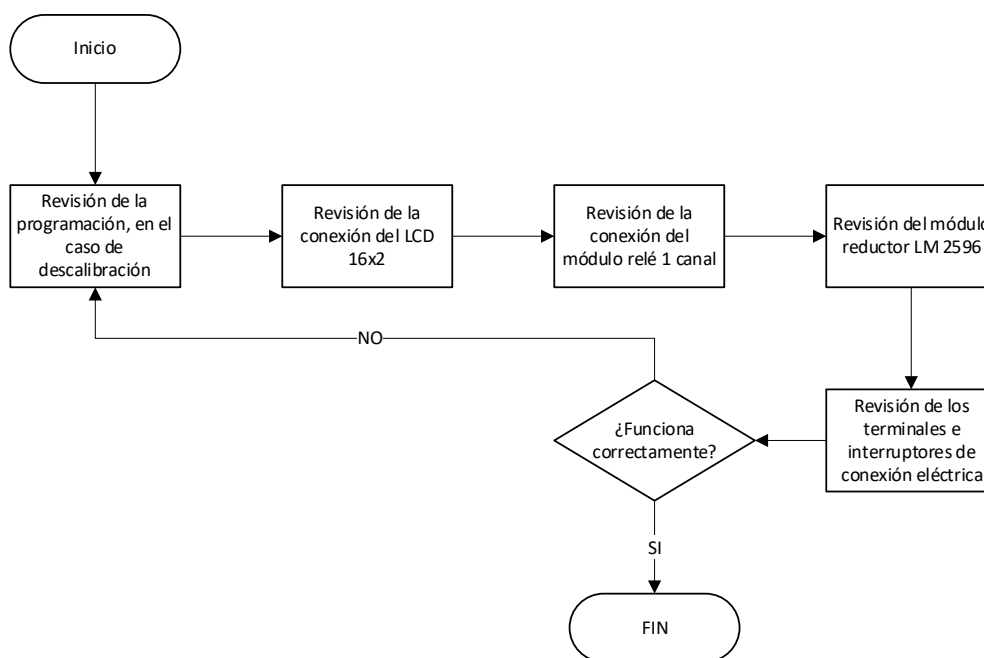
Mantenimiento del generador de hidrógeno					
750	✓	✓			
900		✓	✓		
1000	✓	✓		✓	✓

Mantenimiento del módulo de encendido

Para el correcto mantenimiento de los módulos de encendido se debe tomar en cuenta las conexiones de los mismos, la programación y su estado, por ello en la figura 33, se detalla un proceso para su revisión.

Figura 37

Proceso de mantenimiento del módulo de encendido del generador de HHO - EI



Nota. Es importante tener en cuenta el entorno donde se coloca el módulo para que este desarrolle un buen funcionamiento.

Capítulo IV

Resultado de la investigación

Determinación de la cantidad de electrolito para la producción de hidrógeno

Para que exista una mayor cantidad de hidrógeno en el motor, se realizan pruebas para determinar la cantidad óptima de solución en este caso de Hidróxido de Potasio (KOH) para la generación de hidrógeno. Véase anexo 1. En la tabla se puede observar las pruebas que se realizaron a diferente cantidad y amperaje del mismo.

Tabla 18

Pruebas de electrolito

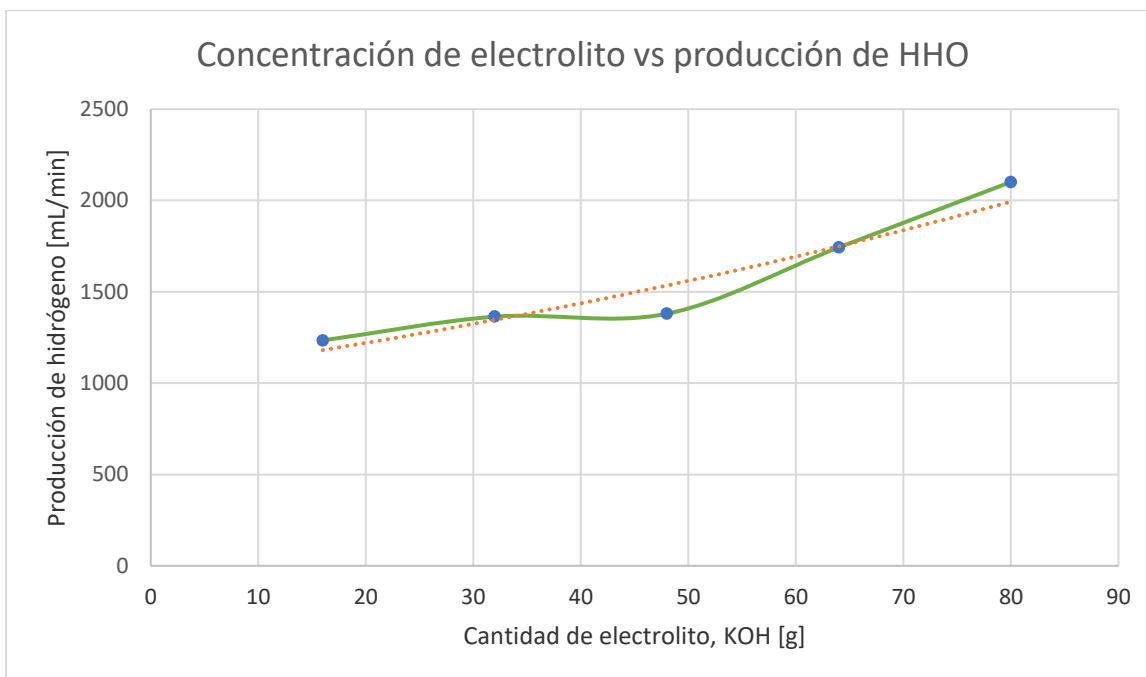
Comprobación de funcionamiento del reactor de hidrógeno						
Prueba	Cantidad de solución [g]	Cantidad de agua destilada [ml]	Voltaje del generador de hidrógeno [V]	Consumo de corriente [A]	Generación de hidrógeno [ml/min]	Temperatura del reactor de hidrógeno [°C]
1	16	3785	13,96	2,43	1234	30
2	32	3785	13,53	3,16	1364	35
3	48	3785	13,12	4,25	1380	35
4	64	3785	12,95	5,82	1743	37
5	80	3785	12,90	6,48	2101	39

Nota. La prueba de comprobación de hidrógeno al inicio explotaba de manera leve, sin embargo, con una mayor concentración la explosión era mejor, dando mejores resultados.

De tal manera en la siguiente figura se observa los datos de manera grafica para su fácil entendimiento, tomando en cuenta la cantidad de solución por la cantidad de hidrógeno generada por minuto.

Figura 38

Cantidad de solución para la generación de hidrógeno



Nota. Mientras mayor sea la cantidad de la concentración de electrolito y agua destilada mayor va a ser la generación de hidrógeno, tomando en cuenta que no se debe exceder para no afectar la vida útil de las placas del mismo.

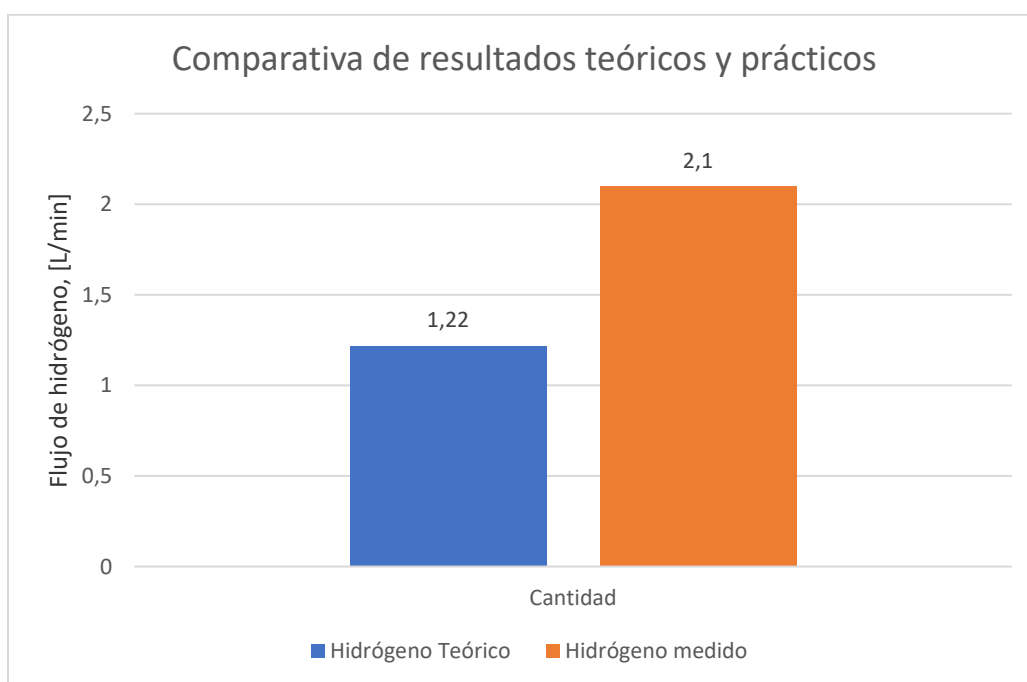
Comparación datos teóricos y datos reales del flujo de hidrógeno

La determinación mediante los calculo analizados en el capítulo 3, demuestran que se tiene una cantidad de 1,22 L/min, dicho cálculo se realiza con base a la cantidad de placas del cátodo y anodo correspondiente y también con respecto a el contacto que tiene las placas con el electrolito.

Mediante la programación de un módulo de medición de flujo de hidrógeno detallado en el capítulo 3, se tiene un flujo de hidrógeno de 2,1 L/m la cual es mucho mayor a la esperada, en la siguiente figura 34 se puede observar de manera adecuada los datos obtenidos del flujo del mismo.

Figura 39

Comparación del flujo de hidrógeno



Nota. La cantidad de flujo teórico de hidrógeno es menor debido a que no se tiene una referencia exacta de todos los factores y entorno donde trabaja el generador.

Se determina mediante el análisis de datos obtenidos teóricamente y los datos prácticos, que aumenta un 58 % de producción de hidrógeno con respecto al cálculo realizado, esto debido a que el generador de hidrógeno se encuentra a una determinada distancia del motor y cuando este está en funcionamiento aumenta la temperatura del generador, por ello se toma en cuenta que al aumentar la temperatura de la reacción que se produce entre las placas y el electrolito aumenta la efectividad de la energía de las moléculas de hidrógeno y oxígeno,

por ende, con un incremento de aproximadamente 10 °C en la temperatura del generador puede duplicar la generación del mismo, en este caso el generador trabaja a una temperatura máxima de 35 °C.

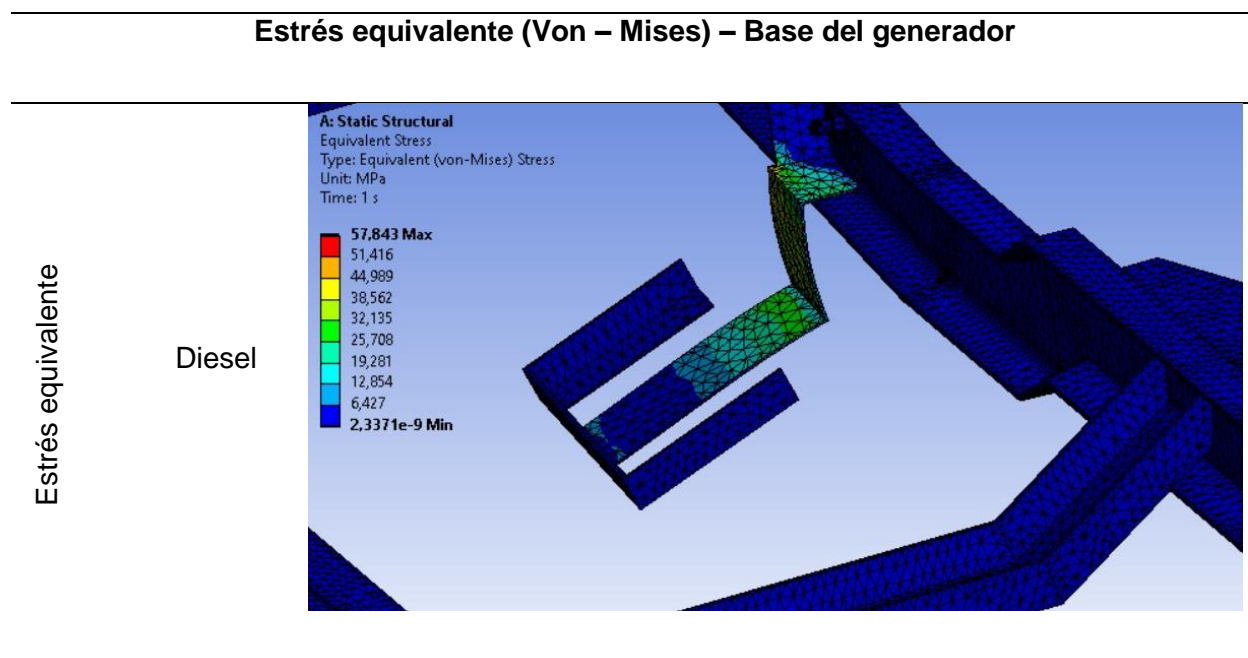
Análisis de soportes del generador y burbujeador

Para la consideración de las estructuras de soporte del generador de hidrógeno como del burbujeador, estas deben estar aproximadamente a 50 cm mínimo de tomas de aire, electroventilador, entradas de aire acondicionado y de distintos componentes que pueda afectar al generador o a su vez al propio vehículo.

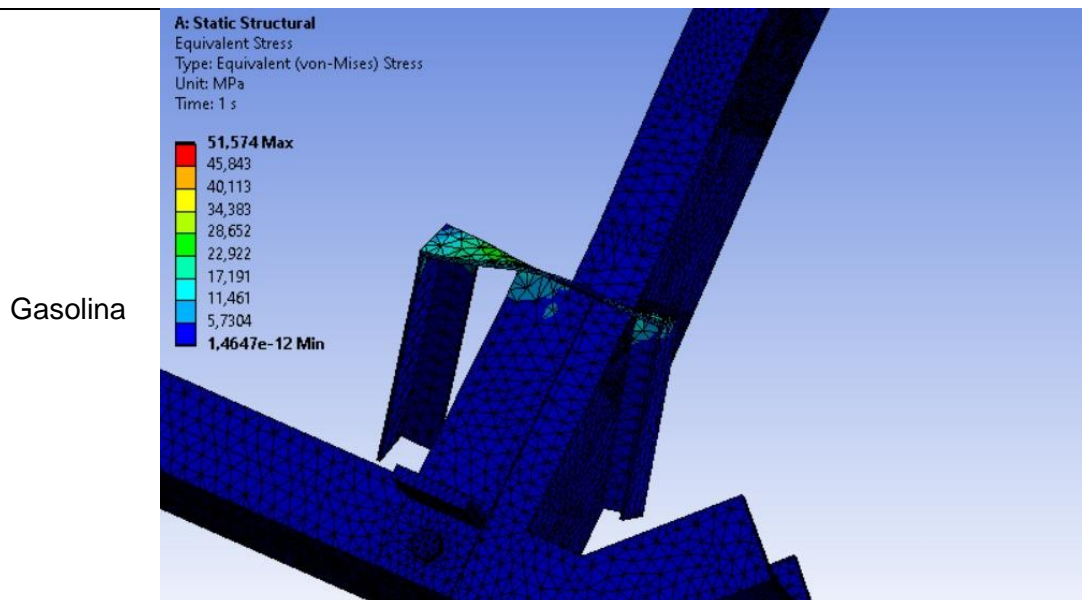
El análisis muestra la simulación del peso del generador de hidrógeno y del burbujeador, analizando la deformación, el estrés estructural y el factor de seguridad, en las siguientes tablas se puede observar los distintos estudios realizados.

Tabla 19

Análisis del estrés de Von Mises de las bases del generador de HHO



Estrés equivalente (Von – Mises) – Base del generador



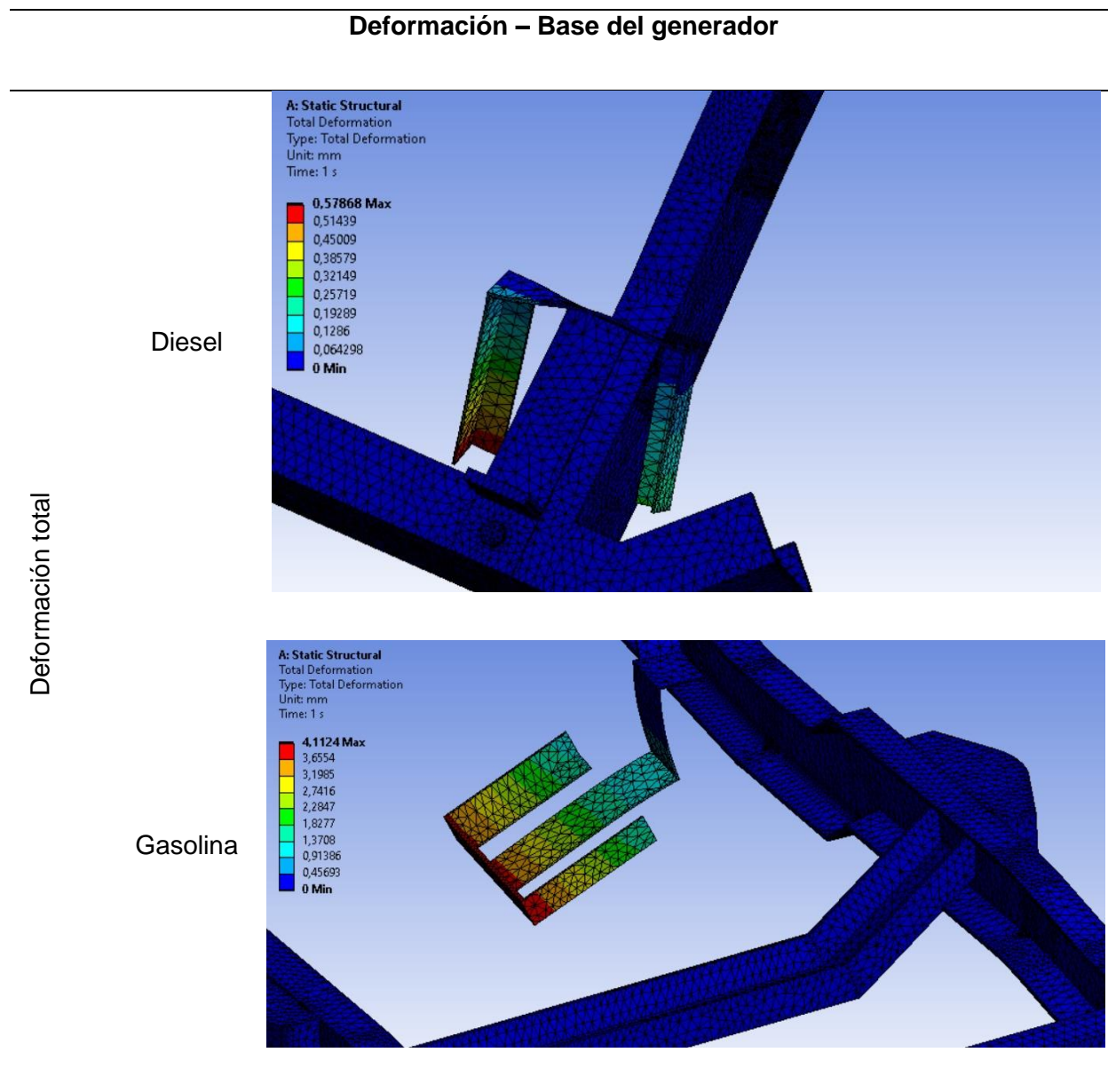
En el caso del estrés equivalente en las bases de soporte del generador de hidrógeno, al estar suspendidas y no tener un punto de apoyo en la base del mismo en el caso del vehículo a gasolina.

El hecho que no cuente con su punto de apoyo va a generar un estrés en la parte que tiene una fijación por un perno, sin embargo, esta no se ve afectada de mayor manera en el vehículo a diésel debido a que esta si dispone de un soporte en el cuadro del propio habitáculo del motor.

Con un estrés estructural máximo de 57,843 MPa en el caso del diésel y 51,57 MPa en el caso de gasolina, este no se verá afectado ya que no sobrepasa los 345 MPa del límite de fluencia mínimo que dispone el acero estructural para que este se fracture.

Tabla 20

Análisis de la deformación de las bases del generador de HHO

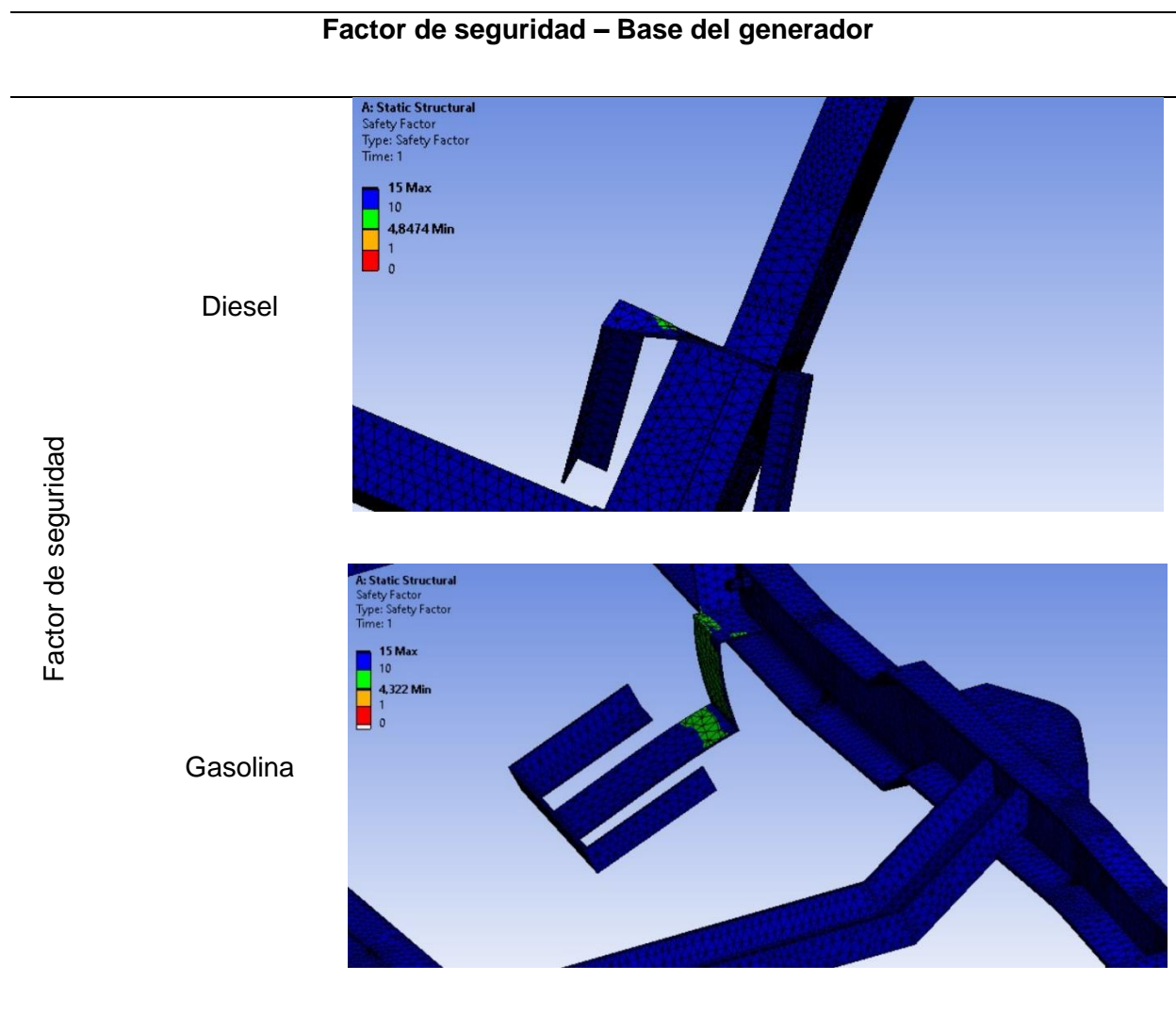


La deformación máxima que se produce en las bases del generador de hidrógeno en el vehículo gasolina es de 4,1124 mm debido a que esta no tiene una estructura de soporte para el peso del generador, en el caso del vehículo diésel tiene una deformación máxima de 0,5786

mm, esta es menor ya que al estar con una estructura de apoyo no va a generar una deformación excesiva. Sin embargo, los datos están dentro de los parámetros normales de funcionamiento ya que está formado de acero estructural.

Tabla 21

Análisis del factor de seguridad de las bases del generador de HHO



El factor de seguridad determina una falla, es decir, que el material se fracture, deforme, entre otras condiciones. Para el caso del vehículo diésel, el factor de seguridad de las bases del generador de hidrógeno es de 4,84 y en el caso del vehículo gasolina es de 4,32 que están

dentro de los estándares ingenieriles, con un rango entre [3 – 5] esto asegura que el material y el diseño del mismo, no va a sufrir ninguna falla.

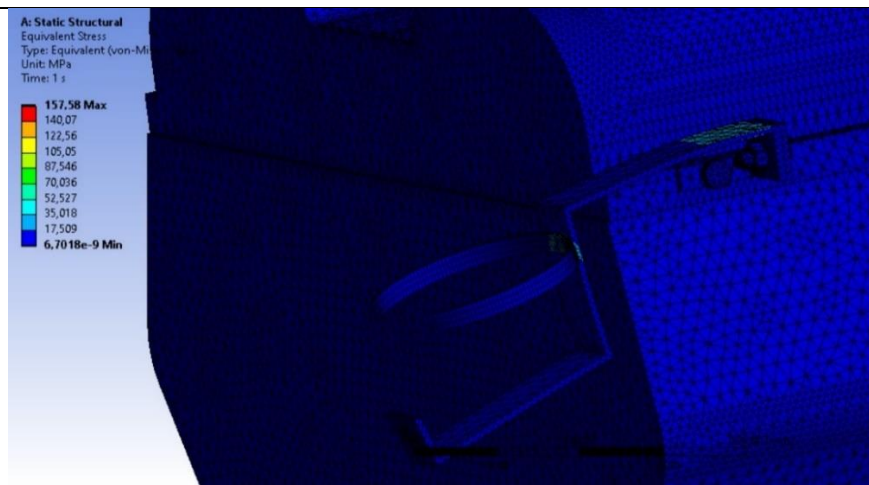
Tabla 22

Análisis del Estrés de Von - Mises de la base del burbujeador

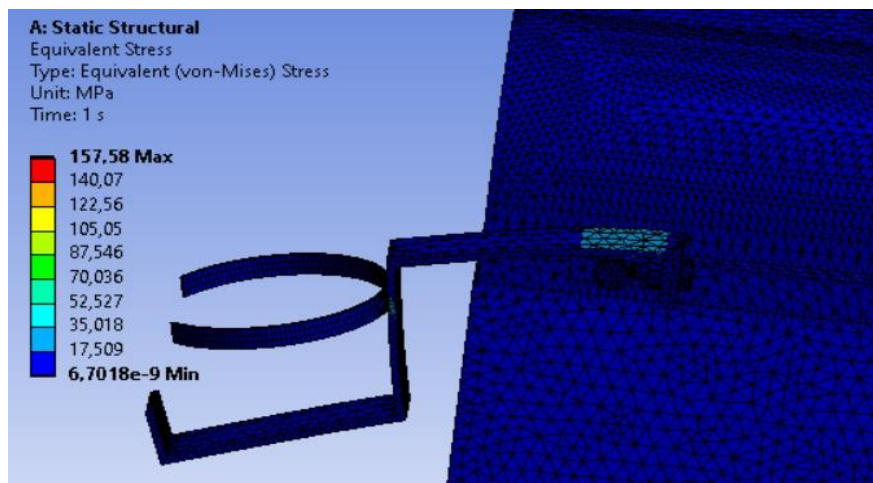
Estrés equivalente (Von – Mises) – Base del generador

Estrés equivalente

Diesel



Gasolina



En este caso las bases para el burbujeador, tanto diésel como gasolina se encuentran ubicadas en una misma posición la cual es alado de la batería, debido a su fácil acceso y

ubicación. En el caso del estrés equivalente de las bases montadas en el vehículo diésel es de 157,58 MPa, el cual es el mismo para las bases del vehículo gasolina, dicho estrés está dentro del rango mínimo del acero estructural que es de 345 MPa, de tal manera que el material no va a ceder.

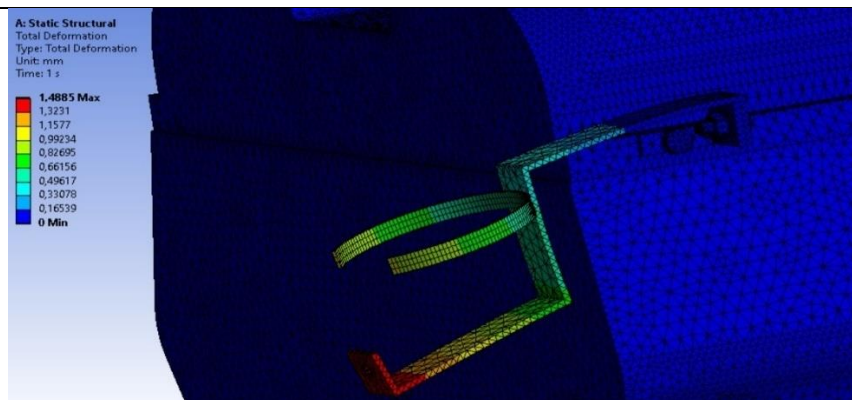
Tabla 23

Análisis de la deformación en las bases del burbujeador

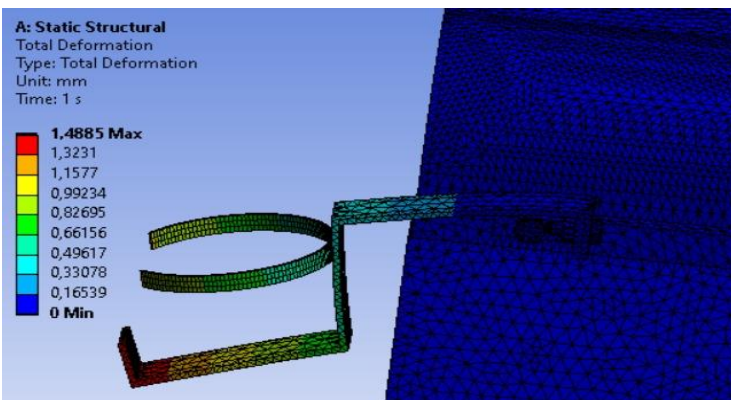
Deformación – Base del generador

Deformación total

Diesel



Gasolina



La deformación en la base del burbujeador del vehículo diésel, es la misma que en el vehículo gasolina, ya que al estar colocada en una misma posición y con una fijación en el motor, esta tiende a generar unas pequeñas vibraciones, sin embargo, dichas vibraciones no repercuten en el funcionamiento del mismo. La deformación total de la base es de 1,4885 mm no es mucha a comparación de la base del generador, esta soporta un menor peso, únicamente del generador y su contenido de electrolito.

Tabla 24

Análisis del factor de seguridad de las bases del burbujeador

Factor de seguridad – Base del generador	
Diesel	
Gasolina	

Factor de seguridad

El factor de seguridad para la base del generador en el vehículo diésel, y en el vehículo gasolina son las mismas debido a la posición y el método de fijación con el que están montados, por ende, se tiene un factor de seguridad de 7,15 siendo este un valor muy aceptable debido a que este tipo de base ni soporta mayor carga del burbujeador, incluso siendo está un poco más alta que la recomendada en el diseño ingenieril. Pero este factor de seguridad determina cuan seguro es este diseño.

Capítulo V

Marco administrativo

Financiamiento

Para el desarrollo del proyecto, se considera un financiamiento propio por parte de los desarrolladores del proyecto, por ende, se detallan los recursos que son indispensables para el desarrollo del mismo.

Recursos humanos

Se define a todas las personas que actúan en el desarrollo del proyecto, véase tabla 18.

Tabla 25

Recursos humanos

Nombre	Función
Jinson Wladimir Colcha Tuquerres	Investigador
Josue Abraham Gonzalez Heras	Investigador
Ing. Leonidas Antonio Quiroz Erazo	Director del proyecto

Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos son los diferentes medios, mediante los que se realizan las distintas simulaciones de los circuitos de funcionamiento, identificados en la tabla 19.

Tabla 26*Recursos tecnológicos*

Recurso	Detalle
Informáticos	Software diseño de circuitos eléctricos
	Software programación Arduino
	Software diseño estructural
Bibliográficos	Internet
	Libros
	Revistas científicas
Herramientas y equipos	Multímetro automotriz
	Llaves mixtas
	Destornilladores
	Rachas
	Módulo de medición de flujo de hidrógeno
	Módulo de automatización del reactor de hidrógeno

Recursos materiales

En la tabla 19 se detalla todos los materiales que se utilizaron durante la realización del proyecto.

Tabla 27*Recursos materiales*

Material	Cantidad
Placas de acero inoxidable 302	9
Acero inoxidable 316L	9
Agua destilada	2 galones
Hidróxido de potasio	200 gramos
Terminales	10
Cable AWG 12	6 metros
Manguera 8 mm	10 metros
Arduino	2
Interruptores	2
Aislante térmico	6 metros
Cinta aislante	2
Fusibles	2
Amarras	10
Vehículo Kia Sportage	1
Vehículo Chevrolet Luv D - Max	1
Pernos, tuercas y arandelas	5 c/u
Separadores	9
Teflón	1
Tubo PVC	1
Arduino UNO	1

Material	Cantidad
LCD 1602	2
Cables DuPont M/M, H/H y M/H	3
Interruptor universal	2
Acoples para cable eléctrico	8
Termo fundente 5mm	1 metro
Módulo reductor LM2596	3
Sensor YF-S401	1
Arduino nano V3	1
Módulo relé 1 canal	1

Costo de construcción e implementación

En el desarrollo del proyecto se consideran una gran cantidad de materiales y herramientas que son necesarias para la realización del mismo, por ello se detalla el costo total de cada una de ellas, desarrollados en la tabla 21.

Tabla 28

Costo neto del proyecto

Material	Costo total [\$]
Placas de acero inoxidable 302	135
Acero inoxidable 316L	140
Agua destilada	3,50
Hidróxido de potasio	5
Terminales	1,20

Material	Costo total [\$]
Cable AWG 12	4,20
Manguera 8 mm Ø	20
Manguera 5 mm Ø	15
Interruptores	1,50
Aislante térmico	7,50
Cinta aislante	3
Fusibles	2
Amarras	4
Pernos, tuercas y arandelas	7,50
Separadores	70
Teflón	1
Tubo PVC	4
Arduino UNO	9
LCD 1602	8,40
Cables DuPont M/M, H/H y M/H	7,50
Acoples rápidos para cable eléctrico	3,20
Termo fundente 5mm	1
Módulo reductor LM2596	9
Sensor YF-S401	10
Arduino nano V3	13
Módulo relé 1 canal	1
TOTAL	486.50

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La investigación teórica científica se realizó con éxito por lo cual se obtuvo el conocimiento para realizar los cálculos necesarios y así obtener datos teóricos los cuales fueron comparados con los datos reales medidos, obteniendo resultados favorables en lo que respecta a generación de hidrógeno.

Para la instalación adecuada se estudió exhaustivamente la correcta ubicación de los componentes del sistema de generación de hidrógeno, así evitando problemas con el montaje y desmontaje, sistemas de motor, carrocería y/o latonería.

Con la selección correcta de componentes acorde a las exigencias y entorno físico al que va estar expuesto el sistema de generación de hidrógeno, se logra construir un reactor de hidrógeno que satisface las perspectivas del proyecto y supera la producción de hidrógeno estimada mediante cálculos matemáticos.

Con la investigación y análisis previo de ubicación, se logró la instalación adecuada del sistema de generación de hidrógeno sin contratiempos, esto haciendo uso correcto del equipo mecánico y electrónico necesario para la instalación, y del equipo de seguridad para la preparación y suministro del electrolito sin riesgo alguno para el usuario.

Recomendaciones

Para la implementación del generador de hidrógeno se debe tomar en cuenta el lugar donde se requiere colocar, esto tomando en cuenta las normas de ubicación de los sistemas de hidrógeno, las bases deben colocarse de manera fija y de fácil acceso, sin afectar los componentes propios de los motores.

Es de vital importancia que el motor tanto del vehículo diésel como del vehículo a gasolina, estén en óptimas condiciones ya que el hidrógeno al generar una explosión mucho más agresiva dentro de la cámara de combustión, conlleva a un aumento de temperatura y se traduce en el desgaste de los componentes del mismo, por ejemplo: pistón, biela y bulón, etc. Por ende, el sistema de lubricación de los motores debe estar correctamente funcionando para que cumpla su funcionamiento óptimo y refrigere a todo el sistema.

Se debe mantener un nivel de electrolito correcto, para que el sistema generador de hidrógeno funcione de manera óptima, esto revisando los leds del módulo de nivel de electrolito que dispone el burbujeador. De tal manera que la cantidad de electrolito sea de 80gr de KOH por cada galón (3,7 L) de agua destilada, debido a que esta fue la opción que generaba una mayor cantidad de hidrógeno suficiente para la relación de compresión que tienen los motores.

Realizar una limpieza periódica del generador de hidrógeno, en este caso al ser un generador de celda seca, se utiliza ácido acético conocido como Vinagre y agua destilada. Se debe realizar dicha limpieza por aproximadamente 20 minutos, con el vehículo encendido, esto para que se desprendan todas las impurezas que tiene la placa del cátodo (+), ya de igual manera que se retire el óxido que se produce en la placa del cátodo (+), esta es la más importante debido a que es ahí donde se disocia el hidrógeno y el oxígeno.

Bibliografía

- Academy, K. (2022). *Acerca de nosotros: Khan Academy*. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de khanacademy Web Site:
<https://es.khanacademy.org/science/physics/thermodynamics/temp-kinetic-theory-ideal-gas-law/a/what-is-the-ideal-gas-law>
- Adelca. (2022). *Acreca de nosotros: Adelca company*. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de adelca.com Web Site: <https://www.adelca.com/producto.php?nom=PLETINAS&cat=1>
- Alonso, J. M. (2001). *Técnicas del automóvil - Equipo eléctrico* (Séptima ed.). Madrid, España: ITE/LATIN AMERICA. Recuperado el 20 de Junio de 2022
- Al-Rousan, A. A. (2010). Reduction of fuel consumption in gasoline engines. *Elsevier*, 12933. doi:10.1016/j.ijhydene.2010.08.144
- Al-Rousan, A., & Musmar, S. (2011). Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines. *Elsevier*, 3067-3068. doi:10.1016/j.fuel.2011.05.013
- Arduino. (2022). *Acerca de nosotros: Arduino Company*. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de Arduino.cc Web Site: <https://docs.arduino.cc/learn/programming/sketches>
- Calleja, D. G. (2011). *Motores* (Primera ed.). (C. Lara, Ed.) Madrid, España: Paraninfo, S.A. Recuperado el 20 de Julio de 2022, de https://books.google.com.ec/books?id=LJr_JQaw29kC&printsec=frontcover&dq=motore+s+de+combustion+otto+y+diesel+libro&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- Cervera Ruiz, M., & Blanco Díaz, E. (2015). *Resistencia de materiales*. Barcelona, España: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de <http://cervera.rmee.upc.edu/libros/Resistencia%20de%20Materiales.pdf>
- Denton, T. (2016). *Sistemas Eléctrico y Electrónico del Automóvil* (Primera ed.). España: MARCOMBO, S.A. Recuperado el 20 de Junio de 2022
- Díaz, J. P. (2020). *ESTADO DEL ARTE USO DEL HIDRÓGENO Y HHO EN APLICACIONES AUTOMOTRICES*. Instituto nacional de eficiencia energética y energías renovables, Quito. Recuperado el 10 de Mayo de 2022, de https://www.researchgate.net/profile/Juan-Diaz-104/publication/340719811_ESTADO_DEL_ARTE_USO_DEL_HIDRÓGENO_Y_HHO/links/5e99e389a6fdcca78920761b/ESTADO-DEL-ARTE-USO-DEL-HIDRÓGENO-Y-HHO.pdf
- Díaz-Rey, Á. O., González-Gil, J. E., & González-Estrada, O. A. (2017). Análisis de un generador de HHO de celda seca para su aplicación en motores de combustión interna. *Revista UIS Ingenierías*, 17, 3-7. doi:<https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018013>
- Dominguez Soriano, E. J., & Ferrer Ruiz, J. (2008). *Mecánica del vehículo* (Primera ed.). Editex. Recuperado el 20 de Junio de 2022
- Évora, F. E. (2006). *Apuntes sobre el concepto de equivalente químico*. Institución Jaime I, Departamento de Química Inorgánica y Orgánica. Castellon: Real Sociedad Española de Química. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2082912.pdf>
- Fink G., D., Wayne H., B., & Carroll M., J. (1981). *Manual práctico de electricidad para ingenieros* (Vol. Primero). Barcelona, España: McGrawHill-Hill, Inc. Recuperado el 20 de Junio de 2022

- Frey, R. (2020). *Acerca de nosotros: glpautogas.info*. Recuperado el 23 de Mayo de 2022, de glpautogas.info Web Site: <https://www.glpautogas.info/es/camionetas-hidrógeno-ecuador.html>
- García, J. S. (2014). *Hidrógeno y energías renovables: Soluciones para un mañana sustentable* (Primera ed.). Mexico DF, Mexico: Editorial Trillas S.A. doi:ISBN 978-607-17-1788-7
- Isgró, M. d. (2015). *Acerca de nosotros: Repositorio de la Universidad Tecnológica Nacional*. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de Repositorio institucional abierto Web Site: <https://ria.utn.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12272/3266/EI%20hidr%20como%20vector%20energ%20a%20su%20obten%20por%20electr%20lisis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jodra, L. G. (2005). El hidrógeno combustible del futuro. *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)*, 2-3. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de <https://rac.es/ficheros/doc/00447.pdf>
- Juarez Sandoval, A., Cruz Gomez, M. A., Juárez Cerón, T. A., & Ochoa Barragan, J. F. (10 de Marzo de 2018). Characterization of cell for hydrogen production in order to generate alternative fuel for internal combustion engines. *Revista de energías renovables*, 2-5. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Energias_Renovables/vol2num6/Revista_de_Energias_Renovables_V2_N6_3.pdf
- Linares Hurtado, J. I., & Moratilla Soria, B. Y. (2007). *El hidrógeno y la energía*. (A. Aguilera, Ed.) Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas. Recuperado el 24 de Mayo de 2022, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56956124/el_hidrógeno_y_la_energia-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1653846100&Signature=OUCi~hHOMXcg11KKkDdsthkXZNDfFww-

ckSVg4cXimpl7SJR-68f81IJ~e0dIYw80zdTAYUxQcydKFpCt-
MdfnDEqtzjho5qpTe6kzkxWCiDDwIXpHnJBzFHRJjy7rCutL

Mott, R. (1996). *Resistencia de materiales aplicada* (Tercera ed.). Naucalpan de Juarez: Pearson. Recuperado el 20 de Junio de 2022

Palomino, D. A. (22 de Junio de 2017). *Acerca de nosotros: Nitro*. Obtenido de Nitro.pe Web Site: <https://www.nitro.pe/mecanico-nitro/las-tres-partes-de-una-biela.html>

Payri, J. (2011). *Motores de combustión interna alternativos* (Vol. I). Barcelona, valencia, España: Reverté, S.A. Recuperado el 11 de Mayo de 2022, de https://www.academia.edu/38247431/Motores_de_Combustion_Interna_Alternativos_Payri

Perez, J. (2018). *balanosdj Corporation*. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de balanosdj Web Site: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/tiposarduino.pdf>

Rafael Morales, M. Y., & Guzmán, A. H. (2014). *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Instituto Mexicano del transporte. Sanfandila. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>

Torres, H. (2018). *La ley de Ohm*. Jalisco: HetPro. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de <https://hetpro-store.com/PDFs/La-Ley-de-Ohm.pdf?x18372>

Torres, J. G., & González Ortiz, J. H. (Diciembre de 2013). Área Transversal de un Cable y su Calibre AWG (American Wire Gauge). *Conciencia Tecnológica No. 46*, 2-3. Recuperado el 20 de Junio de 2022, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4713237.pdf>

Vera, M. I. (2007). *Química General*. Universidad Nacional del Nordeste. Recuperado el 08 de Junio de 2022, de

https://exa.unne.edu.ar/quimica/quimgeneral/temas_parciales/unidad_10_Electroquimica2007.pdf

Anexos