



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Implementación del sistema de generación de hidrógeno en el motor LCU 1.4L S-TEC III  
perteneciente a la carrera de tecnología mecánica automotriz.**

Guamushig Yugla, Antony Rodrigo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del Título de Tecnólogo  
Superior en Mecánica Automotriz

Ing. Amaya Sandoval, Stefania Matilde

26 de febrero de 2024

Latacunga

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos



Plagiarism report

Edición 4\_Guamushig Antony.pdf

### Scan details

Scan time:  
February 23th, 2024 at 16:23 UTC

Total Pages:  
84

Total Words:  
20801

### Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	3.5%	732
Minor Changes	1.7%	357
Paraphrased	0%	0
Omitted Words	5.2%	1084

### AI Content Detection



Text coverage  
 AI text  
 Human text

### Plagiarism Results: (92)

<p><b>Motor Es - PDFCOFFEE.COM</b> <span style="float: right;">1.2%</span></p> <p><a href="https://pdfcoffee.com/motor-es-10-pdf-free.html">https://pdfcoffee.com/motor-es-10-pdf-free.html</a></p> <p>Guest            Email: [email protected] Login Register English Deutsch Español Français Português Hom...</p>
<p><b>Motores Mantenimiento de Vehã Culos Autopropul - PDFCOFFEE.COM</b> <span style="float: right;">1.1%</span></p> <p><a href="https://pdfcoffee.com/motores-mantenimiento-de-vehã-culos-autopropul-pdf-free.html">https://pdfcoffee.com/motores-mantenimiento-de-vehã-culos-autopropul-pdf-free.html</a></p> <p>Guest            Email: [email protected] Login Register English Deutsch Español Français Português Hom...</p>
<p><b>65T00278.pdf</b> <span style="float: right;">0.6%</span></p> <p><a href="http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9828/1/65T00278.pdf">http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9828/1/65T00278.pdf</a></p> <p>Alexis Landázuri            ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ IMPLEMENTACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUST...</p>
<p><b>Mta Ud2 - Características De Los Motores Otto [d47ezppz72n2]</b> <span style="float: right;">0.6%</span></p> <p><a href="https://idoc.pub/documents/mta-ud2-caracteristicas-de-los-motores-otto-d47ezppz72n2">https://idoc.pub/documents/mta-ud2-caracteristicas-de-los-motores-otto-d47ezppz72n2</a></p> <p>IDOC.PUB Home (current) Explore Explore All Upload Login / Register Home Mta Ud2 ...</p>

Ing. Amaya Sandoval, Stefania Matilde

C.C: 050296187-3



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz**

### **Certificación**

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: **“Implementación del sistema de generación de hidrógeno en el motor LCU 1.4L S-TEC III perteneciente a la carrera de tecnología mecánica automotriz.”** fue realizado por el señor **Guamushig Yugla, Antony Rodrigo**; el mismo que 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, 26 de febrero de 2024**

**Ing. Amaya Sandoval, Stefania Matilde**

**C.C: 050296187-3**



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Guamushig Yugla, Antony Rodrigo**, con cédula de ciudadanía n° 0503960189 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **Implementación del sistema de generación de hidrógeno en el motor LCU 1.4L S-TEC III** perteneciente a la carrera de tecnología mecánica automotriz es de mi 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, 26 de febrero de 2024**



.....  
**Guamushig Yugla, Antony Rodrigo**

**C.C.: 0503960189**



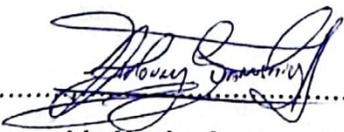
**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz**

**Autorización de Publicación**

Yo **Guamushig Yugla, Antony Rodrigo**, con cédula de ciudadanía n° 0503960189, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **Implementación del sistema de generación de hidrógeno en el motor LCU 1.4L S-TEC III perteneciente a la carrera de tecnología mecánica automotriz** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Latacunga, 26 de febrero de 2024**

  
**Guamushig Yugla, Antony Rodrigo**  
C.C.: 0503960189

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a mis padres, quienes con sus enormes esfuerzos, sacrificios y apoyo incondicional han sido pilares fundamentales en mi camino hacia el éxito, brindándome la fortaleza necesaria para no desistir a mitad de la travesía, a mi hermana Gabriela, quien ha estado presente en todo momento brindándome su apoyo inquebrantable, y a toda mi familia por sus valiosas palabras y sabios consejos que han sido clave en mi crecimiento profesional.

**Guamushig Yugla, Antony Rodrigo**

## **Agradecimiento**

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios por haberme brindado la sabiduría y la inteligencia para completar con éxito esta importante etapa de mi vida. También quiero expresar mi profunda gratitud a mi amada familia, en especial a mi padre Nelson Guamushig, mi madre Norma Yugla y mi hermana Gabriela Guamushig, por su inquebrantable apoyo y presencia constante a lo largo de mi recorrido universitario, han sido mi fuente de inspiración, mi soporte y mi guía desde el principio hasta el final de este camino académico, gracias a su amor incondicional, paciencia y aliento inquebrantable, he logrado vencer obstáculos y alcanzar mis más anhelados sueños, les estaré eternamente agradecido.

Totalmente agradecido con la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga por permitirme formar parte de su emblemática institución, y quiero agradecer de manera especial a todos los docentes que participaron en mi preparación académica, ya que fueron un pilar importante en mis estudios.

Mis más sinceros agradecimientos a la Ingeniera Stefania Amaya Sandoval por su invaluable apoyo como tutora del proyecto de tesis, compartiendo sus conocimientos y siendo una guía excepcional para poder culminar este proyecto de una manera exitosa.

**Guamushig Yugla, Antony Rodrigo**

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>Caratula .....</b>	<b>1</b>
<b>Reporte de verificación de contenido.....</b>	<b>2</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de autoría. ....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación. ....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>7</b>
<b>Índice de contenidos .....</b>	<b>8</b>
<b>índice de tablas .....</b>	<b>12</b>
<b>índice de figuras .....</b>	<b>13</b>
<b>Glosario .....</b>	<b>16</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>17</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>18</b>
<b>Capítulo I: Introducción.....</b>	<b>19</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>19</b>
<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>20</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>21</b>
<b>Objetivo.....</b>	<b>21</b>
<b><i>Objetivos específicos .....</i></b>	<b>22</b>
<b>Alcance .....</b>	<b>22</b>
<b>Capítulo II: Marco teórico .....</b>	<b>23</b>

<b>Introducción a los motores de combustión interna.....</b>	<b>23</b>
<i>Clasificación de los motores de combustión interna.....</i>	<i>23</i>
<i>Motor a gasolina de cuatro tiempos.....</i>	<i>23</i>
<i>Ciclo de trabajo.....</i>	<i>25</i>
<i>Diagrama de distribución.....</i>	<i>27</i>
<i>Rendimiento del motor.....</i>	<i>30</i>
<i>Características principales de los motores.....</i>	<i>33</i>
<i>Curvas características.....</i>	<i>36</i>
<b>Introducción a los generadores de hidrogeno.....</b>	<b>41</b>
<i>El hidrogeno.....</i>	<i>41</i>
<i>Generador de hidrogeno.....</i>	<i>47</i>
<b>Tipos de generador de hidrógeno.....</b>	<b>48</b>
<i>Generador de celda húmeda (Wet Cell).....</i>	<i>48</i>
<i>Generador de celda seca (Dry Cell).....</i>	<i>48</i>
<i>Funcionamiento.....</i>	<i>52</i>
<i>Electrolito.....</i>	<i>52</i>
<i>Componentes del sistema generador de Hidrogeno de celda seca.....</i>	<i>54</i>
<i>Fallas en el sistema de generación de hidrogeno.....</i>	<i>58</i>
<b>Puesta punto de un motor.....</b>	<b>59</b>
<i>Puesta a punto del sistema de encendido.....</i>	<i>59</i>
<i>Puesta a punto del sistema de alimentación.....</i>	<i>60</i>

<i>Puesta a punto del sistema de lubricación.</i> .....	62
<i>Puesta a punto del sistema de refrigeración.</i> .....	62
<i>Puesta a punto del sistema de escape.</i> .....	63
<b>Pruebas de diagnostico</b> .....	63
<i>Prueba de compresión</i> .....	63
<i>Prueba de fugas.</i> .....	65
<i>Prueba de sistemas de combustible.</i> .....	66
<i>Prueba de sistemas de encendido.</i> .....	67
<i>Prueba de sensores y actuadores</i> .....	69
<b>Valores estándar.</b> .....	70
<b>Mantenimiento.</b> .....	71
<b>Capítulo III: Puesta punto del motor de combustión interna.</b> .....	73
<b>Inspección de fluidos.</b> .....	73
<b>Inspección de fugas.</b> .....	74
<b>Inspección de cableado eléctrico, sockets, y componentes eléctricos.</b> .....	74
<b>Limpieza y calibración de bujías.</b> .....	74
<b>Comprobación de sensores.</b> .....	75
<b>Pruebas de compresión.</b> .....	79
<b>Reemplazo de sensor de temperatura.</b> .....	81
<b>Capítulo IV: Implementación del sistema generador de hidrogeno.</b> .....	82
<b>Instalación de componentes del sistema de hidrogeno</b> .....	82

<i>Instalación de voltímetro/amperímetro e interruptor.....</i>	<b>82</b>
<i>Instalación de depósito. ....</i>	<b>82</b>
<i>Instalación de hidrolizador. ....</i>	<b>83</b>
<i>Instalación de shunt. ....</i>	<b>84</b>
<b>Instalación de termocuplas. ....</b>	<b>84</b>
<i>Instalación de medidores de temperatura.....</i>	<b>87</b>
<b>Fabricación e instalación de difusor de gas.....</b>	<b>88</b>
<b>Instalación eléctrica del sistema generador de hidrógeno.....</b>	<b>91</b>
<b>Conexión de mangueras del sistema generador de hidrógeno .....</b>	<b>95</b>
<b>Pruebas del sistema generador de hidrógeno .....</b>	<b>97</b>
<b>Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>105</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>105</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>108</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>109</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>112</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> <i>Unidades de trabajo, potencia y par motor</i> .....	35
<b>Tabla 2</b> <i>Propiedades físicas del hidrogeno</i> .....	42
<b>Tabla 3</b> <i>Número de octanos de diferentes combustibles</i> .....	45
<b>Tabla 4</b> <i>Poder calorífico para diferentes combustibles.</i> .....	46
<b>Tabla 5</b> <i>Velocidad de quemado para distintos combustibles.</i> .....	46
<b>Tabla 6</b> <i>Energía de ignición para diferentes combustibles.</i> .....	47
<b>Tabla 7</b> <i>Temperatura de autoencendido de diferentes combustibles.</i> .....	47
<b>Tabla 8</b> <i>Valores estándar</i> .....	70
<b>Tabla 9</b> <i>Mantenimientos al sistema generador de hidrogeno</i> .....	71
<b>Tabla 10</b> <i>Resultados de las pruebas de compresión</i> .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Constitución del motor Otto</i> .....	24
<b>Figura 2</b> <i>Fases de un motor de 4t</i> .....	25
<b>Figura 3</b> <i>Diagrama de distribución</i> .....	27
<b>Figura 4</b> <i>Ciclo práctico del motor Otto de cuatro tiempos</i> .....	29
<b>Figura 5</b> <i>Cruce de válvulas</i> .....	29
<b>Figura 6</b> <i>Par motor</i> .....	34
<b>Figura 7</b> <i>Ejemplo de Curvas características</i> .....	37
<b>Figura 8</b> <i>Curva de potencia</i> .....	38
<b>Figura 9</b> <i>Curva de Potencia y Par</i> .....	39
<b>Figura 10</b> <i>Curva de consumo</i> .....	40
<b>Figura 11</b> <i>Extracción de hidrógeno</i> .....	43
<b>Figura 12</b> <i>Electrolisis del agua</i> .....	45
<b>Figura 13</b> <i>Generador de Celda Húmeda</i> .....	48
<b>Figura 14</b> <i>Generador de Celda Seca</i> .....	49
<b>Figura 15</b> <i>Despiece de hidrolizador de celdas secas</i> .....	49
<b>Figura 16</b> <i>Componentes del hidrolizador</i> .....	50
<b>Figura 17</b> <i>Proceso de generación de gas hidrógeno</i> .....	52
<b>Figura 18</b> <i>Hidróxido de potasio</i> .....	53
<b>Figura 19</b> <i>Agua destilada</i> .....	54
<b>Figura 20</b> <i>Manguera de alta presión</i> .....	55
<b>Figura 21</b> <i>Válvula de esfera</i> .....	55
<b>Figura 22</b> <i>Válvula Anti retorno</i> .....	56
<b>Figura 23</b> <i>Deposito</i> .....	56
<b>Figura 24</b> <i>Hidrolizador</i> .....	57
<b>Figura 25</b> <i>Elementos eléctricos</i> .....	57

<b>Figura 26</b> <i>Medidor de compresión</i> .....	64
<b>Figura 27</b> <i>Prueba de fugas</i> .....	66
<b>Figura 28</b> <i>Medidor presión de bomba</i> .....	67
<b>Figura 29</b> <i>Comprobador de chispa</i> .....	68
<b>Figura 30</b> <i>Lámpara estroboscópica</i> .....	68
<b>Figura 31</b> <i>Escáner Automotriz</i> .....	69
<b>Figura 32</b> <i>Limpieza de depósito de refrigeración</i> .....	73
<b>Figura 33</b> <i>Limpieza y calibración de bujías</i> .....	75
<b>Figura 34</b> <i>Comprobación de sensores</i> .....	76
<b>Figura 35</b> <i>Curvas de sensor CKP - CMP</i> .....	77
<b>Figura 36</b> <i>Curvas de inyectores</i> .....	77
<b>Figura 37</b> <i>Curvas de bobinas</i> .....	77
<b>Figura 38</b> <i>Curvas de sensores EGO</i> .....	78
<b>Figura 39</b> <i>Curvas de sensor TPS</i> .....	78
<b>Figura 40</b> <i>Curvas de sensor MAP - IAT</i> .....	79
<b>Figura 41</b> <i>Curvas sensor APP - VSS</i> .....	79
<b>Figura 42</b> <i>Resultado obtenidos de las pruebas de compresión</i> .....	80
<b>Figura 43</b> <i>Reemplazo de sensor de temperatura</i> .....	81
<b>Figura 44</b> <i>Instalación de Voltímetro/Amperímetro e interruptor</i> .....	82
<b>Figura 45</b> <i>Instalación de depósito</i> .....	83
<b>Figura 46</b> <i>Instalación de celda</i> .....	84
<b>Figura 47</b> <i>Instalación de Shunt</i> .....	84
<b>Figura 48</b> <i>Instalación de termocupla de escape</i> .....	86
<b>Figura 49</b> <i>Instalación de termocupla de admisión</i> .....	87
<b>Figura 50</b> <i>Instalación de medidores</i> .....	88
<b>Figura 51</b> <i>Fabricación de difusor de gas</i> .....	89

<b>Figura 52</b> <i>Instalación de difusor</i> .....	90
<b>Figura 53</b> <i>Reubicación del depurador</i> .....	91
<b>Figura 54</b> <i>Instalación eléctrica usando terminales</i> .....	91
<b>Figura 55</b> <i>Conexión de porta fusible</i> .....	93
<b>Figura 56</b> <i>Diagrama eléctrico de sistema generador de hidrogeno</i> .....	94
<b>Figura 57</b> <i>Funcionamiento de voltímetro/amperímetro</i> .....	95
<b>Figura 58</b> <i>Mejoramiento a los diferentes acoples del sistema</i> .....	95
<b>Figura 59</b> <i>Diagrama de conexión de mangueras del sistema de hidrogeno</i> .....	96
<b>Figura 60</b> <i>Conexión de mangueras del sistema de hidrogeno</i> .....	97
<b>Figura 61</b> <i>Pruebas de generación de hidrogeno</i> .....	98
<b>Figura 62</b> <i>Reubicación del hidrolizador</i> .....	99
<b>Figura 63</b> <i>Prueba de combustión del hidrogeno</i> .....	100
<b>Figura 64</b> <i>Determinación de índice de pureza del hidróxido de sodio</i> .....	101
<b>Figura 65</b> <i>Pruebas con hidróxido de sodio</i> .....	102
<b>Figura 66</b> <i>Consumo de energía por parte del hidrolizador</i> .....	103
<b>Figura 67</b> <i>Prueba de combustión de hidrogeno con NaOH</i> .....	104

## Glosario

AAA: Avance a la apertura de admisión .....	27
AAE: Avance a la apertura del escape .....	27
AE: Avance del encendido .....	27
CKP: Crankshaft Position - Posición del cigueñal .....	75
CMP: Camshaft Position - Posición del árbol de levas .....	75
EGO: Exhaust Gas Oxygen - Oxígeno de los gases de escape .....	75
HHO: Mezcla de hidrógeno y oxígeno en proporciones estequiométricas.....	53
IAT: Intake Air Temperature - Temperatura del aire de entrada .....	75
KS: Knock Sensor - Sensor de detonacion .....	75
MAP: Manifold Absolute Pressure - Presión absoluta del colector .....	75
MCIA: Motores de combustión interna alternativos .....	36
MEC: Motor de encendido por compresión o motor Diesel.....	23
MEP: Motor de encendido provocado o de ciclo Otto.....	23
RCA: Retraso al cierre de admisión .....	27
RCE: Retraso al cierre del escape .....	27
RPM: Revoluciones por minuto.....	38
TPS: Throttle Position Sensor - Sensor de posición del acelerador.....	75

## Resumen

El proyecto consistió en la implementación de un kit de hidrógeno en el motor LCU 1.4L S-TEC III, para ello se desarrolló la puesta a punto del motor, donde se limpió y calibró bujías, mantenimiento del sistema de refrigeración, verificación de fluidos, inspección de cableado eléctrico, verificación de sensores mediante osciloscopio, esto se llevó a cabo para garantizar un correcto funcionamiento del motor para proceder con la implementación del Kit de hidrógeno. Tras una investigación exhaustiva, se determinó que la mejor opción para la generación de hidrógeno es utilizar un sistema de celda seca. Una vez que se cuente con los componentes del sistema como depósito, hidrolizador, shunt, entre otros se procede a la instalación de cada uno de ellos, por otro lado, se mecanizó un difusor de gas el mismo permite distribuir el gas de manera homogénea dentro del motor, este elemento fue ubicado en la admisión del motor, mientras tanto en el circuito eléctrico se implementó mediante el diagrama del fabricante, entre los componentes se tuvo un voltímetro/amperímetro mismo que nos permite medir el voltaje de carga de la batería, además la corriente generada por el hidrolizador. Finalmente se realizó las respectivas pruebas de funcionamiento utilizando diferentes composiciones de electrolito para producir electrolisis, entre estas mezclas se usaron compuestos como carbonato y bicarbonato combinado con agua destilada, el resultado de esto no fue el idóneo por lo cual se optó a usar mezclas de hidróxido de sodio a diferente porcentaje de concentración hasta encontrar la más efectiva y que no afecte a los distintos elementos, llegando a la deducción que la composición ideal a usar es de 20 a 25 gramos de hidróxido de sodio por cada litro de agua destilada, como consecuencia se logró obtener una buena producción de hidrogeno, la cual fue suficiente para usarlo como combustible de aporte en el motor en cuestión.

*Palabras clave:* Hidrolizador, electrolito, electrolisis, hidróxido de sodio.

### **Abstract**

The project consisted in the implementation of a hydrogen kit in the LCU 1.4L S-TEC III engine, for this purpose, the engine tuning was developed, where the spark plugs were cleaned and calibrated, cooling system maintenance, fluid verification, electrical wiring inspection, sensor verification by oscilloscope, this was carried out to ensure proper operation of the engine to proceed with the implementation of the hydrogen kit. After a thorough investigation, it was determined that the best option for hydrogen generation is to use a dry cell system. Once the system components such as tank, hydrolyzer, shunt, among others, we proceeded to the installation of each of them, on the other hand, a gas diffuser was machined which allows to distribute the gas homogeneously inside the engine, this element was located in the engine intake, while in the electrical circuit was implemented by the manufacturer's diagram, among the components was a voltmeter / ammeter which allows us to measure the battery charging voltage, in addition to the current generated by the hydrolyzer. Finally, the respective operation tests were carried out using different electrolyte compositions to produce electrolysis, among these mixtures were used compounds such as carbonate and bicarbonate combined with distilled water, the result of this was not ideal so it was decided to use mixtures of sodium hydroxide at different percentage of concentration until finding the most effective and that does not affect the different elements, The ideal composition to use was 20 to 25 grams of sodium hydroxide for each liter of distilled water. As a consequence, a good production of hydrogen was obtained, which was enough to use it as a fuel for the engine in question.

Key words: hydrolyzer, electrolyte, electrolysis, sodium hydroxide.

## Capítulo I

### Introducción

#### Antecedentes

Empleando las palabras de (Tito Guamán, 2022), es notable el aumento del número de vehículos en circulación y el desproporcionado crecimiento de la población han tenido un impacto directo en el incremento del consumo de combustible. Como respuesta a esta situación, los vehículos actuales están equipados con una serie de sistemas diseñados para reducir el consumo de combustible y mejorar la eficiencia de los motores. Por lo tanto, es comprensible que exista un proyecto que se enfoque en realizar modificaciones mínimas en los vehículos con el objetivo de mejorar su eficiencia, reducir el consumo de combustible y aumentar el torque y la potencia.

El propósito de este trabajo es analizar el hidrógeno como una alternativa de combustible complementaria para disminuir la contaminación generados por los gases de escape de los combustibles convencionales, aunque se conoce sobre la ausencia de registros sobre cómo usar el hidrógeno como combustible en nuestro país, es importante destacar que este elemento se encuentra en gran abundancia en el agua y puede ser obtenido fácilmente a través de un proceso denominado electrólisis. Además de acuerdo con (Zecsa, 2014), “El hidrógeno posee una alta capacidad de generar calor y, al ser utilizado como combustible, no emite sustancias contaminantes.” Por esta razón se planteó este proyecto con el fin de verificar el impacto que produce un sistema de generación de hidrógeno en un motor de combustión interna.

En el trabajo publicado por (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022), concluyeron que: “al agregar hidrógeno al sistema de admisión del motor, se logró una reducción del 60% en los niveles de monóxido de carbono (CO) en el motor a ralentí, un 40% a 1500 rpm y un 50% a 2500 rpm. Además, los niveles de hidrocarburos no combustionados (HC) disminuyeron en un 13% en el motor a ralentí, un 8% a 1500 rpm y un 30% a 2500 rpm. Por otro lado, el suministro

de hidrógeno al sistema de admisión del motor tuvo un impacto positivo en la potencia desarrollada por el vehículo, ya que se observó un aumento del 10% en comparación con la potencia sin suministro de hidrógeno”.

### **Planteamiento del problema**

Las personas han estado utilizando cada vez más las fuentes de energía no renovables, lo que ha agotado muchos recursos naturales, por esta razón, es importante buscar otras opciones de energía, como el hidrógeno, este elemento se encuentra en el agua en grandes cantidades y puede ser obtenido de forma sostenible mediante diferentes procesos adecuados.

Este elemento tiene un potencial significativo como parte de un combustible alternativo o complementario de bajo impacto en la contaminación ambiental, ya que su uso reducirá las emisiones de CO<sub>2</sub>, también el hidrógeno puede ser una fuente energética eficaz para mejorar el rendimiento y funcionamiento de los motores de combustión interna.

En este contexto, surge la necesidad de investigar y demostrar los beneficios del uso de sistemas generadores de hidrógeno en vehículos, centrándose en un enfoque de Sistema Dual Fuel (hidrógeno y gasolina) en motores de combustión interna. Aunque existen estudios previos sobre el tema, es necesario realizar una investigación exhaustiva y específica para evaluar el rendimiento de este sistema, su impacto en la emisión de gases y los efectos en el consumo de combustible. Es importante realizar este estudio y compartir los resultados técnicos sobre el consumo de combustible y las características de la combustión usando el hidrogeno como combustible de aporte en el motor mencionado, esta información será de gran valor tanto para la comunidad educativa, que busca comprender y fomentar el uso adecuado del hidrógeno en los motores de combustión interna, como para otros interesados en la implementación de energías alternativas en el sector automotriz.

En pocas palabras el problema a afrontar se encamina a la necesidad de investigar y demostrar los beneficios de un sistema generador de hidrógeno como combustible

complementario en vehículos, a través de la implementación de un Sistema Dual Fuel (gasolina e hidrogeno) en un motor de combustión interna.

### **Justificación**

Es cada vez más importante considerar el uso de energías alternativas, como el hidrógeno, debido al agotamiento de las fuentes de energía no renovables y los problemas ambientales causados por las emisiones de gases de efecto invernadero. El hidrógeno es un combustible eficiente con propiedades destacadas, especialmente cuando se combina con gasolina para crear un combustible más potente y eficaz, esta mezcla puede ayudar a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mejorar el rendimiento de los motores de autos, siendo una opción más sostenible y viable para el futuro.

En línea con esto, como futuros tecnólogos automotrices, hemos distinguido la importancia realizar investigaciones y demostrar los beneficios de la implementación de sistemas generadores de hidrógeno en vehículos. Por lo tanto, nuestro objetivo es evaluar el rendimiento de este sistema, así como los efectos en la emisión de gases y el consumo de combustible. Además, se busca proporcionar información valiosa tanto a la comunidad educativa como a otros interesados en el uso adecuado del hidrógeno en motores de combustión interna.

En esta investigación, también queremos analizar y compartir los resultados técnicos relacionados con el consumo de combustible y las características de la combustión en el motor de prueba, esto permitirá obtener información valiosa para la comunidad educativa y otros interesados en el uso y manejo adecuado del hidrógeno en motores de combustión interna.

### **Objetivo**

Implementar el sistema de generación de hidrógeno en el motor LCU 1.4L S-TEC III perteneciente a la carrera de tecnología mecánica automotriz.

### **Objetivos específicos**

- Realizar una investigación exhaustiva en fuentes bibliográficas relacionadas con los generadores de hidrógeno y su aplicabilidad en motores de combustión interna a gasolina.
- Desarrollar el proceso de afinación del motor de combustión interna antes de instalar el sistema generador de hidrógeno con el fin de garantizar un correcto funcionamiento del motor
- Instalar el sistema de generación de hidrógeno en el motor LCU 1.4L S-TEC III y realizar pruebas preliminares para asegurar su correcto funcionamiento

### **Alcance**

Al implementar esta adaptación en los vehículos, no solo estamos buscando mejorar la eficiencia y reducir el consumo de combustible, sino que también estamos generando un impacto positivo en el medio ambiente y en la calidad de vida de las personas. Al reducir las emisiones contaminantes de escape, estamos contribuyendo a la disminución de la contaminación atmosférica y, por ende, mejorando la calidad del aire que respiramos.

La gran cantidad de emisiones contaminantes dañan la salud de las personas, ya que estar expuestos por mucho tiempo a altos niveles de contaminación puede provocar enfermedades en los pulmones y el corazón, al mejorar el aire, cuidamos la salud de la gente y creamos un lugar más seguro y sano para todos, también, al usar menos combustible, estamos disminuyendo nuestra necesidad de los recursos fósiles y reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero dando un paso importante hacia la sostenibilidad y la preservación del medio ambiente para las generaciones futuras.

Esta adaptación en los vehículos no solo tiene beneficios individuales, como el ahorro de combustible, sino que también tiene un alcance social al mejorar la calidad del aire y contribuir a la protección del medio ambiente. Es una acción que nos incita a tomar conciencia de nuestro impacto en el entorno y a adoptar medidas responsables para su preservación.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### **Introducción a los motores de combustión interna.**

En consonancia con (Junta, 2020): “Un motor de combustión interna es un motor térmico en el que parte de la energía liberada por la combustión del combustible se convierte en trabajo, es decir, en movimiento; el motor diésel y el motor Otto son dos ejemplos.”

De acuerdo con (Hermogenes, 2000, p. 8), “Entre el motor de gasolina y el de diésel existen muchas funciones comunes, pero la forma en que se alimentan y queman sus respectivos combustibles les hace tener características constructivas diferentes.”

#### ***Clasificación de los motores de combustión interna***

Según manifiesta (Sanz, 2011) que : “Los motores de combustión interna se pueden clasificar según diferentes aspectos:

- Por el tipo de combustión:
  - Motor Otto. (MEP)
  - Motores Diesel. (MEC)
- Por ciclo de trabajo:
  - Motor de cuatro tiempos.
  - Motores de dos tiempos.
- Por movimiento del pistón:
  - Motor de pistón alternativo.
  - Motor de pistones rotativos (Sanz, 2011).”

#### ***Motor a gasolina de cuatro tiempos***

Según (Sanz, 2011), el motor de explosión, también conocido como motor de encendido provocado (MEP), trabaja mediante la utilización de una mezcla previamente preparada de aire

y combustible, este tipo de motor está equipado con un sistema de encendido eléctrico que genera una chispa para encender la mezcla comprimida en la cámara de combustión, el control de la entrada de la mezcla y la expulsión de los gases quemados se lleva a cabo a través de válvulas que abren y cierran los conductos correspondientes, los cuales son controlados por el sistema de distribución.

Usando las palabras de (Sanz, 2011), el ciclo de funcionamiento se realiza en cuatro tiempos:

- Admisión de una mezcla de aire y combustible.
- Compresión de la misma.
- Encendido, combustión y expansión.
- Escape de los gases quemados.

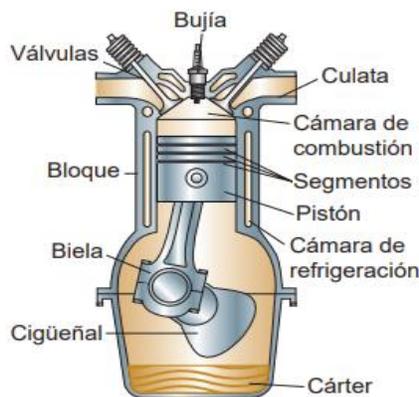
Conforme a (Sanz, 2011) dice que: “cada uno de estos cuatro tiempos se realiza en una carrera del pistón, equivalente a media vuelta de cigüeñal ( $180^\circ$ ). Por tanto, el ciclo se completa en dos vueltas de cigüeñal ( $720^\circ$ )”.

De acuerdo con (Cárdenas y Kaslin, 2006) los motores Otto son ampliamente utilizados debido a su pequeño tamaño, alta velocidad, alta potencia y peso ligero.

Alcanzan una potencia máxima entre 5.000 y 7.000 revoluciones por minuto (rpm), los volúmenes unitarios por cilindro oscilan entre 250 y 500 cm<sup>3</sup>. (Sanz, 2011)

### Figura 1

#### *Constitución del motor Otto*



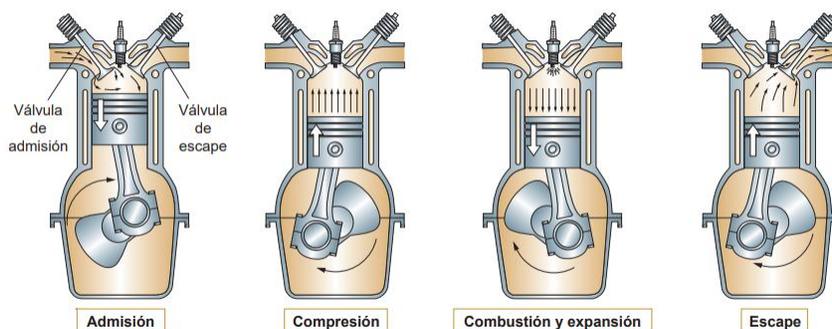
*Nota.* Se detalla las partes del motor de combustión interna. Tomado de (Sanz, 2011)

### **Ciclo de trabajo.**

Según lo indicado por (Payri y Desantes, 2011): “en los motores el ciclo de trabajo se completa en dos vueltas del cigüeñal, o igualmente en cuatro desplazamientos del pistón. De este último procede el nombre de motor de cuatro tiempos”.

### **Figura 2**

*Fases de un motor de 4t.*



*Nota.* Se detalla las diferentes fases de trabajo de un motor de 4t. Tomado de (Sanz, 2011)

#### **Tiempo 1 - Admisión:**

En sintonía a lo establecido por (Sanz, 2011) dice que: “Durante el proceso de admisión la válvula de admisión se abre y el pistón comienza a descender en su carrera permitiendo que la mezcla de aire y combustible ingrese al cilindro a alta velocidad, llenando el aumento de volumen en el cilindro. A medida que el pistón alcanza el punto muerto inferior (PMI), la válvula de admisión se cierra, en teoría, el cilindro queda completamente lleno de la mezcla a la presión ambiente. Al mismo tiempo, el cigüeñal ha girado media vuelta en este proceso”.

#### **Tiempo 2 - Compresión:**

Según (Sanz, 2011), “En esta etapa, las válvulas de admisión y escape permanecen selladas, y el pistón se mueve hacia arriba desde su posición más baja hasta la más alta, durante este ascenso, la mezcla de aire y combustible en la cámara de combustión se comprime, generando una presión que varía entre 10 y 15 bar, dependiendo de la relación de compresión del motor. Para llevar a cabo esta compresión y aumentar la temperatura de la

mezcla, la energía cinética del volante de inercia es utilizada. Mientras tanto, el cigüeñal completa otra mitad de su giro”.

### **Tiempo 3 – Explosión, expansión**

Siguiendo lo estipulado por (Sanz, 2011) esta etapa comienza, “En el punto muerto superior (PMS), donde la bujía emite una chispa que enciende la mezcla comprimida, esta combustión provoca un rápido aumento de la temperatura y una alta presión que actúa sobre la cabeza del pistón. A medida que el pistón desciende desde el PMS hasta el punto muerto inferior (PMI), la energía calorífica liberada durante la combustión se convierte en energía mecánica, durante este descenso, los gases se expanden dentro del cilindro y la presión disminuye gradualmente. Durante esta tercera media vuelta, las válvulas de admisión y escape permanecen cerradas. Es en esta fase de expansión cuando se genera trabajo en el ciclo de funcionamiento del motor.”

### **Tiempo 4 – Escape**

De acuerdo con (Sanz, 2011) la fase de escape comienza: “En el punto muerto inferior (PMI), los gases se han expandido, pero aún queda una presión residual y una temperatura considerable dentro del cilindro. En este momento, la válvula de escape se abre y los gases quemados son expulsados a gran velocidad. La presión y la temperatura disminuyen rápidamente hasta igualarse con el entorno. A continuación, el pistón comienza su ascenso y cuando alcanza el punto muerto superior (PMS), ha expulsado por completo los gases quemados. En este punto, la válvula de escape se cierra, completando así la cuarta media vuelta del ciclo. Luego, se inicia nuevamente la fase de admisión y el ciclo se repite.”

Según (Payri y Desantes, 2011) dice que: “En realidad, debido a la compresibilidad del aire y a que la combustión no puede producirse a volumen constante, es necesario realizar ajustes en los momentos de apertura, cierre de las válvulas y en el inicio de la combustión, de modo que no coinciden con los PMS y PMI, sino que se producen con adelantos y retrasos respecto a estos puntos.”

### Diagrama de distribución

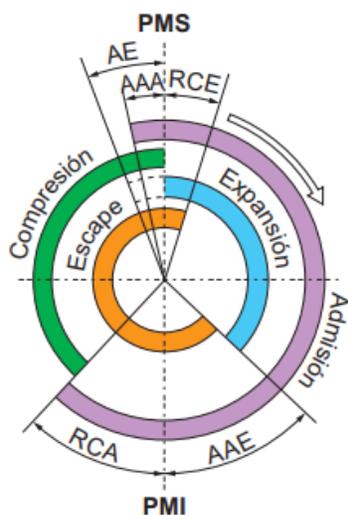
De acuerdo con (Sanz, 2011) “El diagrama de distribución muestra los momentos en los que las válvulas se abren y se cierran, así como los ángulos totales en los que permanecen abiertas. También se representa el avance del encendido (AE).”

(Sanz, 2011) nos indica que: “Los ángulos o cotas de distribución se miden en grados de giro de cigüeñal respecto de los puntos muertos superior e inferior. Son las siguientes:

- Avance a la apertura del escape (AAE). Antes del PMI.
- Retraso al cierre del escape (RCE). Después del PMS.
- Avance a la apertura de admisión (AAA). Antes del PMS.
- Retraso al cierre de admisión (RCA). Después del PMI.”

### Figura 3

Diagrama de distribución.



*Nota.* Se detalla los ángulos o cotas de distribución de un motor de 4t. Tomado de (Sanz, 2011)

#### Avance a la apertura del escape (AAE).

Usando las palabras de (Sanz, 2011) dice que: “Durante la fase de expansión, el pistón desciende en el cilindro. En este momento, la válvula de escape se abre antes de que el pistón alcance el Punto Muerto Inferior (PMI). En este punto, la presión dentro del cilindro es de aproximadamente 3 a 4 bares. La apertura de la válvula de escape permite que los gases de

escape salgan del cilindro a una alta velocidad. Como resultado, la presión interna disminuye rápidamente, lo que facilita el movimiento ascendente del pistón. Durante este movimiento ascendente, el pistón barre los gases de escape a una presión ligeramente superior a la presión atmosférica, que suele ser de alrededor de 0,2 bares.”

#### **Avance a la apertura de admisión (AAA).**

De acuerdo con (Sanz, 2011): “Cuando el pistón sube durante la fase de escape, la válvula de admisión se abre antes de que el pistón alcance la parte más alta de su recorrido, al mismo tiempo, la válvula de escape sigue abierta, permitiendo que los gases de escape salgan a alta velocidad, esto ayuda a que los gases frescos entren al cilindro. Cuando el pistón comienza a bajar, la válvula de admisión ya está casi completamente abierta.”

#### **Retraso al cierre del escape (RCE).**

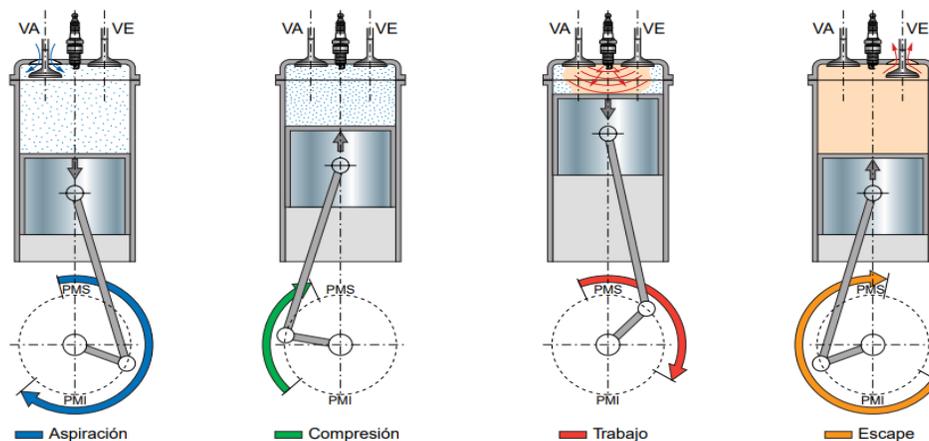
Acogiendo las palabras de (Sanz, 2011): “Una vez que el pistón ha subido completamente y comienza a bajar, la válvula de escape se cierra, mientras que la válvula de admisión ya está abierta y el pistón está descendiendo, a pesar de esto, los gases siguen saliendo por la inercia y la velocidad acumulada, lo que ayuda a limpiar los gases residuales. Este momento en el que ambas válvulas están abiertas se llama cruce de válvulas.”

#### **Retraso al cierre de admisión (RCA).**

Acorde con (Sanz, 2011), “Cuando el pistón baja en la fase de admisión, la válvula de admisión se cierra después de que el pistón ha llegado al punto más bajo, la velocidad alta del aire que entra hace que siga ingresando, aunque el pistón empiece a subir, lo que mejora la cantidad de gas dentro del cilindro. Después de cerrarse la válvula de admisión, comienza la compresión.”

## Figura 4

### Ciclo práctico del motor Otto de cuatro



*Nota.* Se detalla cada ciclo práctico del motor Otto de cuatro tiempos

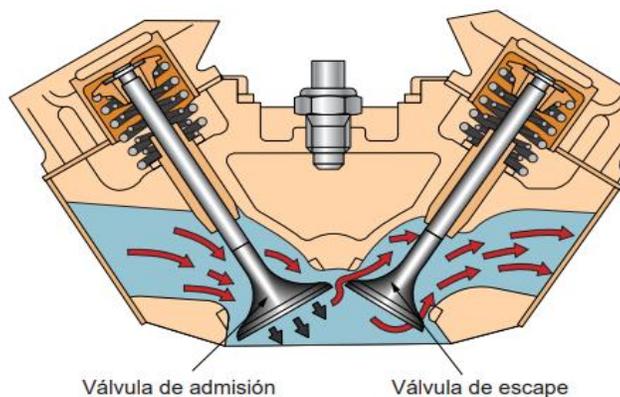
Tomado de (Sanz, 2011)

### Cruce de válvulas

El cruce de válvulas ocurre entre el avance de apertura de admisión (AAA) y el retardo de cierre de escape (RCE). Según (Sanz, 2011) “El cruce de válvulas, también conocido como solapamiento, se refiere al momento en el que las válvulas de admisión y escape están abiertas al mismo tiempo durante la carrera ascendente del pistón, antes de que la válvula de admisión se cierre por completo y el pistón alcance su punto más alto. Este espacio se mide en grados de giro del cigüeñal y permite una mejor circulación de los gases en el motor.”

## Figura 5

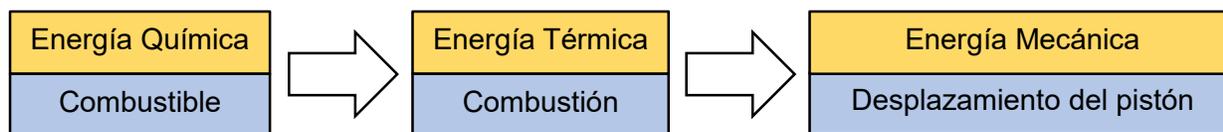
### Cruce de válvulas



*Nota.* Se detalla el momento exacto donde las dos válvulas se encuentran abiertas al mismo tiempo Tomado de (Sanz, 2011)

### **Rendimiento del motor**

El motor de combustión interna es una máquina que transforma energía a través de un proceso que sigue los siguientes pasos:



De acuerdo con (Sanz, 2011) “La energía contenida en el combustible, que tiene un origen químico, se convierte en calor a través de la combustión. Como resultado se obtiene un aumento de la presión que desplaza el pistón, generando energía mecánica. Sin embargo, no toda la energía del combustible se transforma en trabajo útil. Una parte significativa se pierde, lo que significa que la energía aprovechable obtenida es menor que la energía inicial. (Sanz, 2011) El rendimiento final obtenido se denomina trabajo útil, mientras que el rendimiento perdido se conoce como trabajo absorbido.”

#### **Pérdidas de energía**

**Perdidas de calor.** (Sanz, 2011) menciona que: “Dentro de las pérdidas de calor de un motor se incluye el sistema de refrigeración, ya que puede haber una necesidad de calefacción por parte del usuario y también se produce disipación de calor entre los componentes del motor. Además, a través del sistema de escape se expulsa una cantidad significativa de calor que se encuentra en los gases de escape.”

**Perdidas mecánicas.** De acuerdo con (Sanz, 2011) nos indica que: “las pérdidas mecánicas son generadas por la fricción entre las piezas en movimiento y la utilización de dispositivos auxiliares como la bomba de agua, la bomba de aceite, entre otros.”

**Perdidas químicas.** “Causadas por una combustión que no se ha completado en su totalidad” (Sanz, 2011).

## Tipos de rendimiento

En un motor, puede lograr obtener diferentes tipos de rendimiento:

- Rendimiento térmico.
- Rendimiento mecánico.
- Rendimiento efectivo.
- Rendimiento volumétrico.

**Rendimiento térmico ( $\eta_c$ ).** De acuerdo con (Sanz, 2011) indica que: “El rendimiento térmico de un motor es mayor cuando se alcanza una temperatura más alta durante la combustión y cuando las pérdidas de calor son menores. La cantidad de calor que se obtiene en el motor está relacionada con la cantidad de combustible que se quema por minuto ( $mt$ ) y cuánto calor puede producir ese combustible ( $Q$ ). La eficiencia del motor ( $\eta_c$ ) se calcula comparando la potencia ( $P$ ) que produce con la energía térmica del combustible.”

$$\eta_c = \frac{P}{mt \cdot Q} \quad (1)$$

Usando las palabras de (Sanz, 2011) indica que: “En los motores Otto, se estima que las pérdidas de calor a través de los gases de escape representan alrededor del 35%, mientras que en los motores Diesel, estas pérdidas se sitúan en torno al 30%. Mediante el sistema de refrigeración, aproximadamente el 30% del calor es evacuado en ambos tipos de motores.”

De la misma manera (Sanz, 2011) dice que: “Es importante destacar que los motores térmicos de combustión interna son capaces de transformar entre el 35% y el 50% de la energía calorífica total contenida en el combustible.

- Rendimiento térmico de los motores Otto: de 35 a 40%.
- Rendimiento térmico de los motores Diesel: de 40 a 50%.”

**Rendimiento mecánico ( $n_m$ ).** En base a lo dicho por (Córdova Morales, 2013) indica que: “La eficiencia de un motor se calcula considerando cuánto trabajo real se obtiene del motor en comparación con el trabajo teórico esperado, esto incluye la energía perdida por fricción de las partes del motor como pistones, anillos y otros componentes, así también como la energía utilizada para realizar la admisión y expulsión de los gases.”

$$n_m = \frac{N_e}{N_i} \quad (2)$$

Dónde:

$n_m$  = rendimiento mecánico %.

$N_e$  = potencia efectiva W.

$N_i$  = potencia indicada W. (Córdova Morales, 2013)

**Rendimiento efectivo ( $n_e$ ).** De la misma manera (Córdova Morales, 2013) señala que: “el rendimiento efectivo es la relación entre el trabajo útil obtenido en el eje del motor con la energía calorífica generada por la combustión del combustible.”

$$n_e = n_i * n_m \quad (3)$$

Dónde:

$n_e$  = rendimiento efectivo %.

$n_m$  = rendimiento mecánico %.

$n_i$  = rendimiento indicado %.

(Córdova Morales, 2013)

**Rendimiento volumétrico ( $n_v$ ).** De acuerdo con (Córdova Morales, 2013) indica que: “El rendimiento volumétrico se puede entender como la eficiencia con la que se llena el cilindro del motor, se calcula comparando la masa de gas introducida en el cilindro durante un ciclo (Ma) con la masa teórica que debería caber en el volumen del cilindro (Mc).”

$$n_v = \frac{M_a}{M_c} \quad (4)$$

Usando las palabras de (Córdova Morales, 2013), expresa que: “La cantidad de gas en los cilindros tiene un impacto directo en el torque y, por lo ende, en la potencia del motor, porque a mayor nivel de llenado, se obtiene más energía de la combustión.”

### ***Características principales de los motores.***

Según (Sanz, 2011) informa que: “El par motor, la potencia y el consumo específico de combustible son las principales características que determinan el rendimiento de un motor, estos parámetros son indicativos del tipo de motor y proporcionan información sobre sus características de funcionamiento.”

#### **Par motor.**

El par motor es la fuerza que el pistón aplica sobre la muñequilla del cigüeñal cuando está en la mitad de su recorrido de trabajo. Si los cilindros se han llenado correctamente, se generará una presión adecuada que impulsará el pistón con fuerza hacia abajo. ( San Lorenzo Ferriol, s.f.)

La medición del par motor se realiza al multiplicar la fuerza generada por la presión durante la carrera de trabajo por la distancia que recorre el brazo de la muñequilla del cigüeñal ( San Lorenzo Ferriol, s.f.)

$$M = F * d \quad ( 5 )$$

Siendo:

***M***: par motor, expresado en Nm.

***F***: fuerza que actúa sobre la cabeza del pistón, expresada en N.

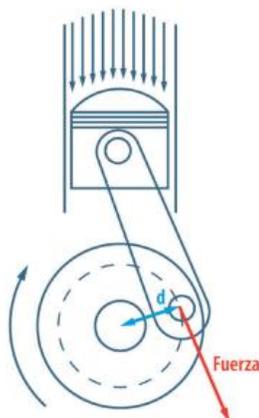
***d***: Longitud de la muñequilla, expresada en m. (Sanz, 2011)

La distancia (d) de la muñequilla del cigüeñal se refiere al radio del codo del cigüeñal o a la mitad de la carrera del pistón. Cuanto mayor sea esta distancia (d), mayor será la fuerza o par motor. En consecuencia, un rendimiento volumétrico máximo generará la máxima presión

dentro del cilindro, lo que resultará en el máximo par motor. El rendimiento volumétrico y el par motor están directamente relacionados, lo que significa que a medida que aumenta el rendimiento volumétrico, también lo hace el par motor o la fuerza ejercida. ( San Lorenzo Ferriol, s.f.)

### Figura 6

*Par motor*



Nota. Se detalla el esquema de reparto de fuerzas

Tomado de ( San Lorenzo Ferriol, s.f.)

### Potencia.

Usando las palabras de ( San Lorenzo Ferriol, s.f.) dice “La potencia, medida en vatios (W), es la cantidad de energía producida o consumida en un periodo de tiempo específico. En el caso de un motor térmico, la potencia se determina por la fuerza alcanzada en el par motor y por la frecuencia con la que se produce esa fuerza en un período de tiempo determinado (revoluciones por minuto, r.p.m.). La fórmula para calcular la potencia de un motor se expresa.”

$$N = M * \omega \quad (6)$$

Siendo:

**N:** potencia, expresada en W.

**M:** par motor, expresado en Nm.

**$\omega$  (omega):** velocidad angular del cigüeñal, expresada en rad/s (radianes/segundo). ( San Lorenzo Ferriol, s.f.)

**Unidades de medida.** De acuerdo con (Sanz, 2011), señala que: “Generalmente, las medidas se expresan en unidades del Sistema Internacional (SI), también se utilizan unidades del Sistema Técnico para indicar la potencia y el par motor, actualmente, es común encontrar estos datos expresados en ambos sistemas.”

**Tabla 1**

*Unidades de trabajo, potencia y par motor*

<b>Unidades de trabajo, potencia y par motor</b>		
	<b>Sistema Internacional (SI)</b>	<b>Sistema Técnico (ST)</b>
<b>Trabajo</b>	Unidad: Julio (J) 1J = 1N · 1 m	Unidad: kilográmetro (kgm) 1 kgm = 1 kgf · 1 m
<b>Par</b>	Unidad: Newton metro (Nm) 1daNm (decanewton–metro) = 9,8 Nm	Unidad: metro kilogramo (mkg)
<b>Potencia</b>	Unidad: Vatio (W) 1 W = 1 J/1 s 1 kW = 1 000 W	Unidad: caballo de vapor (CV o Hp) 1 CV = 75 kgm/s

*Nota.* Se detalla las unidades de medición de trabajo, potencia y par motor

Tomado de (Sanz, 2011)

Equivalencias:

$$1 \text{ CV} = 0,736 \text{ kW} \quad 1 \text{ mkg} = 9,8 \text{ Nm}$$

$$1 \text{ KW} = 1,36 \text{ CV} \quad 1 \text{ daNm} = 0,98 \text{ mkg}$$

#### **Factores que determinan la potencia de un motor**

- **Cilindrada.** De acuerdo con (Sanz, 2011) indica que: “A medida que aumenta el volumen, también aumenta la cantidad de combustible quemado en cada ciclo, lo que resulta en una mayor cantidad de calor transformada en trabajo mecánico.”

- **Llenado de cilindros.** Si se logra aumentar la cantidad de gas admitida por los cilindros, la presión interna y el par motor también aumentan, lo que resulta en una mayor potencia. La mejora en la carga de los cilindros se logra mediante el uso de dispositivos de admisión y distribución variables, mientras que en otros casos se recurre a la sobrealimentación. (Sanz, 2011)
- **Relación de compresión.** En concordancia con (Sanz, 2011) demuestra que: “A medida que aumenta, la eficiencia térmica mejora y, por lo tanto, también aumenta la potencia generada.”
- **Régimen de giro.** De acuerdo con lo expuesto por (Sanz, 2011) indica que: “La potencia aumenta gradualmente a medida que la velocidad aumenta, es decir, a medida que se realizan más ciclos por minuto. Por lo tanto, el régimen es un factor fundamental en la determinación de la potencia.”

### ***Curvas características.***

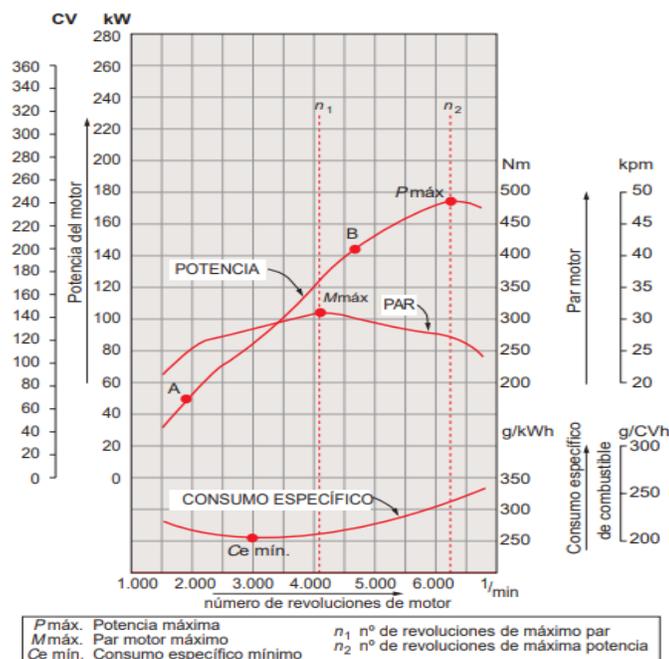
Conforme con (Rovira y Muñoz, 2015), “Las curvas características de un MCI son representaciones gráficas de las prestaciones del motor en relación con sus parámetros operativos, dentro de las curvas más importantes están aquellas que muestran cómo la potencia, el torque y el consumo de combustible, estas varían según la velocidad y la carga del motor.”

Usando las palabras de (Sanz, 2011) señala que: “Las curvas características del motor se obtienen usando información recopilada mediante pruebas con freno dinamométrico, durante estas pruebas el motor funciona a máxima potencia y la velocidad disminuye gradualmente a medida que se incrementa la resistencia del freno.”

De acuerdo con (Sanz, 2011), demuestra que: “Los puntos más característicos de estas curvas son el régimen de máximo par ( $N_1$ ) y el régimen de máxima potencia ( $N_2$ ). En este tramo de revoluciones se obtiene el máximo rendimiento del motor.”

Figura 7

Ejemplo de Curvas características



Nota. Se detalla las Curvas características de un MCI sin sobrealimentar.

Tomado de (Rovira y Muñoz, 2015)

### Curva de potencia

Acorde con (Sanz, 2011), indica que: “La curva muestra como la potencia aumenta a medida que las revoluciones del motor se incrementan. Se representa en kilovatios (kW) o en caballos de fuerza (CV).” (A-B fig.7)

Según (Sanz, 2011), informa que: “La potencia se calcula multiplicando el par motor por la velocidad de rotación, si ambos valores aumentan, la potencia aumentará rápidamente.”

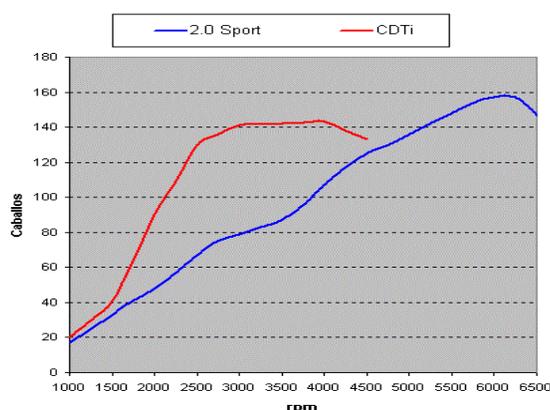
A partir del punto B (fig.7) en las curvas características, la pendiente se vuelve menos pronunciada debido a que el par motor comienza a disminuir. Sin embargo, la potencia sigue creciendo debido al aumento del régimen de giro, lo que implica un mayor número de ciclos por minuto. (Sanz, 2011)

Una vez que se alcanza la potencia máxima ( $P_{max}$ ), la potencia comienza a disminuir.

Conforme con (Sanz, 2011), “Esto se debe a que, a altos regímenes de giro, el llenado de los cilindros es deficiente y las pérdidas mecánicas superan la potencia producida, además, un aumento adicional en las revoluciones a partir de este punto puede resultar en la rotura de las piezas del motor.” A esto se conoce como régimen máximo, quiere decir que es la velocidad máxima a la que un motor puede funcionar sin dañarse, por ende es importante respetar este límite para evitar daños en el motor.

### Figura 8

*Curva de potencia*



*Nota.* Se detalla una comparativa de dos curvas de potencia entre dos motores.

Tomado de (M1Q3, 2010)

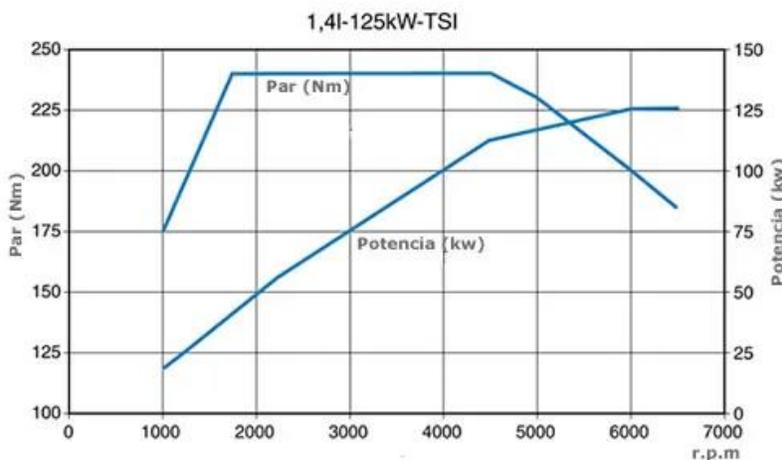
### Curva de par

La curva de par representa de forma ascendente las revoluciones por minuto RPM del motor y el par que el motor produce en cada régimen. De acuerdo con (M1Q3, 2010), señala que: “En los motores de combustión, la curva de par generalmente aumenta a medida que aumentan las rpm, alcanzando su punto máximo.”

Una vez que se alcanza el par máximo, la curva de par comienza a descender progresivamente a medida que las rpm continúan aumentando. Esto se debe a que, a altas revoluciones, el motor puede tener dificultades para mantener un rendimiento óptimo y el par comienza a disminuir. (M1Q3, 2010)

**Figura 9**

*Curva de Potencia y Par*

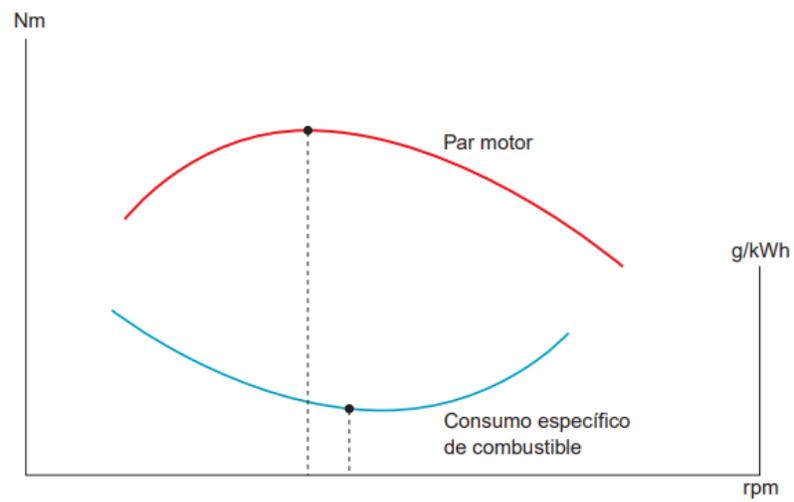


*Nota.* Se detalla una comparativa entre la potencia y el par de un motor, mostrando como se relacionan con el funcionamiento del motor. Tomado de (M1Q3, 2010)

#### **Curva de consumo específico.**

De acuerdo con (Sanz, 2011), evidencia que: “la curva de consumo específico muestra la relación entre la cantidad de combustible consumido por un motor y la potencia que produce.”

- El consumo de combustible varía en relación con el número de revoluciones del motor.
- (Sanz, 2011) dice que. “El consumo específico de combustible se mide en  $g/kW \cdot h$ , lo que indica la masa de combustible consumida en relación con la potencia entregada en la unidad de tiempo.”
- La curva de consumo específico de combustible en los motores de combustión guarda cierta simetría con la curva de par, los valores máximos de rendimiento volumétrico del motor suelen alinearse con los valores mínimos de consumo de combustible. (M1Q3, 2010)
- Según (Sanz, 2011) estipula que: “En los motores de cuatro tiempos, se consume menos combustible en la zona intermedia de revoluciones, a velocidades más bajas o más altas, el consumo de combustible tiende a ser mayor.”

**Figura 10***Curva de consumo*

*Nota.* Se detalla las curvas de par motor y consumo específico.

Tomado de (Sanz, 2011)

## **Introducción a los generadores de hidrogeno.**

### ***El hidrogeno.***

Según (Zecsa, 2014),informa que: “El hidrogeno es un elemento químico representado por el símbolo H y posee un número atómico de 1. En condiciones normales de presión y temperatura, se encuentra en forma gas diatómico (H<sub>2</sub>) que no tiene color, olor y ni sabor, además es un elemento no metálico y altamente inflamable.” Con una masa atómica de 1,00794(7) u, el hidrógeno se considera el elemento químico de menor peso. (Zecsa, 2014)

Usando las palabras de (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022), “El hidrógeno se presenta normalmente en forma de gas y se encuentra en las estrellas y planetas gaseosos.” Este es el elemento más abundante del universo, con aproximadamente el 90% de los átomos del universo son de hidrógeno, a pesar de su abundancia, rara vez se encuentra en forma pura en la naturaleza, ya que generalmente forma parte de otros compuestos, como el agua, sales, hidruros, ácidos, metano, amoniaco, polímeros, entre otros. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

Según lo expresado por (Zecsa, 2014),informa que: “En 1766, Henry Cavendish fue el primero en descubrir que el hidrógeno era un elemento químico, el Identificó el gas producido cuando el ácido reaccionaba con algunos metales como "aire inflamable".”

Posteriormente, en 1783, Antoine Lavoisier le dio el nombre de hidrógeno o generador de agua, ya que cuando el hidrógeno se quema, dos átomos de hidrógeno se combinan con un átomo de oxígeno de la atmósfera y forman agua, este nombre se deriva del griego hidro, que significa agua, y genes, que significa generador. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

El hidrógeno es considerado una de las alternativas para obtener energía, ya que puede ser conseguido de fuentes renovables, además, existen estudios de su uso como combustible en motores, como una alternativa a los combustibles fósiles.

Dentro del motor de combustión interna, el hidrógeno puede ser quemado, que produce principalmente vapor como resultado de la combustión., el cual se libera posteriormente a

través del sistema de escape. Si se utiliza hidrógeno obtenido a través de electrólisis del agua, se considera que el ciclo es ecológicamente sostenible, debido a que el agua producida por la combustión es igual a la utilizada en la producción de hidrógeno. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

### Propiedades.

El hidrógeno tiene características únicas que lo hacen diferente de otros elementos en la tabla periódica.

### Propiedades físicas

**Tabla 2**

*Propiedades físicas del hidrogeno*

Propiedad	Descripción	Significado
Olor	Inodoro	
Color	Sin color	
Gusto	Insípido.	
Estado Sólido	Por debajo de su punto de fusión —259,2 °C	<b>Punto de fusión:</b> temperatura en que una sustancia pasa del estado sólido al líquido. <b>Punto de ebullición:</b> temperatura en que una sustancia líquida pasa al estado
Estado Líquido	Por debajo de su punto de ebullición - 252,77 °C	
Estado Gaseoso	Temperatura ambiente	
Densidad		
Estado líquido	0,0708 kg/l.	
Estado gaseoso	0,08376 kg/m <sup>3</sup>	
Volumen específico		
Estado líquido	0,014m <sup>3</sup> /kg.	
Estado gaseoso	11,9 m <sup>3</sup> /kg,	
Relación de expansión	1 :848	
Masa atómica	1,007940 kg/kmol	
Masa molecular	2,01588 k /kmol.	
Calor específico presión	28,623 kJ/km <sup>01</sup> • K;	
constante (cp)	20.309 kJ/km <sup>01</sup> •K	

*Nota.* Se detalla con exactitud las propiedades físicas del hidrogeno. Tomado de (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

### **Propiedades químicas**

- Posee una alta reactividad y puede formar enlaces covalentes con otros elementos.
- Puede reaccionar con el oxígeno para formar agua (H<sub>2</sub>O) o con los halógenos para formar haluros.
- Puede reaccionar con metales para formar hidruros.
- Actúa como agente reductor en ciertas reacciones químicas.
- Es capaz de formar compuestos con una amplia variedad de elementos.

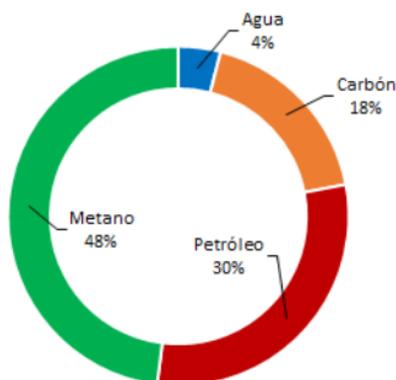
(Zecsa, 2014)

### **Formas de obtención de hidrógeno**

El hidrógeno se extrae principalmente de combustibles fósiles y agua, con un 96% proveniente de los combustibles fósiles y un 4% del agua. La siguiente figura muestra la distribución de los distintos combustibles utilizados para obtener hidrógeno. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

#### **Figura 11**

Extracción de hidrógeno



*Nota.* Se detalla la distribución de los distintos combustibles utilizados para obtener hidrógeno

Para la obtención de hidrogeno se recurre a otros elementos, ya que no se encuentra de manera directa en la naturaleza. Esto incluye el uso de combustibles fósiles hidrocarburos y agua. Los procesos utilizados para extraer hidrógeno a partir de estos elementos se conocen como reformado de hidrocarburos y electrólisis del agua, respectivamente. (Zecsa, 2014)

**Reformado de hidrocarburos.** Es una técnica termoquímica empleada para producir hidrógeno a partir de ciertos combustibles. En este proceso, los combustibles se exponen a vapor a altas temperaturas y presiones, en presencia de oxígeno u otros elementos, lo que da como resultado una mezcla de gases rica en hidrógeno, denominado reformado. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

Es importante destacar que el reformado resultante, independientemente del combustible utilizado y los procesos empleados, contiene otros compuestos además del hidrógeno, como nitrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, y también puede haber un pequeño porcentaje de combustible que no se haya reformado, esta mezcla de gases, después de extraer el hidrógeno, se conoce como gas refinado. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

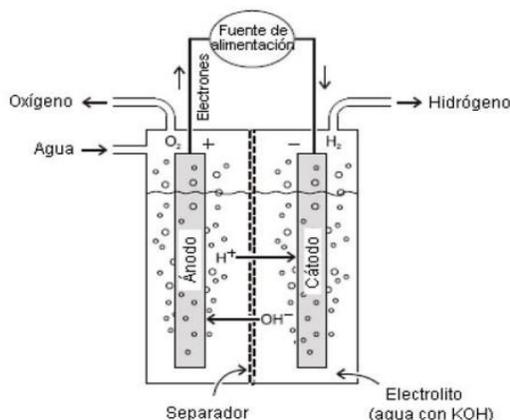
En esencia, el proceso de reformado de hidrocarburos requiere de un catalizador, altas temperaturas y un posterior purificado para obtener el hidrógeno puro.

**Electrólisis del agua.** En el proceso de electrólisis del agua, la molécula de H<sub>2</sub>O se descompone en gases de oxígeno e hidrógeno, separándolos.

Según (Benjumea, 2023), expresa que: “durante la electrólisis del agua, una corriente continua se aplica mediante una pila, batería o cualquier equipo de hidrogenación, transfiriendo energía a un electrólito fundido o solución acuosa y provocando la descomposición del agua.”

La electrólisis del agua fue realizada por primera vez aproximadamente 15 años después de que se descubriera el principio de la electrólisis. De acuerdo con (Benjumea, 2023) informa que: “En el año 1800, los científicos ingleses William Nicholson y Anthony Carlisle lograron la descomposición de la molécula de agua en sus componentes básicos, oxígeno e hidrógeno, utilizando energía eléctrica.”

En la actualidad, existen dos tecnologías comerciales para la producción de hidrógeno mediante electrólisis: la electrólisis alcalina y la electrólisis polimérica. (Benjumea, 2023)

**Figura 12****Electrolisis del agua**

*Nota.* Se detalla el proceso de electrolisis dentro de una celda electrolítica

Tomado de (Benjumea, 2023)

### **Hidrógeno como combustible**

Según lo estipulado por (Benjumea, 2023) expresan que: “A lo largo del siglo XX, el hidrógeno ha encontrado diversas aplicaciones en la industria química, como combustible para cohetes y en la generación de energía eléctrica. En las últimas décadas, el hidrógeno se ha posicionado como una opción energética prometedora en la exploración de alternativas sostenibles a los combustibles fósiles.”

### ***Propiedades combustibles del hidrógeno frente a otros combustibles.***

**Número de octano.** Son las cualidades antidetonantes de un combustible.

**Tabla 3**

*Número de octanos de diferentes combustibles*

<b>Combustible</b>	<b>Número de Octano</b>
Diésel	30
Gasolina	87 - 93
Metanol	99
Etanol	100
Propano	105
Metano	125
Hidrógeno	130

*Nota.* Tomado de (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

**Poder calorífico.** Según lo mencionado por (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022), señala que: “el poder calorífico es la cantidad de energía que se libera en forma de calor cuando se quema una cierta cantidad de combustible de manera equilibrada, donde los productos quemados permanecen en las mismas condiciones de temperatura y presión que los reactivos iniciales. Esta cantidad de energía liberada se conoce como poder calorífico del combustible y puede variar dependiendo del tipo de combustible utilizado.”

**Tabla 4**

*Poder calorífico para diferentes combustibles.*

<b>Combustible</b>	<b>Poder Calorífico (M.J/kg)</b>
Diésel	42.4
Gasolina	43.4
Metanol	20.094
Etanol	26.952
Propano	46.334
Metano	50.032
Hidrógeno	120.21

*Nota.* Tomado de (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

**Velocidad de quemado.** (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022) indica que:” Es la rapidez con la que se propaga el fuego en la mezcla de gas combustible.”

**Tabla 5**

*Velocidad de quemado para distintos combustibles.*

<b>Combustible</b>	<b>Velocidad de quemado (m/s)</b>
Gasolina	0.4
Metano	0.4
Hidrógeno	2.65

*Nota.* Tomado de (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

**Energía de ignición.** De acuerdo con (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022), “Cantidad de energía externa necesaria para encender la mezcla de combustible. En los motores de combustión interna, la forma más común de encender la mezcla de combustible es mediante el uso de bujías.”

**Tabla 6**

*Energía de ignición para diferentes combustibles.*

<b>Combustible</b>	<b>Energía de ignición (mJ)</b>
Gasolina	0.24
Metano	0.29
Hidrógeno	0.02

*Nota.* Tomado de (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

**Temperatura de autoencendido.** Según los establecido por (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022) expresan que: “la temperatura de autoencendido es la temperatura mínima necesaria para iniciar la combustión de una mezcla de combustible sin necesidad de una chispa externa, se conoce como temperatura de autoignición.”

**Tabla 7**

*Temperatura de autoencendido de diferentes combustibles*

<b>Combustible</b>	<b>Temperatura Autoencendido (°C)</b>
Diésel	204 - 260
Gasolina	230 - 480
Metanol	385
Etanol	428
Propano	490
Metano	540
Hidrógeno	585

*Nota.* Tomado de (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

### **Generador de hidrogeno**

En conformidad con lo dicho por (Repsol, 2023) mencionan que: “El electrolizador, también conocido como generador de hidrógeno, está compuesto por dos electrodos: un ánodo (o electrodo negativo) y un cátodo (o electrodo positivo).” Estos electrodos son responsables de permitir el paso de corriente eléctrica a través del agua y llevar a cabo el proceso de electrólisis, que consiste en la descomposición de las moléculas de agua. (Repsol, 2023)

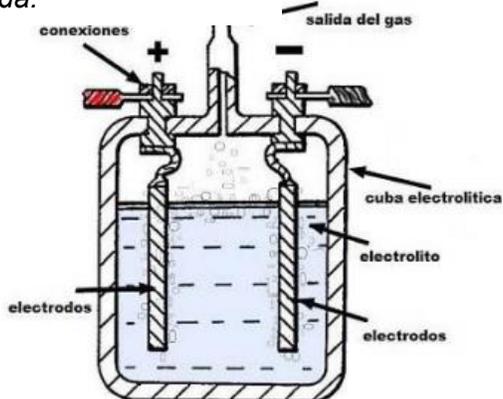
## Tipos de generador de hidrógeno.

### **Generador de celda húmeda (Wet Cell).**

El equipo de hidrógeno consta de un recipiente con líquido conductor y donde los componentes eléctricos están sumergidos por completo, este recipiente actúa tanto como celda como depósito del electrolito. En la parte superior se coloca una tapa con salidas para el hidrógeno. Estas celdas son más sencillas de construir ya que no requieren un depósito de electrolito separado, y permiten el uso de cualquier metal como electrodo. Sin embargo, presentan una baja eficiencia debido a las pérdidas de corriente que se producen en los bordes de los electrodos, lo cual provoca un aumento de la temperatura en la celda. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

### **Figura 13**

*Generador de Celda Húmeda.*



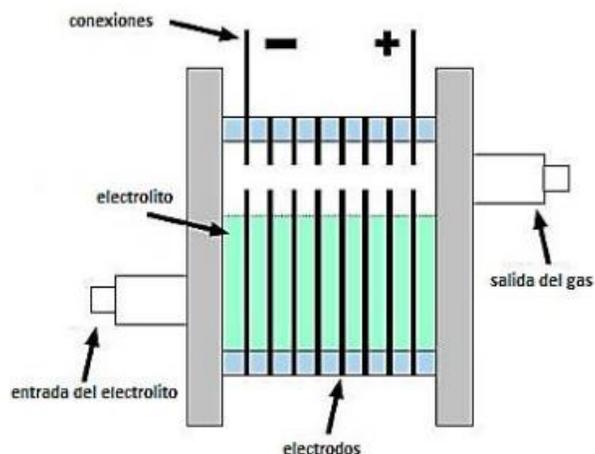
*Nota.* Se detalla los componentes de un generador de celda húmeda  
Tomado de (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

### **Generador de celda seca (Dry Cell).**

Este tipo de generador también se conoce como hidrolizador, celda de hidrógeno o generador de hidrógeno. Se le llama celda seca no porque no contenga agua, sino porque la estructura de la celda es diferente a la de la celda sumergida en agua. (Quezada Romero y Torres Gualan, 2014)

## Figura 14

### Generador de Celda Seca.



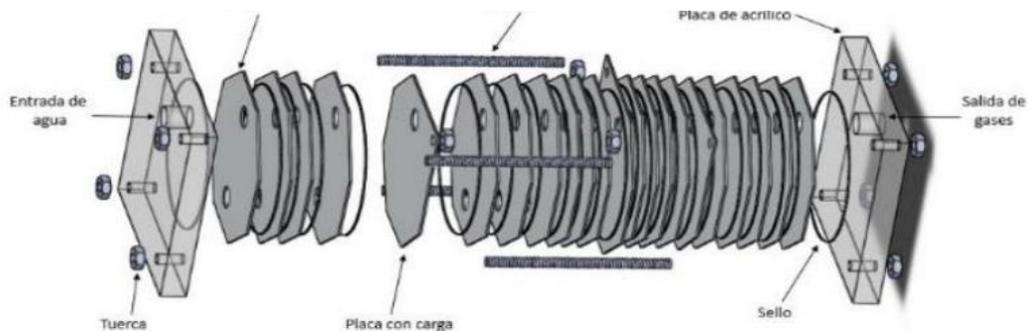
*Nota.* Se detalla los componentes de un generador de celda seca

Tomado de (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

El electrolito se encuentra contenido entre los electrodos y se almacena en un depósito separado de la celda, para permitir que el hidrógeno y el electrolito circulen dentro de las celdas, este generador cuenta con orificios en los electrodos, así como agujeros para la salida del hidrógeno y la entrada del electrolito. Este tipo de celda tiene la capacidad de soportar una mayor cantidad de corriente eléctrica, la cual se transforma en calor. Este calor se disipa a través de la sección de los electrodos que no está en contacto directo con el electrolito. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

## Figura 15

### Despiece de hidrolizador de celdas secas



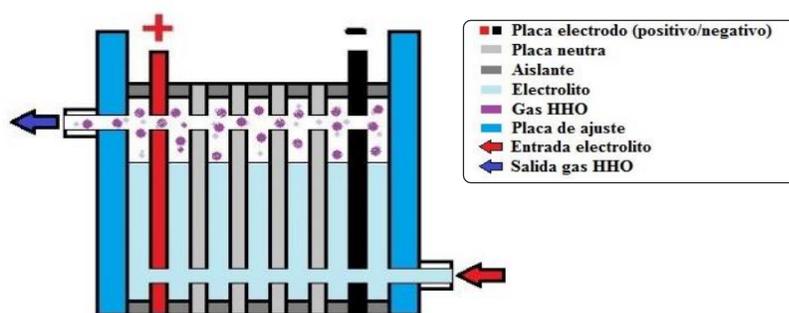
*Nota.* Se detalla el despiece de cada componente que conforma el de hidrolizador de celdas secas. Tomado de (Pesántes Morocho y Tacuri Morocho, 2021)

### Componentes internos.

Cada celda está compuesta por una placa positiva, una placa negativa y placas neutras. El número de placas en un generador es un factor importante, ya que, si son pocas, la producción de gas será baja y la temperatura se elevará. Por otro lado, si hay un exceso de placas, el generador podría no funcionar correctamente. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

**Figura 16**

*Componentes del hidrolizador*



*Nota.* Se detallan los componentes internos del hidrolizador de celda seca.

Tomado de (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

El cuerpo del hidrolizador se encuentra compuesto por varios elementos fabricados con diferentes materiales, que se describen a continuación.

#### **Material de placas electrodo.**

Los electrodos positivo y negativo actúan como conductores de electricidad y son responsables de llevar a cabo el proceso de electrólisis. Debido al fenómeno de fragilización por hidrógeno, que sucede cuando se expone al hidrógeno durante un mucho tiempo, se utiliza acero inoxidable AISI 304 para fabricar estas placas, este tipo de acero tiene resistencia a la debilitación por hidrógeno, resistencia a la corrosión, buena conductividad eléctrica, es económico y fácilmente disponible en el mercado local. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

***Material de placas neutras.***

Según lo estipulado por (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022), detallan que: “La función de las placas neutras es dividir el voltaje entre las placas electrodo y están hechas del mismo material que las placas de los electrodos porque también estarán en contacto prolongado con el hidrógeno.”

***Material de placas de ajuste.***

De acuerdo con (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022), señalan que: “las placas de ajuste se colocan en los extremos del generador para alinear todas las placas a manera de sándwich, estas placas están fabricadas de acrílico por a su resistencia, capacidad de aislamiento y transparencia, lo cual permite observar la reacción electrolítica dentro del generador y verificar la generación de hidrógeno.”

***Material de juntas aislantes.***

Usando las palabras de (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022), “Se emplea para separar y aislar la corriente entre cada placa y asegurar que el electrolito permanezca dentro del generador sin fugas, para ello se utilizan juntas de caucho o neopreno debido a su resistencia a la corrosión, capacidad para soportar altas temperaturas y su propiedad de no conducir electricidad.”

***Tornillos, tuercas y arandelas.***

Estos elementos son utilizados con el fin de sujetar el cuerpo del hidrolizador y como puntos de conexión para las placas de electrodos, se encurtan fabricados de acero inoxidable que puede resistir la corrosión y el voltaje de la batería. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

***Acoples para manguera.***

Permiten la conexión de las mangueras de entrada del electrolito y la salida del gas hidrógeno del generador, estos acoples mencionados pueden ser de diferentes materiales

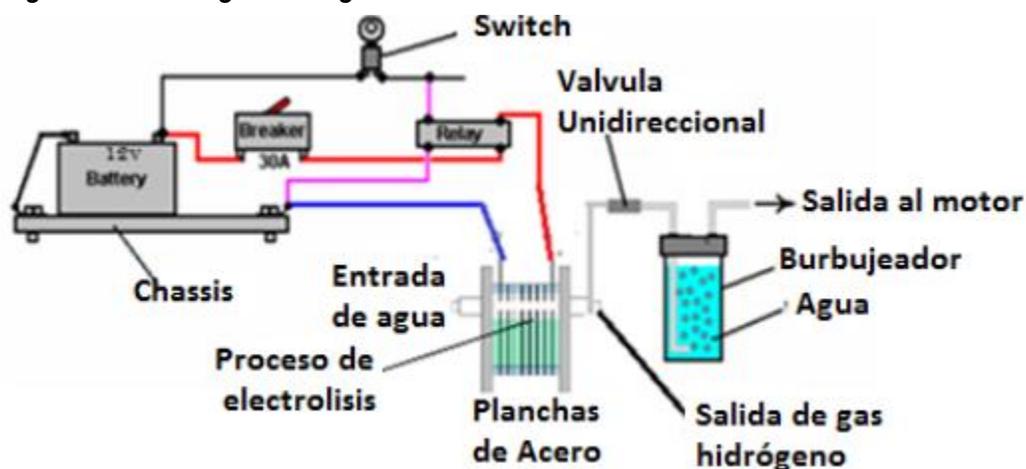
como plásticos o metálicos, siempre y cuando se encuentren debidamente ajustados. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

### **Funcionamiento.**

Para poner en marcha el generador, se utiliza agua destilada y una corriente de 12 V DC, ya sea proveniente de una batería o de una fuente rectificada. Durante el proceso de electrólisis, el generador entrega por separado el oxígeno y el hidrógeno. El gas de hidrógeno es enviado al ingreso de aire del motor, donde se fusiona con la mezcla estequiométrica. Posteriormente, el motor se enciende y se combustiona con la mezcla resultante. (Pesántes Morocho y Tacuri Morocho, 2021)

### **Figura 17**

*Proceso de generación de gas hidrógeno*



Nota. Se detalla los componentes que conforman el sistema de generación de hidrogeno de celda seca. Tomado de (Quezada Romero y Torres Gualan, 2014)

### **Electrolito**

Según (Quezada Romero y Torres Gualan, 2014) detallan que: “Los electrolitos son sustancias que contienen iones libres y actúan como conductores eléctricos, por lo general, están formados por iones disueltos en solución, por eso se les llama soluciones iónicas. Sin embargo, también existen electrolitos fundidos y electrolitos sólidos.”

De acuerdo con (Plaza, 2023), “En un sentido práctico, el electrolito es una solución acuosa o salina en la que se sumergen los electrodos (ánodo y cátodo) en una célula de electrólisis, este elemento permite la transferencia de iones entre el ánodo y el cátodo cuando se aplica una corriente eléctrica. Esta transferencia de iones es lo que permite que ocurran las reacciones químicas en la célula de electrólisis.”

### **Hidróxido de potasio (KOH)**

El hidróxido de potasio, también conocido como sosa cáustica, es una base fuerte que se presenta como un sólido cristalino blanco sin olor. Se comercializa en forma de trozos, escamas, hojuelas, granos o barras. Al disolverse en agua, libera una gran cantidad de calor y es una sustancia altamente corrosiva. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

Algunas de sus propiedades físicas incluyen un punto de ebullición de 1388 °C, un punto de fusión de 318 °C, una densidad de 2.1 g/cm<sup>3</sup> y una solubilidad en agua de g/100 ml a 20 °C. Es importante tener precaución al manipular esta sustancia, ya que es corrosiva y puede causar quemaduras en la piel y daños en los ojos. (Quezada Romero y Torres Gualan, 2014)

- Este tipo de electrolito supera a otros en términos de la cantidad de HHO que produce
- Este electrolito tiene la ventaja de mantener los electrodos limpios, ya que no genera sedimentos.
- Reduce la temperatura de congelación del agua. (Quezada Romero y Torres Gualan, 2014)

### **Figura 18**

*Hidróxido de potasio*



*Nota.* Propiedades físicas del Hidróxido de potasio

## **Componentes del sistema generador de Hidrogeno de celda seca**

### **Electrolito.**

Según (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022), “El electrolito es el medio encargado de facilitar la conducción de corriente entre las placas dentro del hidrolizador, para la obtención de hidrógeno, existen varios electrolitos que se pueden utilizar, siendo los más comunes la sal (NaCl), bicarbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>), hidróxido de potasio (KOH) y el hidróxido de sodio (NaOH).”

### **El agua destilada**

De acuerdo con (Quezada Romero y Torres Gualan, 2014), “El agua destilada es una sustancia cuya composición se basa en la unidad de moléculas de H<sub>2</sub>O.” El agua se purifica mediante el proceso de destilación, lo que resulta en una elevada pureza, como consecuencia de esta pureza, el agua destilada tiene propiedades físicas diferentes al agua potable común. Una gran diferencia es la conductividad del agua destilada ya que es prácticamente nula, pues carece de muchos iones que son los encargados de la conductividad, como cloruros, calcio, magnesio y fluoruros. (Quezada Romero y Torres Gualan, 2014)

### **Figura 19**

*Agua destilada*



*Nota.* Se detalla el agua destilada necesaria para la producción de hidrogeno  
Tomado de (Quezada Romero y Torres Gualan, 2014)

### **Manguera.**

La conexión que se utiliza entre los diferentes elementos de la unidad de generación de hidrógeno debe ser flexible, resistente a altas temperaturas, resistente a fluidos corrosivos y, si es posible, transparente para poder verificar el funcionamiento del sistema. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

### **Figura 20**

*Manguera de alta presión*



*Nota.* Se detalla el tipo de manguera necesaria en el sistema

### **Válvula de esfera o bola.**

De acuerdo con (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022), “Esta válvula regula el flujo de un fluido y se caracteriza por tener un mecanismo regulador en su interior con forma de esfera perforada, además estas válvulas ofrecen una buena capacidad de cierre y son prácticas, ya que solo se necesita girar la manivela unos 90° para abrir o cerrar la válvula. Es recomendable utilizar una válvula plástica con acoples para mangueras de 3/8.”

### **Figura 21**

*Válvula de esfera*



*Nota.* Se detalla el tipo de válvula necesaria en el sistema

### **Válvula anti retorno.**

Según lo indicado por (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022), “La válvula antirretorno es el elemento que posibilita el flujo unidireccional del gas, evitando el contraflujo de gas.”

#### **Figura 22**

*Válvula anti retorno*



*Nota. Se detalla el tipo de válvula necesaria en el sistema*

### **Depósito de expansión**

Según menciona (Quezada Romero y Torres Gualan, 2014), “El depósito tiene la finalidad de almacenar un líquido, durante el funcionamiento del motor, dicho depósito absorberá la temperatura generada por radiación, por lo tanto, el material del depósito debe ser resistente a altas temperaturas.” En dicho depósito se almacenarán el agua destilada y el hidróxido de potasio, que formará el electrolito. (Quezada Romero y Torres Gualan, 2014)

#### **Figura 23**

*Deposito*



*Nota. Se detalla el depósito de expansión necesario para el sistema*

## Hidrolizador

En concordancia con (Pesántes Morocho y Tacuri Morocho, 2021), “Las celdas generadoras de hidrógeno, también conocidas como hidrolizadores, son responsables de la producción de gas hidrógeno a partir de agua destilada ( $H_2O$ ) mediante un proceso de electrolisis, este proceso se lleva a cabo utilizando una tensión de 12 voltios generada por el alternador.”

### Figura 24

*Hidrolizador*



*Nota.* Se detalla el generador de hidrogeno de celda seca

### Componentes eléctricos.

Estos elementos son fundamentales para establecer las conexiones en el circuito eléctrico del sistema de generador de hidrógeno.

### Figura 25

*Elementos eléctricos*



*Nota.* Se detallan los elementos eléctricos necesarios en el sistema

En dicho sistema, se distinguen dos circuitos principales: el circuito de mando y el circuito de alta tensión mismos que se encuentran conformados por diversos tipos de componentes eléctricos como: fusibles, conectores, cable eléctrico, relé, interruptor entre otros.

### ***Fallas en el sistema de generación de hidrogeno***

- **Fugas de hidrógeno:** Si hay fugas en el sistema de celda seca, puede haber pérdida de hidrógeno, lo cual afectaría el rendimiento y la eficiencia del sistema. (Zecsa, 2014)
- **Problemas con los electrodos:** Los electrodos pueden desgastarse o corroerse con el tiempo, lo cual afectaría la producción de hidrógeno y el funcionamiento general del sistema. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)
- **Acumulación de sedimentos:** Si hay acumulación de sedimentos o impurezas en los componentes de la celda seca, como los electrodos o el separador, podría haber obstrucciones y disminución en la eficiencia de la producción de hidrógeno.
- **Problemas con el suministro de agua:** El sistema de celda seca requiere de agua para funcionar correctamente. Si hay problemas con el suministro de agua, como falta de agua o agua de mala calidad, podría afectar la producción de hidrógeno. (Quezada Romero y Torres Gualan, 2014)
- **Problemas en la alimentación eléctrica:** Si hay problemas con el suministro eléctrico del sistema de celda seca, como un fusible quemado o un cableado defectuoso, podría haber interrupciones en la producción de hidrógeno.
- **Corrosión en las conexiones eléctricas:** Si las conexiones eléctricas del sistema de celda seca se corroen o aflojan, podría haber interrupciones en el flujo de energía y afectar la producción de hidrógeno. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)

## **Puesta punto de un motor**

La puesta a punto de un motor es un proceso fundamental para mantener su rendimiento óptimo y prolongar su vida útil, consiste en una serie de ajustes y verificaciones que se realizan en diferentes componentes del motor para garantizar su correcto funcionamiento.

Durante la puesta a punto, se revisan y ajustan elementos como las bujías, los filtros de aire y combustible, entre otros, el objetivo principal de la puesta a punto es garantizar que el motor funcione de manera eficiente, con una buena combustión, un consumo adecuado de combustible y una potencia óptima.

Además, ayuda a prevenir posibles daños y averías futuras, ya que permite detectar y solucionar problemas o desgastes en etapas tempranas.

Para asegurar un funcionamiento correcto del motor, es necesario revisar periódicamente los distintos sistemas, como la inyección de combustible, el encendido, el enfriamiento, la lubricación y el escape, para evitar problemas, optimizar el rendimiento y prolongar la vida útil del motor.

Es importante seguir las recomendaciones del fabricante del vehículo para realizar la puesta a punto, ya que cada motor puede tener especificaciones y procedimientos diferentes.

### ***Puesta a punto del sistema de encendido.***

#### **Comprobación de bobinas de encendido**

- Realizar una inspección visual para verificar el estado externo de la bobina de encendido, asegurándose de que no haya fisuras en su estructura ni deterioro de los contactos.
- Medir la resistencia del bobinado primario, que debería estar en el rango de 0.3 a 2 ohmios.
- Medir la resistencia del bobinado secundario, que debería estar entre 6 y 15 ohmios.

- Comprobar con un osciloscopio o un probador de chispa para verificar si las bobinas de encendido están generando una señal de encendido adecuada, esto permitirá evaluar la calidad y consistencia de la chispa. (León y Morocho, 2012)

#### **Comprobación de bujías de encendido.**

- Realizar una inspección visual para verificar el estado de los electrodos, el aislante cerámico, la presencia de carbonilla y depósitos de aceite, entre otros aspectos.
- Evaluar la resistencia de las bujías, generalmente se espera una resistencia de  $5k\Omega$  a  $12k\Omega$ . (León y Morocho, 2012)

#### **Comprobación en la batería.**

De acuerdo con (León y Morocho, 2012), “Se debe realizar lo siguiente:

- Realice una limpieza de los bornes de la batería para eliminar el sulfato y verifique el nivel del electrolito.
- Mida la tensión de la batería para asegurarse de su carga.
- Durante el arranque del motor, mida la tensión de la batería en los primeros 5 segundos y verifique que no disminuya más de 1,5 V (asegúrese de desconectar la bobina antes de hacer esta medición).”
- Encienda el motor y mida la tensión de la batería en ralentí, la cual debería ser más alta que la tensión inicial. Acelere progresivamente y verifique que la tensión de carga se estabilice alrededor de 14,5 V. (Lema Tigre y Valarezo Vite, 2022)
- Revisar que no exista falsos contactos entre la batería y el interruptor de encendido. (León y Morocho, 2012)

#### ***Puesta a punto del sistema de alimentación.***

En el sistema de alimentación de un automóvil se encuentran los componentes encargados de llevar la mezcla de aire y combustible hacia los cilindros.

**Filtro de aire.**

El filtro de aire en el sistema de alimentación del automóvil tiene la función de retener las partículas más finas en la superficie exterior de su material filtrante, por tal motivo es importante reemplazar el filtro de aire periódicamente para asegurar un adecuado flujo de aire hacia el motor y evitar que las partículas obstruyan el filtro. (León y Morocho, 2012)

**Depósito de combustible**

Realice una inspección visual en el tanque de combustible y verifique que no haya ninguna fuga, es importante asegurarse de que no haya ninguna pérdida de combustible, ya que esto puede ser peligroso y afectar el rendimiento del vehículo.

**Tuberías de combustible.**

Se debe verificar visualmente que no haya signos de fugas, grietas o corrosión en las tuberías. También es necesario asegurarse de que las conexiones estén bien ajustadas y no haya obstrucciones en las tuberías.

**Filtro de combustible**

- Verificar visualmente si el filtro está obstruido o sucio.
- Si se observa suciedad excesiva o cualquier otro signo de deterioro, es recomendable reemplazar el filtro de combustible de inmediato.

Un filtro obstruido puede afectar el rendimiento del motor, provocar dificultades en el arranque y reducir la eficiencia del combustible.

**Inyectores de combustible**

La verificación de los inyectores de gasolina es esencial para asegurar un funcionamiento óptimo del sistema de inyección.

Se deben inspeccionar visualmente en busca de daños, realizar pruebas de flujo y pulverización, medir la resistencia eléctrica y, si es necesario, limpiar o reemplazar los inyectores, como resultado se podrá garantizar un suministro adecuado de combustible y un rendimiento eficiente del motor.

### **Bomba de combustible**

Verificar visualmente si hay signos de fugas, corrosión o daños en la bomba, también es importante escuchar si hay ruidos anormales provenientes de la bomba mientras el vehículo está en marcha.

Si es necesario realizar pruebas de presión en la bomba de combustible, es importante recordar que los motores de gasolina de cuatro tiempos suelen estar equipados con una bomba de membrana accionada mecánicamente con una presión de alimentación de aproximadamente 0,3 bar, durante la prueba de presión, se debe utilizar un manómetro adecuado para medir la presión de combustible en la bomba. (León y Morocho, 2012)

#### ***Puesta a punto del sistema de lubricación.***

- Verificar y cambiar regularmente el aceite del motor, recordar usar el recomendado por el fabricante.
- Reemplazar el filtro de aceite de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.
- Mantener el nivel de aceite dentro del rango adecuado.
- Inspeccionar las juntas y sellos del sistema de lubricación para prevenir fugas.
- Realizar el mantenimiento y ajuste necesario en el sistema de lubricación según las especificaciones del fabricante.

#### ***Puesta a punto del sistema de refrigeración.***

- Verificar que el nivel de líquido refrigerante esté en los valores recomendados por el fabricante. Si es necesario, se debe añadir refrigerante hasta alcanzar el nivel adecuado.
- Comprobar visualmente el estado del refrigerante, asegurándose de que no haya signos de contaminación o suciedad. Si se observa alguna anomalía, es recomendable drenar y reemplazar el refrigerante.

- Revisar visualmente las mangueras y conexiones del sistema de refrigeración en busca de fugas, grietas o daños. Si se encuentra algún problema, corregir o cambiar la pieza afectada de inmediato
- El radiador debe ser limpiado regularmente para eliminar cualquier acumulación de suciedad o insectos que puedan obstruir el flujo de aire. Se puede utilizar una manguera de agua a presión para enjuagar el radiador.
- Revisar el termostato: El termostato es responsable de regular la temperatura del motor. Se debe comprobar su correcto funcionamiento y, si es necesario, reemplazarlo. (León y Morocho, 2012)

#### ***Puesta a punto del sistema de escape.***

- Inspeccionar visualmente todo el sistema de escape en busca de posibles daños o fugas.
- Verificar que los componentes del sistema de escape estén correctamente sujetos y no presenten holguras.
- Comprobar que no haya obstrucciones en el sistema de escape que puedan afectar el rendimiento del motor.
- Realizar un ajuste adecuado de las abrazaderas y conexiones del sistema de escape para prevenir fugas de gases. (León y Morocho, 2012)

#### **Pruebas de diagnóstico**

Existen varias pruebas de diagnóstico que se pueden realizar en un motor para identificar posibles problemas o averías, algunas de las pruebas más comunes incluyen:

##### ***Prueba de compresión***

Se mide la presión de compresión en cada cilindro para verificar la salud del motor y detectar posibles problemas como válvulas o anillos de pistón desgastados.

Para realizar esta prueba se utiliza una herramienta llamada medidor de compresión o manómetro.

### **Cómo medir la compresión.**

1. Encender el motor del vehículo y dejarlo calentar durante unos minutos hasta que alcance su temperatura habitual.
2. Apagar el motor y desconectar los cables de cada una de las bujías, asegurándose de recordar el orden de los cables para volver a colocarlos correctamente.
3. Usar una herramienta para sacar las bujías y conectar la punta del manómetro en la culata, donde se inserta la bujía. Asegurarse de que la boquilla del manómetro cubra completamente el orificio de la bujía.
4. Encender el motor y acelerar durante unos segundos para medir la compresión de manera efectiva. Repetir el proceso con cada una de las bujías.
5. Verificar que todos los valores sean iguales: Es importante que cada una de las bujías tenga la misma presión, tal como lo indica el fabricante. Por lo general, en motores de gasolina, solo se permite una diferencia de 1.5 Bar. (Rodes, 2023)

### **Figura 26**

*Medidor de compresión*



Nota. Se detalla la herramienta usada para realizar las pruebas de compresión.

Tomado de (Córdova Morales, 2013)

**Prueba de fugas.**

Se realiza para identificar si hay fugas de compresión en el motor, lo que puede indicar problemas en las juntas de culata, válvulas o anillos de pistón.

De acuerdo con (MVMautotechniek, 2023), “En una prueba de fugas de cilindros, se utiliza aire comprimido para aplicar presión en el espacio del cilindro. Un manómetro se conecta al probador de fugas y muestra el porcentaje de fuga. Si hay una fuga, el manómetro indicará un valor superior al 0%, sin embargo, si la presión del aire en la cámara de combustión se mantiene constante, el medidor mostrará 0%.”

Es importante asegurarse de que las válvulas estén cerradas al realizar esta medición. Por lo tanto, se debe realizar la medición cuando el pistón se encuentre en el punto muerto superior (PMS) y el mismo se encuentre en la carrera de compresión. (MVMautotechniek, 2023)

**Pasos para comprobar fugas.**

Conforme con (MVMautotechniek, 2023), “Se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se debe asegurar de que el motor esté a temperatura de funcionamiento, ya que las piezas del motor se dilatan debido al calor, lo que garantiza mediciones realistas.
2. Colocar el pistón del cilindro que estás midiendo en la posición más alta, asegurándote de que el motor esté en la fase de compresión para que las válvulas estén cerradas.”
3. Activar el freno de mano y se poner el motor en marcha. (MVMautotechniek, 2023)
4. Introducir aire comprimido al cilindro.
5. Se lee el medidor para obtener la lectura de la prueba de fugas. (MVMautotechniek, 2023)

**Figura 27**  
*Prueba de fugas*



*Nota.* Se detalla el proceso de medición de prueba de fugas.  
Tomado de (MVMautotechniek, 2023)

### ***Prueba de sistemas de combustible.***

Las pruebas del sistema de combustible son esenciales para garantizar un funcionamiento óptimo del motor de gasolina, estas pruebas permiten evaluar la presión de combustible, la eficiencia de los inyectores y la integridad del sistema de suministro de combustible, con estas pruebas se pueden detectar posibles obstrucciones, fugas o problemas en los componentes del sistema de combustible, ayudando a detectar y resolver cualquier inconveniente que pueda afectar el funcionamiento y la eficacia del motor.

#### **Prueba de presión de combustible.**

Según indica (Sanz, 2011), “Los pasos a seguir son:

- Conectar un medidor de presión a la línea de combustible y enciende el motor.
- Verificar que la presión de combustible esté dentro del rango especificado por el fabricante.”

Si la presión es demasiado alta o baja, puede indicar un problema con la bomba de combustible, el regulador de presión o los inyectores. (Sanz, 2011)

**Figura 28***Medidor presión de bomba*

*Nota.* Se detalla la herramienta necesaria para realizar la medición de presión de la bomba.  
Tomado de (Megatul, 2023)

**Prueba de fugas de combustible.** Inspección visual de las líneas de combustible y los componentes para detectar posibles fugas, también se puede utilizar un detector de fugas de combustible para identificar cualquier escape de combustible que no sea visible a simple vista.

**Prueba de inyectores de combustible.** Mediante un probador de inyectores se debe verificar si los inyectores están rociando combustible de manera uniforme, si existe inyectores obstruidos o que no funcionan correctamente, es posible que necesiten ser limpiados o reemplazados. ( San Lorenzo Ferriol, s.f.)

***Prueba de sistemas de encendido.***

Las pruebas del sistema de encendido son un procedimiento crucial para diagnosticar y solucionar problemas relacionados con la ignición del motor, permitiendo verificar el correcto funcionamiento de las bobinas, cables, bujías y otros componentes del sistema de encendido.

A través de estas pruebas, se pueden identificar posibles fallas que afecten el rendimiento del motor y tomar las medidas necesarias para su reparación.

**Prueba de chispa.** Se desconecta un cable de bujía y se conecta un probador de chispa en su lugar, posterior arrancar el motor y observa si hay una chispa fuerte y consistente en el probador.

Repetir este proceso para cada cable de bujía. Si no hay chispa o es débil, puede indicar un problema con las bobinas de encendido, cables de bujías o bujías en mal estado.

### Figura 29

*Comprobador de chispa*



*Nota.* Se detalla la herramienta necesaria para diagnosticar el salto de chispa.

Tomado de (Megatul, 2023)

**Prueba de sincronización del encendido.** Se utiliza un equipo de sincronización de encendido para verificar que el punto de encendido esté ajustado correctamente, esto garantiza que la chispa se produzca en el momento exacto. (Sanz, 2011)

### Figura 30

*Lámpara estroboscópica*



*Nota.* Se detalla un equipo de sincronización del encendido.

Tomado de (Megatul, 2023)

### **Prueba de sensores y actuadores**

De acuerdo con (Córdova Morales, 2013), “Se verifica el funcionamiento de los sensores y actuadores del motor, como el sensor de oxígeno, el sensor de temperatura, el sensor de posición del cigüeñal, las válvulas de control de aire y los solenoides.”

**Prueba con escáner de diagnóstico.** Usando las palabras de (Córdova Morales, 2013), “Se debe utilizar un escáner de diagnóstico compatible con el vehículo para acceder a los códigos de error y los datos en tiempo real del sistema. Esto permitirá obtener información valiosa sobre el funcionamiento de los sensores y actuadores.”

**Verificación los códigos de error.** Revisar los códigos de error almacenados en la memoria del vehículo, estos códigos te otorgaran indicios sobre los posibles problemas en los sensores o actuadores, si existe códigos presentes, realizar las pruebas correspondientes para confirmar su funcionamiento incorrecto. (Córdova Morales, 2013)

### **Figura 31**

*Escáner Automotriz*



*Nota.* Se detalla un escáner automotriz de la serie X-431 Pro. Tomado de (Megatul, 2023)

**Prueba de los sensores.** Dependiendo del sensor en cuestión, se puede realizar diferentes pruebas, dentro de las opciones incluyen la medición de la resistencia eléctrica de un

sensor, la verificación de la señal de voltaje generada por un sensor o la comparación de los valores leídos por el sensor con los valores esperados.

**Prueba de los actuadores.** Para probar los actuadores, se puede utilizar una fuente de energía externa o activarlos a través del escáner de diagnóstico.

Observar si los actuadores responden correctamente y realizan las acciones esperadas, como abrir o cerrar una válvula, activar un relé, entre otros.

### **Valores estándar.**

Son las especificaciones y parámetros establecidos por el fabricante para garantizar un funcionamiento óptimo del motor.

Estos parámetros varían según el modelo de motor, ya que cada motor puede tener características y requisitos específicos, sin embargo, existe una similitud entre algunos de estos valores estándar, ya que se basan en principios y tecnologías comunes en la industria automotriz, aunque puede haber variaciones, la mayoría de los motores de gasolina comparten ciertos valores estándar.

**Tabla 8**

*Valores estándar*

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
Presión de combustible	La presión de combustible típica en un sistema de inyección de gasolina puede estar en el rango de 35 a 45 psi (libras por pulgada cuadrada).
Presión de compresión	La presión de compresión en cada cilindro puede variar, pero un valor típico puede ser de alrededor de 120 a 180 psi
Ajuste de encendido	El ángulo de avance del encendido puede variar según el régimen del motor y la carga, pero un valor

Parámetros	Valores
	típico puede oscilar entre 10 y 20 grados antes del punto muerto superior (PMS).
Calibración de bujías	Rango de 0.8 a 1.1 mm (0.031 a 0.043 pulgadas).
Temperatura de funcionamiento	La temperatura de funcionamiento normal de un motor de gasolina generalmente oscila entre los 90 y 104 grados Celsius (194 a 219 grados Fahrenheit).

Nota. Se detallan los parámetros estándar de motores a gasolina. Tomado de (Sanz, 2011)

### Mantenimiento.

El mantenimiento regular de un generador de hidrógeno implementado en un motor de combustión interna es esencial para prevenir averías, optimizar el rendimiento y minimizar las deficiencias de carga, asegurando así un funcionamiento óptimo y una mayor vida útil del equipo.

### Tabla 9

*Mantenimientos al sistema generador de hidrogeno*

Tarea de Mantenimiento	Frecuencia	Descripción
Inspección visual del sistema de hidrógeno	Mensual	Verificar que no haya fugas de gas o daños en los componentes del sistema de hidrógeno.
Verificación de electrolito	Mensual	Comprobar el nivel de electrolito en la celda seca y añadir agua destilada si es necesario

Tarea de Mantenimiento	Frecuencia	Descripción
Limpieza de electrodos	Semestral	Limpiar los electrodos de la celda seca para eliminar cualquier acumulación de sedimentos o minerales.
Inspección de cables y conexiones	Anual	Revisar los cables y conexiones del sistema de hidrógeno para confirmar que se encuentren en buen estado y bien conectados.
Verificación de la producción de hidrógeno	Trimestral	Evaluar la producción de hidrógeno del sistema y compararla con los valores esperados. Realizar ajustes si es necesario.
Inspección de válvulas y reguladores	Cada 2 años	Examinar las válvulas y reguladores del sistema de hidrógeno para detectar posibles fugas o daños.
Reemplazo de electrolito	Trimestral	Realizar el reemplazo del electrolito para precautelar un rango adecuado de producción de hidrogeno

*Nota.* Se detallan las tareas de mantenimiento que se deben llevar a cabo en un generador de hidrógeno instalado en un motor de combustión interna.

## Capítulo III

### Puesta punto del motor de combustión interna.

Para poder comenzar a realizar cualquier tipo de trabajo en el motor primero se debe de efectuar sus respectivas inspecciones y verificaciones de todos los sistemas para así garantizar su correcto funcionamiento.

#### Inspección de fluidos.

Como primer punto, se llevó a cabo la inspección de los fluidos del vehículo, incluyendo el aceite y el refrigerante.

En el caso del aceite, no se encontraron problemas o novedades, sin embargo, al revisar el refrigerante, se pudo observar que el depósito del refrigerante presentaba una alta contaminación de algas y sedimentación. Ante esta situación, se procedió a realizar la limpieza del depósito para eliminar dicha contaminación.

#### Figura 32

*Limpieza de depósito de refrigeración*



*Nota.* Se detalla el proceso de limpieza del depósito de refrigeración

Una vez realizada la limpieza y la revisión del sistema de refrigeración, se procedió a rellenar el depósito con fluido limpio. También se verificó el nivel de refrigerante en el motor para asegurarse de que estuviera dentro de los parámetros recomendados por el fabricante.

**Inspección de fugas.**

Se realizó una exhaustiva inspección de fugas en todas las juntas posibles del motor. Se verificó minuciosamente cada unión y conexión en busca de cualquier indicio de escape de fluidos o gases, el objetivo de esta inspección fue asegurar que no hubiera ningún tipo de fugas que pudieran comprometer el rendimiento y la eficiencia del sistema.

Después de una inspección detallada, se pudo constatar que no se presentó ningún tipo de fuga en ninguna de las juntas analizadas. Esto es un resultado muy positivo, ya que indica que todas las conexiones están correctamente selladas y que el motor está en buen estado de funcionamiento.

**Inspección de cableado eléctrico, sockets, y componentes eléctricos.**

Para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema eléctrico del vehículo, se llevó a cabo una inspección visual exhaustiva de todo el cableado eléctrico. Se verificó minuciosamente cada conexión, desde la batería hasta cada uno de los sensores del automóvil. Además de revisar las conexiones, se verificó que los sockets estuvieran correctamente conectados, asegurándose de que no hubiera cables sueltos o conexiones flojas que pudieran causar problemas eléctricos. Asimismo, se comprobó el estado de todos los elementos eléctricos, como los fusibles, para asegurarse de que estuvieran en buen estado y funcionando correctamente.

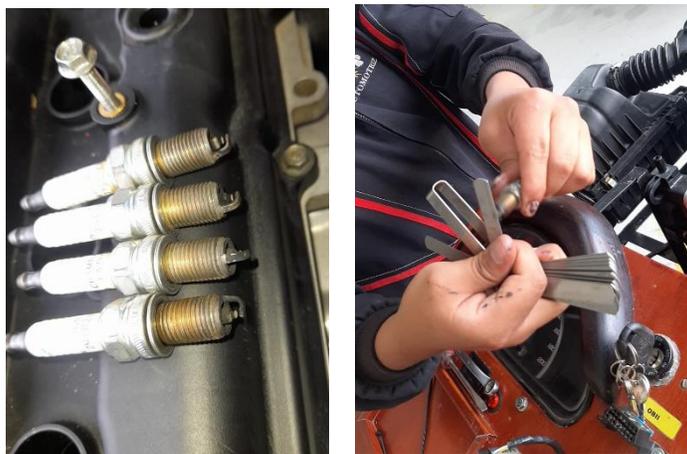
**Limpieza y calibración de bujías.**

Este proceso se realiza con el fin de garantizar un correcto y adecuado funcionamiento del motor. En primer lugar, se desmontan las bobinas de encendido una a una. Luego, con la ayuda de un dado especial para bujías, se retiran las bujías del motor. Al realizar una inspección visual, se observa que las bujías están en buen estado, por lo que se procede a limpiarlas. Posteriormente, se realiza la calibración de cada bujía de forma individual, utilizando un calibrador de láminas con una medida de 0.042 pulgadas. Esta medida se basa en las

recomendaciones del fabricante, que sugiere una tolerancia de 1-1.1 mm (0.039-0.043 pulgadas) para la calibración de las bujías. Una vez finalizada la limpieza y calibración, se procede al montaje de las bujías y las bobinas de encendido en su posición correspondiente.

### Figura 33

Limpieza y calibración de bujías



*Nota.* Se detalla el proceso realizado para la limpieza y calibración de bujías

### Comprobación de sensores.

Después de haber realizado las inspecciones y comprobaciones necesarias en los diferentes sistemas del vehículo, se procedió a encender el motor. El resultado fue positivo, ya que el motor arrancó de manera inmediata y sin ningún problema aparente.

Posterior de haber encendido el motor con éxito, se procedió a realizar las comprobaciones de las curvas de funcionamiento de cada sensor del vehículo. Para llevar a cabo este proceso, se utilizó un escáner que contaba con un osciloscopio integrado, lo que permitió visualizar las diferentes curvas de funcionamiento de los sensores, voltajes de señal y voltajes de referencia.

Se llevaron a cabo las comprobaciones con cada sensor del motor, como el sensor CKP (Crankshaft Position), CMP (Camshaft Position), MAP (Manifold Absolute Pressure), EGO 1 y 2 (Exhaust Gas Oxygen), IAT (Intake Air Temperature), TPS (Throttle Position Sensor) y KS (Knock Sensor). Además, también se verificaron las curvas de funcionamiento de todos los

actuadores, como las bobinas de encendido e inyectores. Por último, se comprobaron las curvas de funcionamiento del pedal electrónico.

### Figura 34

*Comprobación de sensores*

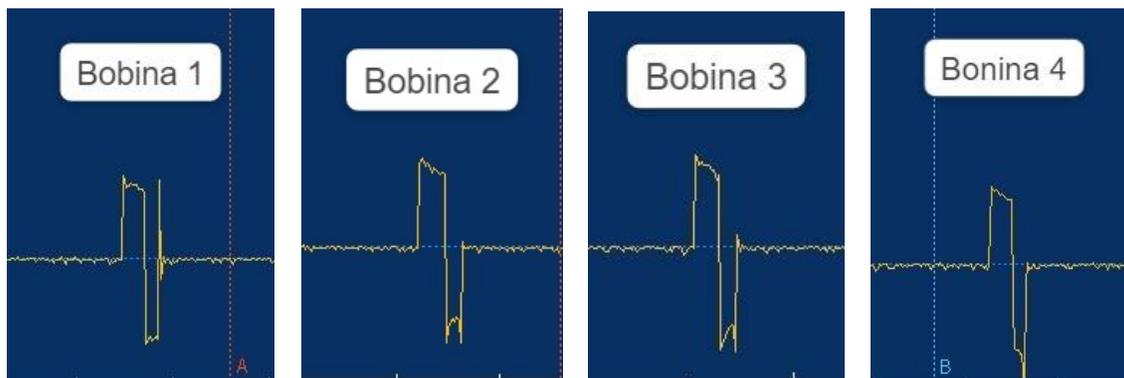


*Nota.* Se detalla el proceso de medición de voltaje de señal del sensor CKP

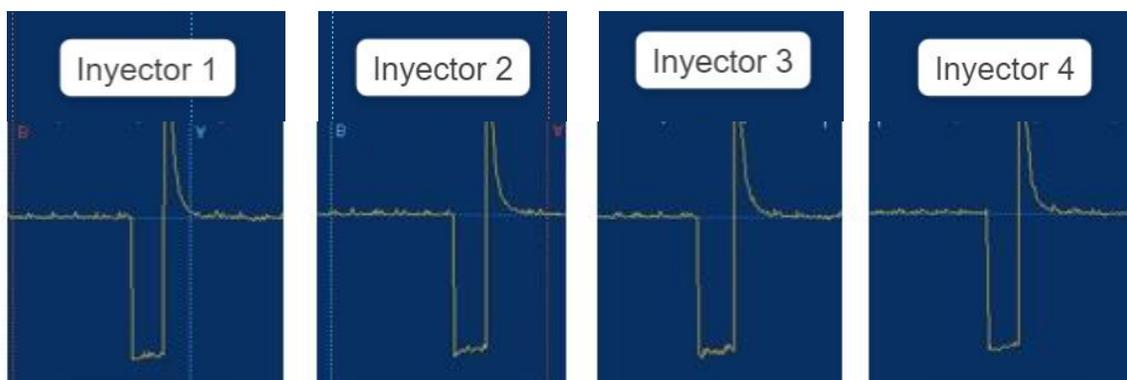
El objetivo de estas comprobaciones era asegurarse de que cada elemento estuviera trabajando correctamente y dentro de los parámetros establecidos por el fabricante. Al observar las curvas de funcionamiento, se pudo analizar la respuesta de cada sensor y actuador en tiempo real, lo que brindó información valiosa sobre su rendimiento.

Como resultado de estas comprobaciones, se pudo apreciar que todas las curvas de los elementos analizados estaban dentro de los rangos esperados y que cada uno de ellos estaba funcionando correctamente.

Esto es un indicativo de que todos los sensores y actuadores se encuentran en buen estado, lo que contribuye a un funcionamiento óptimo del motor.

**Figura 37***Curvas de bobinas*

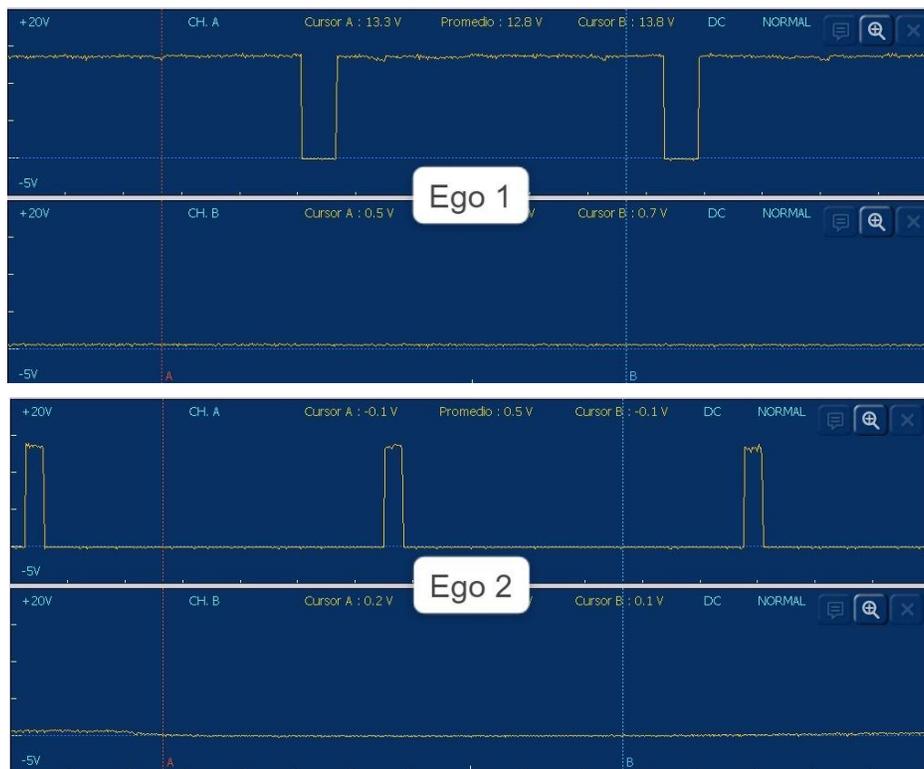
*Nota.* Se detallan los distintos resultados obtenidos de las curvas de cada bobina.

**Figura 35***Curvas de inyectores*

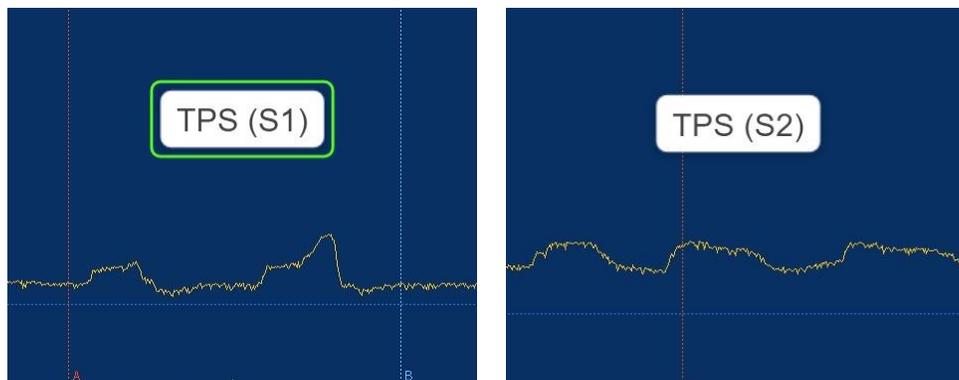
*Nota.* Se detallan las diferentes curvas obtenidas en las mediciones de los inyectores

**Figura 36***Curvas de sensor CKP - CMP*

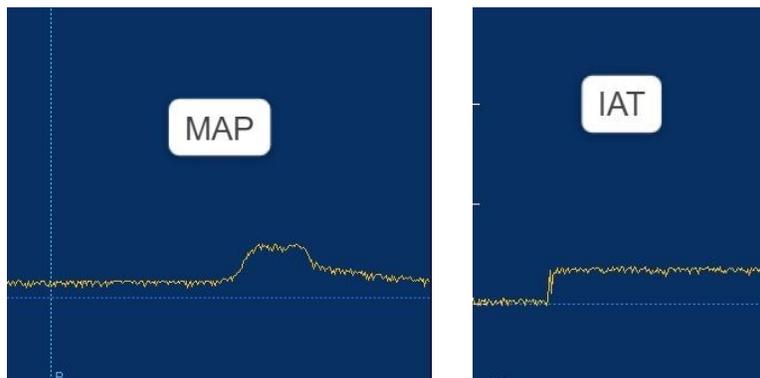
*Nota.* Se detallan las curvas obtenidas con las mediciones de los sensores CKP - CMP

**Figura 38***Curvas de sensores EGO*

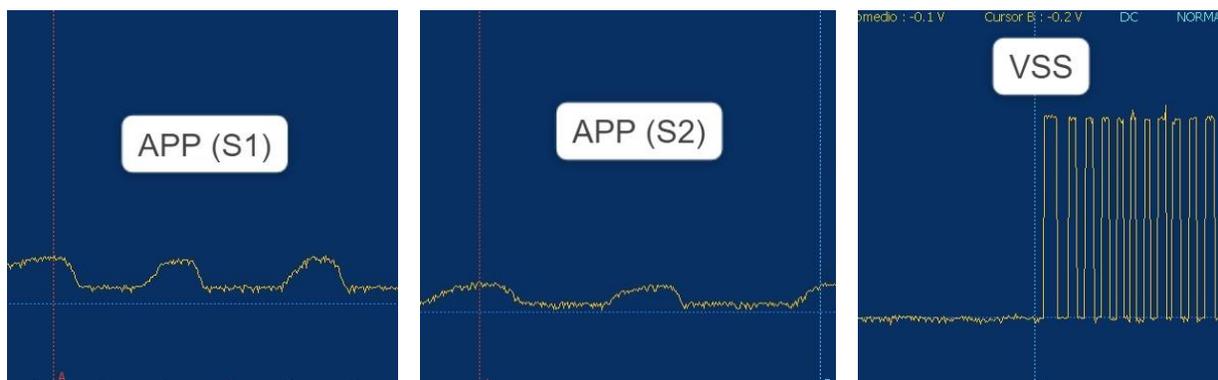
*Nota.* Se detallan las curvas obtenidas con las mediciones de los sensores EGO

**Figura 39***Curvas de sensor TPS*

*Nota.* Se detallan los distintos resultados obtenidos de las curvas del sensor TPS Señal 1-2

**Figura 40***Curvas de sensor MAP - IAT*

*Nota.* Se detallan las curvas obtenidas en las mediciones de los sensores MAP e IAT

**Figura 41***Curvas sensor APP - VSS*

*Nota.* Se detallan las curvas obtenidas del sensor APP señal 1-2 y sensor VSS

### **Pruebas de compresión.**

Además de las pruebas mencionadas se realizó también la prueba de compresión para verificar el estado del motor internamente, para esto se usó un compresometro. Para realizar estas pruebas se deben retirar cada una de las bobinas de encendido y bujías, una vez se encuentren libres se procede a colocar el compresometro en el lugar de las bujías. Posterior a esto da arranque al motor por un tiempo no mayor a los 5 segundos y el compresometro realizara su trabajo permitiéndonos a nosotros observar cuanta compresión tiene cada cilindro, como resultado de las mediciones de cada cilindro nos arrojó los siguientes resultados.

**Tabla 10***Resultados de las pruebas de compresión*

N° Cilindro	Resultados obtenidos
1	125 psi
2	125 psi
3	125 psi
4	130 psi

*Nota.* Se detallan los resultados obtenidos en las pruebas de compresión realizadas al motor.

Con los valores obtenidos de las pruebas realizadas, podemos concluir de manera satisfactoria que el motor se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento. Los resultados de las pruebas de compresión han arrojado valores dentro de los rangos aceptables, lo cual indica que no existen fugas significativas en los cilindros ni desgastes excesivos en los componentes internos.

**Figura 42***Resultado obtenidos de las pruebas de compresión*

*Nota.* Se detallan las ilustraciones de los resultados de las diferentes pruebas de compresión de cada cilindro

### Reemplazo de sensor de temperatura.

Durante el proceso de pruebas del motor, lamentablemente se presentó un inconveniente inesperado. El sensor de temperatura experimentó una falla y explotó debido a la formación de sulfatación en su interior. Esta situación provocó que los polos del sensor se unieran y generaran un cortocircuito, resultando en la explosión del sensor de temperatura.

Es importante destacar que este tipo de situaciones son imprevistas y pueden ocurrir debido a diferentes factores, como el desgaste natural de los componentes o la acumulación de residuos en su interior. Aunque se intenta llevar a cabo un mantenimiento adecuado y realizar pruebas exhaustivas, a veces pueden surgir incidentes como este.

Ante este inconveniente, se procedió de manera inmediata al reemplazo de la pieza dañada, es decir, el sensor de temperatura que explotó debido a la sulfatación. Se adquirió un nuevo sensor de temperatura de calidad y se instaló de manera adecuada en el motor.

### Figura 43

*Reemplazo de sensor de temperatura*



Nota. Se detalla el sensor en mal estado, también la instalación del nuevo elemento.

## Capítulo IV

### Implementación del sistema generador de hidrogeno.

#### Instalación de componentes del sistema de hidrogeno

Una vez que ya se tienen todos los componentes que conforman el sistema generador de hidrogeno se procede a la instalación de cada uno de ellos como se detallan a continuación.

#### ***Instalación de voltímetro/amperímetro e interruptor.***

Para la instalación de estos elementos se necesitó de la ayuda de un taladro, con el mismo se realizaron perforaciones posteriores al trazado del lugar donde queríamos dejar fijos los componentes, una vez realizado la mayor parte de perforaciones posibles se procedió a devastar y eliminar las imperfecciones existentes hasta que las piezas encajen perfectamente.

#### **Figura 44**

##### *Instalación de Voltímetro/Amperímetro e interruptor*



*Nota.* Se detalla el antes y el después de la instalación de los controladores electrónicos

#### ***Instalación de depósito.***

En este punto es necesario la fabricación de una base especial para la fijación de depósito en la estructura de la maqueta.

- Obtener todas las medidas necesarias para la fabricación de la base
- Seleccionar el material a usar en la fabricación de la pieza, en este caso se usó una plancha de acero de 2mm de espesor.

- Trazar sobre la plancha de acero y posteriormente cortar
- Realizar perforaciones para poder acoplar el depósito con la base fabricada, para mayor comodidad se utilizó soldadura para fijar las tuercas en la base.
- Con la ayuda de autorroscantes se fija la base del depósito con la estructura de la maqueta.
- Ensamblar el depósito a la base y verificar que el mismo quede bien sujeto.

### **Figura 45**

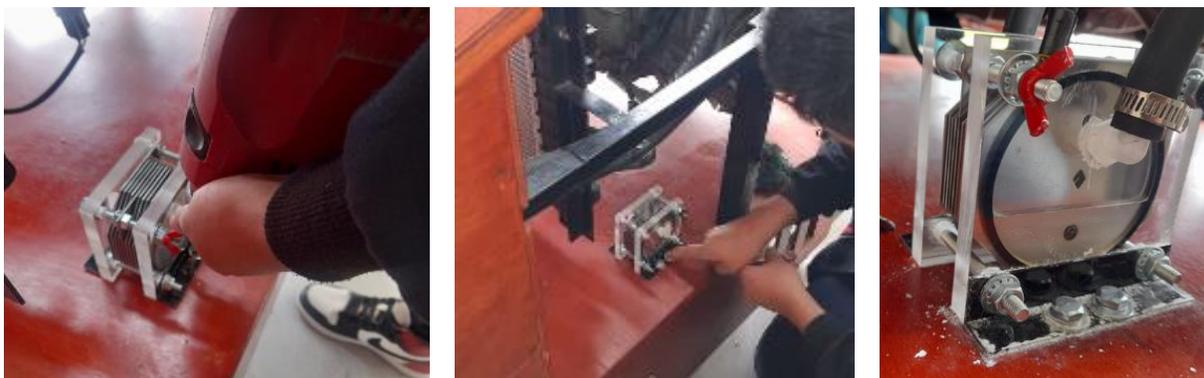
#### *Instalación de deposito*



*Nota.* Se detalla el proceso de instalación del deposito

#### ***Instalación de hidrolizador.***

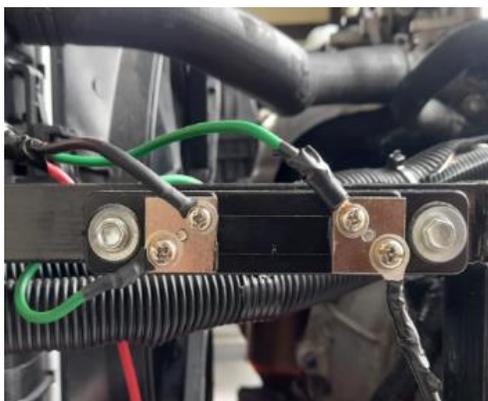
En el montaje de este elemento fue rápido y sencillo, primero se buscó la posición donde el elemento tenga espacio para realizar las conexiones tanto como del sistema eléctrico y como la conexión de mangueras, posterior de ya tener posicionado la celda se usó la ayuda de un taladro para realizar 4 perforaciones donde se introducirá pernos los mismos que nos ayudaran a fijar la celda, finalmente se debe comprobar que el componente quede muy bien fijado y que los pernos se encuentren correctamente ajustados.

**Figura 46***Instalación de celda*

*Nota.* Se detalla el proceso de instalación de la celda

***Instalación de shunt.***

La instalación de este elemento fue relativamente fácil, ya que solo se necesitó de la ayuda de un taladro y de dos autorroscantes, mismo que nos permitió dejar muy bien sujeto el elemento en la estructura metálica.

**Figura 47***Instalación de Shunt.*

*Nota.* Se detalla el resultado final de la instalación de shunt.

**Instalación de termocuplas.**

Para poder comprobar el efecto de la implementación del sistema de hidrogeno en el motor se deben realizar pruebas de rendimiento, en nuestro caso contamos con un motor

estacionario por la cual se dificulta su traslado a un dinamómetro especial para estos motores por lo cual nos enfrentamos a otro problema, por tal razón se optó a realizar pruebas de rendimiento mediante cálculos usando temperaturas, para estos cálculos se debe trabajar con las temperaturas de trabajo del motor en dos puntos clave, en circuito de admisión y en el colector de escape. Para poder conocer las mediciones de temperaturas en tiempo real se necesita usar un instrumento denominado termocupla o termopar el mismo que se encarga de medir la temperatura a estudiar. En nuestro caso usamos dos tipos de termocuplas, una termocupla de tornillo de la serie K que nos proporciona un rango de trabajo desde los 0°C hasta los 1100°C por tal razón se la selecciono para la parte del escape del motor, por otra parte, usamos un indicador de luz piloto de temperatura el mismo que ya cuenta integrado una termocupla que nos proporciona un rango de trabajo desde los 0°C hasta los 220°C siendo un instrumento ideal para la admisión del motor.

En la parte del escape se realizó un trabajo muy minucioso para poder acoplar la termocupla al colector de escape, procurando que el resultado de la instalación sea estética, funcional y no genere fugas de los gases de escape.

- Desmontar el colector de escape
- Seleccionar el lugar donde se instalará la termocupla
- Perforar el colector
- Paso de machuelo de la medida de la rosca de la termocupla a instalar
- Instalar y verificar el componente instalado
- Montar el colector de escape ya con la termocupla instalada.

**Figura 48***Instalación de termocupla de escape*

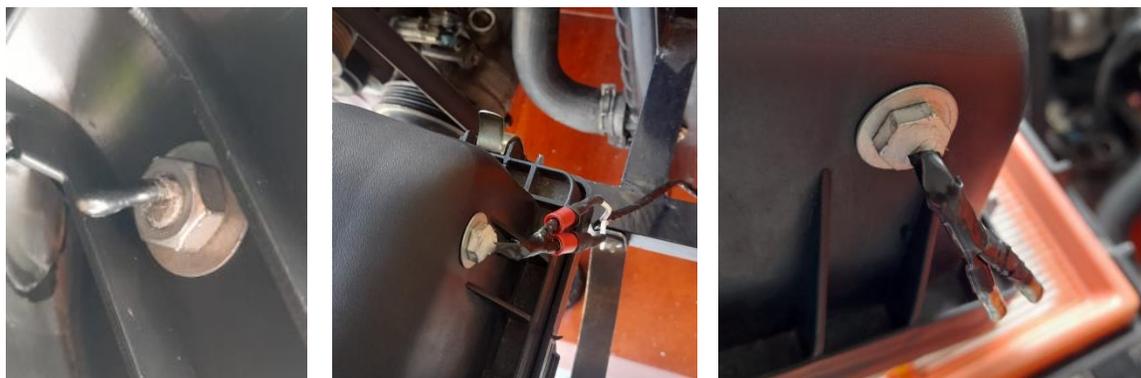
*Nota.* Se detalla el proceso de instalación y resultado final del trabajo realizado.

Por otra parte, la instalación de la termocupla de admisión se realiza un proceso casi similar al anterior señalado.

- Desmontar el depurador
- Seleccionar el punto donde se colocará la termocupla
- Realizar la perforación donde se colocará el componente
- Perforar un perno por la mitad, este servirá como elemento de fijación de la termocupla
- Fijar la termocupla en el perno perforado, usando algún tipo de pegamento
- Colocar la termocupla en el orificio realizado y verificar su correcta fijación
- Implementar terminales en los cables del componente para su mejor maniobrabilidad.

## Figura 49

### *Instalación de termocupla de admisión*



*Nota.* Se detalla el proceso de instalación y resultado final del trabajo realizado

### ***Instalación de medidores de temperatura.***

Una vez instaladas ambos termopares se procede a la instalación de los medidores de temperaturas mismo que nos permitirán ver los valores arrojados por las termocuplas, esto gracias a que ambos medidores son digitales facilitándonos las lecturas y reduciendo así el margen de error en los cálculos de obtención de rendimiento.

- Seleccionar el lugar donde serán instalados los medidores
- Trazar líneas guías para posteriormente perforar
- Realizar perforaciones lo más aproximado posible a la medida final
- Con la ayuda de una lima de madera, devastar el material hasta que el medidor ingrese de manera exacta.

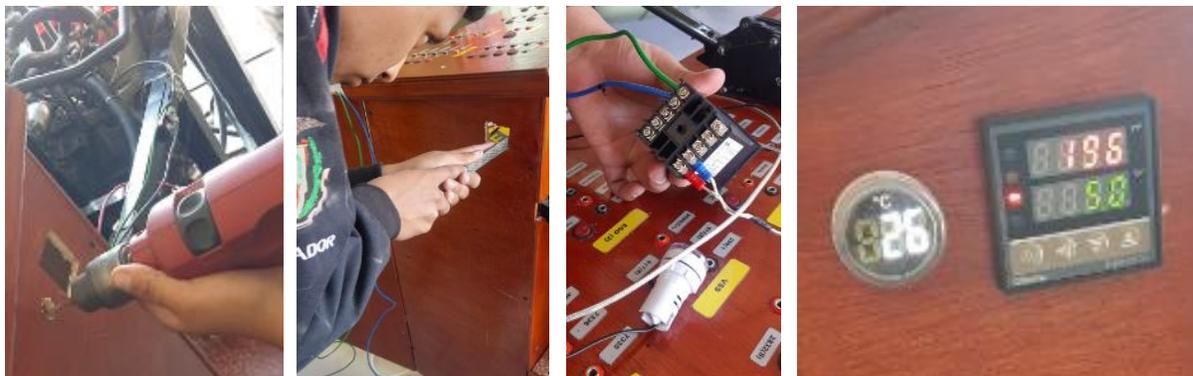
Concluido con la instalación de los dos medidores se procede a realizar las diferentes conexiones, tanto como de alimentación y señal.

- Con la ayuda de cable proporcionar alimentación de energía eléctrica (110 V) a ambos medidores
- Comprobar que ambos medidores enciendan
- Determinar los pines de ingreso de termocuplas en ambos medidores

- Asegurarse de la polaridad de los termopares y conectar con los terminales de los medidores
- Colocar los medidores en el lugar final y asegurarse que permanezcan fijos y Que No Exista Posibles Cortocircuitos

### Figura 50

#### Instalación de medidores



Nota. Se detalla el proceso de instalación de los medidores de temperatura

#### Fabricación e instalación de difusor de gas.

Este elemento fue creado desde la necesidad de poder introducir el gas de hidrogeno dentro de los cilindros por medio de la admisión, inicialmente se contaba solo con un conector en forma de 90°, el mismo que no dosificaba el gas adecuadamente. Partiendo desde el inconveniente mencionado se optó por la fabricación de un difusor, el mismo que consta de tres piezas, la primera es la más grande y se encuentra fabricada en un material denominado nylon, este es la base principal del sistema donde se aloja el difusor y a su vez donde se insertó el acople de 90° por donde ingresara el gas de hidrogeno.

En segundo punto tenemos al difusor, este elemento fue fabricado en aluminio por su durabilidad y para en un futuro facilitar los mantenimientos. Este componente es el mas esencial dentro del sistema ya que es el encargado de dosificar el gas de una manera eficiente, es decir inyecta el gas de hidrogeno dentro de la admisión de una manera homogénea, esto se

debe a que en el diseño de la pieza cuenta con varios agujeros de una misma dimensión distribuidos por todo su alrededor con el fin de que se distribuir el gas correctamente.

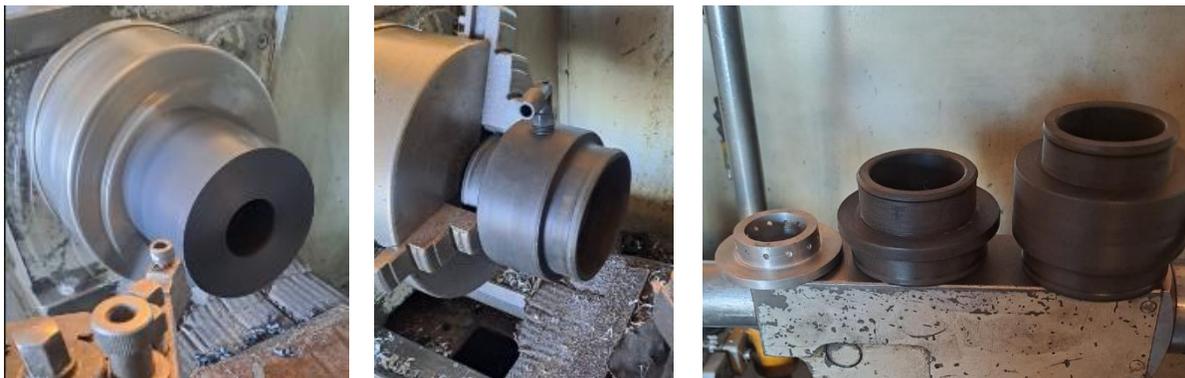
En conjunto de las dos piezas mencionadas anteriormente se crea una sola pieza, misma que forma una precámara donde se acumulara el gas para posteriormente ser repartido en la admisión.

Como último componente tenemos al reductor, este fue fabricado en nylon. Su función surgió desde la necesidad y la dificultad de acoplar el sistema difusor de gas con el conducto de admisión original del motor, pues se tenía dos diámetros diferente.

Todos estos elementos mencionados previamente se realizaron gracias a la ayuda de un especialista en torno.

### **Figura 51**

#### *Fabricación de difusor de gas*



*Nota.* Se detalla el proceso de fabricación del difusor de gas de hidrogeno

Posterior a la fabricación del difusor se procede a la instalación del mismo en el motor, para esto se utilizó aproximadamente 5 cm de manguera de silicón de diámetro [2 1/2 in], este ayudara a la conexión de un extremo del difusor con la boca del cuerpo de aceleración.

Además, para asegurarnos que los componentes queden fijos se utilizaron abrazaderas de metal.

Por el otro extremo del difusor inicialmente se tenía plantado conectar la manguera original del motor, pero surgió un inconveniente, pues al colocar el difusor existió un incremento

de longitud de alrededor de 15 cm, el mismo hizo imposible conectar el sensor de temperatura de aire (IAT), y de la misma manera la válvula pcv. Como solución a lo mencionado se optó por la reubicación del depurador, para esto se presentó el componente en diferentes posiciones hasta encontrar la más apropiada donde se pueda conservar la misma válvula pcv, y en el caso del sensor si o si se tenía que modificar el cableado. Además para asegurar el depurador en su nueva posición se fabricó un pequeño soporte que nos proporciona rigidez a la pieza.

### **Figura 52**

#### *Instalación de difusor*



*Nota.* Se detalla el proceso de instalación del difusor al cuerpo de aceleración del motor.

Una vez reubicado el depurador se continuó con la instalación del difusor, y para conectar los dos extremos sobrantes se utilizó manguera de acordeón de un diámetro de 3 pulg por una longitud de 50 cm, y en el extremo de la manguera original del motor se incorporó el reductor para unir las dos mangueras que son de diferente diámetro, de la misma manera se usaron abrazaderas metálicas para sujetar los componentes. Una vez todo instalado y ajustado todas las abrazaderas se procede a comprobar que no exista fugas de vacío.

### Figura 53

#### *Reubicación del depurador*



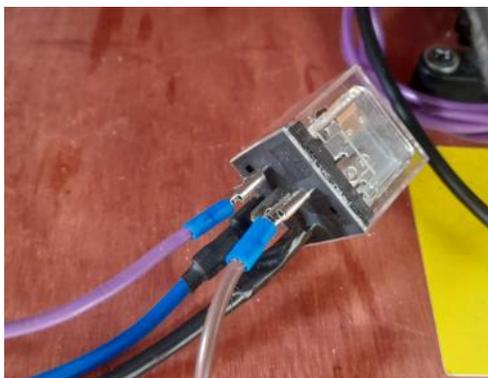
*Nota.* Se detalla la nueva posición del depurador y la instalación completa del difusor de gas.

### **Instalación eléctrica del sistema generador de hidrogeno.**

Para toda la instalación eléctrica se utilizaron terminales, tanto como redondos, y planos, todo esto para garantizar conexiones seguras, facilidad de instalación, fácil desconexión y reconexión de los cables facilitando cualquier tipo de mantenimiento, además de la estética y organización.

### Figura 54

#### *Instalación eléctrica usando terminales*



*Nota.* Se detalla el trabajo realizado en las instalaciones eléctricas

Para comenzar con la instalación eléctrica primero se identificó el cable procedente de Switch en la posición de ON, esto se hace para tener señal eléctrica solo cuando el motor se encuentre encendido, con el fin de precautelar que el sistema se encuentre fuera de operación

cuando el motor no esté en funcionamiento. Para esta operación se necesitó la ayuda de un multímetro para poder comprobar voltajes y así identificar bien el cable de señal.

Una vez que se identifica el cable se procede a realizar un empalme implementando un cableado adicional, partiendo desde este punto necesitamos colocar un interruptor con cual controlaremos todo el sistema eléctrico, cabe mencionar que en el interruptor se realizó una adaptación donde se instaló una luz piloto, para eso uso la misma línea de señal positiva y una negativa necesaria para encender el led. Posterior al interruptor llevamos una línea desde el componente mencionado hacia un relé, en este componente encontraremos 5 pines los cuales tienen una numeración para poder diferenciar entre cada uno. Continuando con la línea procedente desde el interruptor se debe conectar al pin 86 del relé; por otra parte tenemos al pin 85, mismo que debe ser conectado a negativo directamente o a un buen punto de masa, en conjunto entre el pin 85 y 86 son los encargados de energizar la bobina interna del relé permitiendo así activar la compuerta interna del mismo relé, en conjunto con el interruptor mencionado anteriormente podemos controlar cuando energizar y desenergizar la bobina, de esta manera se controlara todo el sistema eléctrico.

Ubicándonos en el pin 30 del relé debemos de desplazar un cable de un calibre considerable para evitar recalentamientos por la demanda de energía generado por el hidrolizador, este cable debe ir conectado directamente al positivo de la batería del vehículo y para prevenir la integridad de los dispositivos eléctricos se instaló un porta fusible, mismo que alojara un fusible de 25 amperios, si el consumo de energía supera el amperaje del fusible este se fundirá y genera un circuito abierto cortando así el flujo de corriente para proteger los componentes eléctricos instalados.

De vuelta en el relé aún existen dos pines sobrantes, el 87a mismo que no se tomara en cuenta, y por otro lado tenemos el 87 el cual es la compuerta de salida o salida de voltaje, en otras palabras, es la continuación del voltaje positivo que llega desde la batería.

Desde el pin 87 se debe enviar cable hacia el terminal positivo del hidrolizador, en todo este trayecto también se instaló un porta fusible para evitar posibles daños al sistema eléctrico.

### **Figura 55**

*Conexión de porta fusible*



*Nota.* Se detalla el proceso de conexión de porta fusible

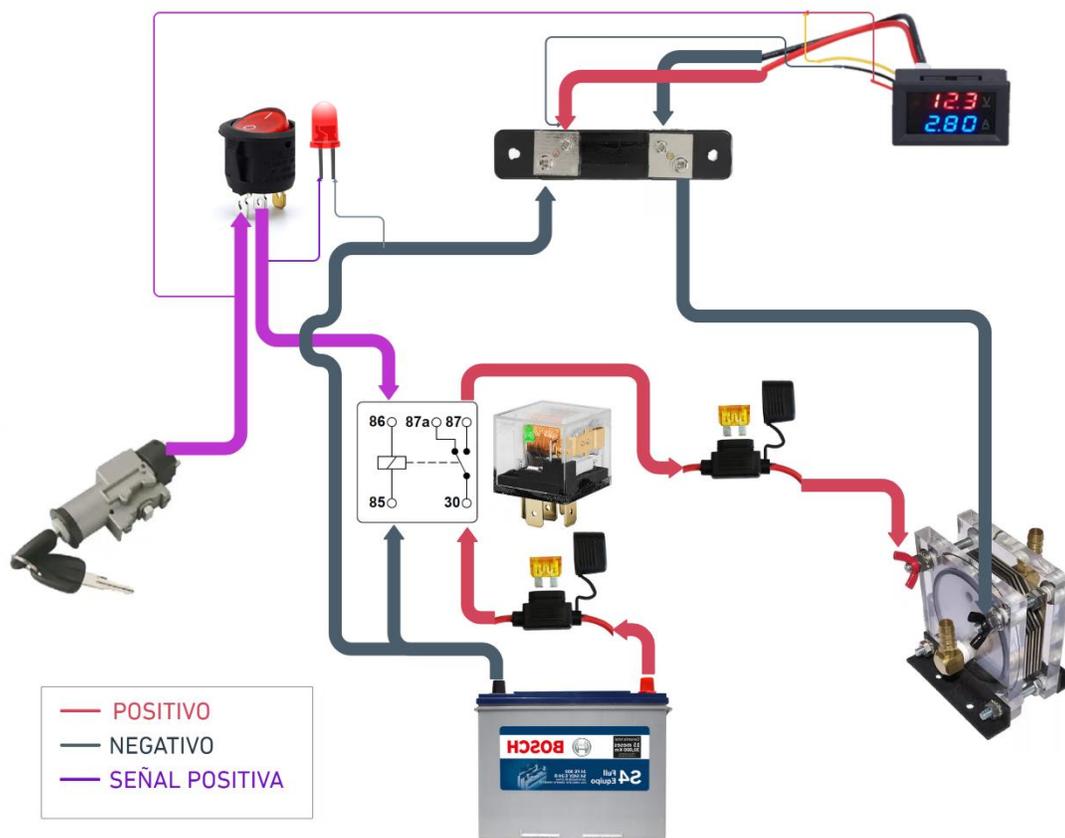
Continuando con la conexión eléctrica nos ubicamos en el otro terminal del hidrolizador en este caso el negativo, desde este punto desplazamos un cable hasta llegar al Shunt y fijamos el cable en uno de los terminales más grande, como se muestra en la siguiente figura.

El otro terminal mas grande del shunt debe ser conectado directamente a negativo de batería o buscar una buena masa en el motor que relativamente cumplen la misma función.

Los otros dos terminales sobrantes del shunt irán conectados con los dos cables gruesos procedentes desde el voltímetro/amperímetro, donde el cable rojo se conectará en el mismo lado del shunt donde tenemos la llegada de voltaje negativo, y en el otro extremo se debe conectar el cable negro. Además, para poder encender el voltímetro/amperímetro necesitamos alimentar con voltaje negativo el cable fino color negro, para esto desplazamos cable desde el punto mencionado hasta un polo del shunt, de preferencia en el mismo punto donde está conectado el cable rojo grueso.

**Figura 56**

*Diagrama eléctrico de sistema generador de hidrogeno*



*Nota.* Se detalla el diagrama eléctrico de conexión usado en el proceso de instalación del sistema de generador de hidrogeno

Por último, nos situamos en el voltímetro/ampérmetro y ubicamos los dos cables sobrantes, en este caso el cable amarillo y rojo, realizamos un empalme entre estos dos cables y desplazamos más cable hasta llegar al cable que se empalmo al ramal procedente del Switch. De esta manera se encontraría realizado por completo la conexión eléctrica del sistema generador de hidrogeno.

**Figura 57**

*Funcionamiento de voltímetro/amperímetro*



*Nota.* Se aprecia el Voltímetro/Amperímetro y la luz piloto en funcionamiento

**Conexión de mangueras del sistema generador de hidrogeno**

Una vez concluido el proceso del conexión y cableado eléctrico se procede a realizar la instalación de mangueras del sistema de generación de hidrogeno para posteriormente realizar sus respectivas pruebas de funcionamiento.

Antes de iniciar con la instalación de las mangueras primero se realizó una mejora al acople de conexión tanto como del depósito y del hidrolizador, esta mejora consistía en colocar teflón en el roscado de los acoples con el fin de crear un sello hermético entre pieza y rosca para evitar posibles fugas de líquidos, de esta manera ya se puede continuar con la instalación de las mangueras.

**Figura 58**

*Mejoramiento a los diferentes acoples del sistema*



*Nota.* Se detalla el trabajo de mejora a los acoples para la prevención de fugas

Procediendo con la instalación de las mangueras primero se realiza la conexión de la manguera de llenado, esta manguera parte desde la parte inferior del depósito hasta llegar al acople inferior del hidrolizador, este conducto tiene la función de alimentar la celda eléctrica con el fluido en este caso con agua destilada e hidróxido de sodio que se encuentra alojado en el depósito. Con el fin de facilitar los mantenimientos se implementó una válvula de desfogue, además para evitar incidentes se colocó abrazaderas metálicas en cada extremo fijando muy bien la manguera con sus respectivos acoples.

### Figura 59

*Diagrama de conexión de mangueras del sistema de hidrogeno*



*Nota.* Se detalla el diagrama de conexión de las mangueras del sistema generador de hidrogeno

Posteriormente se procede a colocar la segunda manguera, esta parte desde el segundo acople del depósito, misma que se encuentra ubicado a un extremo lateral del elemento mencionado. Este tiene como función transportar el hidrogeno desde el hidrolizador hasta el depósito.

Por último, de debe conectar la manguera que suministra el hidrogeno al motor, esta manguera parte desde el ultimo acople que se encuentra en la parte superior del depósito, hasta conectar con el difusor conectado al cuerpo de aceleración. En este circuito de pueden acoplar elementos como una válvula antirretorno que nos garantizara que el gas viaje en una sola dirección, además se podría implementar un regulador de presión y un flujómetro que en

conjunto se podría controlar la cantidad de hidrogeno se introduciría al motor. De la misma manera se usan abrazaderas metálicas para asegurar muy bien las conexiones realizadas.

### **Figura 60**

*Conexión de mangueras del sistema de hidrogeno*



*Nota.* Se detalla la conexión de mangueras realizadas para el funcionamiento del sistema generador de hidrogeno

### **Pruebas del sistema generador de hidrogeno**

Para comenzar con las pruebas, es importante recordar que se requiere una mezcla química adecuada para poder generar la electrolisis dentro del hidrolizador para de esta manera obtener hidrogeno. En este caso, se utilizó una combinación de bicarbonato de sodio y agua destilada como mezcla inicial para las primeras pruebas.

La combinación de bicarbonato de sodio y agua destilada proporciona una base adecuada para iniciar la producción de hidrógeno a través de la electrolisis. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta es solo una mezcla inicial para pruebas de funcionamiento y puede ser necesario ajustar proporciones o utilizar otros aditivos para mejorar los resultados obtenidos.

Una vez que se ha preparado la mezcla química adecuada, se procede a verter el contenido en el depósito designado, es importante asegurarse de que no haya ninguna fuga en el sistema antes de encender el sistema eléctrico.

Después de haber verificado que no hay fugas, se procede a encender el sistema eléctrico del hidrolizador, activando de esta manera el proceso de electrolisis, donde la corriente eléctrica fluiría a través del electrolito, provocando la separación de las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno.

Durante este proceso, se puede observar que el hidrolizador está realizando correctamente su trabajo. Se pueden apreciar burbujas de gas que se liberan en el depósito, lo cual indica la producción de hidrógeno.

### Figura 61

Pruebas de generación de hidrogeno



*Nota.* Se detalla el hidrolizador en funcionamineto

Tras realizar un exhaustivo monitoreo de todo el sistema generador de hidrógeno, se pudo identificar dos posibles anomalías que estaban afectando su funcionamiento. La primera anomalía detectada fue que el amperímetro no mostraba un valor constante, presentando momentos en los que se apagaba por completo. Después de revisar el diagrama eléctrico, se determinó que una línea a masa mal conectada era la responsable de este problema. Se procedió a corregir la conexión defectuosa y asegurarse de que todas las conexiones estuvieran firmes y en buen estado.

La segunda anomalía identificada estaba relacionada con el hidrolizador, ya que no se mantenía siempre con líquido y en ocasiones se quedaba vacío, lo que afectaba la generación

de hidrógeno. Después de investigar e indagar, se llegó a la conclusión de que la ubicación del hidrolizador era la causa de este problema. Se determinó que el hidrolizador se encontraba demasiado lejos del depósito de líquido, lo que provocaba que el líquido no fluyera de manera constante hacia el hidrolizador. Para solucionar esto, se procedió a reubicar el hidrolizador lo más cerca posible del depósito, asegurándose de que las mangueras quedaran rectas para facilitar el flujo constante del líquido.

Estas medidas correctivas permitieron solucionar las anomalías detectadas y aseguraron el correcto funcionamiento del sistema generador de hidrógeno.

### **Figura 62**

*Reubicación del hidrolizador*



*Nota.* Se detalla la nueva posición del hidrolizador después de su reubicación

Para comprobar la generación de hidrógeno, se llevó a cabo una prueba en la que se introdujo la manguera procedente del depósito misma que transporta el hidrogeno, en un recipiente con agua y jabón. Al ser un gas, el hidrógeno al entrar en contacto con el agua produjo burbujas que se acumularon en la parte superior. Luego, se encendieron esas burbujas, lo que provocó una explosión. De esta manera, se pudo comprobar que el sistema estaba efectivamente generando hidrógeno.

**Figura 63***Prueba de combustión del hidrogeno*

*Nota.* Se detalla la combustión del hidrogeno al entrar en contacto con el fuego

Con la prueba mencionada anteriormente, se pudo verificar que el hidrógeno se estaba generando mediante la mezcla de bicarbonato y agua destilada. Sin embargo, se descubrió que la combustión resultante de esta mezcla no era suficiente para alimentar el motor de combustión interna. Ante esta situación, se decidió buscar nuevas alternativas.

Dentro de los elementos considerados como alternativas, se encontraban el cloruro de sodio, ácidos como el ácido sulfúrico o el ácido clorhídrico, carbonato e hidróxidos como el hidróxido de sodio o el hidróxido de potasio. Se decidió llevar a cabo pruebas adicionales utilizando carbonato mezclado con agua destilada, sin embargo, los resultados no mostraron mejoras significativas, por lo que se descartó esta opción.

Tras una investigación más profunda, se determinó que los hidróxidos eran más efectivos para generar la electrólisis necesaria. Por lo tanto, se tomó la decisión de utilizar hidróxido de sodio para realizar las siguientes pruebas.

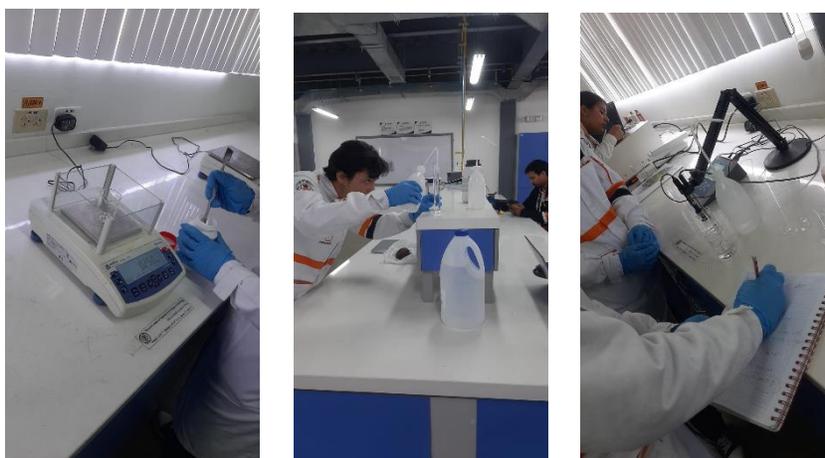
La adquisición del hidróxido de sodio resultó complicada debido a que no es un producto químico de venta comercial. Sin embargo, una vez que se consiguió obtenerlo, se procedió a realizar pruebas al producto. Las pruebas realizadas tenían como objetivo determinar el índice de pureza del hidróxido de sodio para su mezcla proporcional con agua

destilada. Para llevar a cabo este proceso, se contó con la invaluable ayuda de los estudiantes de petroquímica de nuestra misma universidad, quienes usaron los equipos y herramientas adecuadas para determinar que el nivel de pureza del elemento químico era del 48,2%. A través de cálculos matemáticos precisos, se estableció que se debía utilizar una cantidad de 80 gramos de hidróxido de sodio por cada litro de agua destilada para obtener los mejores resultados en nuestras pruebas. Esta información fue de gran utilidad para continuar con nuestro proyecto.

Una vez determinada la cantidad de hidróxido de sodio necesaria para la mezcla, se procedió a prepararla. Sin embargo, durante la reacción entre el químico y el agua destilada, se observó que el agua comenzó a hervir y se generó un olor tóxico. Por tal razón es importante tener en cuenta estas reacciones y tomar precauciones para garantizar la seguridad durante el proceso.

#### **Figura 64**

*Determinación de índice de pureza del hidróxido de sodio*



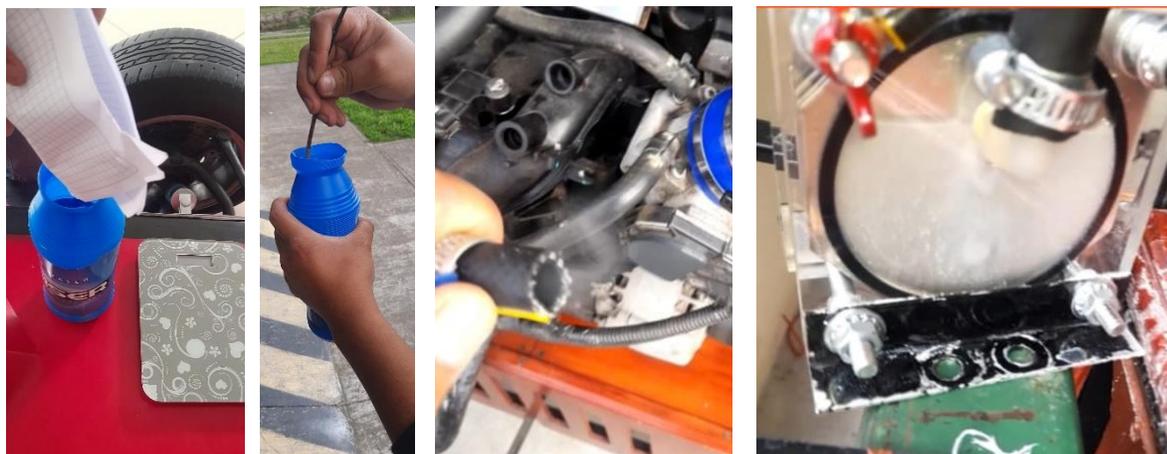
*Nota.* Se detalla el proceso de obtención del porcentaje de pureza del hidróxido de sodio

Una vez que la mezcla estuvo lista, se vertió en el depósito que previamente fue limpiado de los residuos de las pruebas anteriores. Luego, se esperó a que el motor alcanzara su temperatura de trabajo y se procedió a encender el sistema generador de hidrógeno.

La reacción del químico fue inmediata y se pudo observar un aumento significativo en la producción de hidrógeno. De hecho, la generación de hidrógeno casi triplicó en comparación con las primeras pruebas.

### Figura 65

*Pruebas con hidróxido de sodio*



*Nota.* Se detalla proceso de la mezcla de NaOH y los resultados obtenidos

A pesar de los resultados favorables obtenidos en la producción de hidrógeno, surgió una problemática significativa. El concentrado de la mezcla resultó ser tan fuerte que comenzó a dañar las placas del hidrolizador, el dispositivo encargado de separar el hidrógeno y el oxígeno del agua mediante electrólisis. Si no se tomaba medidas preventivas el daño comprometería el funcionamiento adecuado del hidrolizador y afectaría la eficiencia de la producción de hidrógeno o incluso dañar por completo el hidrolizador.

Además, el aumento en la demanda de consumo de energía por parte del hidrolizador provocó recalentamientos en el cableado eléctrico. Esto generó preocupación por la seguridad del sistema y la posibilidad de daños mayores. Ante esta problemática, se hizo necesario revisar y ajustar la concentración de la mezcla para evitar daños adicionales al hidrolizador y garantizar su correcto funcionamiento.

**Figura 66***Consumo de energía por parte del hidrolizador*

*Nota.* Se detalla el consumo de energía por parte del hidrolizador con el químico a 80gramos

Después del inconveniente sucedido, se tomó la decisión de realizar nuevas pruebas, pero esta vez reduciendo el nivel de hidróxido de sodio en la mezcla. Se disminuyó de 80 a 35 y posteriormente a 20. Antes de llevar a cabo estas pruebas, se realizó una exhaustiva inspección y comprobación de todo el cableado eléctrico para garantizar que se encuentre en buen estado y evitar cualquier problema relacionado con recalentamientos o daños en el sistema eléctrico. Esta inspección incluyó la revisión de los cables, conexiones y dispositivos de protección, como fusibles o interruptores.

Con estas precauciones y ajustes en la concentración de la mezcla, se busca evitar problemas similares a los ocurridos anteriormente y garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema generador de hidrógeno.

Al reducir el nivel de hidróxido de sodio a 35 gramos, se logró reducir considerablemente el consumo de energía por parte del hidrolizador. Sin embargo, se descubrió que el químico aún estaba corroendo las placas del hidrolizador, lo que requería una solución adicional.

Por lo tanto, se decidió realizar una nueva mezcla con un concentrado de 20 gramos de hidróxido de sodio por un litro de agua destilada. Con esta nueva configuración, se obtuvieron resultados satisfactorios. Tras un monitoreo cuidadoso, se verificó que no existían afectaciones en el hidrolizador debido a la mezcla. Además, se constató que el consumo de energía era

relativamente bajo, evitando así recalentamientos en el sistema eléctrico. Además, se pudo constatar que la generación de hidrógeno era suficiente para suministrar combustible de aporte al motor. Estos resultados positivos nos brindan confianza en la viabilidad del sistema generador de hidrógeno garantizado así un funcionamiento eficiente y seguro.

De la misma manera que la vez anterior se realizó la prueba de generador de hidrogeno, pero con la nueva mezcla, se introdujo la manguera de hidrogeno dentro de un recipiente con agua jabonosa y se logró apreciar que, a diferencia de las pruebas anteriores, en esta ocasión las burbujas se formaron de manera más constante y su rápidamente fue notable su incremento. Esto indicaba que la nueva mezcla utilizada era más eficiente en la generación de hidrógeno.

Después de obtener una cantidad suficiente de burbujas de hidrógeno, se decidió encenderlas para evaluar la reacción resultante, al encender las burbujas, se produjo una detonación muy fuerte, lo cual fue sorprendente, demostrando de manera contundente que se había logrado crear la mezcla ideal para la producción de hidrógeno.

### **Figura 67**

*Prueba de combustión de hidrogeno con NaOH*



*Nota.* Se detalla la detonación del hidrogeno, mediante le uso de NaOH

## Capítulo V

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Tras investigar los tipos de generadores de hidrógeno existentes, se concluye que los dos principales son el Generador de celda húmeda (Wet Cell) y el Generador de celda seca (Dry Cell). La celda húmeda tiene un costo menor, pero una eficiencia energética más baja y requiere mayor mantenimiento, lo que aumenta el riesgo de fugas de hidrógeno. En contraste, la celda seca ofrece una mayor eficiencia energética, requiere menos mantenimiento y tiene un menor riesgo de fugas, aunque a un costo más elevado. Por lo tanto, se decidió utilizar el Generador de celda seca (Dry Cell) debido a sus ventajas en eficiencia y seguridad.
- Se ha llegado al resultado de que, si es posible obtener hidrógeno a través del proceso de electrólisis utilizando una solución iónica, la cantidad y calidad del hidrógeno dependerán de las sustancias presentes en la solución. En nuestro caso, se obtuvieron diferentes resultados, desde una producción de hidrógeno considerable e inflamable hasta una producción de hidrógeno muy buena y altamente inflamable.
- Una parte importante de la puesta a punto del motor se realizó a través de una inspección visual, durante la cual se verificó la ausencia de fugas de fluidos, se comprobó que el cableado eléctrico estaba en buen estado y que los conectores estaban correctamente acoplados. A excepción del sensor ECT, se identificó una falla de sulfatación en el sensor y se procedió a realizar el cambio de este.
- Durante la verificación de la parte mecánica, se procedió a examinar detenidamente el estado de las bujías, detectando que el electrodo se encontraba descalibrado, para corregir este medio, se realizó un proceso de limpieza minuciosa y recalibración de las bujías, asegurando que quedaran ajustadas con precisión a una tolerancia de 0.042 pulgadas,

optimizando de este modo el rendimiento del sistema de encendido del motor y garantizando su correcto funcionamiento.

- La instalación del kit de hidrógeno se ejecutó de manera eficiente y precisa, mediante herramientas especializadas; con el circuito se priorizó la verificación del posicionamiento correcto de cada elemento, asegurando así su funcionamiento óptimo dentro del sistema.
- Se concluye que la ubicación del hidrolizador es un factor crucial para su correcto funcionamiento. Es fundamental colocarlo lo más cerca posible del depósito y asegurarse de que las mangueras estén rectas, evitando así posibles problemas de pérdidas de llenado en el hidrolizador, esta posición estratégica garantiza un flujo óptimo del fluido y evita obstrucciones que puedan afectar la eficiencia del sistema generador de hidrógeno.
- Se comprobó que la utilización de bicarbonato de sodio para la generación de hidrogeno es ineficiente por la poca producción de este gas, además este elemento crea mucha sulfatación lo cual disminuye su eficacia. Sin embargo, se puede utilizar para pruebas de funcionamiento por su disponibilidad en el mercado, recordando limpiar todo el sistema posterior a las pruebas.
- Se ha confirmado que, al utilizar un concentrado excesivamente alto de hidróxido de sodio en la mezcla se pueden producir efectos negativos como daños tanto al hidrolizador y como al sistema eléctrico, poniendo en riesgo la integridad de todo el sistema.
- En el proceso de pruebas, se deduce que la concentración de hidróxido de sodio, mediante la mezcla con un concentrado de 20 gramos, es la solución más efectiva para evitar dichos daños y reducir el consumo de energía. Esta estrategia ha demostrado ser altamente eficiente en la protección del hidrolizador y en la optimización del rendimiento del sistema en general sin sacrificar la producción de hidrogeno.
- Tras un monitoreo se ha deducido que el sistema generador de hidrógeno funciona de manera óptima cuando el consumo de energía se encuentra en un rango de 12 a 18

amperios, porque cuando el consumo de energía incrementa representa un riesgo para todo el sistema eléctrico, incluyendo al hidrolizador que es el componente más vulnerable. Por esta razón, se protege al sistema eléctrico mediante la instalación de un fusible de 20 amperios, evitando posibles daños.

### Recomendaciones

- Se aconseja vaciar y realizar una limpieza exhaustiva de todo el sistema del generador de hidrógeno después de cada prueba realizada con bicarbonato, debido a que este compuesto puede generar una acumulación significativa de sulfatación.
- Se recomienda tomar medidas de seguridad al realizar las mezclas con el hidróxido de sodio y al detonar el hidrógeno, tales como usar guantes, mascarilla y protección auditiva.
- Se enfatiza la importancia de no sobrecargar la mezcla de hidróxido de sodio, en caso de ser necesario realizar una nueva mezcla, es crucial no exceder los 20 gramos de NaOH por cada litro de agua destilada.
- Se sugiere realizar el cambio del electrolito cada tres meses como medida preventiva para evitar la disminución en la producción de hidrógeno o un aumento en la resistencia eléctrica, preferiblemente sincronizar el cambio del electrolito con el cambio de aceite del motor, lo cual facilita recordar el intervalo de reemplazo, sin embargo, es importante tener en cuenta que la duración exacta del electrolito puede variar dependiendo de varios factores, como la calidad del agua destilada, la concentración inicial de hidróxido de sodio, la frecuencia de uso de la celda y las condiciones ambientales, por lo tanto, se recomienda monitorear regularmente el rendimiento de la celda y ajustar el intervalo de reemplazo según sea necesario.
- Se enfatiza en dejar que el motor alcance su temperatura óptima antes de activar el sistema generador de hidrógeno, esto se debe a que el motor funciona de manera más eficiente cuando está a su temperatura de funcionamiento normal, por otra parte se sugiere apagar el generador de hidrógeno unos minutos antes de apagar el motor para permitir que el gas de hidrógeno restante en el sistema se utilice y evitar posibles acumulaciones de gas, estas prácticas ayudan a garantizar un uso seguro y eficiente del sistema.

## Bibliografía

- San Lorenzo Ferriol, J. A. (s.f.). *Motores*. EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.:  
<https://www.sintesis.com/data/indices/9788491711247.pdf>
- Benjumea, L. F. (2023). *Una breve introducción a la electrólisis del agua*. Benjumea Llorente Felipe: <https://felipebenjumeallorete.com/una-breve-introduccion-a-la-electrolisis/>
- Cárdenas, E. J., y Kaslin, J. G. (Noviembre de 2006). *CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DEL PARQUE AUTOMOTOR*. Tesis Ingeniería Automotriz, Escuela Politecnica Del Ecuador: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/502/1/CD-0450.pdf>
- Córdova Morales, E. I. (2013). *ESTUDIO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DETERMINAR SUS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO Y SU FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA*. Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato:  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/4338/1/Tesis%20I.%20M.%20170%20-%20C%C3%B3rdova%20Morales%20Edison%20Iv%C3%A1n.pdf>
- Hermogenes, G. M. (2000). Manual del Automovil. En G. M. Hermogenes, *El Motor Gasolina* (Vol. 1). Madrid, España: CULTURAL, S.A.
- Junta, d. C. (2020). *Motor de combustion interna*. Junta de Castilla y León:  
<https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/motor-combustion-interna.html>
- Lema Tigre, E. L., y Valarezo Vite, H. V. (2022). *ANÁLISIS DE EMISIONES DE ESCAPE Y POTENCIA DE UN MOTOR CICLO OTTO DE CUATRO TIEMPOS. MEDIANTE EL SUMINISTRO DE HIDRÓGENO AL SISTEMA DE ADMISION, CONTROLADO POR ARDUINO*. Tesis de Ingeniería, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA:  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23853/1/UPS-CT010213.pdf>
- León, S. W., y Morocho, G. C. (2012). *ELABORACIÓN DE BANCOS DIDÁCTICOS FUNCIONALES DE MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO*. Tesis de Ingeniería,

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2075/12/UPS-CT002380.pdf>

M1Q3. (12 de Febrero de 2010). *Curva de par y curva de potencia*. Doble Embrague:

<https://dobleembrague.wordpress.com/2010/02/12/curva-de-par-y-curva-de-potencial/>

Megatul. (2023). *Herramienta Automotriz*. Megatul:

<https://www.megatul.com/product/b100101medidor-presion-de-bomba-de-combustible-full-autotop/>

MVMautotechniek. (2023). *Medición de compresión y prueba de fugas de cilindros*.

MVMautotechniek: Medición de compresión y prueba de fugas de cilindros  
[https://www.mvwautotechniek.nl/es/compressie\\_meten\\_cilinderlektst/](https://www.mvwautotechniek.nl/es/compressie_meten_cilinderlektst/)

Payri, F., y Desantes, J. (2011). *Motores de combustion interna alternativos*. (F. Payri, Ed.)

Universidad Politécnica de Valencia:

[https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC\\_0809\\_04\\_01.pdf?guest=true](https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC_0809_04_01.pdf?guest=true)

Pesántes Morocho, J. N., y Tacuri Morocho, J. V. (2021). *ADAPTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO TIPO CELDA SECA EN UN MOTOR ENDOTÉRMICO 150cc DE 4 TIEMPOS COMO FUENTE ALTERNATIVA DE COMBUSTIBLE*. Tesis de Ingeniería, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21256/1/UPS-CT009350.pdf>

Plaza, D. (2023). *Qué es la electrólisis y para qué se utiliza*. Motor.es:

<https://www.motor.es/que-es/electrolisis>

Quezada Romero, E. M., y Torres Gualan, D. F. (Diciembre de 2014). *IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE HIDRÓGENO DE CELDA SECA EN UN VEHÍCULO CHEVROLET STEEM 1.6L*. Tesis de Ingeniería, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7354/1/UPS-CT004305.pdf>

Repsol. (11 de Octubre de 2023). *Descomponer para descarbonizar*. Repsol:

<https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/electrolizador/index.cshtml#:~:text=El%20electrolizador%20consta%20de%20dos,las%20mol%C3%A9culas%20conocido%20como%20electr%C3%B3lisis>.

Rodes. (Noviembre de 2023). *¿Qué es la compresión del motor y cómo detectar una falta?*

Rodes: <https://www.ro-des.com/mecanica/compresion-motor-y-como-detectar-una-falta/>

Rovira, A., y Muñoz, M. (Octubre de 2015). *Motores de Combustión Interna*. Universidad Nacional de Educación a Distancia:

<https://lopezva.files.wordpress.com/2019/11/343564272-motores-de-combustion-interna.pdf>

Sanz, S. (2011). *MOTORES, Transporte Y Mantenimiento De Vehiculos*. (J. Ablanque, Ed.)

Editex: [https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/9788490031728%20-%20MOTORES-2\\_compressed\\_opt.pdf](https://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/9788490031728%20-%20MOTORES-2_compressed_opt.pdf)

Tito Guamán, J. B. (junio de 2022). *Implementación de un Generador de Hidrógeno de un Sistema Dual Fuel Hidrógeno / Gasolina de un Vehículo Corsa Wind*. Tesis de

Tecnología, INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO VIDA NUEVA:

<http://dspace.istvidanueva.edu.ec/bitstream/123456789/245/1/TITO%20GUAMAN%20JONATHAN%20BLADIMIR.pdf>

Zecsa. (mayo de 2014). *INFORME DE MERCADO "HIDRÓGENO"*. Zona Eólica Canaria S.A:

[http://www.zecsa.org/cmsAdmin/uploads/o\\_1c3akmda41q2q16mk1ov318o0f6ta.pdf](http://www.zecsa.org/cmsAdmin/uploads/o_1c3akmda41q2q16mk1ov318o0f6ta.pdf)

**Anexos**