



INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en
Mecánica Automotriz**

Autores: Bertocchi Pisco Bruno Xavier

Jordán Briceño Axel Gerardo

Tutor: Ing. Alex Fernando Llerena Mena, MSc.

**Implementación de un Generador de Hidrógeno en un Motor de
150cc para Motocicleta**

Certificado de Autoría

Yo, Bruno Xavier Bertocchi Pisco , declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Bruno Xavier Bertocchi Pisco

C.I. 1719568436

Certificado de Autoría

Yo, Jordan Briceño Axel Gerardo, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Jordan Briceño Axel Gerardo

C.I. 0917304016

Aprobación del Tutor

Yo, Alex Fernando Llerena Mena certifico que conozco a los autores del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Alex Fernando Llerena Mena, MSc.

Director de Proyecto

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mi familia, empezando por mis padres, Xavier Francisco Bertocchi Ghigliano y Ruth Yina Pisco Palacios quienes han sido los pilares principales en mi desarrollo como persona y ser humano, siempre apoyándome incondicionalmente desde el primer minuto de vida, enseñándome que, con trabajo, una buena actitud, carácter y dedicación puedo llegar a cumplir mis metas y nunca pensar en rendirse ni en los momentos más difíciles, siendo el amor base fundamental de todo esto.

Dedicado especialmente a mis motores del día a día, como siempre digo yo, a las personitas que me inyectan gasolina, las que se han robado todo mi amor, mis momentos felices, las nuevas bases de mi vida que me sirven de inspiración para todos los nuevos desafíos y proyectos que existen en el presente y futuro, las cuales cierran el complemento perfecto en mi vida, mi hija Martina Bertocchi Cedeño y mi otra mitad Priscilla Cedeño Merchán.

Me lo dedico a mi mismo, porque, a pesar de todas las dificultades, el cansancio, las horas largas de movilización, estudio, dificultades de tiempo por mis horarios laborales pude cumplir esta meta y este sueño tan grande para poder enorgullecer a mi familia y ser un ejemplo para mi hija de que el esfuerzo siempre trae recompensa.

Por último, pero no menos importante a mis abuelos, tíos y primos que siempre los tengo presente en cada pensamiento y momento de mi vida.

Bruno Bertocchi

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mí mismo, a mi familia, a la Universidad Internacional del Ecuador, y a las personas que busquen conocimiento de este tema, que les ayude compartir información, logrando ser un tema común.

Axel Jordan

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por todas las bendiciones que me ha dado, por siempre cuidarme y ser parte fundamental de todas mis dediciones día a día.

Agradecer a mis familia y padres que han dedicado todo su amor, esfuerzo y recursos en poder hacer realidad todos mis proyectos apoyándonos siempre mutuamente ante cualquier circunstancia.

Agradezco a la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador y a sus docentes por su formación académica en el transcurso de mi carrera.

A nuestro tutor Ing. Alex Fernando Llerena Mena, por brindarme su guía y asesoramiento en todo el desarrollo de mi trabajo de fin de carrera, así también a nuestro primer tutor y guía inicial en este proyecto el Ing. Oscar Orellana Cruz.

En esta etapa de mi vida, he tenido el agrado de conocer bastantes personas, amigos, compañeros, profesores con las cuales pudimos compartir muchos momentos que quedarán en mi memoria, agradecido por las enseñanzas y experiencias.

Bruno Bertocchi

Agradecimiento

Agradezco a Dios, a mi familia, a las circunstancias que han estado presentes, a los docentes de la facultad de Ingeniería Automotriz, al ingeniero Alex Llerena, quién ha sido de gran ayuda e influencia en este proyecto, a la Universidad Internacional del Ecuador, que han brindado una excelente experiencia estudiantil y de manera altamente profesional.

Axel Jordan

Índice General

Certificado de Autoría.....	iii
Certificado de Autoría.....	iv
Aprobación del Tutor.....	v
Dedicatoria.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Agradecimiento.....	viii
Agradecimiento.....	ix
Índice General.....	x
Índice de Figuras.....	xiv
Índice de Tablas.....	xvi
Resumen.....	xvii
Abstract.....	xviii
Capítulo I.....	1
1.1 Tema de Investigación.....	1
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema.....	1
1.2.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2.2 Formulación del Problema.....	2
1.2.3 Sistematización del Problema.....	2
1.3 Objetivo de la Investigación.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Alcance.....	3
1.5 Justificación.....	3
1.5.1 Justificación Teórica.....	3

1.5.2	<i>Justificación Metodológica</i>	3
1.5.3	<i>Justificación Práctica</i>	4
1.5.4	<i>Delimitación Temporal</i>	4
1.5.5	<i>Delimitación Geográfica</i>	4
1.5.6	<i>Delimitación del Contenido</i>	4
1.6	Hipótesis	5
1.7	Variables de Hipótesis	5
1.7.1	<i>Variables Dependientes</i>	5
1.7.2	<i>Variables Independientes</i>	5
Capitulo II		6
Marco Teórico.....		6
2.1	Motor de Cuatro Tiempos.....	6
2.2	Sistema de Alimentación	7
2.3	Hidrógeno	8
2.3.1	<i>Propiedades del Hidrógeno Como Combustible</i>	9
2.3.2	<i>Amplia Gama de Inflamabilidad</i>	11
2.3.3	<i>Temperatura de Autoignición Elevada</i>	12
2.3.4	<i>Hidrógeno Como Combustible</i>	12
2.4	Electrolisis Producción Hidrógeno	13
2.5	Electrolitos.....	14
2.6	Celda Electrolítica Generadora de Hidrógeno.....	15
2.6.1	<i>Generador de Hidrógeno</i>	16
2.6.2	<i>Relé</i>	18
2.6.3	<i>Tanque Multifuncional de Almacenamiento del Electrolito</i>	20
2.6.4	<i>Cables</i>	21

2.6.5	<i>Terminales Eléctricos de Conexión</i>	22
2.6.6	<i>Interruptor</i>	23
2.6.7	<i>Mangueras y Cañerías</i>	24
2.6.8	<i>Electrolito</i>	25
2.6.9	<i>Agua Destilada</i>	26
2.7	<i>Proceso de Operación de Generador de Hidrógeno</i>	26
Capitulo III.....		30
3.1	<i>Equipo de prueba - Motocicleta</i>	30
3.1.1	<i>Mantenimiento Estructural de la Motocicleta</i>	31
3.1.2	<i>Mantenimiento de Sistemas Mecánicos de la Motocicleta</i>	33
3.2	<i>El Sistema de Hidrógeno</i>	33
3.2.1	<i>Verificación y Selección de Herramientas e Implementos de Seguridad para Instalación</i>	33
3.2.2	<i>Selección de Generador de Hidrógeno</i>	34
3.3	<i>Instalación del Sistema Generador de Hidrógeno</i>	35
3.3.1	<i>Generador de Hidrógeno</i>	35
3.3.2	<i>Tanque Multifuncional de Almacenamiento de Electrolitos</i>	36
3.3.3	<i>Instalación de Mangueras</i>	37
3.3.4	<i>Instalación de Sistema Eléctrico</i>	39
3.3.5	<i>Preparación y Suministro del Electrolito</i>	41
3.4	<i>Comprobación y Verificación del Funcionamiento del Sistema</i>	42
3.4.1	<i>Comprobación</i>	42
3.4.2	<i>Verificación</i>	43
3.5	<i>Pruebas</i>	44
3.5.1	<i>Equipo a Utilizar en las Pruebas</i>	45

3.5.2	<i>Proceso de Medición del Analizador de Gases</i>	46
3.6	Fase de Pre-Calentamiento del Analizador de Gases	47
3.7	Utilización de Sonda	48
3.8	Proceso para la Obtención de los Objetos Contaminantes	49
	Capítulo 4.....	50
4.1	Pruebas	50
4.1.1	<i>Prueba Ralentí sin Generador de Hidrógeno</i>	50
4.1.2	<i>Prueba Ralentí con Generador de Hidrógeno</i>	51
4.1.3	<i>Prueba del Modo de Simulación de Aceleración (ASM) a Más de 2500 Rpm Sin Generador de Hidrógeno</i>	51
4.1.4	<i>Prueba del Modo de Simulación de Aceleración (ASM) a Más de 2500 Rpm Con Generador de Hidrógeno</i>	52
4.1.5	<i>Proceso de Limpieza del Equipo Después de la Medición de Gases</i>	53
4.2	Análisis del Resultado	53
4.2.1	<i>Monóxido de Carbono</i>	54
4.2.2	<i>Hidrocarburos</i>	55
4.2.3	<i>Dióxido de Carbono</i>	56
4.2.4	<i>Oxígeno</i>	57
4.3	Consolidado General de Mediciones	58
4.4	Costos de Implementación.....	59
	Conclusiones	62
	Recomendaciones	64
	Bibliografía	65

Índice de Figuras

Figura 1	<i>Diagrama Básico de un Vehículo que Funciona con Hidrógeno</i>	13
Figura 2	<i>La Electrolisis del Agua</i>	14
Figura 3	<i>Diagrama de Electrólisis del Agua de Flujos Separados</i>	16
Figura 4	<i>Celda de Hidrógeno</i>	16
Figura 5	<i>Generador de Hidrógeno</i>	18
Figura 6	<i>Relé</i>	20
Figura 7	<i>Tanque Multifuncional</i>	21
Figura 8	<i>Terminales Eléctricos</i>	23
Figura 9	<i>Interruptor</i>	24
Figura 10	<i>Mangueras</i>	24
Figura 11	<i>Agua Destilada</i>	26
Figura 12	<i>Estado Inicial Motocicleta</i>	30
Figura 13	<i>Tanque de Combustible Fisurado</i>	32
Figura 14	<i>Estado Final de Motocicleta</i>	32
Figura 15	<i>Generador de Hidrógeno</i>	36
Figura 16	<i>Tanque Multifuncional de Almacenamiento de Electrolitos</i>	37
Figura 17	<i>Soporte Metálico</i>	37
Figura 18	<i>Mangueras Conexión</i>	38
Figura 19	<i>Conexión Tanque - Depurador</i>	39
Figura 20	<i>Diagrama de Conexión del Relé</i>	40
Figura 21	<i>Diagrama Esquemático del Sistema Eléctrico - Conexión del Relé</i>	40
Figura 22	<i>Interruptor Eléctrico</i>	41
Figura 23	<i>Flujograma de Comprobación del Sistema</i>	42
Figura 24	<i>Comprobación de Generador de Hidrógeno</i>	43

Figura 25	<i>Cuadro de Fallas, Causas y Soluciones en el Sistema</i>	44
Figura 26	<i>LPS 3000 Consola de Comunicación</i>	45
Figura 27	<i>Analizador de Gases MAHA MGT-5</i>	46
Figura 28	<i>Fase de Calentamiento Motocicleta</i>	47
Figura 29	<i>Instalación de Sonda</i>	49
Figura 30	<i>Prueba Ralentí sin Generador de Hidrógeno</i>	50
Figura 31	<i>Prueba Ralentí con Generador de Hidrógeno</i>	51
Figura 32	<i>Prueba del Modo de Simulación de Aceleración (ASM) A Más de 2500 Rpm sin Generador de Hidrógeno</i>	52
Figura 33	<i>Prueba del Modo de Simulación de Aceleración (ASM) A Más de 2500 Rpm con Generador de Hidrógeno</i>	53
Figura 34	<i>Gráfica Comparación de Resultados de Análisis de Monóxido de Carbono</i> ...	54
Figura 35	<i>Grafica Comparación de Resultados de Análisis de Hidrocarburos no Combustionados</i>	55
Figura 36	<i>Gráfica Comparación de Resultados de Análisis de Dióxido de Carbono</i>	56
Figura 37	<i>Gráfica Comparación de Resultados de Análisis de Oxígeno</i>	58
Figura 38	<i>Gráfica de Comparación de Resultados de Análisis en Prueba Ralentí</i>	58
Figura 39	<i>Grafica Comparación de Resultados de Análisis en Prueba Dinámica</i>	59

Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Características Físicas del Hidrógeno</i>	9
Tabla 2	<i>El Hidrógeno Comparado con otros Combustibles</i>	11
Tabla 3	<i>Temperatura de Autoencendido</i>	12
Tabla 4	<i>Comparación de resultados de análisis de Monóxido de Carbono</i>	54
Tabla 5	<i>Comparación de Resultados de Análisis de Hidrocarburos no Combustionados</i>	55
Tabla 6	<i>Comparación de Resultados de Análisis de Dióxido de Carbono</i>	56
Tabla 7	<i>Comparación de Resultados de Análisis de Oxígeno</i>	57
Tabla 8	<i>Costos Generales</i>	60

Resumen

En el presente proyecto de titulación, se llevó a cabo una investigación acerca de la viabilidad de implementar un generador de hidrógeno en un motor de 150cc equipado en una motocicleta Ranger, modelo 150F, fabricada en el año 2004. El objetivo principal de esta implementación fue la reducción de las emisiones de gases contaminantes generados durante el proceso de combustión. Para lograr este propósito, se procedió a integrar un generador de hidrógeno que opera mediante el proceso de electrólisis del agua, permitiendo la separación del hidrógeno y oxígeno presentes en este compuesto. El hidrógeno resultante se introdujo en el motor a través del sistema de admisión. En este punto, el hidrógeno se mezcló con el oxígeno y la gasolina en el interior del cilindro, donde posteriormente se sometió a un proceso de combustión. Una vez instalado el generador de hidrógeno y confirmada su operatividad, se llevaron a cabo cuatro pruebas generales de evaluación. Estas pruebas consistieron en dos análisis de gases sin el funcionamiento del sistema de hidrógeno, una en estado de ralentí y otra bajo condiciones de simulación de conducción a 2500 rpm. Asimismo, se realizaron dos análisis de gases con el funcionamiento del sistema de hidrógeno, bajo las mismas condiciones de ralentí y a 2500 rpm. Durante estas pruebas, se registraron y analizaron los niveles de emisión de gases producidos durante la combustión, incluyendo Monóxido de Carbono (CO), Oxígeno (O₂), Hidrocarburos (HC) y Dióxido de Carbono (CO₂). Se identificó un incremento notable en el contenido de Oxígeno (O₂), lo cual tiene un impacto tanto en la eficiencia de la combustión como en el impacto ambiental.

Palabras Clave: Hidrógeno, Gases Contaminantes, Electrolisis, Análisis de Gases, Combustión, Medio Ambiente.

Abstract

In the present graduation project, research was conducted on the feasibility of implementing a hydrogen generator in a 150cc engine installed in a 2004 Ranger motorcycle, model 150F. The primary objective of this implementation was the reduction of emissions of polluting gases generated during the combustion process. To achieve this purpose, a hydrogen generator was integrated, operating through the process of water electrolysis, allowing the separation of hydrogen and oxygen present in this compound. The resulting hydrogen was introduced into the engine through the intake system. At this point, hydrogen mixed with oxygen and gasoline inside the cylinder, where it underwent a combustion process. Once the hydrogen generator was installed and its operability confirmed, four general evaluation tests were carried out. These tests included two gas analysis tests without the hydrogen system operating, one at idle and another under simulated driving conditions at 2500 rpm. Likewise, two gas analysis tests were performed with the hydrogen system operating, under the same conditions of idle and at 2500 rpm. During these tests, the levels of gas emissions produced during combustion were recorded and analyzed, including Carbon Monoxide (CO), Oxygen (O₂), Hydrocarbons (HC), and Carbon Dioxide (CO₂). A significant increase in Oxygen (O₂) content was identified, which impacts both combustion efficiency and environmental impact.

Keywords: Hydrogen, Polluting Gases, Electrolysis, Gas Analysis, Combustion, Environment.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Implementación de un generador de Hidrógeno en un motor de 150cc para motocicleta.

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

El presente trabajo de investigación esta direccionado a disminuir la emisión de contaminación de los motores de moto de 150 cc, implementando un generador de hidrógeno que aporte como combustible para el funcionamiento del motor en conjunto con la gasolina para así poder disminuir la contaminación y mejorar eficiencia producida en vista de que este combustible es más limpio que el convencional únicamente utilizado.

1.2.1 *Planteamiento del Problema*

El problema de contaminación a nivel global es notorio y el aumento de temperatura terrestre se debe al aporte de dióxido de carbono y otros gases nocivos entre los diversos agentes que contribuyen a la contaminación atmosférica se tiene el motor de combustión de un automóvil, que desprende a la atmósfera productos nocivos como: óxidos nitrosos (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos no quemados (HC) y partículas sólidas además de otros residuos en menor medida (Méndez Torres, Gómez Berrezueta, & Llerena Mena, 2020, pág. 296). Que aumenta debido crecimiento del parque automotor sobre todo en países con normativas de emisiones poco exigentes. En el Ecuador “Actualmente, los combustibles que se comercializan en el sector automotriz en el Ecuador cumplen con la norma técnica Euro III” (Petroecuador, 2022) y el parque automotor se encuentra en crecimiento, en especial en el segmento de las motos debido a la capacidad económica del país que en su mayoría esta denominada como clase media-baja.

Este segmento de la población busca alternativas de movilidad de fácil acceso

económico, Además, los negocios de entrega a domicilio por pandemia se han incrementado y consecuente a estos es importante considerar el impacto ambiental que generan estos motores que en su mayoría corresponden a motos de 150 centímetros cúbicos por lo que se plantea analizar el hidrógeno como una alternativa para mejorar la eficiencia utilizándolo junto con la gasolina y disminuir la contaminación producida por el motor de combustión interna, ya que puede obtenerse de fuentes renovables.

1.2.2 Formulación del Problema

¿Es posible suministrar hidrógeno como combustible junto con la gasolina al motor de combustión interna de una moto para reducir el impacto al medio ambiente por gases de efecto invernadero?

¿Cuán efectiva es la adaptación del sistema de suministro de hidrógeno en una moto convencional para que funcione de forma positiva?

1.2.3 Sistematización del Problema

- ¿Qué combustible podría mezclar o acompañar a la gasolina en un motor de combustión interna de motos que reduzca el impacto ambiental por gases de efecto invernadero?
- ¿Qué mecanismos se podría adaptar para dosificar la nueva mezcla aire-combustible?
- ¿El hidrógeno puede ser un combustible alternativo junto con la gasolina para el motor de combustión interna de una moto?
- ¿Qué método experimental se puede aplicar para validar el funcionamiento de un motor de moto con el uso de hidrógeno como combustible acompañante de la gasolina?

1.3 Objetivo de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema que permita suministrar hidrógeno a un motor de combustión

interna de gasolina de 150 centímetros cúbicos en una motocicleta para evaluar las mejoras en su eficiencia.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Identificar la tecnología disponible en el mercado que permita la adaptación de un sistema de suministro de hidrógeno para un motor de combustión interna.
- Definir los componentes de dosificación de hidrógeno y gasolina para el funcionamiento del motor de una motocicleta.
- Validar el funcionamiento y la eficiencia del sistema de suministro de hidrógeno mediante el método experimental.

1.4 Alcance

Con desarrollo de este proyecto se espera demostrar que una moto de combustión interna puede funcionar con la adaptación del sistema suministro de hidrógeno como acompañante de la gasolina y poder mejorar su eficiencia en consumo y en emisiones de gases contaminantes, por lo tanto, se tomará como base para la adaptación en un motor de combustión interna de 150 centímetros cúbicos cuatro tiempos para motos.

1.5 Justificación

1.5.1 *Justificación Teórica*

El presente proyecto se concentra en la adaptación del sistema suministro de hidrógeno como un combustible alternativo de fuente renovable para su uso en conjunto con la gasolina en un motor de cuatro tiempos de una moto, validando que el motor pueda generar prestaciones suficientes para la movilidad de los usuarios de motocicletas.

1.5.2 *Justificación Metodológica*

El experimento se realizará a través de un método experimental, el proceso comprobará lo eficiente que es el hidrógeno como combustible que trabaja en conjunto con la gasolina en una moto de cuatro tiempos de 150 centímetros cúbicos.

1.5.3 Justificación Práctica

Este experimento pretende demostrar el funcionamiento de un motor de cuatro tiempos de moto con hidrógeno como combustible en conjunto con la gasolina se puede generar con fuentes renovables de energía.

Este experimento pretende demostrar la eficiencia en el funcionamiento de un motor de cuatro tiempos de moto con suministro de hidrógeno en conjunto con el combustible tradicional.

Este experimento espera demostrar que es factible una adaptación de sistema de suministro de hidrógeno a una moto convencional, exponiendo que el hidrógeno funciona como combustible de forma eficaz.

1.5.4 Delimitación Temporal

El presente trabajo investigativo se realizará hasta enero 2024 la cual permitirá culminar con éxito este proyecto de titulación.

1.5.5 Delimitación Geográfica

El proyecto se desarrollará en la ciudadela Saucos IX, situada en Guayaquil, provincia del Guayas, donde se comenzará el proceso desde el principio.

1.5.6 Delimitación del Contenido

Esta indagación se orienta en la propuesta de adaptar un sistema de suministro de hidrógeno como fuente de alimentación en conjunto con el combustible tradicional.

Este análisis se centra en la comparación de los niveles de dióxido de carbono (CO₂) en los gases de escape de una motocicleta, evaluados mediante pruebas y Análisis de Gases de Escape (ASM). Los datos presentados se basan en mediciones realizadas en dos condiciones distintas: ralentí y dinámica.

Se proporcionarán los datos específicos presentados en tablas, indicando los valores medidos tanto en ralentí como en condiciones dinámicas. Además, se ofrecerá una

interpretación técnica de los resultados, sugiriendo que la consistencia en los resultados porcentajes de CO₂ podría indicar una regulación efectiva de la mezcla aire-combustible en el sistema de inyección.

1.6 Hipótesis

¿La implementación de un sistema que permita suministrar hidrógeno como combustible en conjunto con la gasolina dentro de un motor de combustión interna de gasolina de 150 centímetros cúbicos de una moto?

1.7 Variables de Hipótesis

1.7.1 Variables Dependientes

- Combustible Alternativo
- Relaciones de Aire – Combustible
- Almacenamiento y Dosificación del Hidrógeno

1.7.2 Variables Independientes

- Motor de combustión interna 150 cm³

Capítulo II

Marco Teórico

Las motocicletas tienen un factor muy relevante en el nivel de contaminación dentro de la provincia de Guayas. Esto se debe en vista que es un medio de transporte accesible, si lo consideramos desde el ámbito económico social, en el reporte de vehículos matriculados según clase año 2021 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002), podemos identificar que se comercializaron 182.272 motocicletas alcanzando un porcentaje del 32.98% de los vehículos motorizados vendidos en la provincia. Así con esto llegando a tener niveles altos de contaminación dentro de la provincia, teniendo en cuenta este escenario, tendríamos que buscar alternativas sustentables que permitan controlar o disminuir en proporción la contaminación causada por este tipo de vehículo, viendo como opción principal dentro de lo mencionado la incorporación de la utilización de un combustible eco amigable como lo es el hidrógeno debido a sus propiedades puede ser utilizado en conjunto con la gasolina que utilizan las motocicletas para mejorar y disminuir los índices de contaminación que producen.

2.1 Motor de Cuatro Tiempos

Según nos informa (Secundino, 2011)

La principal característica del motor de ciclo otto es que el combustible, ya esté en estado gaseoso o en estado líquido, se mezcla con la cantidad de aire necesaria para que se produzca la combustión. La mezcla de aire y combustible es admitida en el cilindro por el movimiento descendente del pistón. El encendido de la mezcla se produce en el instante en el que salta la chispa eléctrica.

Actualmente, los motores ottos de cuatro tiempos son conocidos como motores de encendido por chispa o motores de encendido controlado.

Los motores otto más comunes son motores de cuatro tiempos, porque el ciclo se cumple en cuatro tiempos del pistón, o lo que es lo mismo, cada dos revoluciones del cigüeñal. Por lo tanto, es el pistón el que se encarga de expulsar los gases quemados del cilindro. Al finalizar la fase de expansión, los gases quemados son sustituidos por una nueva mezcla de aire y combustible, necesaria para llevar a cabo el siguiente ciclo.

El ciclo de cuatro tiempos de un motor que funciona según el ciclo otto incluye las siguientes fases: – Admisión de la mezcla de aire y combustible necesaria para llevar a cabo el ciclo de funcionamiento en el cilindro.

- Compresión de la mezcla.
- Combustión de la mezcla al saltar la chispa entre los electrodos de la bujía.
- Expansión de los gases quemados en el interior del cilindro.
- Expulsión de los gases quemados a través de los conductos de escape.

(p.63)

2.2 Sistema de Alimentación

El sistema de alimentación tiene como función principal transportar la mezcla de aire y combustible al carburador para dosificarla correctamente y conducirla al interior del motor a los cilindros para que con la ayuda de los sistemas de ignición poder realizar el proceso de combustión.

En la actualidad existen una variedad de sistemas de alimentación que se han adaptado a las motocicletas, pero por costos de producción y facilidad de la mecánica de sus componentes la mayoría de las motocicletas que se comercializan en el país son de bajo cilindraje y con un sistema de carburación.

Los sistemas de alimentación convencionales en las motocicletas se producen

mediante la gravedad, el depósito de combustible se ubica en la parte superior del carburador y por producto de la gravedad se suministra el combustible (Motorgiga, 2010).

2.3 Hidrógeno

El hidrógeno es un elemento químico con el número atómico 1 y símbolo H así es como también lo describe (Prades, 2010) a continuación:

El hidrógeno es un gas diatómico a temperatura ambiente, inflamable, incoloro e inodoro, el más ligero y abundante del universo; las estrellas, durante la mayor parte de su vida, están formadas principalmente por este elemento en estado de plasma. Aparece, además, en multitud de sustancias, como, por ejemplo, el agua y los compuestos orgánicos, y es capaz de reaccionar con una gran pluralidad de elementos.

El hidrógeno se encuentra en abundancia en las estrellas y en los planetas gigantes gaseosos; sin embargo, en la atmósfera terrestre se halla tan sólo una fracción de 1 partícula por millón (ppm) en volumen, ya que la molécula H_2 es tan ligera que escapa al espacio exterior. Aun así, se caracteriza por ser el elemento más abundante en la Tierra y también por su alto nivel de ignición (combustiona con más facilidad en contacto con el oxígeno).

En nuestro planeta, la fuente más común de hidrógeno es el agua, compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). Otras mentes son la mayor parte de los compuestos orgánicos, incluyendo todas las formas de vida conocidas, los combustibles fósiles y el gas natural. (p.54)

Según lo descrito podemos conocer que el hidrógeno es altamente inflamable en su forma elemental, por lo cual es utilizado en varios procesos de obtención de otros combustibles de uso industrial como amoniaco o gas metano con esto estableciendo un interés importante en el hidrógeno por le necesidad actual fuente de energías renovables, sostenibles y limpias que

puedan sustituir a los hidrocarburos contaminantes.

A continuación, detallaremos en una tabla (Tabla 1) las características físicas del hidrógeno.

Tabla 1

Características Físicas del Hidrógeno

Orden	Característica	Equivalencia
1	Peso Molecular	2.016 g/mol
2	Peso Atómico	1.008 g/mol
3	Número Atómico	1
4	Valencias	+1, -1
5	Densidad	0.0695 kg/m ³ (gas) 0.070 g/cm ³ (liquido)
6	Punto de Fusión	-259.2°C (13.95°K)
7	Punto de Ebullición	-252.7°C (20.45°K)
8	Calor Específico	3.388 kcal/kg°C (14047.6 J/kg°C)
10	Configuración Electrónica	1s1
11	Electronegatividad	2,1

Fuente: (Solís, 2014)

2.3.1 Propiedades del Hidrógeno como Combustible

Según podemos apreciar en las características físicas del hidrógeno (Tabla1) comparado con otros combustibles, posee propiedades superiores en casi todos los aspectos resaltando su Amplia gama de inflamabilidad, Temperatura de autoignición elevada, y octanaje teniendo un 50% o 43 puntos más de octanaje que los 87 que marca la Gasolina.

(Duque & Masaquiza, 2013) El hidrógeno se ha dado a llamar el "combustible del futuro" debido a sus muchas virtudes: Entra en combustión a muy alta temperatura, contiene mucha más energía que una cantidad de petróleo de igual peso, produce mucha menos polución atmosférica pues condensando el vapor se transforma en un líquido que puede beberse, ya que combinado con el oxígeno de la atmósfera produce agua. No existe sobre la Tierra hidrógeno

libre (no combinado) y sólo se puede encontrar en la atmósfera y en muy escasa proporción. Pero en cambio no hay escasez de la materia prima necesaria para producirlo. Todo lo que hace falta es agua y alguna otra forma de energía.

(Solís, 2014) Como líquido, el hidrógeno es pequeño en masa ya que este tiene que estar a muy bajas temperaturas para lograr este estado, pero al encontrarse en su estado natural (gaseoso) es grande en volumen ocupando 3.8 veces el volumen que ocupa la gasolina, y en estado gaseoso, 3.6 veces el volumen ocupado por el gas natural.

(Kumar, Anand, Gautam, & Singh², 2022) El sistema de combustible de hidrógeno produce vapor de agua, que es ecológico. Por lo tanto, puede adoptarse como un combustible futuro debido a sus diferentes características, como velocidad de combustión rápida, ausencia de emisiones de gases de efecto invernadero, mayor densidad de energía, energía mínima de ignición baja y un índice de octanaje muy alto.

Debido a las propiedades descritas anteriormente el hidrógeno es uno de los principales gases utilizados en proyectos universitarios e investigaciones particulares como alternativa para reemplazar a los combustibles fósiles en un futuro, teniendo como punto adicional a favor que el producto de su combustión no generar gases con efecto invernadero y contaminantes.

A continuación, detallaremos en una tabla (Tabla 2) las propiedades de distintos gases que también podrían ser utilizados alternativas de combustibles en comparación con el hidrógeno. Cabe mencionar que el metano es de origen natural y el componente mas abundante en la composición del gas natural, el propano es un hidrocarburo, una tipificación del gas licuado de petróleo también de origen natural y la gasolina proviene de la destilación directa a partir del petróleo.

Tabla 2*El Hidrógeno Comparado con otros Combustibles*

Propiedad	Unidad	H₂	Metano	Propano	Gasolina
Límite de inflamabilidad en aire	%	4.75	5.3-15	2.1-10.4	1.4-7.6
Temperatura de Combustión	°C	2318	2148	2385	2470
Mínima energía de Encendido	MJ	0.02	0.29	0.305	0.24
Rango de detonación	%	18-59	6.3-13.5	3.4-35	1.1-3.3
Difusividad	Cm ² /s	0.61	0.16	0.1	0.05
Velocidad de combustión en aire	Cm/s	346	37-45	43-52	37-43
Valor calorífico bajo	kw-h/l	0.003	8.9	0.026	8.8
	kw-h/kg	33.48	13.1	13.6	12.1
Densidad	g/l	0.0899	0.718	1.88	4.4
Octanaje	Octanos	130	125	105	87

Nota: Tomado de Solís García (2014).

2.3.2 Amplia Gama de Inflamabilidad

Como podemos observar en la tabla 2 de propiedades del hidrógeno este tiene de un amplio coeficiente de inflamabilidad si se realiza la comparación con los otros combustibles.

Como resultado de lo informado nos dice (Fábrega Ramos, 2008) que:

El hidrógeno puede ser quemado en un motor de combustión interna sobre una amplia gama de mezclas aire/combustible. Una ventaja significativa de esto es que el hidrógeno puede funcionar aún en una mezcla pobre, es decir, donde la cantidad de combustible es menor que la cantidad teórica, estequiométrica o químicamente ideal necesaria para la combustión con una cantidad dada de aire.

Generalmente, la economía del combustible es mayor y la reacción de

combustión es más completa cuando un vehículo funciona con una mezcla pobre de aire/combustible. Además, la temperatura final de la combustión es generalmente más baja, reduciendo así la cantidad de agentes contaminantes, tales como óxidos de nitrógeno, emitidos a través del escape.

2.3.3 *Temperatura de Autoignición Elevada*

(Fábrega Ramos, 2008) El hidrógeno dispone de una temperatura de autoignición relativamente elevada (tabla 3). Esto tiene implicaciones importantes cuando se comprime una mezcla de aire e hidrógeno. De hecho, la temperatura de autoignición es un factor importante en la determinación de la relación de compresión que debe tener un motor, puesto que el aumento de temperatura durante la compresión está relacionado con la relación de compresión.

Tabla 3

Temperatura de Autoencendido

Orden	Combustible	Temperatura de Autoencendido
1	Hidrógeno	585 °C
2	Metano	540 °C
3	Gasolina	230 °C - 480 °C
4	Propano	490 °C
5	Diesel	250°C

Fuente (Encalada & Acosta, 2010)

2.3.4 *Hidrógeno Como Combustible*

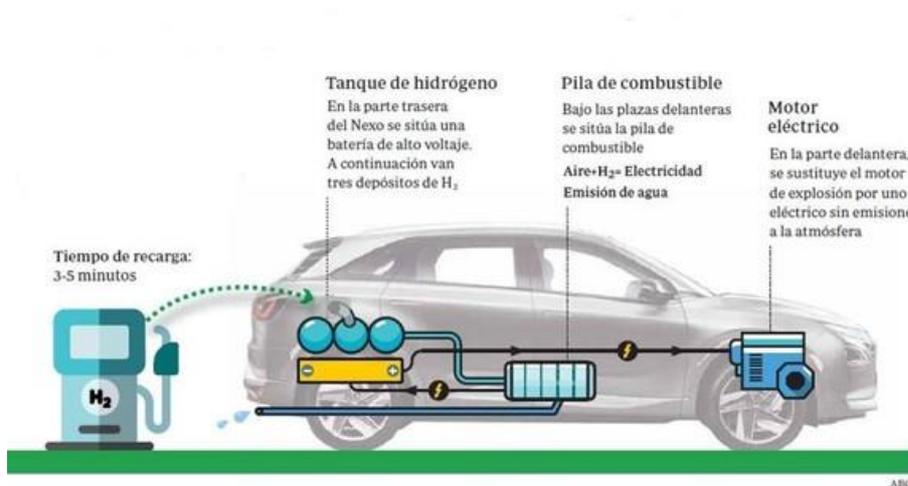
Conocido actualmente como el “combustible del futuro” debemos mencionar inicialmente que es un combustible sostenible y limpio ya que su combustión como resultado final en su gran mayoría genera vapor de agua, aunque su bajo índice de contaminación no es su única ventaja también contiene y produce mucha más energía que los combustibles a través de hidrocarburos fósiles.

Como todos los combustibles necesita de un proceso para poder producirlo ya que no se encuentra en la atmosfera en su estado original, pero se encuentra en un recurso sin escases a nivel mundial que es el agua (H_2O) a través de distintos métodos económicos se lo puede obtener.

En la actualidad existen varias marcas automotrices que están desarrollando nuevos sistemas que funcionan como combustible principal el hidrógeno, el cual genera energía que alimenta una batería para hacer funcionar un motor eléctrico, el cual no produce ningún tipo de emisión contaminante y como resultado de este proceso se obtiene vapor de agua como se detalla en la siguiente imagen (ver figura 1).

Figura 1

Diagrama Básico de un Vehículo que Funciona con Hidrógeno



Fuente: (Fernández, 2019)

2.4 Electrolisis Producción Hidrógeno

En la actualidad el proceso más eficiente para lograr producir hidrógeno es la electrolisis del agua, en este proceso se expone al agua a una corriente eléctrica la cual inicia un proceso químico de descomposición del agua en sus componentes H_2 y O como consecuencia de su ruptura molecular.

La electrolisis se realiza en generador llamado celda de electrolisis, el cual cumple la

función de separar los gases en cada extremo del generador y recolectarlos en recipientes separados

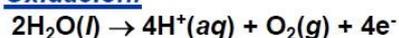
Si la electricidad utilizada para la electrolisis proviene de fuentes renovables, como la energía solar o eólica, se puede obtener hidrógeno verde, que es una fuente de energía limpia y sostenible.

Figura 2

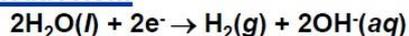
La Electrolisis del Agua

LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA

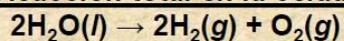
Oxidación:



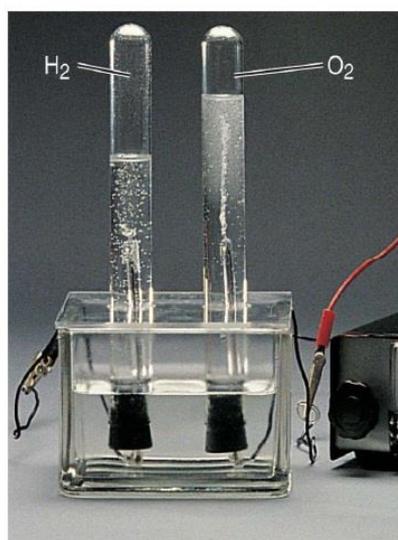
Reducción:



Reacción total en la celda



Nota: Obsérvese la diferencia entre los volúmenes de H_2 y O_2 .



Fuente: (El Fisico Loco Blog, 2013)

2.5 Electrolitos

El electrolito es una sustancia que nos ayuda a facilitar el movimiento y paso de los iones debido a esto podemos tomar en cuenta lo que informa (Franco, 2010) al momento de seleccionar un electrolito ideal:

El electrolito se debe escoger con precaución, puesto que sus aniones compiten con los iones de hidróxido para dar un electrón, por tanto, un anión electrolítico con menos potencial estándar de electrodo que el hidróxido será ionizado en su lugar, y por ende se producirá menos oxígeno.

De la misma manera, un catión con mayor potencial estándar de electrodo que el ión hidrógeno será reducido en su lugar y se producirá menos hidrógeno. Además, si el producto escogido como electrolito participa en la reacción, puede originar otras sustancias no deseadas en lugar de hidrógeno, algunas de las cuales pueden ser tóxicas.

Los siguientes cationes tiene menos potencial estándar de electrodo que el H^+ y, por tanto, son adecuados para utilizarlos como cationes electrolitos: Li^+ , Rb^+ , K^+ , Cs^+ , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ y Mg^{2+} . El potasio, el sodio y el litio son usados frecuentemente ya que forman sales solubles económicas. Ácidos fuertes como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y bases fuertes como el hidróxido de potasio (KOH) y el hidróxido de sodio ($NaOH$) son frecuentemente usados como electrolitos. También existen electrolitos sólidos poliméricos, como NAFION, que dan buenos resultados. (p.86).

2.6 Celda Electrolítica Generadora de Hidrógeno

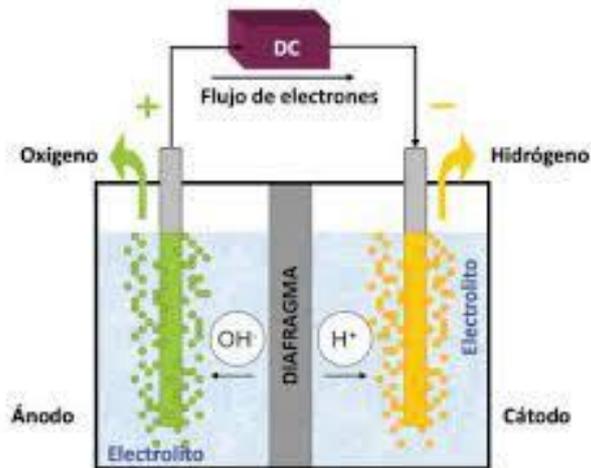
La celda generadora de hidrógeno es prácticamente una celda de combustible, ya que esta tiene la misma función que un motor eléctrico, el que puede funcionar como generador de energía y como motor eléctrico dependiendo de lo que se requiera.

Es por esto que el electrolizador o celda generadora de hidrógeno es una celda de combustible (ver figura 4) que, en este caso en vez de consumir el hidrógeno junto con el oxígeno para producir energía y agua, ahora se le administrara energía para realizar una electrólisis permitiendo disociar los componentes del agua que se encuentra dentro de la celda, obteniendo hidrógeno y oxígeno en forma gaseosa para el consumo. Al ser la misma celda de combustible con proceso inverso, entonces los componentes de la celda

generadora de hidrógeno son los mismos como se describen en la siguiente figura (ver 3 Figura)., las partes y el funcionamiento (Chamorro, 2017).

Figura 3

Diagrama de Electrólisis del Agua de Flujos Separados



Nota. Tomado de Jorquera, 2019

Figura 4

Celda de Hidrógeno



Nota. Tomado de Energía Libre, S.F., 2017

2.6.1 Generador de Hidrógeno

El generador de hidrógeno se describe por (Chamorro, 2017) como:

Un dispositivo que separa el hidrógeno y el oxígeno del agua, de manera

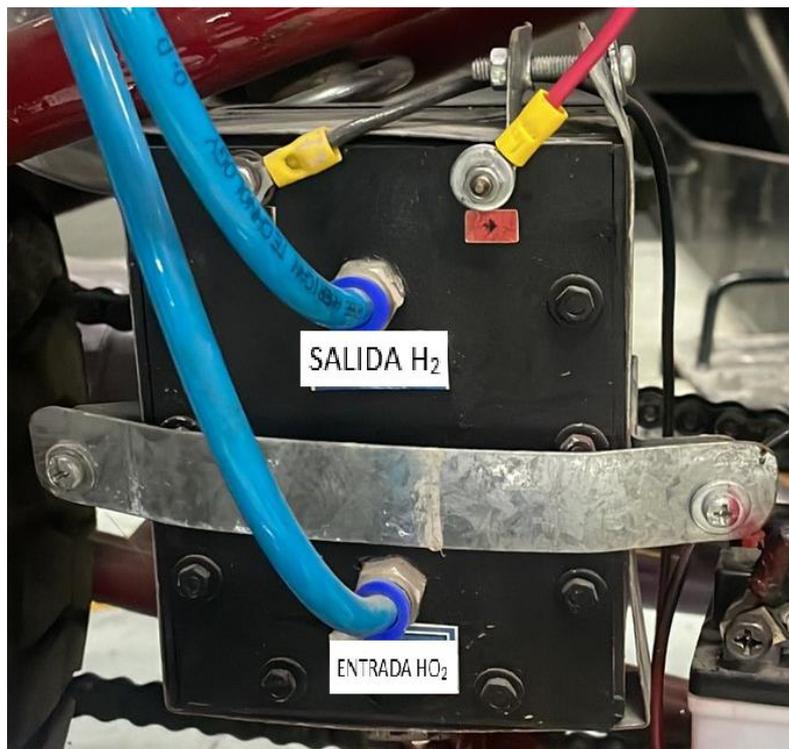
que el gas de hidrógeno puede ser utilizado en diversas aplicaciones y pueden ser en los motores de: Motos, camiones, plantas de Luz, excavadoras, trenes, barcos y aviones y más en el campo automotriz, puesto que puede aportar con la reducción de gases contaminantes producto de la combustión. Está compuesto por varias placas y láminas en donde se comunican con el electrolito que es suministrado por un conducto proveniente del depósito de agua destilada (ver Figura 5), cuando al generador se le aplica un voltaje la corriente que por el electrolito circula hace que se separe el hidrógeno y el oxígeno del agua en forma de gas mediante un proceso llamado electrólisis. Para ello utilizan energía eléctrica de la batería del auto o bien de baterías adicionales. Ambos elementos resultantes desplazan parte de la gasolina y el aceite en los cilindros. Esta mezcla favorece la combustión y el rendimiento y reduce los consumos y las emisiones. (P.18).

Un generador de hidrógeno implica que se usa la energía eléctrica del vehículo, en este caso la batería de 12 voltios de corriente directa y un alternador de diferentes amperios hora, para fracturar (electrolizar) el agua y producir el plasma H_2O , lo cual implicaría que necesitaríamos sacar el 200% a este sistema eléctrico, esto exige habilidades excepcionales de física, química, electrónica, electricidad, ingeniería mecánica, gastos bastante considerables, gran dosis de paciencia, mucha investigación, para alcanzar lo óptimo en todo el sistema. Hay muchos tipos de generadores de hidrógeno H_2O , en general tienen sumergido en agua (húmedos o secos) placas de diferentes metales desde acero hasta platino, dependiendo del presupuesto, con electrolitos (que permiten o facilitan el paso de la corriente eléctrica en el baño electrolítico), para finalmente producir plasma de agua H_2O que se conduce por tuberías y sistemas de seguridad, etc.

a diferentes entradas que alimentan de combustible el vehículo, siendo la más común el filtro del aire aunque no la más eficiente, el carro requerirá de ajuste en el tiempo, es decir hay que sincronizarlo para la alta velocidad de combustión que tiene el hidrógeno. (P.18).

Figura 5

Generador de Hidrógeno



2.6.2 Relé

Es un dispositivo electromagnético, también es conocido como relevador, tiene la función principal de actuar como interruptor de accionamiento para un circuito eléctrico el cual activa o desactiva el dispositivo a través de un campo electromagnético, su funcionamiento completo nos los explica (Duque & Masaquiza, 2013) a continuación:

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

Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea. Se les llamaba "relevadores". De ahí "relé".

Cuando una corriente eléctrica circula a través de un hilo conductor aparece un campo magnético que será directamente proporcional a la intensidad de esta corriente y sus efectos se manifestarán en mayor dimensión cuanto menor sea la distancia al hilo conductor. Un núcleo de hierro dulce, sobre el cual un hilo eléctrico recubierto de un barniz aislante es bobinado, canaliza el campo electromagnético provocado por el paso de una corriente.

El campo magnético dependerá en el caso de una bobina de: Coeficiente dependiendo de la naturaleza del núcleo de la bobina, del número de espiras, de la intensidad, de la longitud de la bobina.

El campo magnético, por una bobina determinada depende de la intensidad de corriente, de la resistencia de la bobina y de la tensión aplicada.

El circuito de comando de un relé está compuesto de una bobina, en la que cuando se aplica una tensión el campo magnético generado estira una lengüeta móvil que actúa como un interruptor entre la entrada y la salida del circuito de potencia.

Hay otro tipo de relé con dos salidas, donde una salida superior del circuito de potencia se conecta a la entrada cuando el relé esté en situación de reposo.

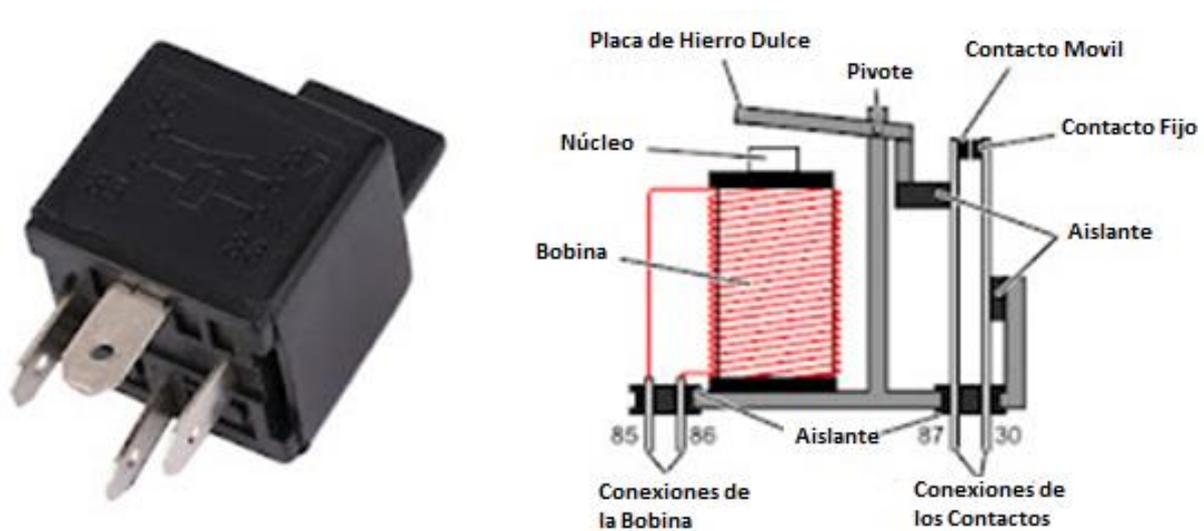
En un relé, el circuito de comando puede funcionar con una pequeña

intensidad de mando y permite la conmutación de una corriente importante en el circuito de potencia. El relé permite a su vez reducir la longitud excesiva de los cables de potencia, con una reducción en los costos, en el peso y en las caídas de tensión, obteniendo una ganancia de potencia en los receptores. (p.25).

En la siguiente figura (ver Figura 6) vamos a detallar los componentes que conforman al relé para entender mejor su funcionamiento.

Figura 6

Relé



Nota. Tomado de Blogmecánicos, 2021

2.6.3 Tanque Multifuncional de Almacenamiento del Electrolito

La función principal de un tanque multifuncional es almacenar diferentes sustancias como líquidos o gases, su principal construcción es con aceros inoxidables o también pueden ser de cloruro de polivinilo (PVC) en el caso de que el almacenamiento sea de una presión muy baja o nula “Además, ofrece otros beneficios al ser un material liviano, resistente a la corrosión, tiene buenas propiedades de permeabilidad y prestan condiciones de auto lavado, además, de que el sistema de hidrógeno es de baja presión.” (Chamorro, 2017, pág. 27).

Está conformado por 4 boquillas las cuales tienen como función principal.

- Ingreso de H_2O + Electrolito al tanque multifuncional.
- Suministro de oxígeno e hidrógeno a la admisión del motor.
- Ingreso de $H_2 - O_2$ al tanque multifuncional.
- Suministro de solución líquida H_2O + Electrolito al generador de hidrógeno.

A continuación, vamos a poder observar en la siguiente figura (ver Figura 7) la ubicación de las boquillas mencionadas.

Figura 7

Tanque Multifuncional



2.6.4 Cables

A continuación, encontramos una descripción del “Cable es un término con varios significados y usos. Puede tratarse del cordón que presenta distintos conductores aislados unos de otros y protegido por algún tipo de envoltura.” (Pérez & Gardey, 2011)

También (Pérez & Gardey, 2011) nos describe los elementos con su funcionamiento:

El cable eléctrico es aquel cuyo propósito es conducir electricidad. Suele estar fabricado de cobre (por su nivel de conductividad) o aluminio (que resulta más económico que el cobre).

Estos cables están compuestos por el conductor (el elemento formado por uno o más hilos que conducen la corriente eléctrica), el aislamiento (que recubre el conductor para que la corriente eléctrica no circule fuera del cable), la capa de relleno (un material aislante que permite conservar la forma circular del conjunto) y la cubierta (los materiales que protegen al cable del sol, la lluvia, etc.).

Para este proyecto hemos utilizado cables que soporten un voltaje nominal de 12V con una capacidad de 7 amperios hora igual a la denominación de la batería que esta instalada actualmente.

2.6.5 Terminales Eléctricos de Conexión

Los conectores eléctricos sirven para hacer conexiones entre cables eléctricos, o entre cables eléctricos y algún elemento del circuito.

También tenemos los llamados "Terminales Eléctricos" utilizados para unir un cable con un aparato eléctrico.

Los conectores eléctricos se utilizan para unirlos y formar una trayectoria continua para que fluya la corriente eléctrica, reduciendo drásticamente el tiempo, el esfuerzo y la mano de obra necesarios para fabricar, ensamblar e instalar dispositivos eléctricos, sus componentes y el cableado. Los conectores eléctricos tienen extremos macho y extremos hembra (conectores) que se conectan entre sí formando una conexión permanente o una conexión temporal que se puede ensamblar y extraer (Areatecnologica, 2018)

Figura 8*Terminales Eléctricos*

Fuente: (Areatecnologica, 2018)

2.6.6 Interruptor

(Duque & Masaquiza, 2013) describe el interruptor con la siguiente definición:

Es un dispositivo utilizado para desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica. En el mundo moderno las aplicaciones son innumerables, van desde un simple interruptor que apaga o enciende un bombillo, hasta un complicado selector de transferencia automático de múltiples capas controlado por computadora.

Su expresión más sencilla consiste en dos contactos de metal inoxidable y el actuante. Los contactos, normalmente separados, se unen para permitir que la corriente circule. El actuante es la parte móvil que en una de sus posiciones hace presión sobre los contactos para mantenerlos unidos. (p.30).

A continuación, observaremos en la siguiente figura (ver Figura 9) un interruptor

simple accionamiento o Interruptor SPST con el cual procedemos al encendido del sistema de generación de hidrógenos que utilizamos en nuestro proyecto.

Figura 9

Interruptor



2.6.7 Mangueras y Cañerías

Figura 10

Mangueras



Fuente: (Insertec, 2018)

Las mangueras y cañerías son componentes que tiene como función principal el

transporte de fluidos o gases (Suarez, 2018) las describe como:

Una manguera es un tubo hueco diseñado para transportar fluidos de un lugar a otro. A las mangueras también se les llama tubos, aunque los tubos generalmente son rígidos mientras que las mangueras son flexibles. Las mangueras usualmente son cilíndricas. Para la unión de mangueras se utilizan distintos tipos de racores.

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

Posee la capacidad de resistir multiplicidad de fluidos corrosivos, absorber vibraciones, provee una adecuada flexibilidad y fácil aplicación. (p.22).

En este proyecto utilizamos mangueras neumáticas de poliuretano con un diámetro de 8MM y una presión de trabajo de 150 psi. Denominación del fabricante PNEUMATIC HOSE O.D. 8MM -W.P. 150 PSI.

2.6.8 *Electrolito*

(Jorquera, 2019) describe al electrolito:

El agua utilizada en el electrolizador debe tener características que le permitan disociar al recibir una descarga eléctrica pequeña. En función de esta situación, es que se debe determinar el electrolito que debe ser aplicado al agua, y la proporción en la cual debe encontrarse para permitir un funcionamiento óptimo del equipo.

La selección del compuesto para electrolito es el KOH (hidróxido de potasio), debido a que la reacción con el H₂O es menor exotérmica que el NaOH, la solubilidad es menor, por lo que necesita menos compuesto para lograr la concentración deseada. El empaque que contenga el hidróxido de

potasio debe indicar de forma visible las siguientes señales de seguridad. (p.58).

2.6.9 Agua Destilada

(Duque & Masaquiza, 2013) El agua destilada es aquella cuya composición se basa en la unidad de moléculas de H₂O. En esta se han eliminado las impurezas e iones mediante destilación. La destilación consiste en separar los componentes líquidos de una mezcla. Debido a su relativa elevada pureza, algunas propiedades físicas de este tipo de agua son significativamente diferentes a las del agua de consumo diario. Por ejemplo, la conductividad del agua destilada es casi nula (dependiendo del grado de destilación) pues a diferencia del agua del grifo común, carece de muchos iones que producen la conductividad, habitualmente cloruros, calcio, magnesio y fluoruros. (p.24).

Figura 11

Agua Destilada



Nota. Tomado de Puritech, S.F., 2017

2.7 Proceso de Operación de Generador de Hidrógeno

El generador de hidrógeno utiliza la electrolisis como proceso principal para la obtención de hidrógeno a base del agua de tal manera (Suarez, 2018) describe el

funcionamiento de este generador:

El generador de hidrógeno utiliza este átomo tan pequeño y volátil, esta característica hace que entre y se mezcle fácilmente con la gasolina, dentro del cilindro; donde entra una mezcla de pequeñas gotitas de gasolina.

Sin embargo, lo que se prende es la fase de vaporización totalmente ayudada por el hidrógeno, otra particularidad del hidrógeno es su extrema inflamabilidad y poder detonante de empuje, porque el hidrógeno es 2,5 veces más potente que la gasolina y la velocidad de la llama es mucho mayor.

Dentro del cilindro al momento de la admisión entra una nube o rocío de gotitas de combustible mezcladas con aire. Esa mezcla es comprimida e incendiada gracias a una chispa generada por la bujía. Sin embargo, antes de que logre incendiarse toda la mezcla, ya, se ha abierto la válvula de escape y parte de la gasolina, simplemente escapa sin quemar o solo parcialmente quemado, o se quema en el convertidor catalítico, pero por lo general sale a la atmósfera.

Al instalar el generador de producción de hidrógeno, éste entra rápidamente dentro del cilindro distribuyéndose inmediatamente en todo el espacio disponible.

Cuando la chispa prende la mezcla, la velocidad de flama mucho mayor del hidrógeno, hace que la llama se extienda uniforme y más rápidamente dentro del cilindro, encendiendo no sólo el hidrógeno sino todo lo que hay alrededor de tal forma que cuando la válvula de escape se abra, esta vez ya estará quemada totalmente.

Al ser comprimido en conjunto con el aire y el combustible tradicional refrigera la mezcla, controlando la temperatura de compresión de la gasolina.

Al ser controlada la temperatura de compresión se elimina la contrapresión que se Presenta por el fenómeno de explosión del combustible, antes de que el pistón llegue al punto muerto superior (PMS). (p.36.).

Sistema eléctrico: La alimentación que requiere el generador de hidrógeno es suministrada por la batería misma de la motocicleta , la energía que sale de esta debe pasar primero por un fusible que proporcionará protección eléctrica del sistema, contra los elevados picos de corriente que se puedan filtrar en el circuito eléctrico del dispositivo, una vez que la corriente sale del fusible llega hasta el relé el cual puede ser activado o desactivo a voluntad del conductor mediante un interruptor que se encuentra debajo del odómetro de la motocicleta, al ser activado este inter ruptor la corriente llega al generador de hidrógeno, produciéndose de esta manera, la separación de hidrógeno y de oxígeno del agua destilada combinada con hidróxido de potasio, mediante un proceso llamado electrólisis (Suarez, 2018, pág. 36).

Sistema mecánico: El generador tiene dos conductos, un conducto para la entrada del electrolito proveniente del depósito que debe situarse a una altura mayor que la del generador. El otro conducto es utilizado para la salida de oxígeno a la atmósfera y de evacuación de hidrógeno, el cual se unen mediante conexiones que van a dar nuevamente al depósito del electrolito, pero debe llegar a la parte superior de este para poder comprobar el ingreso de hidrógeno al depósito. El depósito debe ser completamente hermético para que no haya fugas de hidrógeno, consta de 4 conductos, uno que lleva electrolito al generador, uno para el regreso del hidrógeno hacia la parte superior del depósito, una entrada de electrolito desde el burbujeador y uno para la salida del hidrógeno hacia el motor, sistema de admisión de la motocicleta (Suarez, 2018, pág. 36).

Tenemos que agregar que, en el ingreso del hidrógeno al interior del cilindro del motor, lo realizamos mediante el sistema de admisión de la motocicleta, ingresando por el

filtro de aire de la motocicleta para inyectarlo de manera directa al colector de admisión.

Capítulo III

Selección, Instalación y Pruebas del Generador de Hidrógeno

Se aborda el proceso de adaptación del sistema de hidrógeno a la motocicleta, junto con los procedimientos de mantenimiento necesarios para garantizar que la moto esté en su mejor estado para instalar la adaptación. Además, se describirá la prueba llevada a cabo utilizando un analizador de gases, así como los resultados obtenidos. Durante la fase de prueba, se llevaron a cabo dos etapas distintas: la prueba inicial y la prueba de validación.

3.1 Equipo de Prueba - Motocicleta

La motocicleta mostrada en la figura 12 corresponde al modelo 150 °F de la marca Ranger, con año de fabricación 2004. Durante un período de dos años, experimentó un estado de inoperancia ocasionado por la pandemia. Previo a la ejecución de los ensayos pertinentes, se llevó a cabo un exhaustivo procedimiento de mantenimiento preventivos y correctivos en las instalaciones de dos talleres: "Servitmar", situado en la intersección de las calles García Moreno y San Martín, en la dirección 2314, Carchi – Tungurahua; y "Pepe Proyectos Especiales de Pintura y Estética", localizado en la avenida José María Egas, dentro de la ciudadela Brisas del Río.

Figura 12

Estado Inicial Motocicleta



3.1.1 *Mantenimiento Estructural de la Motocicleta*

Se lleva a cabo un análisis exhaustivo para evaluar el estado integral de la estructura de la base de la motocicleta. Durante este análisis se identifican diversos tipos de daños atribuibles al período de abandono. Los hallazgos incluyen:

- La corrosión de la base estructural de la motocicleta ha alcanzado un nivel crítico, ocasionando fisuras significativas en el chasis y desoldado de puntos fundamentales del apoyo.

- Se registra una fuga en el tanque de combustible como consecuencia directa de la corrosión (ver Figura 13).

- El estado del manubrio central es inutilizable debido a un deterioro generalizado y la oxidación de los puntos de sujeción, lo cual impide la aplicación de presión de manera efectiva.

- El sistema de frenos presenta partículas de óxido y bloqueos derivados de la falta de uso y lubricación.

- Se detecta un deterioro en la base del motor, así como sequedad en los componentes de caucho, lo que resulta en la pérdida de capacidad para amortiguar las vibraciones del motor.

- El mecanismo de accionamiento del embrague se encuentra fracturado como consecuente no es posible de accionar.

- La batería se encuentra en un estado sulfatado.

Primordialmente, se llevó a cabo la restauración de la integridad estructural del chasis, abordando y corrigiendo las áreas afectadas por corrosión y fisuras. Una vez concluida esta fase inicial, se procedió a la aplicación de un recubrimiento de pintura en toda la estructura de la motocicleta (ver Figura 14). Esta medida tuvo como objetivo prevenir posibles daños futuros ocasionados por condiciones similares. De manera simultánea, se

realizó la reparación del tanque de combustible y su correspondiente mantenimiento estructural.

Figura 13

Tanque de Combustible Fisurado



Continuando con la secuencia de acciones, se procedió al reemplazo de los demás componentes previamente mencionados. Esto incluyó la instalación de los sistemas mecánicos necesarios para el funcionamiento óptimo de la motocicleta.

Figura 14

Estado Final de Motocicleta



3.1.2 *Mantenimiento de Sistemas Mecánicos de la Motocicleta*

Se procedió a llevar a cabo un análisis completo de todos los elementos mecánicos, abarcando desde el sistema de combustión y tracción hasta la admisión, el escape y los frenos. Durante esta etapa, se ejecutaron las siguientes las siguientes acciones:

- Se realizó una revisión general de todos los componentes mecánicos, incluyendo el sistema de combustión, tracción, admisión, escape, frenos en la cual se realizaron los siguientes trabajos:
- Se realizó una afinación completa del motor, lo que incluyó el cambio de aceite y del filtro correspondiente.
- El carburador fue objeto de limpieza y ajuste, y se reemplazó el filtro de combustible.
- El sistema de admisión fue limpiado y ajustado, con la sustitución del filtro de combustible y la incorporación de un nuevo depurador.
- El sistema de frenos fue sometido a una limpieza exhaustiva, se procedió al cambio del líquido de frenos y se realizó un engrase general para optimizar el sistema.
- Se efectuó una limpieza integral del sistema de tracción, incluyendo la lubricación de los componentes, incluyendo la cadena de tracción.
- Tras una evaluación detallada, se constató que el sistema eléctrico funcionaba adecuadamente. Únicamente fue necesario el reemplazo de la batería debido al período en el que la motocicleta estuvo sin uso.

3.2 El Sistema de Hidrógeno

3.2.1 *Verificación y Selección de Herramientas e Implementos de Seguridad para Instalación*

Antes de iniciar los procedimientos de implementación del sistema de generación de hidrógeno en la motocicleta, es esencial llevar a cabo un análisis detallado y una enumeración exhaustiva de todas las herramientas apropiadas que serán requeridas en el transcurso de este

proceso. Asimismo, es imperativo considerar todo el equipo de protección necesario para asegurar el cumplimiento de las normativas de seguridad durante la manipulación de los materiales y la instalación.

Herramientas necesarias:

- Destornillador tipo estrella
- Destornillador plano
- Pinza de presión
- Alicates
- Llave inglesa
- Conjunto de llaves de tuercas en milímetros
- Taladro
- Sierra
- Llaves Allen

Medidas de seguridad requeridas:

- Mandil de protección
- Guantes de látex
- Gafas protectoras
- Mascarilla

3.2.2 Selección de Generador de Hidrógeno

Una parte esencial en el proceso de adquisición o fabricación de un generador de hidrógeno implica la cuidadosa selección de materiales de alta calidad, debido a su exposición a diversos elementos químicos y condiciones físicas durante su operación. Para este propósito, se consultó a la empresa especializada en generadores de hidrógeno, HIDROXIECUADOR. Dicha empresa es conocida por su experiencia en la producción de generadores de hidrógeno destinados a vehículos y motocicletas, y se destaca por su

criteriosa elección de materiales y componentes, en concordancia con las normativas del Reglamento Europeo CE 79/2009 del 14 de enero de 2009, artículo #5, con el objetivo de asegurar un funcionamiento óptimo de los generadores.

Luego, se procedió a la selección del generador conforme a los parámetros técnicos de la motocicleta en cuestión. En este caso, se trató de una motocicleta RANGER 150-7 con un cilindraje de 150 cc. Bajo la recomendación de HIDROXIECUADOR, se optó por el generador de hidrógeno modelo HE1-250-C, especialmente diseñado para motocicletas equipadas con carburador y un cilindraje máximo de 250 cc. Cabe destacar que este modelo de generador es de uso versátil, siendo compatible con diversos tipos de motocicletas equipadas con carburador y un cilindraje no superior a 250 cc.

3.3 Instalación del Sistema Generador de Hidrógeno

El sistema generador de hidrógeno fue instalado por el Taller Mecánico especializado en motocicletas “SERVIMAR” ubicado entre las calles García Moreno y San Martín #2314 en la ciudad de Guayaquil provincia del Guayas, de acuerdo con el Reglamento Europeo CE 79/2009 del 14 de Enero año 2009 Artículo #5 se procede a realizar los pasos de instalación del generador de hidrógeno según el manual técnico.

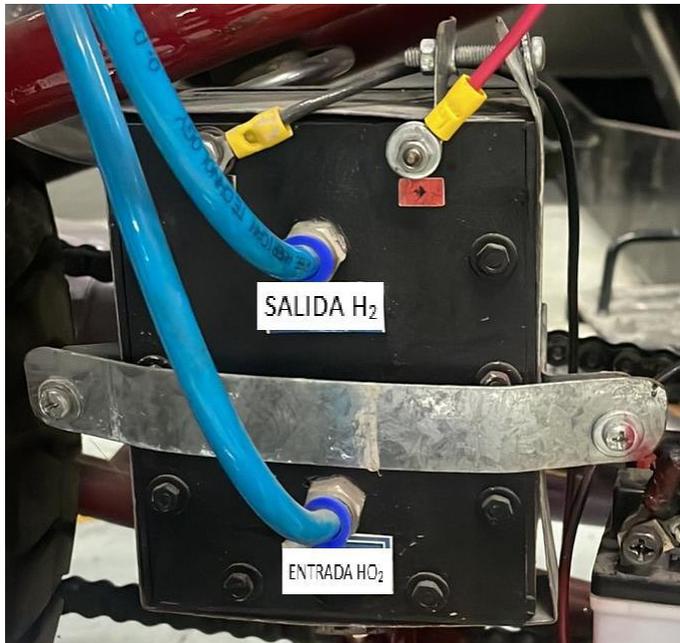
3.3.1 *Generador de Hidrógeno*

El proceso de instalación se lleva a cabo en la motocicleta de manera directa al chasis, empleando un soporte metálico que desempeña la función de base de fijación. Se elige ubicar este soporte en la sección central trasera, situada bajo el asiento. Esta elección se fundamenta en la necesidad de alejar el generador del calor producido por el motor, ya que su ubicación ideal implica un lugar refrigerado, libre de fuentes de calor adecuado el espacio para futuros trabajos relacionados con la implementación eléctrica del sistema. Se realiza el acople de las mangueras encargadas de transportar el electrolito hacia el generador, las cuales provienen del tanque multifuncional considerando la conexión de las mangueras que canalizan los

gases generados de vuelta hacia el tanque multifuncional.

Figura 15

Generador de Hidrógeno



3.3.2 Tanque Multifuncional de Almacenamiento de Electrolitos

De acuerdo con las directrices establecidas en el manual de instalación del generador, se requiere que el Tanque Multifuncional de Almacenamiento de Electrolito sea posicionado a una altura superior a la del generador de hidrógeno. Con el propósito de cumplir con esta orientación, se ha determinado que la altura mínima para esta disposición debe ser de 10 cm. Esta consideración es esencial ya que el suministro del líquido electrolito se efectúa mediante gravedad, tal como se ilustra en la figura 16.

Para implementar esta medida, se ha instalado un soporte metálico en la parte posterior derecha del chasis, justo detrás del asiento. Este soporte eleva el Tanque Multifuncional de Almacenamiento de Electrolito a una distancia de 15 cm por encima del nivel del generador. Esta ubicación se ha elegido por su conveniencia, ya que no solo cumple con los requisitos de elevación necesarios, sino que también brinda un acceso sencillo y adecuado para llevar a cabo la recarga del electrolito.

Figura 16

Tanque Multifuncional de Almacenamiento de Electrolitos

**Figura 17**

Soporte Metálico



3.3.3 Instalación de Mangueras

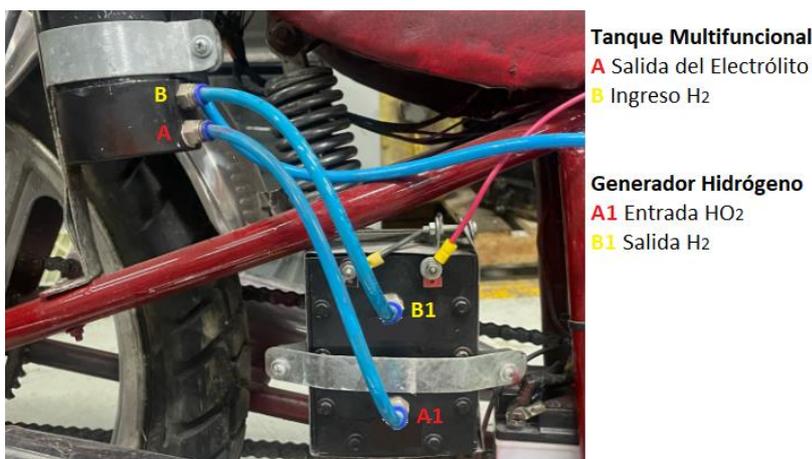
Al ejecutar la instalación de las mangueras en el sistema, es esencial considerar dos

factores primordiales: en primer lugar, la disposición de las conexiones de acuerdo con la señalización del sistema; y, en segundo lugar, la distancia que separa cada conexión. Al tomar en cuenta estos dos elementos, se garantiza el funcionamiento adecuado del sistema, ya que su interconexión se ajusta a las especificaciones establecidas por el fabricante, tal como se describe en detalle a continuación.

La secuencia de instalación inicia con la conexión de las mangueras entre el Tanque Multifuncional y el generador. En el Tanque Multifuncional se identifican tres orificios: uno en la parte superior, utilizado para suministrar H_2 y O_2 al sistema de admisión, y dos en la parte inferior. El orificio A (ver Figura 18) corresponde a la salida del electrólito y se enlaza con el ingreso principal del generador de hidrógeno, ubicado en la parte inferior del mismo, en el orificio A (ver Figura 18). Una vez que esta primera manguera ha sido acoplada, se procede a instalar la segunda. Esta segunda manguera se conecta en la parte superior del generador, en el orificio B (ver Figura 18), y suministra H_2 hacia el Tanque Multifuncional. La conexión se realiza en la parte central inferior del Tanque, en el orificio B (ver Figura 18).

Figura 18

Mangueras Conexión



En la sección superior del tanque multifuncional, se procede a la conexión de la última manguera que debe ser instalada. En su extremo opuesto, esta manguera se enlaza con el

sistema de admisión de la motocicleta a través del depurador, ubicado en la zona del filtro de aire (ver Figura 19).

Es fundamental llevar a cabo una revisión exhaustiva de todas las conexiones y asegurarse de que estén selladas adecuadamente. Esto se realiza con el fin de prevenir posibles fugas de líquidos o gases durante el transporte de estos elementos a lo largo de las mangueras del sistema.

Figura 19

Conexión Tanque - Depurador



3.3.4 Instalación de Sistema Eléctrico

Una vez confirmado que la instalación de los componentes se ha realizado en su totalidad, se procede con el proceso de instalación del sistema eléctrico del generador de hidrógeno.

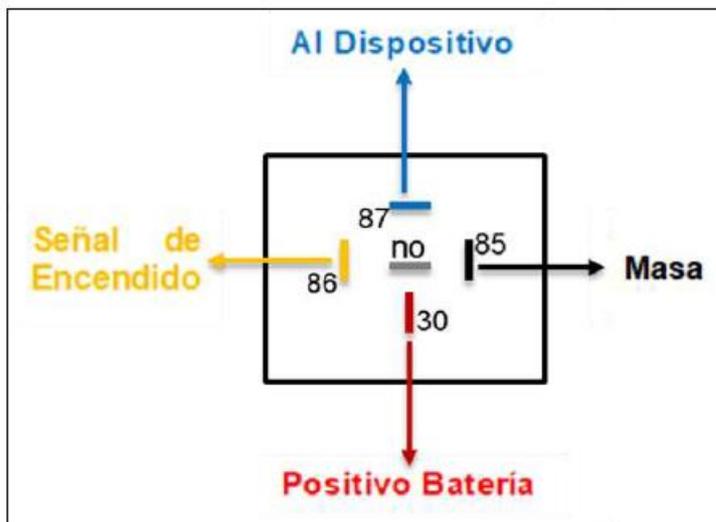
El manual de instalación detalla que el circuito eléctrico ha sido diseñado para operar en modo "KOER" (key on engine run), lo que indica que el generador debe funcionar únicamente cuando el sistema de encendido del motor está activado. Por esta razón, se ha realizado la conexión del sistema a la llave de encendido.

Esta conexión se encarga de alimentar y controlar un relé que a su vez suministra energía al generador de hidrógeno. El propósito principal es asegurar que el generador solo

produzca hidrógeno cuando el motor esté en marcha, evitando así una producción innecesaria cuando el motor esté apagado. Esta medida no solo protege la eficiencia del sistema, sino que también preserva la vida útil de la batería al prevenir su descarga. Para realizar esta conexión, se conecta al terminal 30 del relé (ver Figura 20).

Figura 20

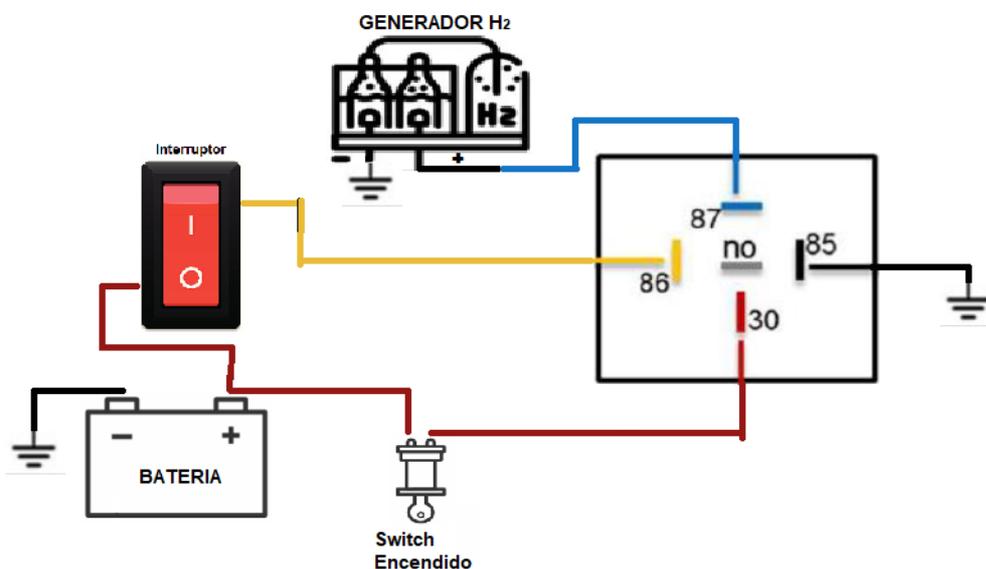
Diagrama de Conexión del Relé



Fuente: (Chamorro, 2017, pág. 39)

Figura 21

Diagrama Esquemático del Sistema Eléctrico - Conexión del Relé



Se procederá a la conexión del terminal 87 del relé con el generador de hidrógeno, empleando su punto positivo de activación.

A continuación, se realizaron la adaptación de un cable de corriente que se conectará desde la batería hasta un interruptor eléctrico (ver Figura 20), el cual estará ubicado en el odómetro de la motocicleta. El proceso culminará con la conexión al terminal 86 del relé. Este interruptor permitirá la activación o desactivación del generador de hidrógeno, otorgando la capacidad de controlar su funcionamiento.

Para completar la instalación, en el terminal 85 se llevará a cabo la conexión al punto de masa o negativo de la motocicleta.

La última fase consistirá en conectar el punto negativo del generador de hidrógeno al punto de tierra o masa de la motocicleta, finalizando así el proceso de instalación del sistema eléctrico del generador de hidrógeno.

Figura 22

Interruptor Eléctrico



3.3.5 Preparación y Suministro del Electrolito

El electrólito se compone de una mezcla de dos elementos principales: agua destilada, que constituye la mayor parte de la composición, e hidróxido de sodio.

La preparación de esta mezcla exige una atención especial debido a la naturaleza de sus componentes. El hidróxido de sodio (NaOH) es una sustancia química que puede ser tóxica para la piel y causar irritación al entrar en contacto con ella. Por esta razón, se recomienda manejarlo con extremo cuidado y utilizar los elementos esenciales de protección personal, como guantes de látex, gafas de protección y una mascarilla.

Una vez que los elementos de protección personal estén en su lugar, se procederá a la preparación del electrólito. Se comenzará por verter aproximadamente un litro de agua destilada en un recipiente limpio. Luego, se añadirán entre 70 y 100 gramos de hidróxido de sodio. La mezcla se llevará a cabo con suavidad hasta que el hidróxido de sodio se haya disuelto completamente en el agua. Una vez concluido este proceso, el electrólito estará listo para su uso.

3.4 Comprobación y Verificación del Funcionamiento del Sistema

3.4.1 Comprobación

Figura 23

Flujograma de Comprobación del Sistema

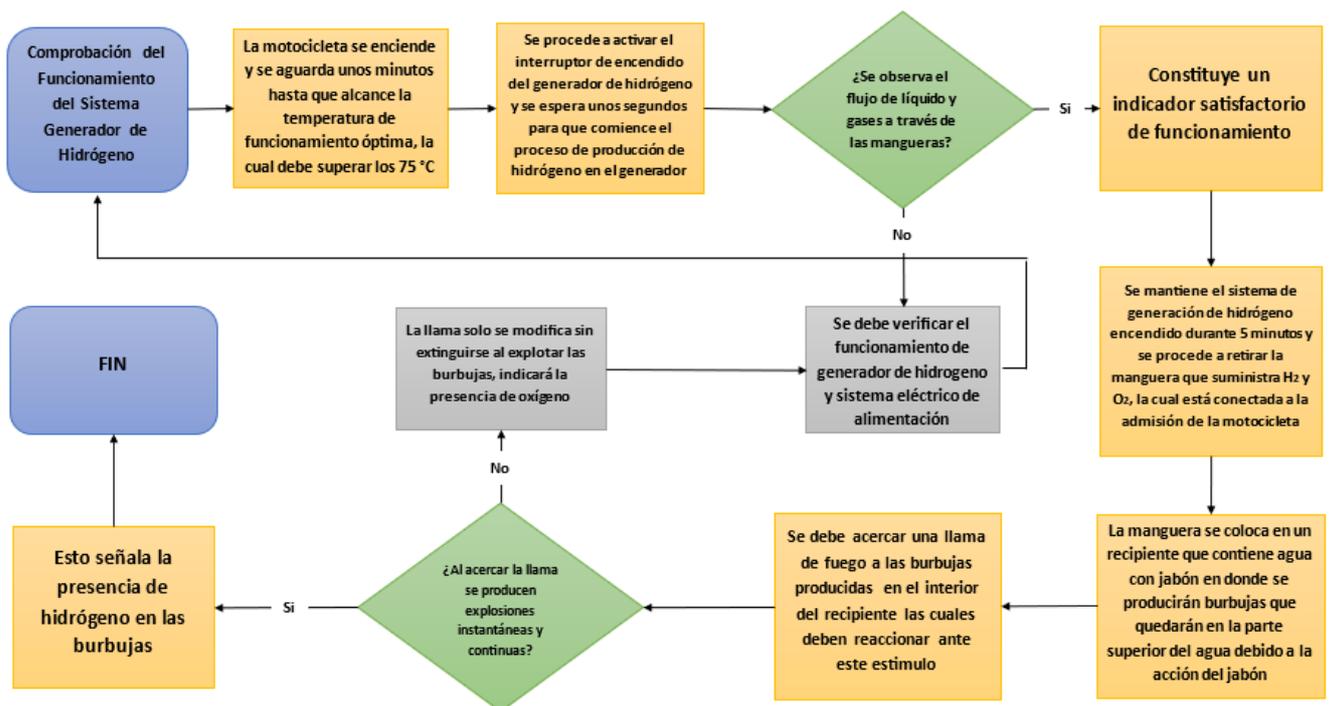


Figura 24

Comprobación de Generador de Hidrógeno



3.4.2 Verificación

En caso de que el sistema no esté operando de manera adecuada, se recomienda llevar a cabo las siguientes verificaciones:

- Realizar una inspección minuciosa en busca de posibles fugas en el sistema, lo cual incluye examinar las mangueras, los acoples y los sistemas que trabajan en conjunto, como el sistema de admisión.

- Repasar cada uno de los pasos de instalación del componente, asegurándose de que estén en conformidad con las instrucciones del manual.

- Verificar la presencia de posibles fugas de aire tanto en el depurador como en el sistema de admisión hacia el motor.

- Examinar en detalle el sistema eléctrico en su conjunto y asegurarse de que los interruptores y los relés funcionen de manera correcta.

Realizar estas revisiones exhaustivas contribuirá a identificar cualquier problema que pueda estar afectando el funcionamiento inadecuado del sistema y permitirá tomar las medidas necesarias para solucionarlos.

Figura 25

Cuadro de Fallas, Causas y Soluciones en el Sistema

FALLA	CAUSA	SOLUCION
GENERADOR NO FUNCIONA	Falta de alimentacion de corriente	Reparacion o Reajuste de sistema electrico + Estado Bateria
	Falta de agua en el sistema	Revision niveles de Agua o Reparación de fugas
	Recalentamiento de celda interior por falta de liquido	Reemplazo de los componentes internos de la celda
FALTA DE ENERGIA	Daño en relé o desconectado	Revisar estado de relé con multímetro, reconectar pines de conexión o reemplazar relé averiado
	Batería mal estado o desconectada	Reemplazo batería o recarga de batería
	Cableado mal estado o desconectado	Cambio de cableado afectado
	Interruptor en on/off averiado	Revisar estado del interruptor con multímetro, reconectar pines de conexión o reemplazar
	Daño en alternador	Reparación alternador o cambio de alternador
FUGAS DE HIDRÓGENO	Fisura o rotura de mangueras	Reemplazo o reparación de mangueras
	Problemas en acoples	Ajustes o cambio de acoples
	Daños en sistemas que trabajan en conjunto como el sistema de admisión	Reparación o reemplazo de componentes averiados
FILTRACION DE AGUA	Fisura o rotura de mangueras	Reemplazo o reparación de mangueras
	Problemas en acoples	Ajustes o cambio de acoples
	Daños en sistemas que trabajan con el generador y tanque multifuncional	Reparación o reemplazo de componentes averiados

3.5 Pruebas

En esta etapa se proporcionará una descripción detallada del procedimiento empleado para llevar a cabo el análisis de los gases de combustión, así como los equipos empleados para recopilar los resultados de las mediciones de gases. Además, se presentarán los datos obtenidos durante el análisis realizado en la motocicleta RANGER 150-7.

Con tal fin, se llevaron a cabo cuatro pruebas generales de análisis de gases de combustión: dos pruebas en condiciones estándar, es decir, sin la utilización del generador de hidrógeno; y dos pruebas adicionales con el generador de hidrógeno activo. Las pruebas se realizaron de la siguiente manera:

1. Prueba de ralentí sin generador de hidrógeno.
2. Prueba del modo de simulación de aceleración (ASM) a más de 2500 rpm sin generador de hidrógeno.

3. Prueba de ralentí con generador de hidrógeno.
4. Prueba del modo de simulación de aceleración (ASM) a más de 2500 rpm con generador de hidrógeno.

Estas pruebas permiten comparar los resultados obtenidos en diferentes condiciones y evaluar el impacto del generador de hidrógeno en la composición de los gases de combustión.

3.5.1 *Equipo Que Utilizar en las Pruebas*

Para la obtención de datos para estas pruebas tenemos disponibles los siguientes equipos:

3.5.1.1 **LPS 3000 Consola de Comunicación**

Es el equipo que nos permite interactuar entre el analizador de gases y el usuario, a través de una pantalla se reflejan los resultados de los análisis de gases, para la obtención de los resultados este equipo utiliza un software EUROSYS V para las pruebas de análisis de gases (ver Figura 26).

Figura 26

LPS 3000 Consola de Comunicación



3.5.1.2 Analizador de Gases MAHA MGT-5

“El analizador de gases es un dispositivo que mediante una sonda ubicada en el tubo de escape del vehículo nos permite conocer de manera numérica la presencia de los gases tóxicos dentro de las emisiones generadas por el motor” (PALACIOS, 2022, pág. 23).

El Analizador de Gases MAHA MGT-5 podemos realizar el análisis de la concentración de gases durante la combustión como CO, HC, CO₂, Y O₂ a través de celdas electroquímicas que mantiene en su interior, sus pruebas se pueden evaluar tanto de forma estática como dinámica (ver Figura 27).

Figura 27

Analizador de Gases MAHA MGT-5



3.5.2 Proceso de Medición del Analizador de Gases

Familiarizados con los instrumentos requeridos para llevar a cabo las pruebas de gases y así obtener los resultados del análisis correspondiente, se seguirán una serie de pasos establecidos para asegurar la obtención de resultados lo más precisos posible en relación con la combustión de la motocicleta.

El primer paso involucra estacionar la motocicleta en la bahía de pruebas. Esta ubicación debe ser al aire libre o en un entorno con una adecuada ventilación, ya que los gases generados por los motores de combustión contienen toxinas perjudiciales para la salud humana (ver Figura 28).

Luego, se procederá a encender la motocicleta y se esperará unos minutos hasta que alcance la temperatura de funcionamiento óptima, que debe superar los 75 °C. Una vez alcanzada esta temperatura, se estará listo para llevar a cabo las pruebas. Se detallarán a continuación los pasos relacionados con la preparación de los equipos y su uso en el proceso de toma de pruebas.

Figura 28

Fase de Calentamiento Motocicleta



3.6 Fase de Pre-Calentamiento del Analizador de Gases

Al iniciar el equipo para llevar a cabo el análisis de gases, éste automáticamente se embarca en un proceso de precalentamiento del analizador. Este período de precalentamiento

se extiende por un intervalo de dos a tres minutos desde el momento en que se enciende el equipo.

Tras completar el proceso de precalentamiento, el equipo indicará que ha alcanzado la temperatura óptima para funcionar, y este estado se comunicará a través de los indicadores presentes en la consola de comunicación.

Previamente a la ejecución del proceso de toma de gases, el analizador realiza automáticamente un procedimiento de autolimpieza. Este procedimiento es conocido como la prueba cero. Durante esta fase, se aspira aire del entorno exterior con el objetivo de eliminar cualquier partícula residual que pueda haber quedado desde pruebas previas. El fin de esta medida es evitar datos incorrectos y asegurar un análisis más preciso. El proceso de la prueba cero tiene una duración de alrededor de veinte segundos. (Palacios, 2022, pág. 28).

3.7 Utilización de Sonda

La instalación de la sonda de medición se realiza en dos etapas. En primer lugar, se lleva a cabo la instalación en el equipo Analizador de Gases MAHA MGT-5. En segundo término, se procede a una cuidadosa instalación en el tubo de escape, considerando que este componente se encuentra en un estado de alta temperatura debido a su funcionamiento.

Antes de llevar a cabo estas instalaciones, es necesario asegurarse de que la sonda esté correctamente orientada y en la dirección adecuada. Asimismo, se debe verificar que el filtro de limpieza de partículas de aire esté completamente limpio. Este paso es esencial para garantizar una recopilación precisa de las mediciones en el proceso de análisis de gases.

En esta motocicleta en particular, es importante mencionar que previo a la realización de este proyecto, se efectuó una modificación en el tubo de escape, implementando una configuración de doble salida. Como consecuencia de esta adaptación, fue necesario sellar una de las salidas del tubo de escape con el propósito de no influir en los resultados del análisis de gases (ver Figura 29).

Figura 29

Instalación de Sonda



3.8 Proceso para la Obtención de los Resultados de Análisis de Objetos

3.8.1 *Contaminantes*

El proceso se inicia al ingresar los datos específicos de la motocicleta en el sistema de medición de gases. En este paso, se detallan elementos como la marca del vehículo, su modelo de producción, el cilindraje del motor, el sistema de inyección (en este caso, carburador) y el tipo de combustible empleado, que corresponde a gasolina.

Una vez completada esta fase inicial de selección, es necesario identificar y escoger el tipo de prueba que será llevada a cabo. En este contexto, se determina si se trata de una prueba estática o una prueba dinámica en el equipo.

Una vez realizadas las selecciones esenciales para definir el tipo de medición y análisis de gases que se van a llevar a cabo, los resultados serán visualizados a través de la Consola de Comunicación (ver Figura 26). Esta consola proporcionará una lectura en tiempo real de los gases generados durante la prueba, cuyos detalles serán expuestos en el capítulo subsiguiente.

Capítulo 4

Análisis de Resultados

4.1 Pruebas

4.1.1 Prueba Ralentí sin Generador de Hidrógeno

Según la NORMA INEN 2204 las pruebas en marcha mínima o ralentí es la velocidad mínima que establece el fabricante para mantener el motor en funcionamiento sin carga y que se encuentre en marcha neutra, cuando no se disponga de la especificación de la marcha mínima del fabricante se deberá establecer en un máximo de 1100 r.p.m. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002).

En este caso la prueba la primera prueba se realizó sin estar activo el generador de hidrógeno a 870 r.p.m. obteniendo los siguientes resultados (ver Figura 30).

Figura 30

Prueba Ralentí sin Generador de Hidrógeno



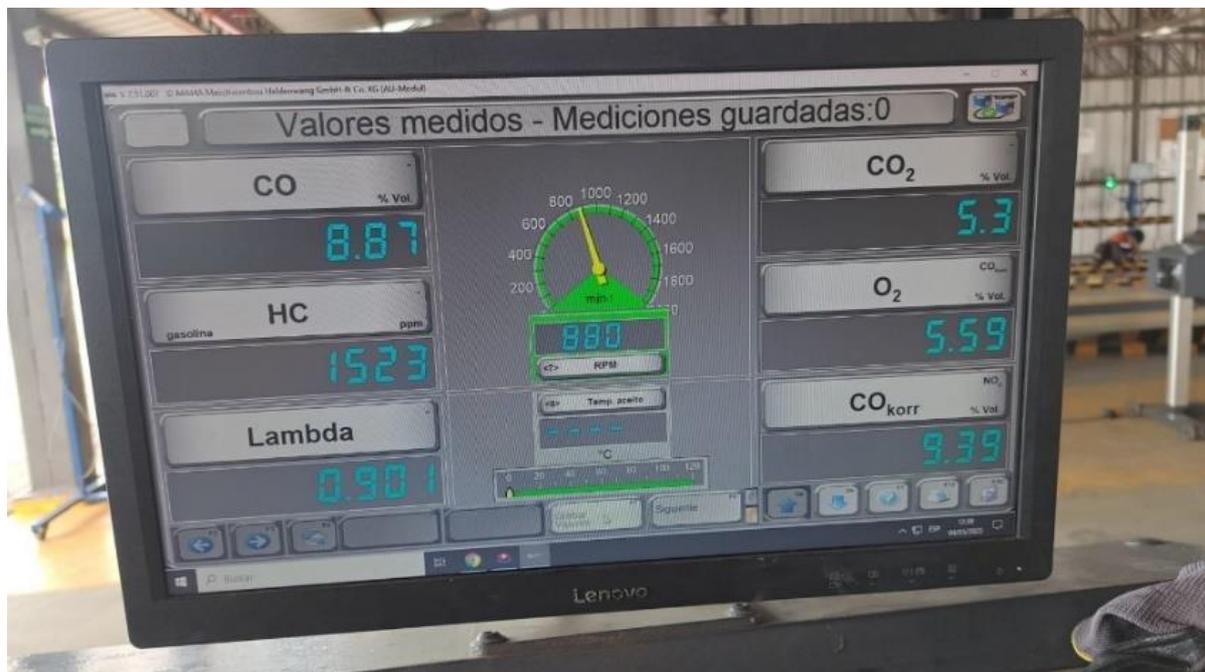
4.1.2 Prueba Ralentí con Generador de Hidrógeno

Antes de tomar la medida se debe encender el generador de hidrógeno y mantener la motocicleta en funcionamiento durante 5 - 8 minutos aproximadamente, esto con el fin de que el generador de hidrógeno haya llegado a su funcionamiento óptimo de suministro de hidrógeno.

Iniciamos la segunda prueba en ralentí se realizó estando activo el generador de hidrógeno a 880 r.p.m. obteniendo los siguientes resultados (ver Figura 31).

Figura 31

Prueba Ralentí con Generador de Hidrógeno



4.1.3 Prueba del Modo de Simulación de Aceleración (ASM) a Más de 2500 Rpm Sin Generador de Hidrógeno

Según la NORMA INEN 2204 las pruebas en marcha dinámica deberán ser tomadas a más de 2500 r.p.m. y estableciendo un máximo de 3000 r.p.m. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002)

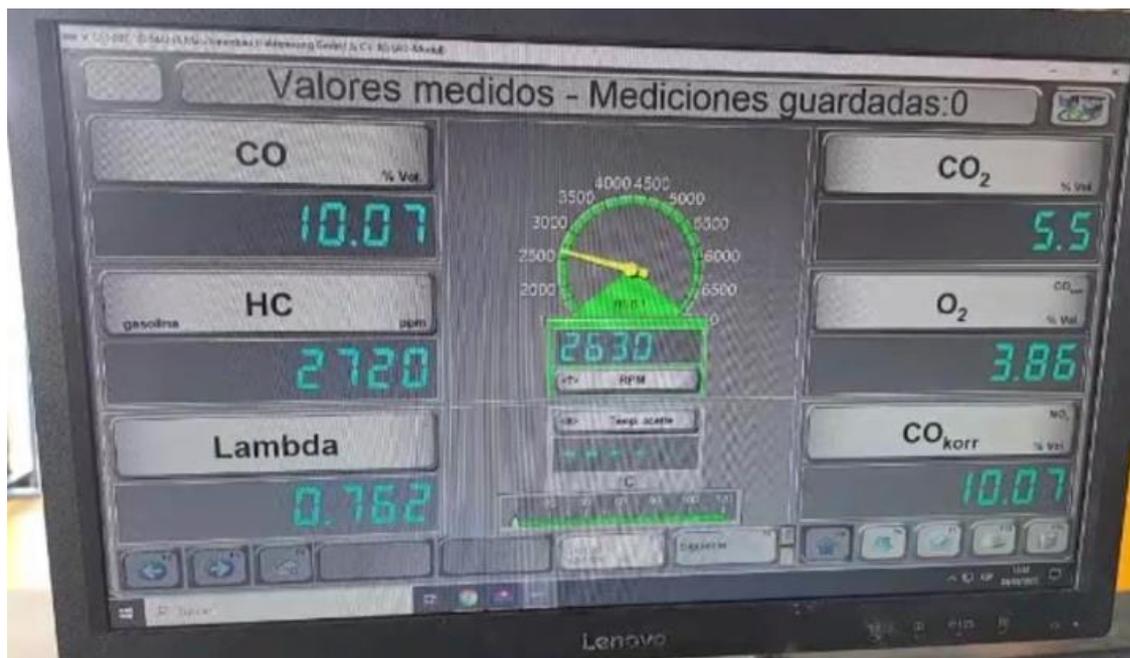
Después de llevar a cabo esta prueba, es esencial permitir que la motocicleta funcione

sin la activación del sistema de hidrógeno durante aproximadamente 5 minutos. Esta medida garantiza la eliminación de cualquier residuo proveniente de pruebas anteriores que pudiera influir en los resultados de la prueba actual.

A continuación, se procedió a realizar la tercera prueba en condiciones de carga dinámica. En este escenario, el generador de hidrógeno no estuvo activado y la motocicleta operó a 2630 revoluciones por minuto (r.p.m.). Los resultados obtenidos se detallan en la Figura 32.

Figura 32

Prueba del Modo de Simulación de Aceleración (ASM) A Más de 2500 Rpm sin Generador de Hidrógeno



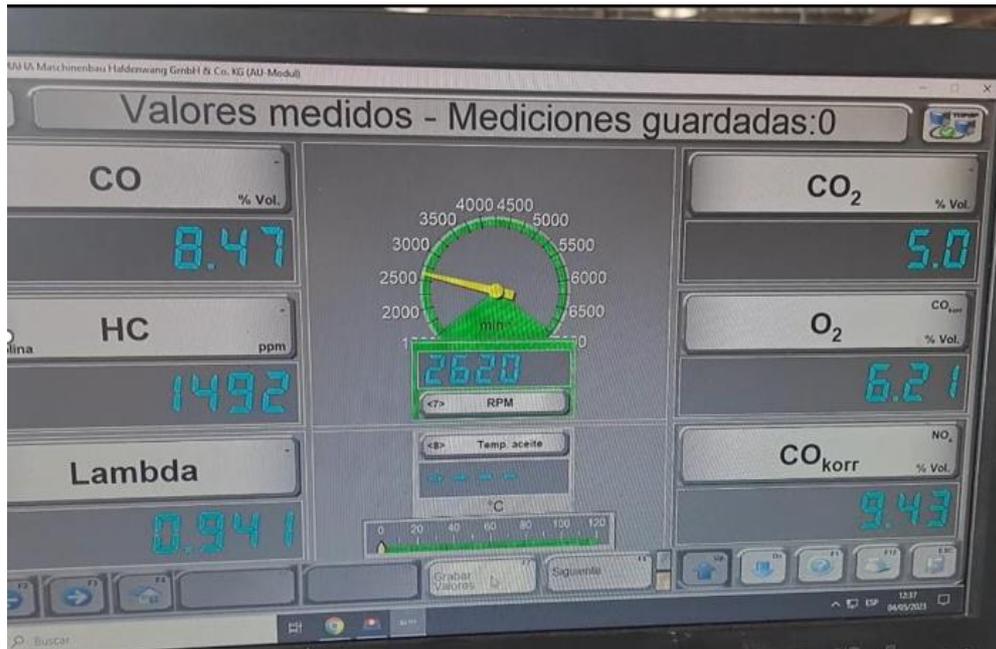
4.1.4 Prueba del Modo de Simulación de Aceleración (ASM) a Más de 2500 Rpm con Generador de Hidrógeno

Antes de tomar la medida se debe encender el generador de hidrógeno y mantener la motocicleta en funcionamiento durante 5 - 8 minutos aproximadamente, esto con el fin de que el generador de hidrógeno haya llegado a su funcionamiento óptimo de suministro de hidrógeno.

Iniciamos la segunda prueba en ralentí se realizó estando activo el generador de hidrógeno a 2620 r.p.m. obteniendo los siguientes resultados (ver Figura 33).

Figura 33

Prueba del Modo de Simulación de Aceleración (ASM) A Más de 2500 Rpm con Generador de Hidrógeno



4.1.5 Proceso de Limpieza del Equipo Después de la Medición de Gases.

El proceso de limpieza del equipo después de su uso es detallado por (Palacios, 2022) y nos detalla que:

Después de realizar las mediciones necesarias, se realizará un proceso de purgado en el equipo, normalmente se recomienda purgar el equipo por cada medición que se vaya a realizar para así obtener una medición más exacta. Para esto se pulsar en el equipo el botón de purga para que el proceso se inicie, para así poder quitar alguna humedad proveniente de la prueba. (p.31).

4.2 Análisis del Resultados

Se procede a realizar un análisis general de los resultandos evaluando los cuatro gases considerados en la prueba.

4.2.1 Monóxido de Carbono

Se puede identificar en la gráfica (Figura 34) que en la combustión tenemos valores altos de monóxido de carbono (CO), lo cual nos indica que la combustión en el motor es incompleta o una mezcla rica, ya con la implementación del sistema de hidrógeno se obtiene como resultado la disminución del CO producto de la combustión en la motocicleta.

Tabla 4

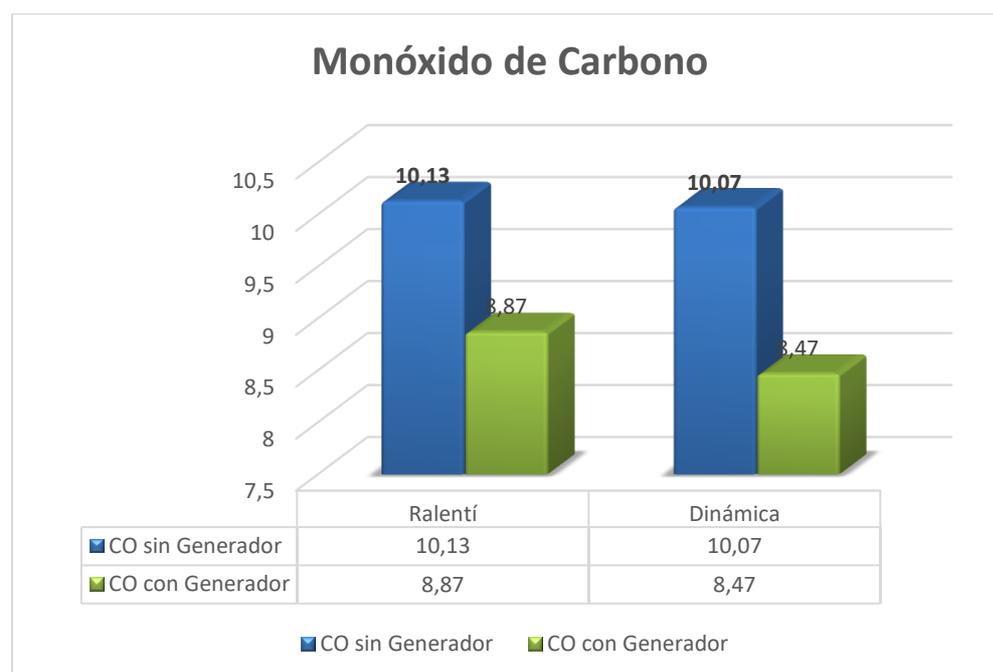
Comparación de Resultados de Análisis de Monóxido de Carbono

Prueba	Sin Hidrógeno	Con Hidrógeno	Diferencia
ASM	(% CO)	(% CO)	Diferencia %
Ralentí	10.13	8.87	- 1.26%
Dinámica	10.07	8.47	- 1.6 %
Promedio			- 1.43 %

Nota: Se toma como valor referencial la medición de CO sin hidrógeno, para el cálculo porcentual de la diferencia

Figura 34

Gráfica Comparación de Resultados de Análisis de Monóxido de Carbono



4.2.2 Hidrocarburos

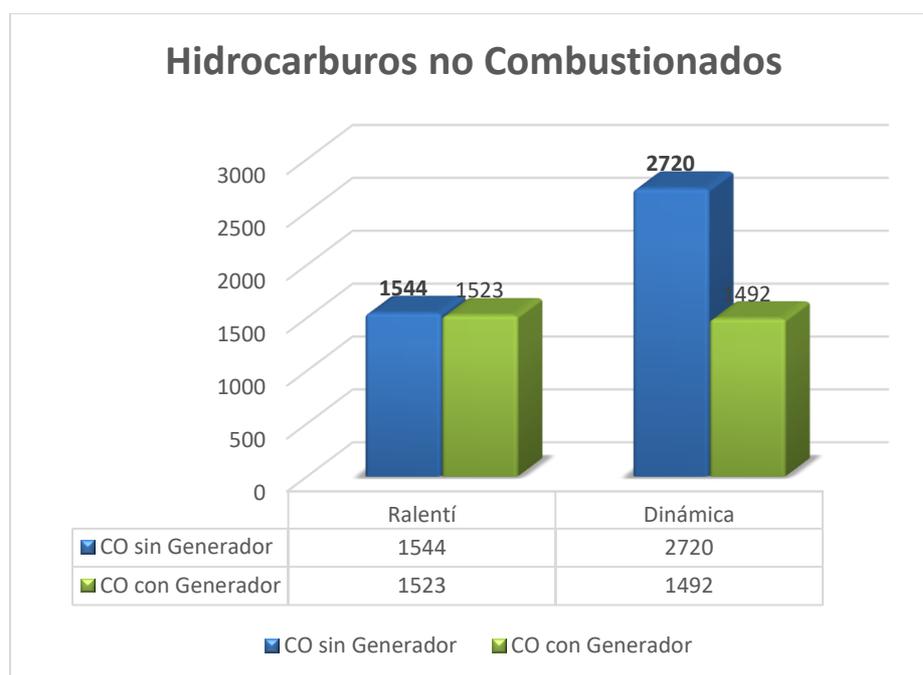
Tabla 5

Comparación de Resultados de Análisis de Hidrocarburos no Combustionados

Prueba	Sin Hidrógeno	Con Hidrógeno	Diferencia
ASM	HC (ppm)	HC (ppm)	Diferencia %
Ralentí	1544	1523	- 1.36 %
Dinámica	2720	1492	- 45.14 %
Promedio			- 23.25 %

Figura 35

Grafica Comparación de Resultados de Análisis de Hidrocarburos no Combustionados



Al realizar el análisis de los resultados de los hidrocarburos no combustionados (HC) podemos identificar que en la prueba de ralentí no existen mayor diferencia con la aplicación del generador de hidrógeno lo cual no causa mayor detalle en la combustión, pero en cambio podemos identificar una importante disminución de los HC en las pruebas dinámicas, así

obteniendo como resultado una mejor combustión dentro del cilindro del motor, lo cual lo vuelve a las prestaciones de la motocicleta más eficientes en estas condiciones.

4.2.3 Dióxido de Carbono

En Ralentí, la medición del porcentaje de CO₂ en ralentí es de 5.80%. Esto sugiere que, en condiciones de inactividad del motor (ralentí), el nivel de dióxido de carbono en los gases de escape es relativamente alto.

Tabla 6

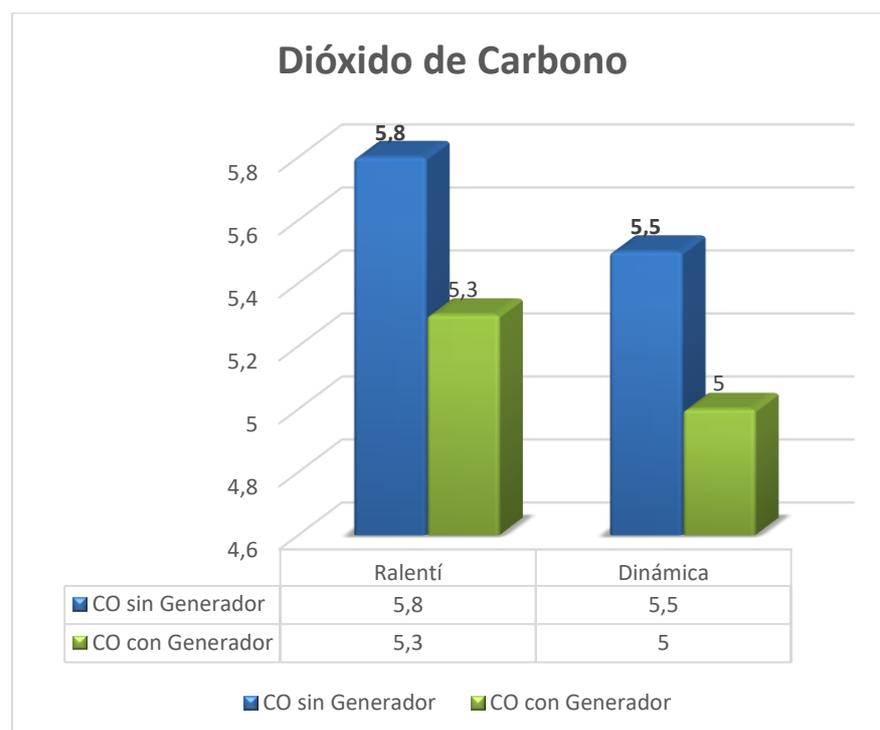
Comparación de Resultados de Análisis de Dióxido de Carbono

Prueba	Sin Hidrógeno	Con Hidrógeno	Diferencia
ASM	(% CO ₂)	(% CO ₂)	%
Ralentí	5.80	5.30	0.5%
Dinámica	5.50	5.00	0.5 %

Nota: Se toma como valor referencial la medición de CO sin hidrógeno, para el cálculo porcentual de la diferencia

Figura 36

Gráfica Comparación de Resultados de Análisis de Dióxido de Carbono



En la prueba Dinámica, la medición del porcentaje de CO₂ en condiciones dinámicas es de 5.50%. Esto indica que durante la operación en movimiento (dinámica), el porcentaje de dióxido de carbono en los gases de escape es ligeramente menor en comparación con el ralentí.

La diferencia en el porcentaje de CO₂ entre las condiciones de ralentí y dinámica es de 0.5%. Esto sugiere que, independientemente de si la motocicleta está en reposo (ralentí) o en movimiento (dinámica), el nivel de dióxido de carbono en los gases de escape apenas varía.

4.2.4 Oxígeno

La tabla 7 proporciona resultados de dos pruebas ASM (Análisis de Gases de Escape) en condiciones diferentes: ralentí y dinámica, con y sin hidrógeno. El porcentaje de oxígeno en los gases de escape se mide en ambas condiciones, y se calcula la diferencia en los valores.

Tabla 7

Comparación de Resultados de Análisis de Oxígeno

Prueba ASM	Sin Hidrógeno (% O₂)	Con Hidrógeno (% O₂)	Diferencia (% O₂)
Ralentí	3.85	5.59	1.74
Dinámica	3.86	6.21	2.35

Nota: Se toma como valor referencial la medición de O sin hidrógeno, para el cálculo porcentual de la diferencia

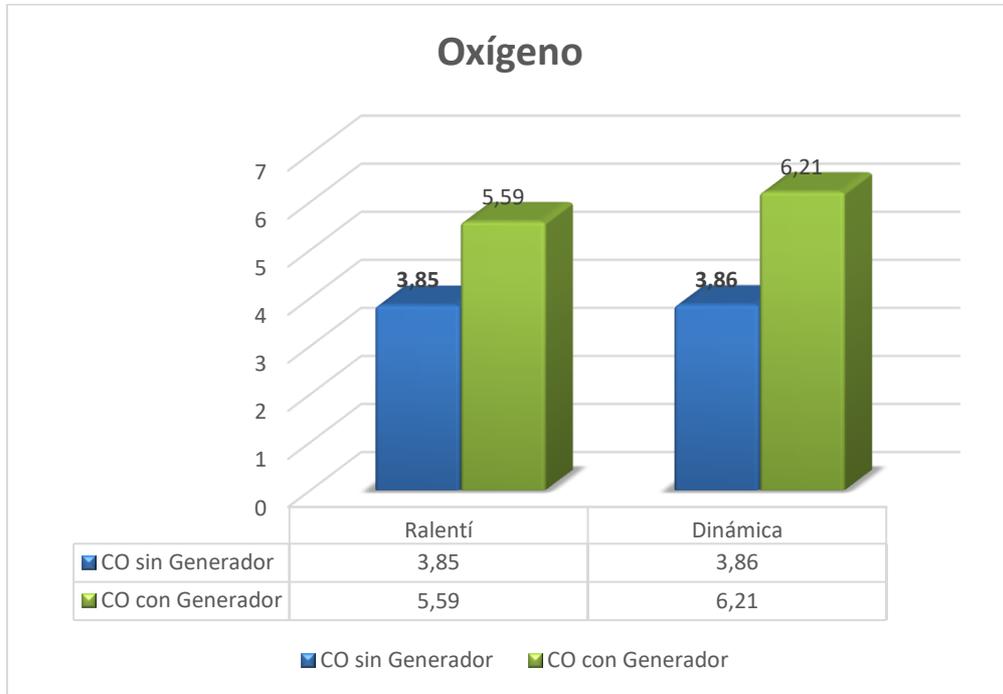
En la prueba de ralentí, se observa que el porcentaje de oxígeno es ligeramente mayor en la configuración con hidrógeno (5.59%) en comparación con la configuración sin hidrógeno (3.85%). La diferencia entre ambas configuraciones es de 1.74 puntos porcentuales.

En la prueba dinámica, nuevamente se observa una diferencia similar. La configuración con hidrógeno tiene un porcentaje de oxígeno más alto (6.21%) en comparación con la configuración sin hidrógeno (3.86%), con una diferencia de 2.35 puntos

porcentuales.

Figura 37

Gráfica Comparación de Resultados de Análisis de Oxígeno



4.3 Consolidado General de Mediciones

Figura 38

Gráfica de Comparación de Resultados de Análisis en Prueba Ralentí

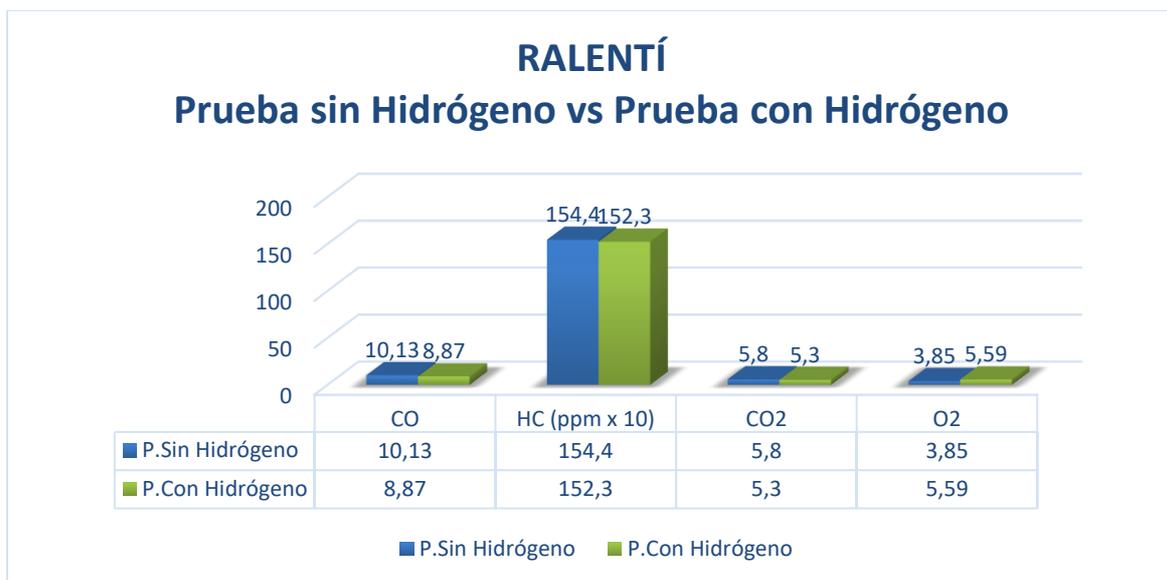
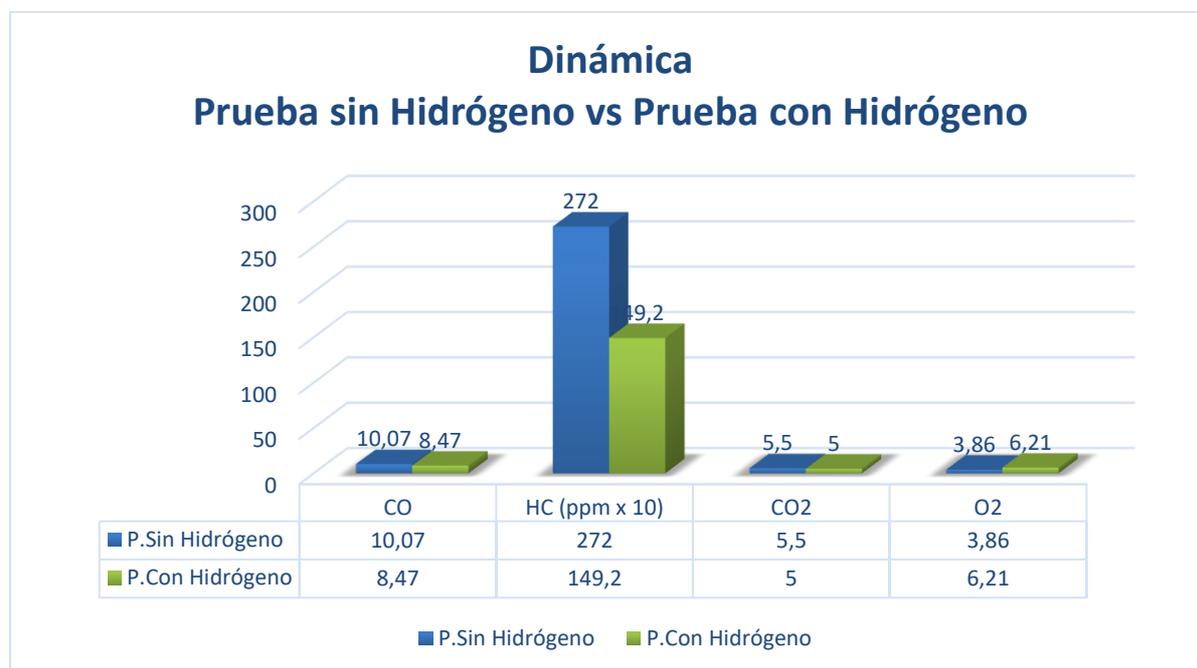


Figura 39

Grafica Comparación de Resultados de Análisis en Prueba Dinámica



Tras completar todas las pruebas en la motocicleta y llevar a cabo una comparativa exhaustiva del análisis general de los gases resultantes de la combustión estándar y de la combustión con el generador de hidrógeno en funcionamiento, podemos inferir que las emisiones generadas presentan un perfil más amigable con el entorno. Esta mejora es evidente al observar una reducción en la emisión de Hidrocarburos no Combustionados (HC) y Monóxido de Carbono (CO) (ver Figura 38 y 39). En última instancia, estos resultados reflejan una combustión más beneficiosa, ya que la incorporación del hidrógeno en el motor se combina con el aire del combustible, lo que conduce a una incineración más completa de los restos de combustible. En consecuencia, se minimiza la expulsión de estos residuos a través de los gases de escape, contribuyendo así a una mejora significativa en el impacto ambiental.

4.4 Costos de Implementación

Con el propósito de llevar a cabo el proyecto de investigación y alcanzar los resultados deseados, se estableció un proceso integral de mantenimiento para la motocicleta.

Este proceso abarcó desde la selección meticulosa de los materiales y componentes más idóneos, asegurando su compatibilidad con el funcionamiento del generador de hidrógeno.

Como parte fundamental del proceso, también se procedió a cuantificar los costos derivados de esta investigación, los cuales se detallan en la tabla subsiguiente (ver Tabla 8).

Tabla 8

Costos Generales

Artículo		Valor
Generador de Hidrógeno	\$	150,00
Importación de Generador Hidrógeno	\$	20,00
M/O instalación Generador de Hidrógeno	\$	40,00
Mangueras	\$	11,00
Componentes Eléctricos	\$	8,00
Materiales para la implementación	\$	14,00
Base Metálica Generados y Tanque multifuncional	\$	25,00
M/O Mantenimiento Mecánico Motocicleta	\$	160,00
Reparación Tanque Combustible	\$	30,00
Tacómetro	\$	14,00
Manubrio Central	\$	34,00
Base de Motor	\$	22,00
Acelerador pulsador	\$	8,00
Cable de acelerador	\$	4,00
Cable de embrague	\$	4,00
Spray Mantenimiento Freno	\$	5,00
Filtro de Aire	\$	4,00
Depurador	\$	11,00
Filtro de Combustible	\$	2,00
Bujías	\$	3,00
Aceite de motor	\$	7,00
Agua Destilada	\$	5,00
Batería	\$	64,00
Transporte de Motocicleta	\$	80,00
Gasolina	\$	40,00
M/O Trabajo Pintura Motocicleta	\$	65,00
Materiales para Trabajo Pintura Motocicleta	\$	50,00
Insumos	\$	15,00
TOTAL	\$	895,00

Conclusiones

La implementación de un sistema de suministro de hidrógeno en un motor de combustión interna de gasolina de 150 centímetros cúbicos en una motocicleta tiene representación significativa en la búsqueda de alternativas a la reducción de emisiones. Este logro no solo subraya la importancia de explorar tecnologías más eficientes y amigables con el medio ambiente, sino que también pone de manifiesto el potencial del hidrógeno como fuente de energía en la industria automotriz.

La materialización de este sistema resalta la capacidad de la investigación y la innovación para impulsar cambios concretos en la tecnología vehicular, sentando las bases para futuros desarrollos y contribuciones al campo de la ingeniería automotriz. En conclusión, la implementación de un sistema que incorpore hidrógeno al motor de combustión interna de una motocicleta con motor de gasolina de 150 centímetros cúbicos presenta un potencial significativo para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones.

Esta adaptación requiere un enfoque meticuloso y consideraciones detalladas para garantizar la seguridad y la compatibilidad con el motor existente. La introducción de hidrógeno puede mejorar la eficiencia del motor al proporcionar un combustible complementario con una mayor capacidad calorífica y una combustión más limpia.

La identificación de tecnologías disponibles en el mercado que permitan la adaptación de un sistema de suministro de hidrógeno para un motor de combustión interna ha sido fundamental para el éxito de esta investigación. La selección informada de tecnologías viables ha permitido orientar el diseño y desarrollo del sistema de suministro, garantizando que este se ajuste a estándares de seguridad y eficiencia. La exploración de estas tecnologías también ha sentado las bases para futuros desarrollos en el campo de la propulsión vehicular, demostrando cómo la colaboración entre investigación y tecnología puede generar avances tangibles en la Ingeniería Automotriz.

La definición de los componentes de dosificación de hidrógeno y gasolina ha sido esencial para garantizar un funcionamiento óptimo del motor de la motocicleta. La investigación detallada y el análisis minucioso de estos componentes han permitido establecer una configuración coherente y funcional que permite la integración de ambas sustancias en el proceso de combustión interna. La interacción equilibrada entre estos componentes es esencial para optimizar la eficiencia del motor y lograr los objetivos establecidos. Esta fase resalta la importancia del diseño preciso en la implementación de tecnologías innovadoras en la industria automotriz.

La validación del funcionamiento y eficiencia del sistema de suministro de hidrógeno a través de un método experimental riguroso ha proporcionado resultados tangibles y cuantificables. Estas pruebas controladas han permitido evaluar empíricamente el impacto real del hidrógeno en el rendimiento del motor, respaldando las mejoras en la eficiencia buscadas. Los datos recopilados no solo confirman la viabilidad del sistema, sino que también abren puertas a futuras investigaciones para optimizar y adaptar esta tecnología en un contexto más amplio. Esta fase destaca la importancia de la validación empírica en la evaluación y refinamiento de soluciones técnicas.

Se puede determinar que siguiendo los pasos de instalación y materiales adecuados es factible instalar un generador de hidrógeno en cualquier tipo de motocicleta teniendo en consideración el tipo de alimentación de combustible y cilindraje de esta.

Recomendaciones

Previo a la instalación del generador de hidrógeno se recomienda realizar un mantenimiento general a todos los mecanismos que intervengan la combustión de la motocicleta para obtener los mejores resultados.

Se recomienda en la instalación del generador de hidrógeno se realice en un lugar aislado de calor y con buena ventilación para su correcto funcionamiento

Una correcta instalación del sistema eléctrico del generador, evitando que se encuentren cables sin sujeción y con una correcta envoltura aislante de contaminación.

Se recomienda que en el generador se utilice agua destilada debido a que el uso de agua potable contiene componentes como sodio, calcio, azufre que disminuirían la vida útil de generador.

Revisión periódica del tanque multifuncional el cual siempre debe estar con electrólito para evitar daños en el generador de hidrógeno.

Bibliografía

- Areatecnologica. (2018). *Conectores Electricos*. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/conectores-electricos.html>
- Blogmecanicos. (2021). *El Relé*. <http://www.blogmecanicos.com/2021/07/el-rele.html>
- Chamorro, R. (2017). *Generador Electrolitico*. Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/24472>
- Chele, D. G. (2017). Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna. *INNOVA Research Journal*, 10. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3615>
- Duque, E. J., & Masaquiza, J. P. (2013). *Implementación de un Generador e Inyector de Hidrógeno en un Motor de Vehículo Mazda BT-50 2.2L, Para Reducir Emisiones de Gases Contaminantes*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2608>
- El Fisico Loco Blog. (Abril de 2013). *Electrólisis del agua*. <http://elfisicoloco.blogspot.com/2013/04/electrolisis-del-agua.html>
- Encalada, R., & Acosta, E. (2010). *Implementación de un dispositivo que inyecte hidrógeno a un motor a gasolina*. ESPE, Latacunga.
- Energía Libre. (2019). *Generador de Hidrógeno (Transformar el Agua en Combustible)*. <https://energialibre3.blogspot.com/2019/01/hho.html>
- Fábrega Ramos, M. (2008). *Hidrógeno Aplicación en Motores*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Fernández, P. (2019). Desmontando mitos sobre el coche de hidrógeno. *ABC Motors*. https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-desmontando-mitos-sobre-coche-hidrogeno-201905060136_noticia.html

- Franco, D. G. (2010). *EL Hidrogeno y sus Aplicaciones Energeticas*. INS La Ferreira, Montcada i Reixac.
- Garcia, G. (2021). *Hidrógeno en motores de combustión, ¿una solución previa a la electrificación?*. Hidrosyelectricos.com: https://www.hibridosyelectricos.com/coches/hidrogeno-motores-combustion-solucion-previa-electrificacion_39625_102.html
- Giraldo, W., & Toro, M. V. (2008). Estimación de la Emisión de Contaminantes Por Motocicletas en el Valle De Aburra. *DYNA*. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1785/2442>
- Google Maps. (2023). <https://www.google.com.ec/maps/@-2.1344873,-79.8938912,176m/data=!3m1!1e3?hl=es&entry=ttu>
- Insertec. (2018). *Manguera Alta Presión*. <https://insertec.com.ec/hidrocobre/manguera-alta-presion/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). *Norma Tecnica Ecuatoriana NTE INEN 204:2002*.
- Jorquera, C. A. (2019). *Diseño, Fabricación y Prueba de un Electrolizador Solar de Baja Potencia*. Universidad Técnica Federico Santa Maria, Santiago. <https://hdl.handle.net/11673/50011>
- Kumar, B., Anand, A., Gautam, S., & Singh², P. (2022). Production of hydrogen- and methane-rich gas by stepped pyrolysis of biomass and its utilization in IC engines. *Springer-Verlag GmbH*.
- Méndez Torres, P. W., Gómez Berrezueta, M. F., & Llerena Mena, A. F. (2020). Análisis de la Viabilidad para la Implementación de Vehículo Eléctrico que Preste Servicio de Taxi en la Ciudad de Cuenca. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4452>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2006). *Texto Unificado Legislacion*

Secundaria Medio Ambiente. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Texto_Unificado_Legislacion_Secundaria_i.pdf

Motorgiga. (2010). Alimentación - Definición - Significado.

Palacios, J. (2022). *Análisis de las Emisiones Contaminantes Generadas en un Motor 1600 cc del Vehículo Nissan Almera 2011 a través del Uso de Diferentes Tipos de Combustibles*. Guayaquil/UIDE/2022. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/5461>

Pérez, J., & Gardey, A. (2011). Cable - Qué es, definición y concepto. <https://definicion.de/cable/>

Petroecuador. (2022). *Petro Ecuador Despacha Combustible con Menos Contenido de Azufre de lo que Establece la Normativa Ecuatoriana*. <https://www.eppetroecuador.ec/?p=12484#:~:text=Actualmente%2C%20los%20combustibles%20que%20se,las%20de%20NOx%20y%20SO2>.

Prades, A. (2010). Hidrógeno hoy: una alternativa energética y ambiental. <https://elibro.net/es/ereader/uide/77125?page=54>

Puritech. (2022). *Agua Destilada Ultra Pura*. <https://puritech.com.ec/producto/agua-destilada-ecuador/>

Revista Seguridad 360. (2022). *Cable y Alambre diferencia y usos*. <https://revistaseguridad360.com/noticias/comunicaciones/cable-y-alambre-diferencia/>

Secundino, E. (2011). *Motores*. Macmillan Iberia, S.A. <https://www.mdconsult.internacional.edu.ec:2057/es/ereader/uide/101844?page=64>.

Solís, J. (2014). *Hidrógeno y Energías Renovables*.

Suarez, W. (2018). *Generador de hidrógeno como reductor de gases, contaminantes para los motores Kia, en el 3ero de bachillerato del institución educativo particular "Latinoamericano" en el sector de Lumbisi, año lectivo 2017-2018*. Quito.

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17319>

Vasic, A. M., & Weilenmann, M. (2006). *Comparison of Real-World Emissions from Two-Wheelers and Passenger Cars. Environmental Science and Technology*;
<https://blog.genesis.es/las-motocicletas-contaminan-mas-que-los-coches/#:~:text=Un%20estudio%20realizado%20hace%20algunos,carbono%20y%20otros%20gases%20t%C3%B3xicos>.

