



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CONVERSIÓN DE UN MOTOR DE GASOLINA MONO CILÍNDRICO A  
HIDRÓGENO COMO ESTRATEGIA PARA REDUCCIÓN DE EMISIONES  
CONTAMINANTES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: ANTONY HASSAN FUEL CHINGAL  
CHRISTOPHER NICOLAY FUEL CHINGAL  
TUTOR: WILSON GUSTAVO MOROCHO DOMÍNGUEZ

Quito - Ecuador

2024

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Christopher Nicolay Fuel Chingal con documento de identificación N° 0402041198 y Antony Hassan Fuel Chingal con documento de identificación N° 0402041206 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 07 de Agosto del año 2024

Atentamente,



---

Christopher Nicolay Fuel Chingal  
0402041198



---

Antony Hassan Fuel Chingal  
0402041206

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Christopher Nicolay Fuel Chingal con documento de identificación No. 0402041198 y Antony Hassan Fuel Chingal con documento de identificación No. 0402041206, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Conversión de un motor de gasolina mono cilíndrico a hidrógeno como estrategia para reducción de emisiones contaminantes en el Distrito Metropolitano de Quito”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 07 de Agosto del año 2024

Atentamente,



---

Christopher Nicolay Fuel Chingal  
0402041198



---

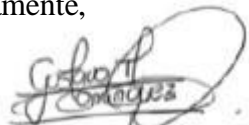
Antony Hassan Fuel Chingal  
0402041206

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Wilson Gustavo Morocho Domínguez con documento de identificación N° 0105072141, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **CONVERSIÓN DE UN MOTOR DE GASOLINA MONO CILÍNDRICO A HIDRÓGENO COMO ESTRATEGIA PARA REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO** , realizado por Christopher Nicolay Fuel Chingal con documento de identificación N° 0402041198 y por Antony Hassan Fuel Chingal con documento de identificación N° 0402041206, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 07 de Agosto del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Wilson Gustavo Morocho Domínguez MsC.

0105072141

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a mis queridos padres Milton Fuel Gómez y Doris Chingal Moreno, quienes con su amor incondicional y apoyo inquebrantable me han brindado las herramientas y el aliento necesarios para alcanzar mis sueños. Les agradezco profundamente por su guía, paciencia y sabiduría, que me han convertido en la persona que soy hoy en día. Este logro es tan suyo como mío, y les dedico con todo mi respeto y admiración. Gracias por ser mi guía en la vida y por enseñarme a siempre luchar por mis sueños

A mis queridos hijos Anyka y Nikolay, la luz de mi vida y mi mayor inspiración. Espero que este logro les sirva como ejemplo de que todo es posible si se lo proponen con entusiasmo y dedicación. Los amo con todo mi corazón y les deseo un futuro lleno de éxitos y felicidad.

A mi hermano, que con su determinación y forma de ser me ha brindado su apoyo

Al docente Gustavo Morocho, quien con su sabiduría y experiencia me brindó las herramientas necesarias para llevar a cabo este proyecto con éxito. Le agradezco su paciencia, su disposición a responder mis dudas y su constante motivación. Este logro es tan suyo como mío, y le dedico con todo mi respeto y admiración.

A mi persona como símbolo de crecimiento personal e intelectual.

Christopher Nicolay Fuel Chingal

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a mis padres, por su apoyo incondicional, aliento y comprensión durante todo el proceso de investigación y desarrollo de este proyecto. Agradezco por ser mi faro en la oscuridad, mi refugio en la tormenta y la fuente inagotable de amor incondicional. Este logro es un humilde tributo a su entrega y sacrificio, su amor y confianza han sido pilares fundamentales en mi camino hacia este logro.

A mi hermano por estar siempre a mi lado, compartiendo risas, alegrías y desafíos

A mi novia por todo su apoyo incondicional y palabras de aliento en los momentos difíciles. Su presencia ha sido un motor que me ha impulsado a seguir adelante.

A mi tutor por su dedicación y esfuerzo en la búsqueda de soluciones sostenibles y su invaluable guía, sabiduría y paciencia durante el proceso de realización del presente proyecto. Sus enseñanzas han sido la brújula que me ha conducido a la culminación del presente proyecto.

A mí por la perseverancia, disciplina y pasión por la investigación. Este logro es un reflejo de mi compromiso con el conocimiento y el desarrollo de soluciones innovadoras para los desafíos ambientales que enfrenta nuestro planeta.

Antony Hassan Fuel Chingal

## **AGRADECIMIENTO**

Este logro, que hoy celebro con profunda emoción, y con un gran agradecimiento por el apoyo incondicional de mis queridos padres. Ustedes me motivaron a salir adelante, a creer en mí mismo y a perseguir mis sueños con determinación. Recuerdo con cariño sus palabras de ánimo, que me impulsaban a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. A lo largo de mi camino, he enfrentado desafíos y obstáculos, pero siempre he contado con su aliento y su confianza. Este logro es un reflejo de su amor, su dedicación y su fe en mí. Gracias por ser mis pilares, mis héroes y mis mejores maestros.

A mi tutor mi más sincero agradecimiento por su invaluable guía y apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Su conocimiento, experiencia y paciencia fueron fundamentales para alcanzar este logro.

Christopher Nicolay Fuel Chingal

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi agradecimiento a mis queridos padres, por su amor incondicional, sacrificios y apoyo constante en estos años. Gracias por ser mi fuente inagotable de inspiración y por creer en mí desde el principio. Su guía y aliento han sido mi mayor motivación para perseguir mis sueños y alcanzar este importante logro.

A mi hermano, que gracias a su mutuo apoyo a sido posible culminar este momento de mi vida junto a él.

A mi tutor, quiero agradecerte por tu orientación, paciencia y dedicación durante el proceso de desarrollo de este proyecto. sus consejos y tu apoyo continuo fueron fundamentales para enriquecer mi trabajo y para mi crecimiento como profesional.

Antony Hassan Fuel Chingal



INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMA .....	2
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
Marco Teórico.....	5
CAPÍTULO 1 .....	7
Introducción .....	7
1.1 Hidrógeno .....	7
1.2. Motores de combustión interna de hidrógeno.....	8
1.3. Tipos de combustibles para motores MEP.....	8
1.4. Obtención de combustibles para motores MEP .....	9
CAPÍTULO 2 .....	15
2.2. Diseño por bloques y funcionamiento.....	15
2.3 Materiales y Constricción .....	18
2.4. Sistema eléctrico de eléctrico.....	27
2.5. Caracterización del motor .....	30
2.6. Adaptación del sistema de hidrolisis al vehículo .....	31
CAPÍTULO 3 .....	36
3.1 Registro y tabulación de datos .....	36
CAPÍTULO 4.....	40
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	40
4.1. Interpretación de los resultados del análisis de gases contaminantes .....	40
4.2 Comparación de resultados .....	52
CONCLUSIONES.....	57
3. RECOMENDACIONES .....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
ANEXOS.....	4

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Reacción de combustión.....	7
Figura 2.1: Diseño por bloques.....	15
Figura 2.2: Separador 1.....	17
Figura 2.3: Separador 2.....	17
Figura 2.4: tapón con acople rápido de aire.....	20
Figura 2.5: tapón sellador.....	20
Figura 2.6: vista superior del procedimiento.....	21
Figura 2.7: Armado de celda.....	21
Figura 2.8: Esquema de continuidad de la celda de hidrógeno.....	22
Figura 2.9: Perforaciones he instalación de los bornes de la celda de hidrógeno.....	23
Figura 2.10: vista superior válvula antirretorno.....	23
Figura 2.11: Arena y vidrio molido.....	24
Figura 2.12: Filtro apagallamas.....	25
Figura 2.13: Esquema eléctrico de instalación.....	26
Figura 2.14: Ubicación del sistema generador de hidrógeno.....	29
Figura 2.15: Motocicleta a caracterizar.....	30
Figura 2.16: Remoción de gaveta.....	31
Figura 2.17: Instalación y adaptación de celda de hidrógeno.....	31
Figura 2.18: Instalación y adaptación de válvula antirretorno.....	32
Figura 2.19: Instalación y adaptación de filtro apagallamas.....	32
Figura 2.20: Instalación y adaptación de líneas aire.....	33
Figura 2.21: Toma de vacío del depurador.....	33
Figura 2.22: Conexión filan del sistema de hidrógeno.....	34
Figura 3.1: Medición de gases combustión de gasolina.....	34
Figura 3.2: Medición de gases combustión de gasolina.....	35
Figura 3.3 Medición de gases combustión de hidrógeno.....	36
Figura 4.1 Pruebas de comportamiento del O <sub>2</sub> con combustión de hidrógeno.....	39
Figura 4.2 Pruebas de comportamiento de Lambda con combustión de hidrógeno.....	39
Figura 4.3 Pruebas de comportamiento de HC con combustión de hidrógeno.....	40
Figura 4.4 Pruebas de comportamiento de CO con combustión de hidrógeno.....	41
Figura 4.5 Pruebas de comportamiento deCO <sub>2</sub> con combustión de hidrógeno.....	42
Figura 4.6 Pruebas de comportamiento de O <sub>2</sub> con combustión mixta.....	44

Figura 4.7 Pruebas de comportamiento de lambda con combustión mixta .....	44
Figura 4.8 Pruebas de comportamiento de HC con combustión a gasolina.....	45
Figura 4.9 Pruebas de comportamiento de CO con combustión a gasolina.....	46
Figura 4.10 Pruebas de comportamiento de CO <sub>2</sub> con combustión a gasolina.....	47
Figura 4.11 Pruebas de comportamiento de CO con combustión mixta.....	48
Figura 4.12 Pruebas de comportamiento de HC con combustión mixta.....	49
Figura 4.13 Pruebas de comportamiento de CO <sub>2</sub> con combustión mixta.....	50
Figura 4.14 Pruebas de comportamiento de O <sub>2</sub> con combustión mixta .....	51
Figura 4.15 Pruebas de comportamiento de lambda con combustión mixta.....	52
Figura 4.16 Emisión de CO .....	53
Figura 4.17 Emisión de CO <sub>2</sub> . .....	54
Figura 4.18 Emisión de HC. ....	55
Figura 4.19 Emisión de O <sub>2</sub> . ....	56
Figura 4.20 Lambda.....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Materiales de construcción. ....	16
Tabla 2.2: Materiales de construcción sistema eléctrico.....	27
Tabla 2.3: Caracterización del motor.....	30
Tabla 3.1 Resultados estadísticos en combustión a gasolina .....	37
Tabla 3.2 Resultados estadísticos en combustión mixta .....	37
Tabla 3.3 Resultados estadísticos en combustión a gasolina .....	38

## RESUMEN

En este proyecto técnico se desarrolló un sistema de generación de hidrógeno mediante hidrólisis y su adaptación a un motor mono cilíndrico de 4 tiempos para reducir las emisiones contaminantes producidas por el motor.

En el primer capítulo se desarrolla un estudio sobre el hidrógeno como combustible para motores MEP, además se analizó los tipos de combustibles que se usan en motores MEP destacando su obtención, ventajas y desventajas de estos.

En el segundo capítulo se realiza un diseño por bloques de cómo está estructurado el sistema de generación de hidrógeno, que es la hidrólisis, materiales necesarios para crear una celda generadora de hidrógeno con su procedimiento paso a paso para su ensamble, además de realizar un sistema de conexión eléctrica como medida de seguridad.

Así como también se realiza la caracterización del motor y la adaptación del sistema de hidrógeno al vehículo

En el tercer capítulo se procede a realizar pruebas de análisis de gases contaminantes producidos por el motor alimentado con gasolina, hidrógeno y una mezcla de ambos, mediante un analizador de gases que ayuda a determinar muestras para determinar la disminución de gases contaminantes acompañado de la tabulación de los datos obtenidos.

En el capítulo final mediante el software Matlab R2023b se desarrolló una comparativa de las diferentes pruebas realizadas en el motor y determinara el comportamiento de HC, CO, CO<sub>2</sub> y Lambda con los diferentes tipos de combustible.

**Palabras Claves:** Motor de combustión, hidrólisis, hidrógeno, emisiones, contaminantes.

## ABSTRACT

In this technical project, a hydrogen generation system was developed through hydrolysis and its adaptation to a 4-stroke single-cylinder engine to reduce polluting emissions produced by the engine.

In the first chapter, a study on hydrogen as a fuel for MEP engines was developed, and the types of fuels used in MEP engines were also analyzed, highlighting their obtaining, advantages and disadvantages of these.

In the second chapter, a block design was made of how the hydrogen generation system is structured, which is hydrolysis, materials necessary to create a hydrogen generating cell with its step-by-step procedure for its assembly, in addition to creating a system electrical connection as a safety measure.

As well as the characterization of the engine and the adaptation of the hydrogen system to the vehicle.

In the third chapter, tests were carried out to analyze the polluting gases produced by the engine fueled with gasoline, hydrogen and a mixture of both, using a gas analyzer that helped us determine samples to determine the decrease in polluting gases accompanied by the tabulation of the data obtained.

In the final chapter, using the MATLAB R2023b software, a comparison of the different tests carried out on the engine was developed and the behavior of *HC*, *CO*, *CO<sub>2</sub>* and Lambda with the different types of fuel.

**Keywords:** Combustion engine, hydrolysis, hydrogen, emissions, pollutants.

## INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de alternativas energéticas sostenibles y menos contaminantes, cobra especial importancia el desarrollo de tecnologías que utilicen el hidrógeno como combustible. Este proyecto se centra en adaptar un reactor de hidrólisis para producir gas hidrógeno para alimentar un motor de combustión interna mono cilíndrico de cuatro tiempos. Este enfoque pretende no sólo probar la viabilidad técnica del uso de hidrógeno como combustible en motores convencionales sino también evaluar su impacto en la reducción de las emisiones contaminantes.

La propuesta incluye la puesta a punto y optimización del reactor de hidrólisis para obtener un suministro continuo de gas hidrógeno correspondiente a las características de un motor mono cilíndrico de cuatro tiempos. Este proceso implica evaluar la eficiencia del sistema en términos de producción de hidrógeno, así como integrar el gas generado con el motor de combustión interna.

El punto de referencia se centra en medir las emisiones producidas por motores que funcionan con combustible convencional e hidrógeno. Se analizarán parámetros clave como las emisiones de óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y partículas para identificar diferencias significativas en el impacto ambiental.

El propósito de este estudio no es sólo demostrar la viabilidad técnica y ambiental del uso de hidrógeno como combustible alternativo en motores de combustión interna, sino también proporcionar datos cuantitativos para apoyar la investigación y desarrollar tecnologías de energía limpia en el futuro.

## **PROBLEMA**

Las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna cuatro tiempos en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) han experimentado un aumento significativo en los últimos años. Esto se ha convertido en un problema de salud pública y ambiental, por eso, estas emisiones pueden tener un impacto negativo en la calidad del aire, la salud humana y el ecosistema.

El aumento del parque automotor, en vehículos con motor mono cilíndrico de cuatro tiempos en el DMQ ha crecido considerablemente en los últimos años. Esto se debe principalmente al aumento del poder adquisitivo de la población, a la falta de alternativas de transporte público eficientes y al aumento en el precio del combustible de los últimos años. (AEADE, 2024)

La mala calidad del combustible que se utiliza en el DMQ tiene un alto contenido de azufre, acompañado con el mal mantenimiento que reciben los motores monocilíndricos lo que contribuye a la formación de emisiones contaminantes. (Hayashi, 2022).

Las emisiones que se genera por la mala calidad de combustible que se comercializa en el país, a su vez la combustión ocasiona desde material particulado hasta gases contaminantes que afectan tanto el ambiente como en la creación de lluvia ácida, smog, deterioro de la capa de ozono y producción de material particulado, está a su vez ingresan en el cuerpo humano por lo tanto la exposición a corto como a largo plazo pueden tener efectos adversos para la salud. (Ayuntamiento de Madrid, 2024)

El uso del hidrógeno como combustible es poco explorado en el medio nacional, y menos implementado en vehículos monocilíndricos debido a sus altos costos y problemáticas de almacenamiento del gas hidrógeno, además bajo pruebas desarrolladas se evidencia mejoras en la disminución de gases de escape, también se emiten partículas finas que pueden afectar la salud humana y el medio ambiente.

Los motores monocilíndricos, ampliamente utilizados en motocicletas y otros vehículos pequeños, son una fuente significativa de contaminación del aire en Quito, Ecuador. Estos motores, por su diseño simple y menor eficiencia, emiten altos niveles de contaminantes nocivos como material particulado (PM), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC), como lo hace el estudio de Loja que nos muestra un valor de 1.526 ton/día de CO, un valor alto de contaminación, ya que debería estar por debajo de 0,9 ton/día. (Wilfrido, 2018)

En los últimos años, se ha observado un preocupante aumento en las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y otros gases contaminantes generados por la combustión de la gasolina en ciertos puntos de la ciudad de Quito.

De acuerdo con datos oficiales de la Secretaría del ambiente de Quito, los niveles de CO han pasado de  $0.243 \text{ mg/m}^3$  a  $2.638 \text{ mg/m}^3$  en algunas zonas, lo que representa un incremento significativo que pone en riesgo la salud de la población. (secretaria del ambiente.2024)

### **Delimitación del problema**

La conversión a hidrógeno se evalúa como una estrategia para reducir las emisiones contaminantes provenientes del transporte en Quito, considerando tanto las emisiones de gases de escape como las asociadas a la producción de hidrógeno.

Por lo tanto, se realiza un análisis completo para comparar las emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto ambiental general de la conversión a hidrógeno con los motores de gasolina tradicionales.

En el Distrito metropolitano de Quito se presenta una alta concentración de vehículos y una significativa problemática de contaminación vehicular, lo que lo convierte en un escenario ideal para evaluar la viabilidad de la conversión de motores a hidrógeno. Además, se identifica las emisiones contaminantes específicas que se pretende reducir (NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, gases de efecto invernadero) con la conversión a hidrógeno.

La tecnología de conversión de motores a hidrógeno aún se encuentra en una etapa de desarrollo inicial, por lo que es necesario evaluar su viabilidad en el presente antes de realizar proyecciones a futuro.

El transporte vehicular es una de las principales fuentes de emisiones contaminantes en las ciudades, por lo que es crucial evaluar en un sector, ciudad o región y observar el potencial de la conversión de motores a hidrógeno a la reducción de estas emisiones.

El análisis abarca aspectos técnicos, económicos, ambientales, sociales y regulatorios relacionados con la conversión a hidrógeno, buscando una solución integral y viable para el contexto de Quito.



Finalmente, Se estudiarán los elementos disponibles para la conversión, evaluando su eficiencia, confiabilidad, costo y compatibilidad con los motores monocilíndricos.

### **Objetivo General.**

Conversión a hidrógeno de un motor monocilíndrico de cuatro tiempos para la reducción de emisiones contaminantes en el Distrito Metropolitano de Quito.

### **Objetivos Específicos.**

- Desarrollar un reactor de hidrógeno para producción de gas hidrógeno como combustible en un motor de combustión interna mono cilíndrico.
- Adaptar un reactor de hidrólisis a un motor de cuatro tiempos mono cilíndrico, para uso de gas hidrógeno como combustible.
- Obtener emisiones contaminantes producidas por un motor de cuatro tiempos mono cilíndrico con el uso de combustible convencional e hidrógeno.
- Comparar las emisiones contaminantes entre un motor de combustible convencional y un motor adaptado que funciona con hidrógeno.

## Marco Teórico

La contaminación del ambiente ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles en el sector del transporte. La conversión a hidrógeno se presenta como una opción viable para reducir significativamente las emisiones contaminantes. La evolución de motores monocilíndricos de gasolina a hidrógeno representa una estrategia prometedora para reducir las emisiones de contaminantes y avanzar hacia una movilidad más limpia y sostenible. Sin embargo, su implementación exitosa requiere un enfoque integral que aborde los desafíos técnicos, económicos y sociales vinculados con esta transición

**Hidrólisis:** En el contexto de la producción de hidrógeno, se refiere a la descomposición del agua ( $H_2O$ ) en hidrógeno ( $H_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ) mediante una corriente eléctrica.

**Gases contaminantes:** Son gases que pueden dañar el medio ambiente y la salud humana. Los siguientes son algunos ejemplos de gases contaminantes:

**Dióxido de carbono ( $CO_2$ ):** gas de efecto invernadero que causa el calentamiento global.

**Óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ):** Gases que pueden provocar problemas respiratorios y aumentar la lluvia ácida.

**Monóxido de carbono ( $CO$ ):** Un gas tóxico que puede desplazar el oxígeno de los glóbulos rojos.

**Partículas finas:** Pequeñas partículas sólidas o líquidas que pueden penetrar en los pulmones y causar problemas respiratorios. (Gases Contaminantes: Lo Que Debes Saber | Manos Verdes®, 2021)

**Hidrógeno:** Es un elemento químico con el número atómico uno y el símbolo H. Es el objeto más ligero y abundante del universo. El hidrógeno se puede utilizar como combustible para producir energía limpia y sin emisiones. (La Década del Hidrógeno, 2022)

**Rutas de prueba:** Son caminos o recorridos específicos que se utilizan para probar vehículos o sistemas. Las rutas de prueba pueden diseñarse para probar diferentes aspectos del rendimiento, como la velocidad, la aceleración, la eficiencia del combustible y las emisiones.

**Motor de combustión interna:** Motores de combustión interna convierten la energía química del combustible en energía mecánica.

**Motores de gasolina:** Utilizan gasolina como combustible. La ignición de una mezcla de gasolina y aire hace que funcionen.

**Emisiones:** Sustancias liberadas a la atmósfera por un proceso o actividad. Las emisiones pueden ser gases, partículas o líquidos.

Celdas de hidrógeno: Las celdas de hidrógeno, también conocidas como pilas de combustible, son dispositivos electroquímicos que generan electricidad a partir de una reacción química entre el hidrógeno y el oxígeno.

Según Mayandía Aguirre, A. (2009) “La tecnología de las pilas de combustible ofrece la posibilidad de disponer de energía de manera eficiente, limpia y abundante, ya que el hidrógeno que utilizan para funcionar se puede obtener de numerosas fuentes”. Por lo tanto, el hidrógeno es un compuesto amigable con el medio ambiente.

# CAPÍTULO 1

## Introducción

El hidrógeno tiene un enorme potencial para convertirse en una fuente de energía limpia y sostenible, pero su adopción a gran escala requiere de esfuerzo conjunto para superar los desafíos existentes. En resumen, la inversión y desarrollo en esta investigación son clave para la creación de una infraestructura adecuada, que sirve para desbloquear el potencial del hidrógeno y construir un futuro energético más sostenible.

### 1.1 Hidrógeno

La versatilidad del hidrógeno permite transformarlo en energía útil con alta eficiencia, especialmente en celdas de combustible.

Según (Díaz J., 2016) La electricidad se puede producir utilizando una variedad de recursos, el hidrógeno es un combustible sin carbono. Se puede convertir con alta eficiencia en energía útil, especialmente en celdas de combustible. Es evidente que el hidrógeno puede desempeñar un papel importante en el sector automotriz, y también se lo identifica como una alternativa de almacenamiento de energía complementario a otros recursos renovables como el eólico y solar, porque son muy variables con respecto al tiempo. La introducción de hidrógeno en el sistema energético presenta barreras económicas, tecnológicas e institucionales. Además, es una fuente de combustible para vehículos, y puede ser utilizado directamente en un motor de combustión interna, pero actualmente, esta tecnología representa avances significativos en eficiencia de la celda de combustible o sistema fuel cell y su desarrollo comercial es un aspecto crucial. Una de las limitaciones que existe es la baja densidad energética, por lo que se comprime a altas presiones o licue a bajas temperaturas para almacenarse en cantidades significativas, esto representa un desafío particularmente para aplicaciones en el sector automotriz, a pesar de ser el elemento más abundante del mundo, es un recurso sin costo en el sentido de que necesita ser extraído del agua, con costos asociados a aportes energéticos.

En resumen, la tecnología de celdas de combustible necesita un mayor desarrollo comercial para ser competitiva. Además, se requieren marcos regulatorios y políticas públicas que incentiven la adopción del hidrógeno.

## **1.2. Motores de combustión interna de hidrógeno**

Los motores de combustión interna pueden ser adaptados para funcionar con hidrógeno, un combustible limpio y abundante que ofrece una alternativa prometedora a los combustibles fósiles tradicionales.

Según (Díaz J., 2016) Los motores pueden ser modificados para quemar hidrógeno; las altas temperaturas de combustión pueden producir emisiones de  $\text{NO}_x$ , pero estas emisiones se pueden reducir alterando las mezclas de aire combustible. Estos motores tienen una eficiencia similar a la de los motores diésel es más sofisticados. Los primeros prototipos utilizaban presiones de 35 MPa para transportar gas comprimido a temperatura ambiente en un recipiente de presión; sin embargo, se cree que esta presión se ha convertido en estándar a 70 MPa, lo que nos permite almacenar un volumen razonable de gas para realizar recorridos realistas.

Este régimen de presión permite almacenar un volumen considerable de gas, suficiente para realizar recorridos considerables.

## **1.3. Tipos de combustibles para motores MEP**

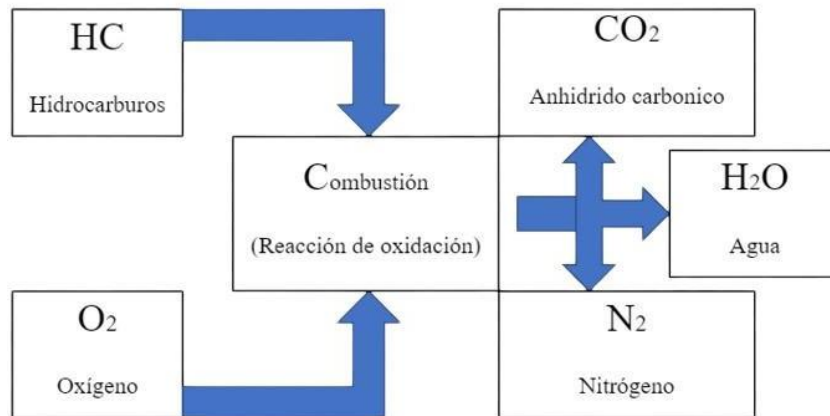
Tener un alto poder calorífico, fácil arranque para el motor en cualquier condición, ya sea de baja emisión contaminante y comodidad en su funcionamiento son las características que requiere un combustible.

Según (Ramírez Martínez, 2017) En los motores MEP, se utiliza energía externa para encender un punto de la cámara de combustión, donde comienza la propagación de un frente de llama. La mezcla debe ser homogénea en toda la cámara de combustión y dentro de los límites de inflamabilidad. Esto generalmente requiere una mezcla rápida durante la carrera de admisión para evitar que el combustible se encienda durante la carrera de compresión, lo que reduce la temperatura de emisión. y la temperatura de la mezcla en el cilindro. Esto requiere la regulación de la carga mediante el control de la cantidad de combustible y aire aportados. Su característica más importante es la resistencia del combustible al autoencendido, que debe ser alta en los MEP. El índice de propano mide esta propiedad, y los índices son altos. Los combustibles que se utilizan con mayor frecuencia en los MEP son la gasolina, los alcoholes, el gas natural, el gas licuado de petróleo (GLP) e hidrógeno.

Actualmente, se usan combustibles en motores MEP, entre los más comunes están la gasolina, los alcoholes, el gas natural, el gas licuado de petróleo (GLP) e hidrógeno. La

elección del combustible ideal para un motor MEP específico dependerá de diversos factores, como las características del motor, las condiciones de uso y las regulaciones ambientales. En la Figura 1.1 se muestra la reacción de combustión a gasolina: La proporción necesaria de moléculas de oxígeno que deben reaccionar con el combustible para realizar una eficiencia de la combustión.

**Figura 1.1 Reacción de combustión.**



*Nota:* Reacción de oxidación ideal sin generación de gases contaminantes. Fuente: Autores

## 1.4. Obtención de combustibles para motores MEP

### 1.4.1. Obtención de la gasolina

La gasolina se fabrica con petróleo refinado y usado como combustible esencial para las redes de transporte globales y sirve para impulsar motores de combustión interna.

Según (Murranga Peláez, 2009) A pesar de la variedad de combustibles disponibles, los más utilizadas son las destinadas a los vehículos, que son las naftas se preparan específicamente para su uso como combustible para motores de combustión interna con encendido mediante chispa. Este acondicionamiento se logra mediante la mezcla (combinación) de diferentes sustancias para garantizar que el producto final cumpla con las especificaciones establecidas por las regulaciones aplicable en cada país, como el índice de octano, pero también otros parámetros, como las emisiones al medio ambiente. Los dos métodos comunes para obtener gasolinas de alto octanaje son el craqueo catalítico e hidro conversión. Estos procesos producen gasolinas de 93.0 octanos y 98.0 octanos. Sin embargo, la gasolina también se puede obtener mezclando una variedad de productos diferentes, como

alquilatos, gasolinas de pirolisis, gasolinas producidas por unidades de reformación catalítica, compuestos aromáticos, isopentanos, isohehexanos, n-butanos, etc.

Entre los parámetros más importantes para elaborar la gasolina está el índice de octano, indicador de la capacidad del combustible para resistir el autoencendido, fenómeno no deseado que puede dañar el motor, el índice de octano regula emisiones contaminantes y poder calorífico.

.

#### **1.4.2. Obtención de alcoholes**

El etanol se presenta como una alternativa prometedora en el panorama de los combustibles, posicionándose dentro de los biocombustibles de primera y segunda generación.

Según (García Mariaca A. et al 2016) El etanol es un combustible alternativo a los biocombustibles de primera y segunda generación, que se puede usar directamente en los MEP o mezclado con gasolina o diésel. Este es el resultado de cultivos como la caña, el papa, la remolacha (que es una biomasa lignocelulosa con alto contenido de azúcar o almidón) o la remolacha.

Finalmente, su fuente renovable de cultivos mencionados anteriormente lo convierte en una fuente de energía con un menor impacto ambiental que los combustibles fósiles convencionales. Como combustible para motores MEP, el etanol tiene muchos beneficios y desventajas, como un mejor rendimiento y menores emisiones.

El uso del alcohol como combustible para vehículos ha aumentado en importancia en los últimos años como una alternativa a la gasolina tradicional, presenta tanto ventajas como desventajas, posibilidades de mejorar el rendimiento de los motores y reducir el impacto ambiental.

Según (Cortes Marín, et al 2008) las ventajas y desventajas de los alcoholes en motores MEP son:

#### **Ventajas:**

- Mayor potencia del motor.
- Mayor fuerza del motor.

- Combustión más completa.
- Emisiones reducidas:
- Gases menos tóxicos.
- Menor producción de (CO<sub>2</sub>) en comparación con la gasolina.
- Menores emisiones de (CO).

**Desventajas:**

- Presenta dificultades de encendido, arranque en frío.
- Tiene un alto el costo de la obtención del alcohol.
- Presenta problemas de corrosión de partes mecánicas y sellos.
- Se incrementan las emisiones de óxidos de nitrógeno y aldehídos.
- El poder calórico de la gasolina es mayor que el del alcohol por unidad de volumen. Una mezcla de alcohol y gasolina en proporciones determinadas tiene la misma potencia y rinde igual que la gasolina gracias al mejor llenado de la cámara de combustión (por la menor temperatura de la mezcla) y al contenido de oxígeno dentro de la molécula de alcohol, lo que permite una combustión mejorada.

Finalmente, son necesarios para optimizar la producción y el uso del alcohol como combustible, haciéndolo más viable y competitivo en el futuro.

**1.4.3. Obtención de Gas natural**

El gas de origen natural se caracteriza por ser una mezcla de hidrocarburos gaseosos, entre sus componentes secundarios se encuentran hidrocarburos saturados, estas características físicas lo convierten en un combustible manejable y transportable, facilitando su distribución y uso en diversas aplicaciones.

Según Vázquez Díaz, J. Á. (2013) El gas natural se origina a través de un proceso similar al del petróleo, quedando atrapado en yacimientos subterráneos junto al crudo (gas natural asociado) o en depósitos independientes (gas natural no asociado). Se trata de una fuente de energía fósil compuesta principalmente por metano (en una proporción superior al 79%), acompañado de otros hidrocarburos saturados como etano, propano, pentano y butano. En menor medida, pueden estar presentes gases como dióxido de carbono, nitrógeno, ácido sulfhídrico, oxígeno e hidrógeno, cuya proporción no suele exceder el 15%.



En resumen, el gas natural es una alternativa viable y sostenible para el sector energético, su capacidad para reducir las emisiones contaminantes y la dependencia del petróleo lo convierten en un combustible clave para la transición hacia un futuro energético más limpio. Según (Moreno León, 2011) menciona las siguientes/ventajas y desventajas del gas natural en motores MEP son:

**Ventajas:**

- Menores emisiones de escape.
- Las inversiones en la adquisición de compresores y de almacenamiento, son muy elevados.
- Combustible más económico y precio más estable.
- Su uso generalizado permitiría una menor dependencia del petróleo.
- Disminución de emisiones contaminantes como NOX, partículas, CO y HC.
- Disminución de emisiones de CO2.

**Desventajas:**

- Los costos son muy elevados.
- Aumento de temperatura dentro del depósito del vehículo.

En resumen, el hidrógeno tiene un potencial para convertirse en una fuente de energía limpia y sostenible para el transporte del futuro.

#### **1.4.4. Obtención gas Licuado de Petróleo**

El petróleo es un recurso natural no renovable, se convierte a través de complejos procesos de refinación en una amplia gama de productos derivados, cada uno con propiedades y usos específicos.

Según Vázquez Díaz, J. Á. (2013) Los principales derivados del petróleo incluyen el propano, es una mezcla de aire y propano. Esta mezcla puede ser explosiva con concentraciones de propano entre el 1,8% y el 9,3% en volumen. El butano, otro derivado, es un gas licuado obtenido por destilación del petróleo, compuesto principalmente por butano normal (60%), propano (9%), isobutano (30%) y una pequeña proporción de etano (1%). El gas licuado del petróleo (GLP) se produce mediante destilación fraccionada del petróleo en un rango de temperaturas entre -5 y 30°C, y también puede obtenerse en procesos de craqueo y reformado catalítico. Una fuente adicional de obtención es la eliminación de

componentes más pesados (como C3 y C4) durante la purificación del gas natural. El GLP se compone principalmente de propano y butano en una proporción de aproximadamente 70 % y 30 %, respectivamente. A presiones alrededor de 10 bar, se convierte en líquido y puede licuarse a temperatura ambiente, siendo más denso que el aire. La refinación del petróleo y el uso de sus derivados generan impactos ambientales, como la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire y el agua. La transición hacia fuentes de energía renovables y un uso más eficiente de los recursos energéticos es crucial para mitigar estos impactos y avanzar hacia un futuro más sostenible.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP), también conocido como gas licuado o propano-butano, es un producto derivado del petróleo que se obtiene mediante procesos de refinación. Se compone de propano y butano, una proporción aproximada del 70% y 30%, respectivamente. A presión ambiente, se encuentra en estado gaseoso, pero se puede licuar fácilmente a bajas presiones, lo que facilita su almacenamiento y transporte.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) se ha posicionado como una alternativa atractiva a los combustibles tradicionales como la gasolina y el diésel, especialmente en el ámbito del transporte. Su uso ofrece diversas ventajas tanto ambientales como económicas, pero también presenta algunos desafíos que deben considerarse antes de su adopción generalizada. Según (Córdova Vásquez & Paredes Campoverde, 2002) las ventajas y desventajas son:

**Ventajas:**

- No genera impacto sobre el medio ambiente.
- No desgasta los cilindros.
- No contamina el aceite.
- Menos desechos en el sistema.

**Desventajas:**

- Deteriora las válvulas a corto plazo.
- El GLP tiene un mayor peso que el aire.
- Dificulta la lubricación.

En conclusión, es una alternativa energética con ventajas y desventajas de importante impacto ambiental y social antes de decidir su uso.

### **1.4.5. Obtención de Hidrógeno**

El hidrógeno, un elemento abundante y versátil, se presenta como una fuente de energía prometedora para un futuro sostenible. Su capacidad para ser un combustible limpio y eficiente lo convierte en una opción atractiva para reemplazar los combustibles fósiles convencionales.

Según (Brijaldo, Castillo, & Pérez, 2021) El hidrógeno generalmente se produce a través de procesos electroquímicos, bioquímicos, termoquímicos y fotoquímicos, comenzando con biomasa y combustibles fósiles, Dentro de los métodos bioquímicos, que se encuentran implicados en la generación de hidrógeno se lo conoce como biofotólisis directa, que utiliza energía solar para obtener hidrógeno del agua, y la biofotólisis indirecta, que produce hidrógeno mediante la conversión de carbohidratos mediante la mediación catalítica de deshidrogenasas en condiciones anaeróbicas, son dos métodos bioquímicos que involucran la producción de hidrógeno. La fermentación oscura ocurre en ausencia de luz, mientras que la foto-fermentación ocurre cuando los sustratos se convierten en hidrógeno mediante procesos fermentativos asistidos por la luz. Además, se han desarrollado técnicas que utilizan celdas de electrólisis microbiana, que inducen corriente eléctrica.

El hidrógeno es crucial para un futuro energético más limpio, eficiente y sostenible. La implementación generalizada reducirá los efectos del cambio climático.

Los combustibles fósiles tradicionales como el amoníaco ofrecen diversas consideraciones que lo hacen atractivo para el futuro sostenible, al igual presenta algunos desafíos que deben abordarse para su implementación. Según (Cebriá González, 2022) son:

#### **Ventajas:**

- Mejor rendimiento en el sistema.
- Producción a partir de agua con cero emisiones potenciales.
- Compatible con distintas distancias de distribución.
- Simple conversión a múltiples formas de energía.
- El poder calorífico es superior e inferior a la mayoría de los combustibles fósiles.

#### **Desventajas:**

- Mayor costo de producción.
- Tecnología en desarrollo.
- Pequeña escala de producción

## **CAPÍTULO 2**

### **Introducción**

Este proyecto es de tipo mixto, es decir de nivel cuali-cuantitativo. Además, este tipo de trabajo es descriptivo y analítico, porque se refiere a las técnicas de estudio utilizadas en esta investigación, como el análisis de estadísticas oficiales de datos cuantitativos como cualitativos e informes de calidad del aire y estudios de impacto ambiental.

### **2.1 Metodología**

Se seleccionará un motor mono cilíndrico de gasolina de uso común de motocicletas. Se considerarán factores como la disponibilidad del motor, la facilidad de conversión y el rendimiento potencial, se diseñará un sistema de conversión, una celda productora de hidrógeno, en el que se considerarán capacidades, peso y seguridad. Se instalará una válvula antirretorno de gas para reducir el peligro de un retorno de llama, como factor de seguridad, se diseñará un sistema de control electrónico para gestionar el suministro de hidrógeno al motor y optimizar su funcionamiento.

Las modificaciones en el motor de la motocicleta se harán sustituyendo el sistema de alimentación de combustible y se instalará un sistema de inyección de hidrógeno, posteriormente se harán pruebas para evaluar el rendimiento del motor convertido, incluyendo las emisiones contaminantes, se compararán los resultados con los del motor original de gasolina,

Finalmente, se realizará un análisis de viabilidad ambiental para evaluar la conversión de motores de gasolina a hidrógeno, también se considerarán factores como el costo de la conversión, la disponibilidad de hidrógeno y su impacto ambiental.

### **2.2. Diseño por bloques y funcionamiento**

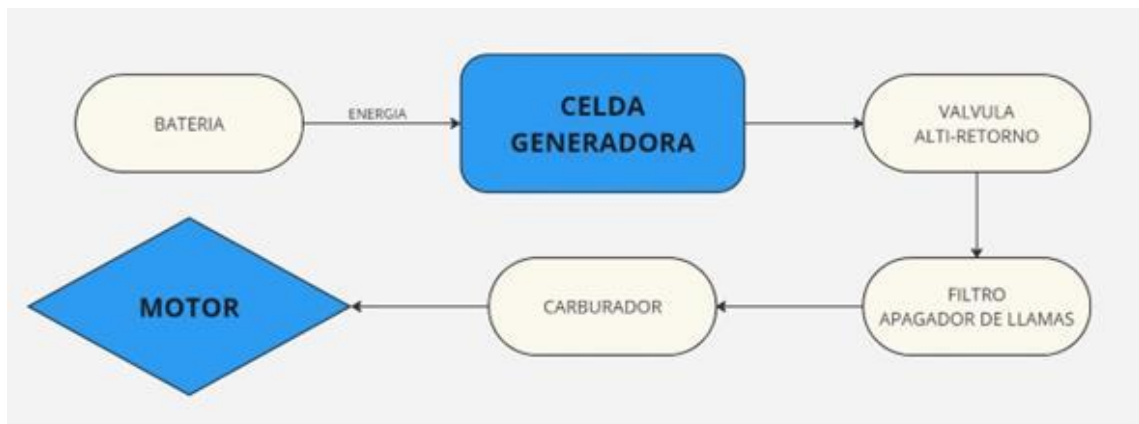
#### **2.2.1 Funcionamiento de la celda de hidrólisis.**

La electrólisis del agua, un proceso impulsado por la energía eléctrica se presenta como una tecnología con un enorme potencial para la obtención de hidrógeno y oxígeno de manera limpia y sostenible.

El proceso comienza con la entrada de agua, preferiblemente desmineralizada para evitar impurezas, se introduce en la celda, los electrodos que están en la celda son, un ánodo y un cátodo, sumergidos en el agua a los que se aplica una corriente eléctrica a través de los electrodos que generara una reacción química provocada por la corriente eléctrica que genera una ruptura de las moléculas de agua en sus elementos constituyentes, en el ánodo se produce la oxidación del agua, liberando oxígeno gaseoso (O<sub>2</sub>) y en el cátodo se reducen los iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>). Para posterior mente tener la salida de gases, El hidrógeno y el oxígeno se recolectan por separado en forma de gases. (Catalina, 2019)

La optimización de los procesos y la reducción de costos, están facilitando que la electrólisis se convierta en una realidad cada vez más presente en nuestra sociedad, la **Figura 2.1** muestra el diseño para realizar la electrolisis que se implementará en el vehículo.

**Figura 2.1:** Diseño por bloques



*Nota:* Diagrama por bloque representa como está estructurado el sistema de generación de hidrógeno. Fuente: Autores

### 2.2.2. Batería de 12V.

Encargada de proporcionar la energía eléctrica necesaria para producir la reacción de hidrólisis.

### **2.2.3. Celda generadora:**

Este tipo de celda está conformada por 20 placas de acero inoxidable, por medio de membranas, se separan en ánodos y cátodos que efectuaran la descomposición del agua en sus moléculas correspondientes.

### **2.2.4. Válvula antirretorno.**

También conocida como contador de burbujas, ayuda a que el gas de hidrógeno una vez producido no retorne a la celda generadora, además de actuar como cortafuegos, evita que la llama producida por la combustión del hidrógeno viaje a la celda generadora y pueda producir una detonación del gas.

### **2.2.5. Filtro apagador de llamas.**

Este tipo de cortafuegos, creado con vidrio molido y arena gruesa, tiene como funcionalidad una protección contra los retrocesos de llama, en la producción de gas mediante el proceso de hidrolisis

### **2.2.6. Carburador**

Es un componente mecánico dentro de un motor de combustión cuya función es pulverizar el combustible mezclado con el aire en proporciones optimas.







## 2.3 Materiales y Construcción

### 2.3.1. Materiales

En la Tabla 2.1 se especifican los materiales utilizados para construir una celda de hidrógeno.

Fuente: Autores

**Tabla 2.1:** Materiales de construcción

ELEMENTO	IMAGEN	CARACTERISTICA	CANTIDAD (Unidad)
Filtro para agua		Material: polipropileno. Presión de trabajo: 0- 6 bares	1
Conexiones de aire a presión de 1/4		Presión de trabajo:0 a 32 bares Material: acero con recubrimiento de teflón	6
Línea de aire de 1/4 pulgadas de diámetro exterior		Material: nylon Presión de trabajo: 0-35 bares	2 metros
Tapón PVC M Desagüe		Material: PVC Presión de trabajo: 6 bares	1
Té PVC Desagüe		Material: PVC Presión de trabajo: 6 bares	1
Tapón Hembra Roscable		Material: PVC Presión de trabajo: 6 bares	2

Tapón Macho Roscable		Material: PVC Presión de trabajo: 6 bares	2
Tapón PVC		Material: PVC Presión de trabajo: 6 bares	1
Neplo Roscable		Material: PVC Presión de trabajo: 6 bares	1
Placa de acero de 4x5 cm Con perforaciones de 6mm y 11mm		Material: acero inoxidable 304l	20
Varilla Roscada de 1m		Material: acero inoxidable	2
Manguera Gas		Material: Caucho Presión de trabajo: 25 bares	1 metro
Manguera de gasolina para motocicleta 1M negra		Material: Caucho Presión de trabajo: 5 bares	1 metro
Tuerca Hexagonal		Material: acero inoxidable	48



### 2.3.2. Proceso de construcción.

Se debe preparar los materiales para la construcción del reactor de hidrógeno, se comienza por:

#### 2.3.2.1. Celda de hidrógeno

- Corte de segmentos de manguera de gasolina en una medida de 13 mm, su función es aislar los segmentos entre la placa y el electrodo de corriente inversa.

En la figura 2.2 se muestra los segmentos cortados de manguera de gasolina para el aislamiento de placas.

**Figura 2.2:** Separador 1



*Nota:* El separador se encuentra entre la varilla roscada y la placa. Fuente: Autores

- Corte de segmentos de manguera de gas de 5 mm, su función es separar las placas positivas con placas negativas.

En la figura 2.3 se observa los segmentos de manguera de gas, estos nos sirven para separar espacios entre placas.

**Figura 2.3:** Separador 2

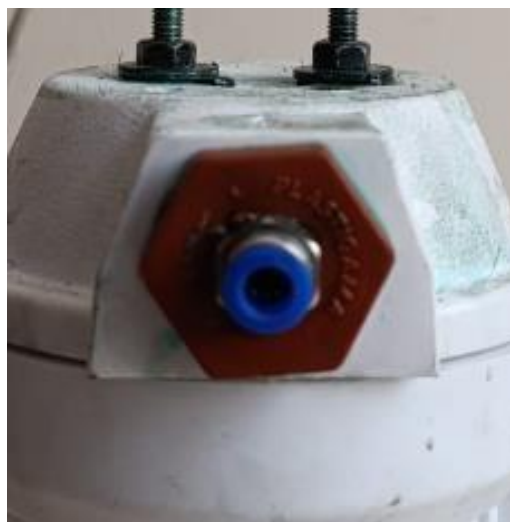


*Nota:* Separador se debe colocar entre placas. Fuente: Autores

- Corte de la varilla roscada en segmentos similares a la altura del filtro de agua. Su función es dirigir la corriente hacia las placas que realizan el proceso de hidrolisis
- Se coloca dos tapones tipo macho en la tapa superior del filtro de agua su atribución es sellar la tapa y en uno de ellos se adapta a la conexión de aire con ayuda de una perforación cuya función es permitir instalar un acople rápido para la salida del hidrógeno.

En la figura 2.4 se utiliza un acople rápido de aire en el tapón que nos sirve para la salida del gas hidrógeno

**Figura 2.4:** tapón con acople rápido de aire



*Nota: Este procedimiento nos sirve para tener fácil instalación de cañería de salida del gas hidrógeno. Fuente: Autores*

En la figura 2.5 se muestra el tapón sellador de la tapa de filtro que nos ayuda a no tener fugas de gas hidrógeno.

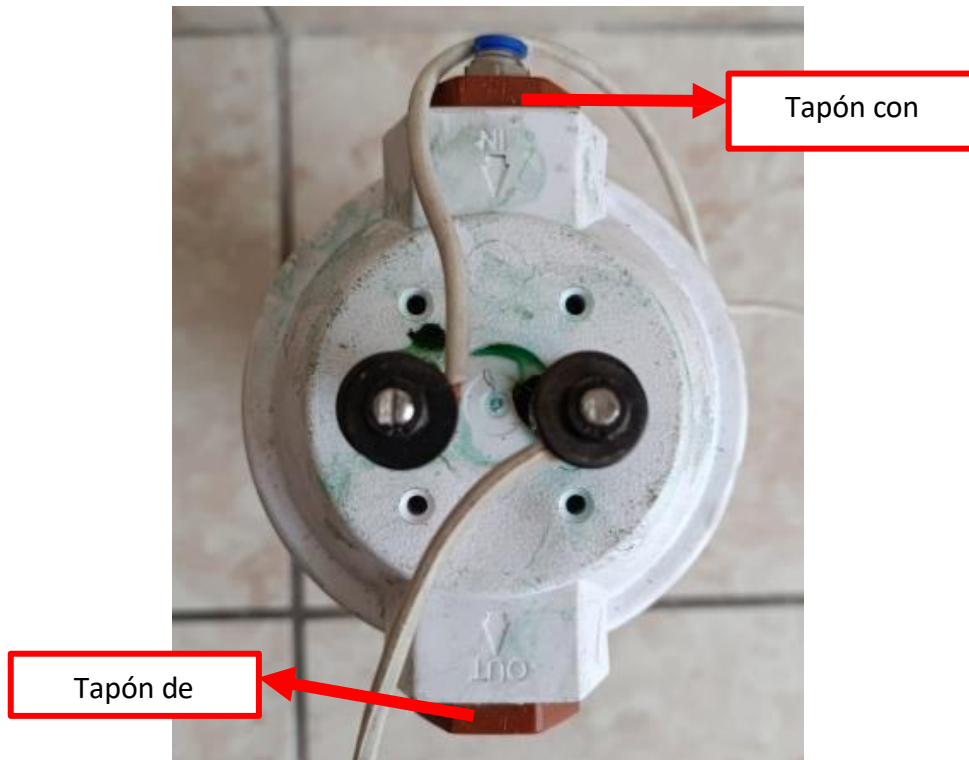
**Figura 2.5:** tapón sellador



*Nota: este permite un sellado hermético de la celda de hidrógeno para no generar fugas. Fuente: Autores*

En la figura 2.6 podemos observar la instalación final del generador de gas hidrógeno.

**Figura 2.6:** vista superior del procedimiento

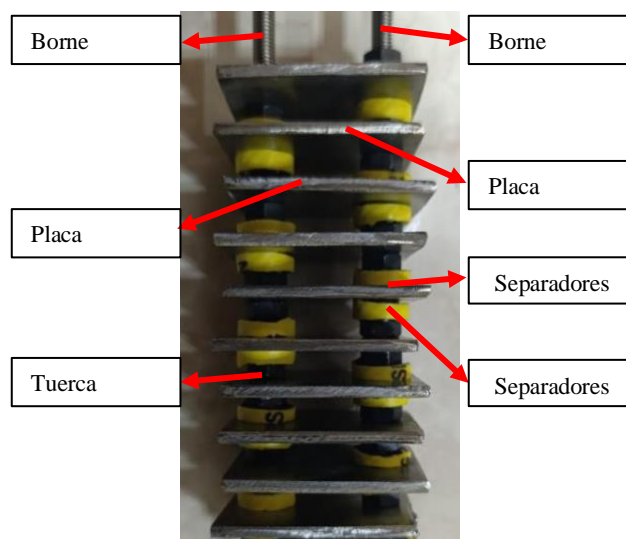


*Nota:* Se observa la forma final del procedimiento. Fuente: Autores

- Colocar los separadores de caucho en los agujeros de 11mm de las placas de acero,
- Colocar e intercalar las placas de acero con el separador y ajustar respectivamente con una tuerca m6,

En la figura 2.7 muestra el orden de cada celda y el armado de esta con cada uno de sus elementos.

**Figura 2.7:** Armado de celda

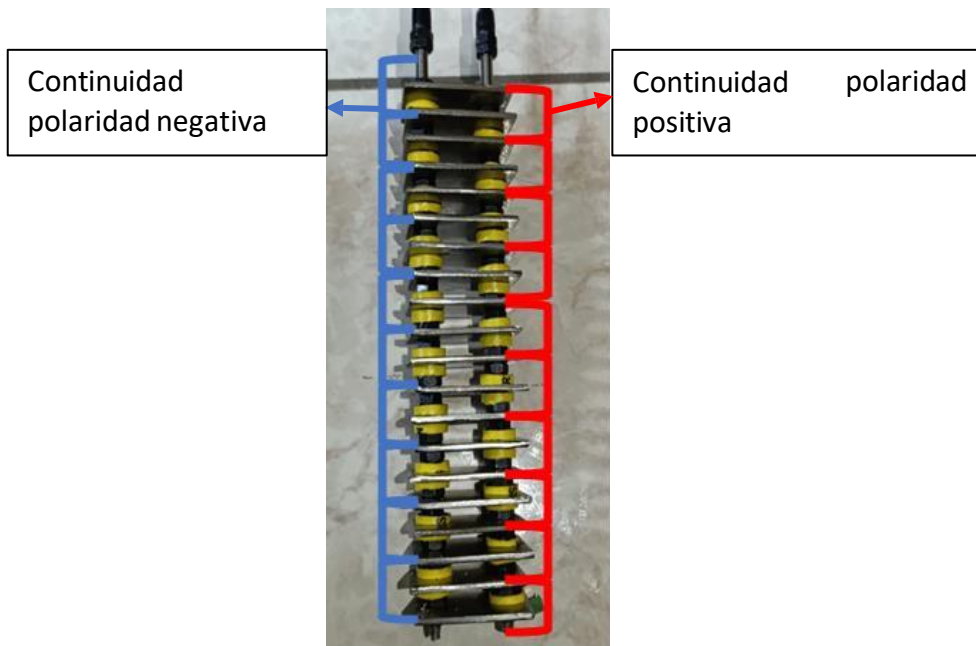


*Nota:* Procedo de armado y orden de celdas. Fuente: Autores

- Realizar la medición de continuidad de cada una de las placas como se identificar en la figura 2.8.

En la figura 2.8 muestra el procedimiento para la medición de continuidad en la celda.

**Figura 2.8:** Esquema de continuidad de la celda de hidrógeno.



*Nota:* Medición de continuidad en placas intercaladas Fuente: Autores

- Realizar la medición de continuidad por la salida de los bornes de la celda de hidrógeno, seguido se realiza perforaciones en la tapa del filtro de agua.
- Se colocan la celda de hidrógeno en las perforaciones realizadas en la tapa con ayuda de separadores y tuercas, creando un sello hermético.

En la figura 2.9 se observa los bornes como conexión segura para la generación de hidrolisis.

**Figura 2.9:** Perforaciones he instalación de los bornes de la celda de hidrógeno



*Nota:* Finalización del procedimiento de ajuste y sellado en la tapa del filtro de agua para su posterior uso. Fuente: Autores

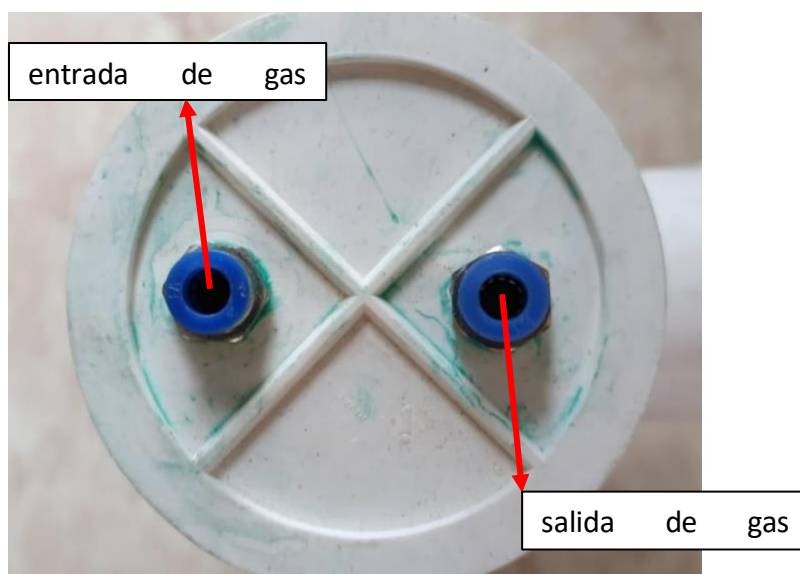
- Se realiza una prueba de hermeticidad de la celda de hidrógeno. Este procedimiento se debe realizar con una presión de 6 bares indicadas en la resistencia del filtro de agua, y se procede a sumergir en agua todo el conjunto.

#### 2.3.2.2. Válvula antirretorno (burbujeador)

- Se realiza dos perforaciones equidistantes en nuestro tapón de PVC.
- Se coloca los acoples de conexiones de aire.

En la figura 2.10 se muestra la válvula antirretorno, esta nos ayuda a cerrar y a controlar el paso de gas hidrógeno.

**Figura 2.10:** vista superior válvula antirretorno



*Nota:* Válvula antirretorno. Fuente: Autores

- Se realiza la adaptación de una conexión tipo macho de bronce, posteriormente se sitúa una manguera hasta el punto más bajo del burbujeador.
- Se procede a realizar el armado del equipo colocando sellante de tubería de alta presión.

### 2.3.2.3. Filtro apaga llamas

- Se realiza perforaciones y se adapta los acoples de aire tipo hebra y en el acople roscable se procede a realizar el llenado con arena gruesa y vidrio molido.

En la **figura 2.11** se observa los materiales que conforman el filtro apagallamas que nos ayuda como protección contra los retrocesos de llama, en la producción de gas mediante el proceso de hidrolisis

**Figura 2.11:** Arena y vidrio molido



Nota: este material se incorporará dentro del filtro apagallamas.

Fuente: Autores

- Sellamos con pegante de tuberías y teflón.

En la **figura 2.12** se observa el filtro apagallamas con todos sus elementos y componentes.

**Figura 2.12:** Filtro apagallamas



*Nota:* Partes que conformas un filtro antirretorno. Fuente: Autores

- Se realiza la prueba de hermeticidad.

## 2.4. Sistema eléctrico de eléctrico

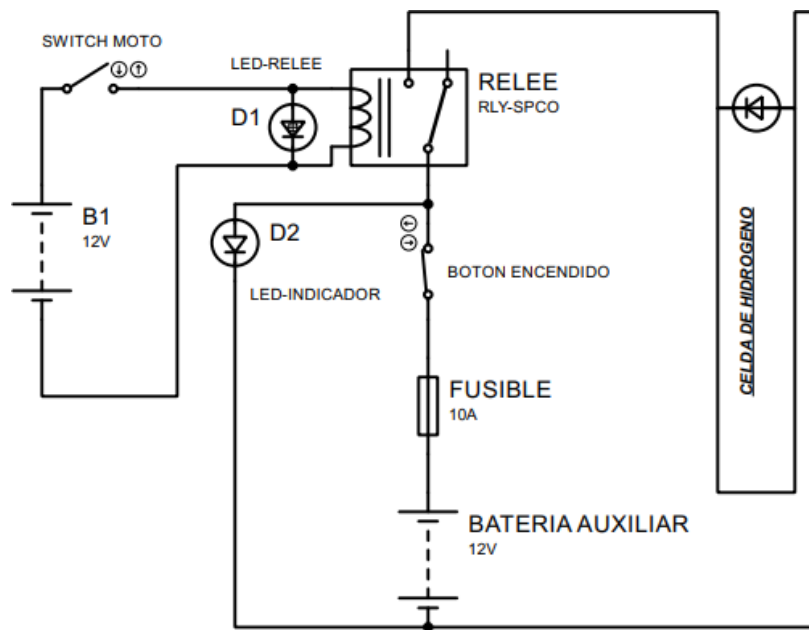
### 2.4.1. Seguridad en activación del sistema

En este tipo de sistemas la seguridad es indispensable, para evitar accidentes y riesgos potenciales, previo a la creación de una conexión eléctrica independiente en base al siguiente esquema.

En la **figura 2.13** se muestra el sistema eléctrico realizado en proteus, implementado en la motocicleta para la generación de hidrolisis

**Figura 2.13:** Esquema eléctrico de instalación





*Nota:* Este sistema nos ayudara a mantener la seguridad en la activación de la celda productora de hidrógeno. Fuente: Autores

#### 2.4.2. Materiales

En la **tabla 2.2** se describe los materiales utilizados para la creación del sistema eléctrico que será implementado en la motocicleta para el correcto funcionamiento del de la celda de celda generadora de hidrógeno

**Tabla 2.2:** Materiales de construcción sistema eléctrico

Material	Imagen	Cantidad	Características
Cable flexible número 12		6 metros	Material: cobre Tensión Nominal: 600V. Temperatura de servicio: 90°C. Aislamiento: Cubierta de nylon
Relé 12v		1 unidad	Tensión Nominal: 12V. Temperatura de servicio: 90°C. Aislamiento: Cubierta de PVC
Porta relé		1 unidad	Tensión Nominal: 12V. Temperatura de servicio: 90-110°C. Aislamiento: Cubierta de PVC
Porta fusible		1 unidad	Tensión Nominal: 12V. Temperatura de servicio: 90°C. Aislamiento: Cubierta de PVC
Fusible 10 A		1 unidad	
Conectores tipo ojo		2 unidades	

*Nota:* Especificación de materiales y cantidades necesarias para la creación del sistema eléctrico Fuente: Autores

## 2.4.2. Instalación eléctrica

Una vez fabricado el sistema de seguridad acorde al sistema eléctrico, procedemos con la instalación en la motocicleta.

**Figura 2.14:** Ubicación del sistema generador de hidrógeno



*Nota:* Ubicación de sistema eléctrico y sus componentes y señales necesarias para su correcto funcionamiento Fuente: Autores

## 2.5. Caracterización del motor

La caracterización del motor usado sirve para evaluar su estado actual y determinar su viabilidad para su posterior uso en el proyecto dentro de las pruebas a realizarse están:

En la figura 2.15 se muestra la motocicleta en la que se realizó las pruebas las pruebas de motor para verificar su estado.

**Figura 2.15:** Motocicleta a caracterizar



*Nota:* Motocicleta Thunder bolt 125 Fuente: Autores

En la **tabla 2.3** se muestran las diferentes pruebas realizadas en el motor de la motocicleta con cada resultado.

**Tabla 2.3:** Caracterización del motor

Prueba	Imagen	Resultado
Medición de compresión		Resultado de compresión aproximada de 110 psi.
Prueba de fugas		Retención de la presión del cilindro del motor es 94 % de 100 psi aplicados.

*Nota:* Se realizo pruebas de compresión y comprobación de fugas del motor

Fuente: Autores

## 2.6. Adaptación del sistema de hidrolisis al vehículo

La adaptación de este sistema en el vehículo se efectuó a través de diversos pasos, entre ellos los que se detallan a continuación:

- Remoción de la gaveta de la motocicleta

En la **figura 2.16** muestra la ubicación de instalación de la celda de hidrógeno.

**Figura 2.16:** Remoción de gaveta.



*Nota:* En este espacio se colocará la celda de hidrógeno. Fuente: Autores

- Sujeción de la celda de hidrógeno

En la figura 2.17 se muestra la instalación de la celda de hidrógeno con sus respectivos anclajes

**Figura 2.17:** Instalación y adaptación de celda de hidrógeno



*Nota:* este procedimiento se utilizó una banda de caucho la cual va colocada en los anclajes originales de la gaveta. Fuente: Autores

- Sujeción burbujeador

En la **figura 2.18** se muestra la ubicación e instalación de la válvula antirretorno en la motocicleta.

**Figura 2.18:** Instalación y adaptación de válvula antirretorno.



*Nota:* este procedimiento se utilizó abrazaderas plásticas la cual va colocada en la parrilla frontal de la motocicleta. Fuente: Autores

- Sujeción del filtro apagallamas.

En la **figura 2.19** muestra la instalación y ubicación del filtro apagallamas en la motocicleta

**Figura 2.19:** Instalación y adaptación de filtro apagallamas.



*Nota:* este procedimiento se utilizó abrazaderas plásticas la cual va colocada en el chasis de la motocicleta. Fuente: Autores.

- Instalación de línea de aire.

En la **figura 2.20** se muestra las conexiones de cada línea de aire para su respectivo funcionamiento.

**Figura 2.20:** Instalación y adaptación de líneas aire.



*Nota:* este procedimiento se utilizó línea de aire cortada en segmentos.

Fuente: Autores.

- Instalación del sistema a la admisión.

En la figura **2.21** muestra la entrada para la alimentación de gas hidrógeno hacia el motor.

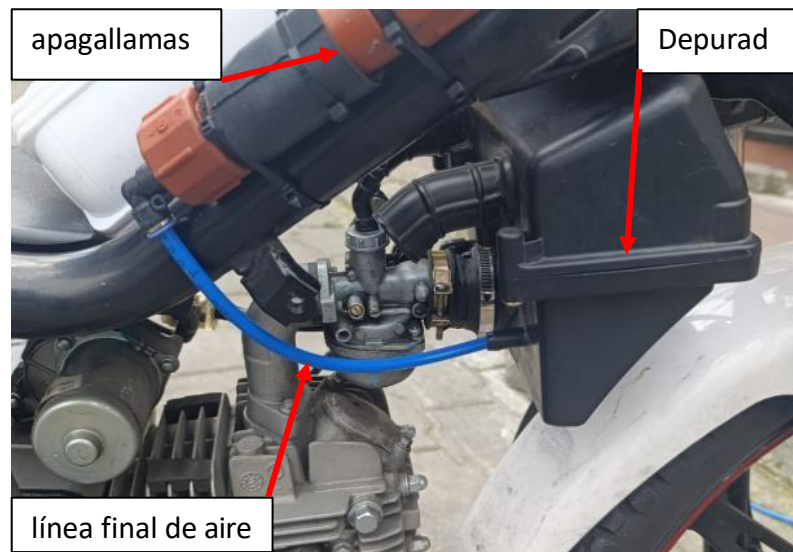
**Figura 2.21:** Toma de vacío del depurador.



*Nota:* Esta toma de vacío tiene un tapón de caucho el cual se debe retirar para realizar la instalación de la línea de aire. Fuente: Autores.

En la **figura 2.22** indica el proceso final de la instalación del sistema.

**Figura 2.22:** Conexión filan del sistema de hidrógeno.



*Nota:* Este como paso final de la adaptación del Sis. De hidrógeno. Fuente: Autores.



## CAPÍTULO 3

### 3.1 Registro y tabulación de datos.

Se realiza la obtención de muestras en diferentes pruebas continuas con el equipo de Analizador de gases Brain Bee Mahle AGS-688. Este equipo entrega datos de gases contaminantes como HC, CO<sub>2</sub>, CO y lambda.

#### 3.1.1. Medición de gases contaminantes de motor a gasolina

En la **figura 3.1** se observa los valores obtenidos en la medición de gases con el motor funcionando a ralentí consumiendo como combustible gasolina.

**Figura 3.1:** Medición de gases combustión de gasolina.



*Nota:* Valores obtenidos en la medición de gases de motor a gasolina. Fuente: Autores.

#### 3.1.2. Medición de gases contaminantes de motor mixto, gasolina e hidrógeno.

En este método se procede a poner el motor de la motocicleta en funcionamiento con mezcla de combustible e hidrógeno y se procede a analizar los gases contaminantes.

En la **figura 3.2** se observa los valores obtenidos en la medición de gases con el motor funcionando a ralentí consumiendo como combustible mezcla de gasolina e hidrógeno.

**Figura 3.2:** Medición de gases combustión de mezcla.



*Nota:* Valores de medición de gases de motor mixto gasolina e hidrógeno.

Fuente: Autores.

### 3.1.3 Medición de gases contaminantes motor a hidrógeno.

En este procedimiento, se realiza la optimización del motor de la motocicleta para su respectivo funcionamiento con hidrógeno y se procede a medir los gases contaminantes.

En la **figura 3.3** se observa los valores obtenidos en la medición de gases con el motor funcionando a ralentí utilizando como combustible hidrógeno.

**Figura 3.3** Medición de gases combustión de hidrógeno.



*Nota:* Valores de mediciones de gases contaminantes de motor a hidrógeno.

Fuente: Autores

### 3.1.4 Tabulación y análisis de gases contaminantes- combustible gasolina.

En el siguiente esquema se muestra la tabulación estadística de la combustión de gasolina analizando las variables de gases contaminantes. Por lo tanto, se puede observar un alto valor estadístico en la media de CO<sub>2</sub>, que indica una combustión eficiente con poca producción de monóxido de carbono (CO), se considera que el valor de la media de HC es bajo, por eso se concluye que la combustión no fue completamente eficiente, lo que podría generar emisiones contaminantes. Los valores de O<sub>2</sub> y Lambda indican que la mezcla aire-combustible es rica en oxígeno, lo que podría afectar la eficiencia del proceso de combustión.

**Tabla 3.1** Resultados estadísticos en combustión a gasolina.

<i>Variable</i>	<i>CO</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>HC</i>	<i>O<sub>2</sub></i>	<i>LAMBDA</i>
<i>Máximo</i>	5.3	3.1	411	11.95	1.635
<i>Mínimo</i>	5.25	3.1	390	11.86	2.379
<i>Media</i>	5.28	3.1	393.60	11.88	2.57
<i>Desviación estándar</i>	0.021	6.13E-14	4.72	0.024	0.15

Fuente: Autores

### 3.1.4 Tabulación y análisis combustión Mixta hidrógeno- gasolina

En la tabla 3.2 se realiza una tabulación de cada variable sobre los gases contaminantes con una combustión mixta. A continuación, observamos un alto valor medio de CO, el bajo valor medio de CO<sub>2</sub> indican una combustión incompleta, lo que podría generar emisiones contaminantes de el alto valor en la media de HC, para concluir la combustión no fue completamente eficiente, lo que podría generar emisiones contaminantes; los valores de Lambda indican que la mezcla aire-combustible es rica en combustible.

**Tabla 3.2** Resultados estadísticos en combustión mixta

<i>Variable</i>	<i>CO</i>	<i>CO2</i>	<i>HC</i>	<i>O2</i>	<i>LAMBDA</i>
<i>Máximo</i>	0.15	5	110	14.63	3.085
<i>Mínimo</i>	0.12	4	71	14.02	2.873
<i>Media</i>	0.139	4.84	79.98	14.27	2.96
<i>Desviación estándar</i>	0.0046	0.083	11.43	0.14	0.048

Fuente: Autores

### 3.1.5 Tabulación y análisis de gases de combustión a hidrógeno.

En el **Tabla 3.3** la tabulación de las variables sobre los gases contaminantes del motor con combustión a hidrógeno. La combustión a gasolina donde se produjo una cantidad significativa de CO<sub>2</sub>, lo que indica una combustión completa. Sin embargo, la presencia de hidrocarburos no quemados (HC) fue completamente eficiente. La cantidad excesiva de oxígeno (O<sub>2</sub>) y la alta relación aire-combustible (Lambda) indican que la mezcla es rica en oxígeno.

**Tabla 3.3** Resultados estadísticos en combustión a hidrógeno

<i>Variable</i>	<i>CO</i>	<i>CO2</i>	<i>HC</i>	<i>O2</i>	<i>LAMBDA</i>
<i>Máximo</i>	0.13	4.9	32	14.85	3.154
<i>Mínimo</i>	0.1	4.7	25	14.56	3.026
<i>Media</i>	0.112	4.785	28.57	14.68	3.086
<i>Desviación estándar</i>	0.010	0.065	1.87	0.067	0.039

Fuente: Autores

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

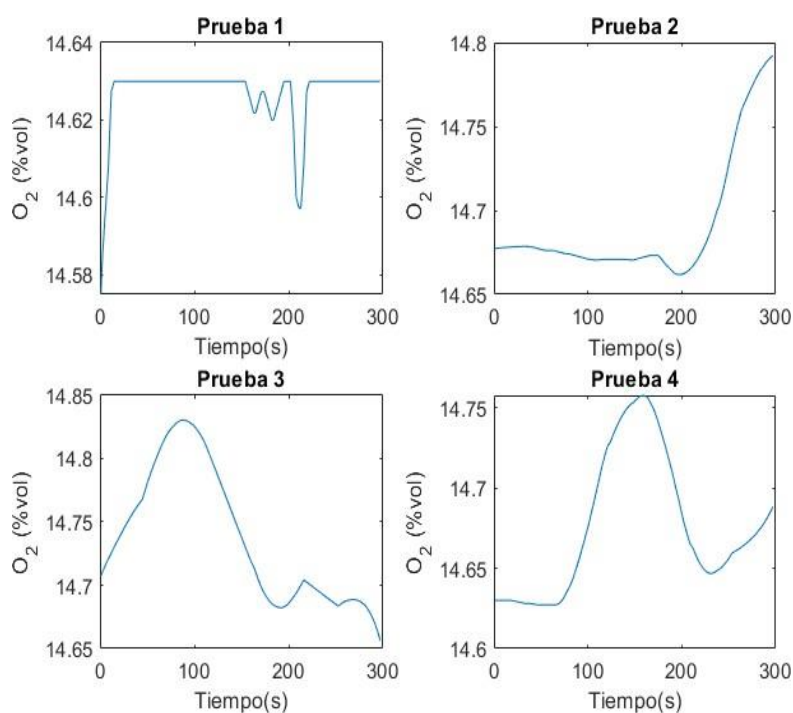
#### 4.1. Interpretación de los resultados del análisis de gases contaminantes

En este capítulo se obtuvieron mediciones mediante el software Matlab R2023b un análisis de gráficas y el comportamiento de los gases contaminantes en cada combustione.

##### 4.1.1 Resultados con Hidrógeno

En la **figura 4.1** se observa que durante la combustión de hidrógeno hay un notable aumento en la concentración de oxígeno. Esto ocurre porque se genera oxígeno en la hidrolisis y este no se consume por completo en la reacción de combustión para generar agua ( $H_2O$ ) y calor, Se observa que la velocidad de aumenta del oxígeno varía entre las cuatro pruebas analizadas. En la primera prueba, el aumento es relativamente constante. Sin embargo, en las pruebas 2, 3 y 4, el aumento inicial es más rápida y luego se estabiliza como en las pruebas 3 y 4. Los gráficos tienen generados se encuentran con una variación entre 0.1 y 0.2 (% vol.)

**Figura 4.1** Pruebas de comportamiento del  $O_2$  con combustión de hidrógeno

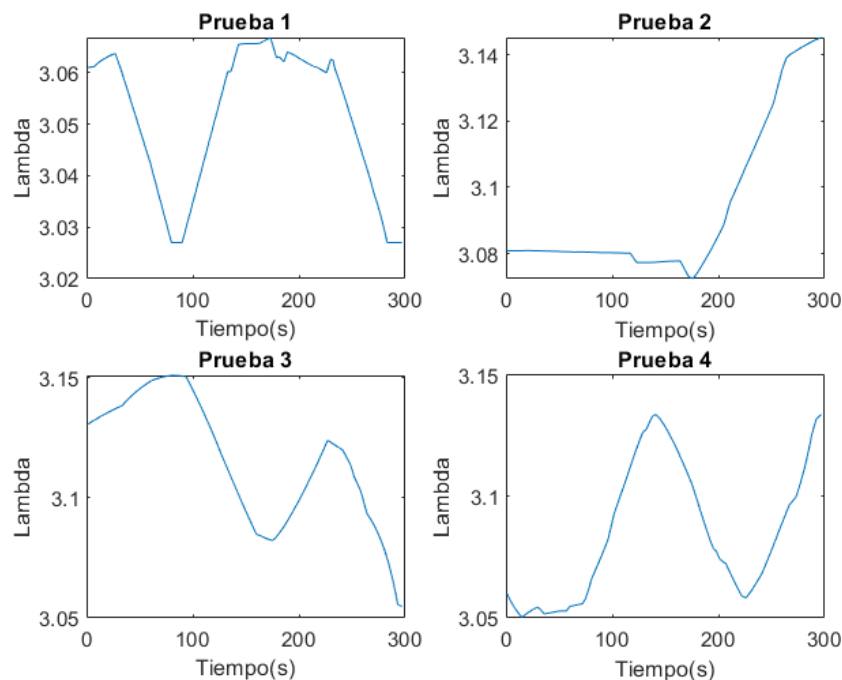


*Nota: La imagen muestra cuatro gráficos que representan los resultados de cuatro pruebas de combustión de hidrógeno. Cada gráfico muestra el porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) en función del tiempo (en segundos). Fuente: Autores.*

En la **figura 4.2** podemos observar lambda, que indica la relación aire-combustible(hidrocarburo) en una mezcla de combustión, experimenta variaciones significativas según los gráficos analizados. En las pruebas 3 y 4, lambda inicialmente es superior a 3.05 lo que nos indica una mezcla muy pobre. En contraste, en las pruebas 1 y 2, la lambda se encuentra en valores por debajo de 3.05 y aumenta gradualmente hasta estabilizar su valor cercano a 3.1.

Estas fluctuaciones en el valor de la lambda pueden ser atribuidas a diversos factores, como que lambda es calculado en relación de HC y O<sub>2</sub>, la temperatura durante la reacción de combustión y la presencia de residuos durante la combustión.

**Figura 4.2** Pruebas de comportamiento de Lambda con combustión de hidrógeno

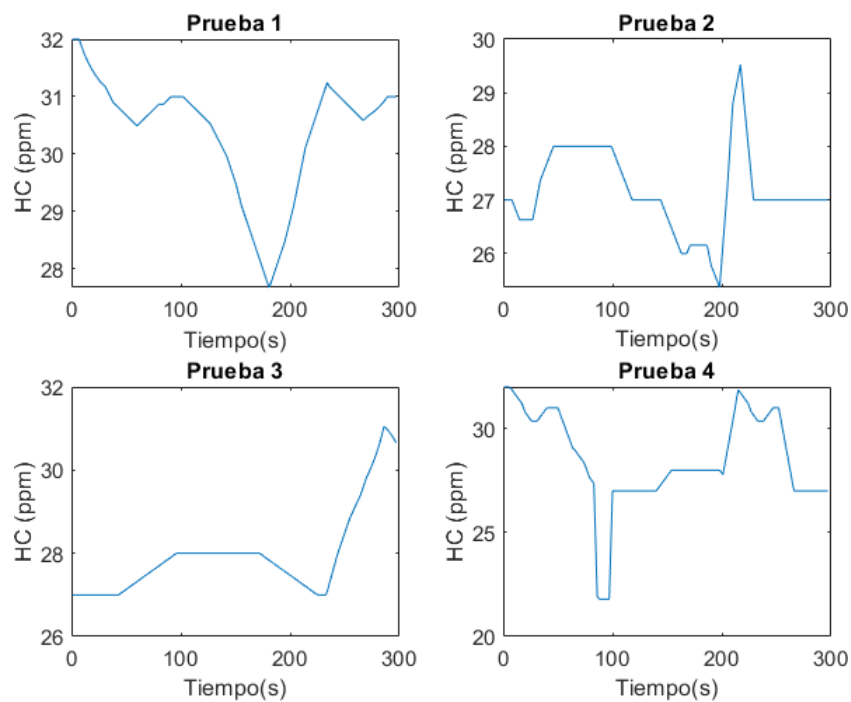


*Nota: La imagen muestra cuatro gráficos que representan los resultados de cuatro pruebas de combustión de hidrógeno. Cada gráfico muestra el comportamiento de lambda en función del tiempo (en segundos). Los gráficos tienen generados se encuentran con una variación entre 0.04 y 0.1 tratando de estabilizarse en un valor de 3.1. Fuente: Autores.*

En la **figura 4.3** se observan Los gráficos muestran que los valores de HC disminuyen significativamente durante las pruebas. Esta disminución se debe al uso de hidrógeno como combustible, pero sin embargo la presencia de HC se debe a que los residuos en el tubo de escape y aceite que se queman durante la reacción de combustión. La tasa de disminución de los HC varía entre las cuatro pruebas. En la Prueba 2 y 3, la tasa de disminución es relativamente constante. En la Prueba 1 y 2, la tasa de disminución es más rápida al principio y luego se estabiliza.

La diferencia en el porcentaje en el que el valor de los HC disminuye puede deberse a una serie de factores, residuos de HC en el escape del vehículo de pruebas y la quema de aceite presente en la cámara de combustión.

**Figura 4.3** Pruebas de comportamiento de HC con combustión de hidrógeno

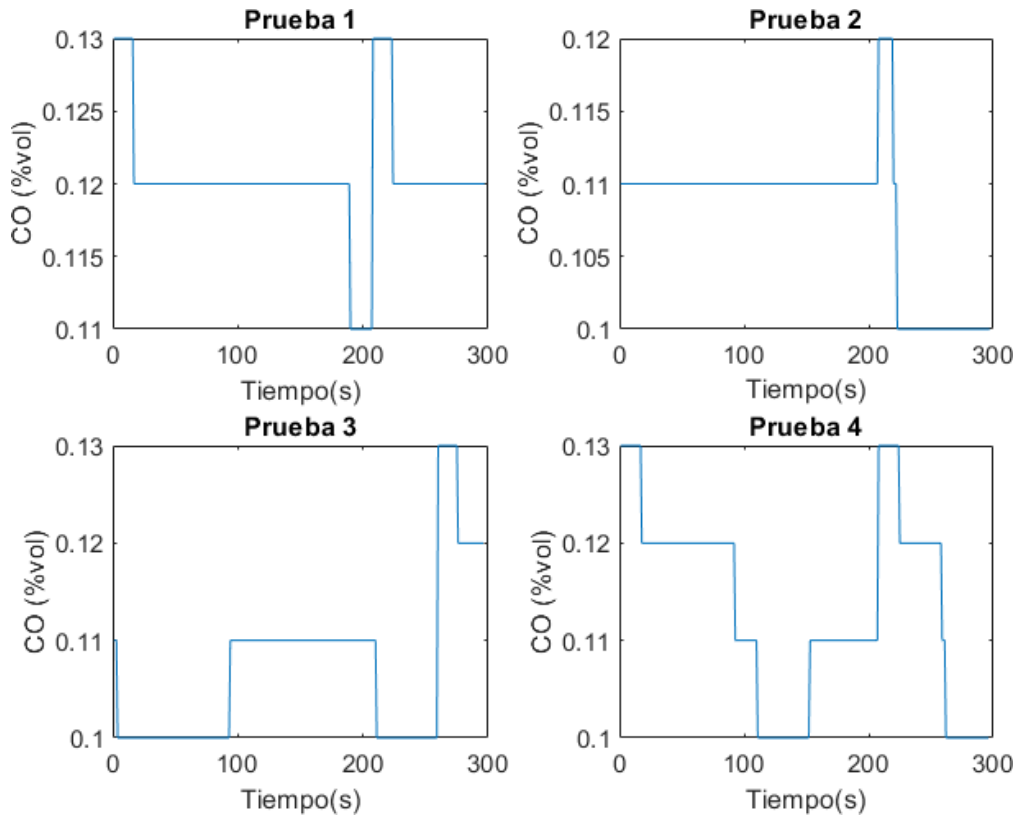


*Nota: La imagen muestra gráficos que representan los valores de hidrocarburos (HC) en función del tiempo (en segundos) para cuatro pruebas de combustión de hidrógeno.*

*Fuente: Autores.*

En la **figura 4.4** nos proporcionas el comportamiento del CO observar los comportamientos de diferentes pruebas con combustión de hidrógeno, muestra una tendencia ascendente a lo largo del tiempo, lo que indica que la concentración de monóxido de carbono aumenta a medida que avanza la combustión. Con una estabilización de sus graficas en 0.11(% vol.).

**Figura 4.4** Pruebas de comportamiento de CO con combustión de hidrógeno



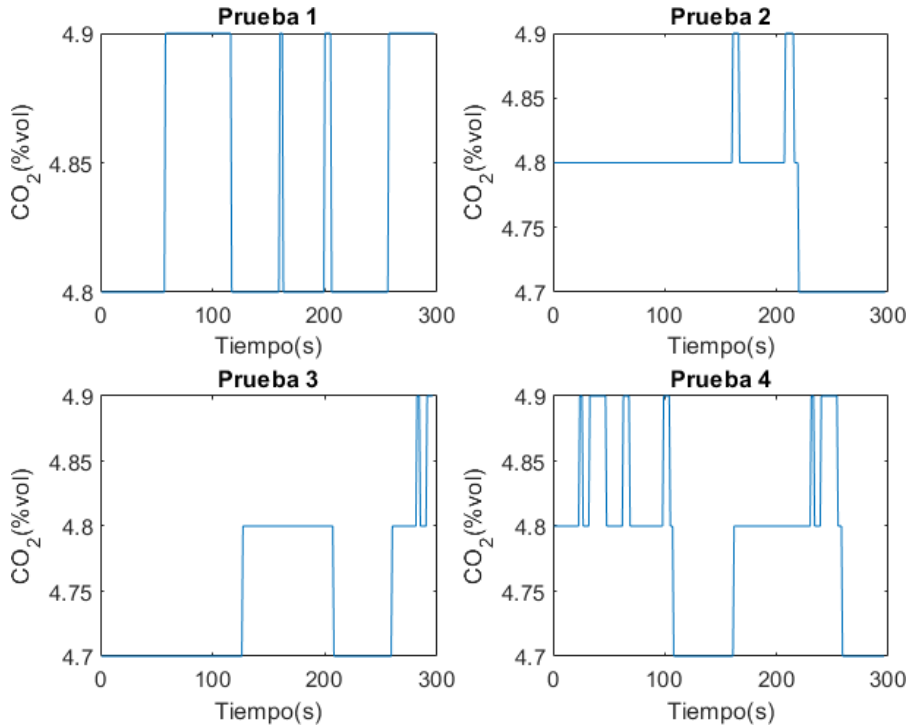
*Nota: La imagen muestra dos gráficos que representan los valores de monóxido de carbono (CO) en función del tiempo (en segundos) para cuatro pruebas de combustión de hidrógeno. Fuente: Autores.*

En la **figura 4.5** se muestra que los valores de CO<sub>2</sub> aumentan en un rango de 0.01 durante las pruebas como la variación máxima. Este aumento se debe a que el CO<sub>2</sub> se produce por residuos de aceite presentes en el cilindro que se combustionan y producen CO<sub>2</sub>

Los valores del porcentaje del CO<sub>2</sub> varía entre las pruebas. En la Prueba 1, el porcentaje de aumento es relativamente constante sin superar un valor de 4.5(% vol.)

**Figura 4.5** Pruebas de comportamiento de CO<sub>2</sub> con combustión de hidrógeno



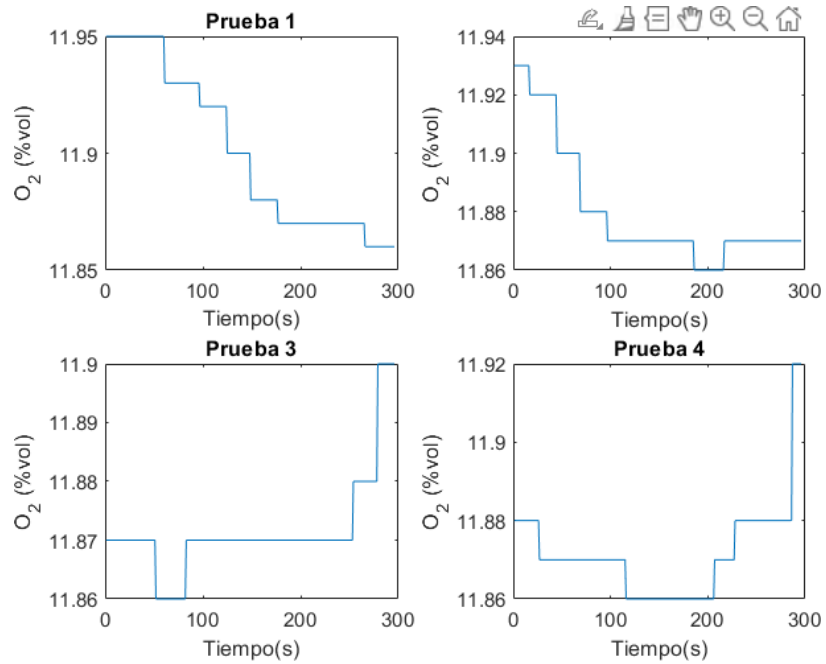


*Nota: La imagen muestra dos gráficos que representan los valores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en función del tiempo (en segundos) para dos pruebas de combustión de hidrógeno Fuente: Autores.*

#### 4.1.2 Resultados con combustión a gasolina.

En la **figura 4.6** se observa que durante la combustión de gasolina la concentración de oxígeno. Esta reducción es menor con respecto al funcionamiento con gasolina. Se observa que la velocidad de disminución del oxígeno varía entre las cuatro pruebas analizadas.

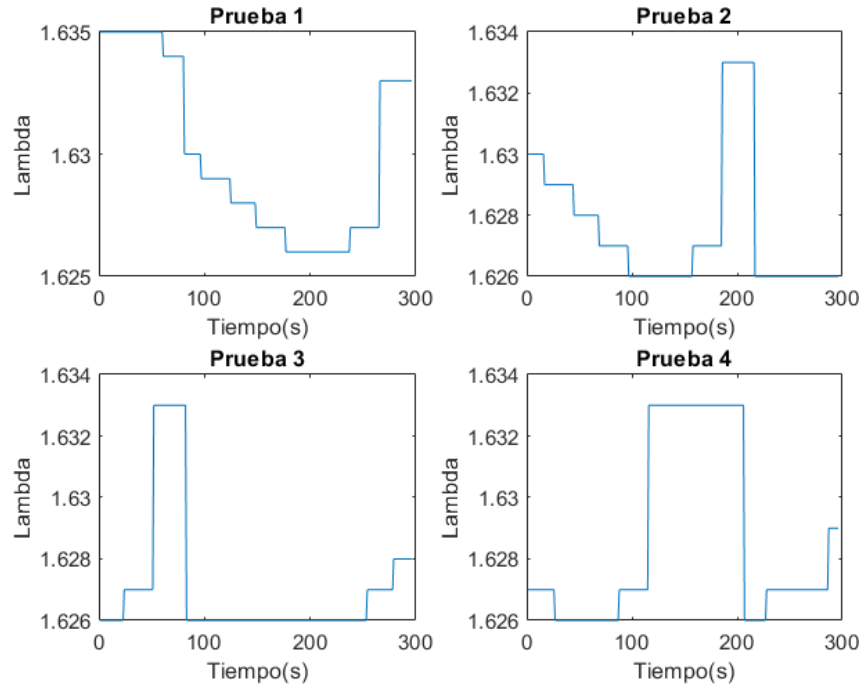
**Figura 4.6** Pruebas de comportamiento de O<sub>2</sub> con combustión a gasolina.



*Nota: La imagen muestra dos gráficos que representan los valores de Oxígeno (O<sub>2</sub>) en función del tiempo (en segundos) para dos pruebas de combustión de Gasolina Fuente: Autores.*

En la **figura 4.7** podemos observar lambda, que indica la relación aire-combustible(hidrocarburo) en una mezcla de combustión, experimenta variaciones significativas según los gráficos analizados. En las pruebas se obtiene valores de mezcla pobre. Estas fluctuaciones en el valor de la lambda pueden ser atribuidas a que estamos en un motor alimentado por un carburador.

**Figura 4.7** Pruebas de comportamiento de Lambda con combustión a gasolina

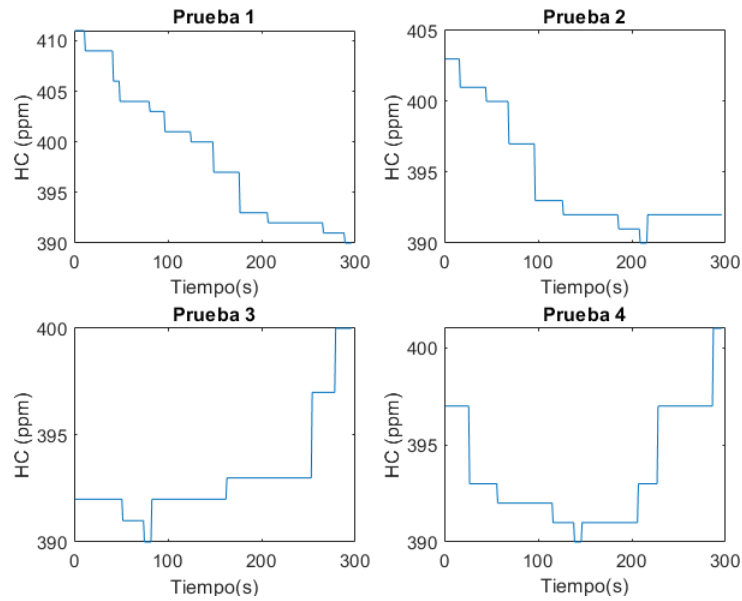


*Nota: La imagen muestra dos gráficos que representan los valores de Lambda en función del tiempo (en segundos) para dos pruebas de combustión de Gasolina Fuente: Autores.*

En la **figura 4.8** se observan Los gráficos muestran que los valores de HC aumentan significativamente durante las pruebas. Este aumento se debe a que los hidrocarburos se queman durante la reacción de combustión. La tasa de los HC varía entre las cuatro pruebas. En la Prueba 3 y 4, la tasa de aumento es relativamente constante. En la Prueba 1 y 2, la tasa de aumento es más rápida al principio y luego se estabiliza.

La diferencia en la tasa de los HC puede deberse a una serie de factores, residuos de HC por la velocidad de la reacción y la baja relación de compresión del motor (9:1).

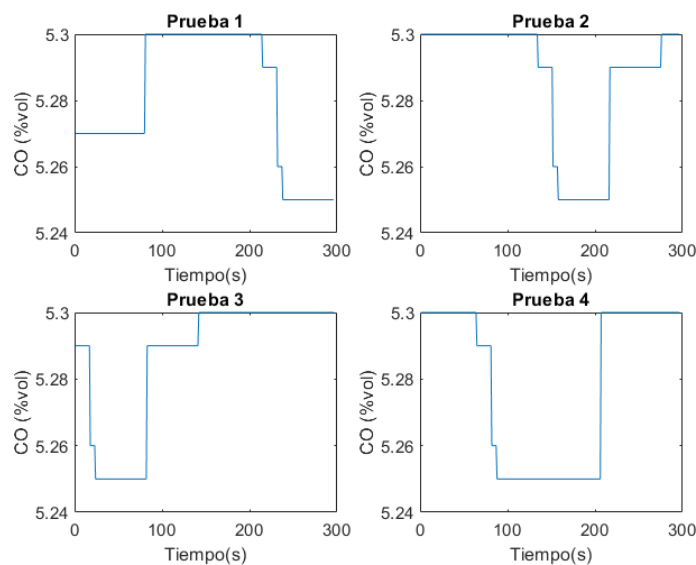
**Figura 4.8** Pruebas de comportamiento de HC con combustión a gasolina



*Nota: La imagen muestra dos gráficos que representan los valores de Hidrocarburos no combustionados (HC) en función del tiempo (en segundos) para dos pruebas de combustión de Gasolina Fuente: Autores.*

En la **figura 4.9** nos proporcionas el comportamiento del CO observar los comportamientos de diferentes pruebas con combustión de Gasolina, muestra una tendencia ascendente a lo largo del tiempo, lo que indica que la concentración de monóxido de carbono aumenta a medida que avanza la combustión. Con valores superiores al 5 (% vol.)

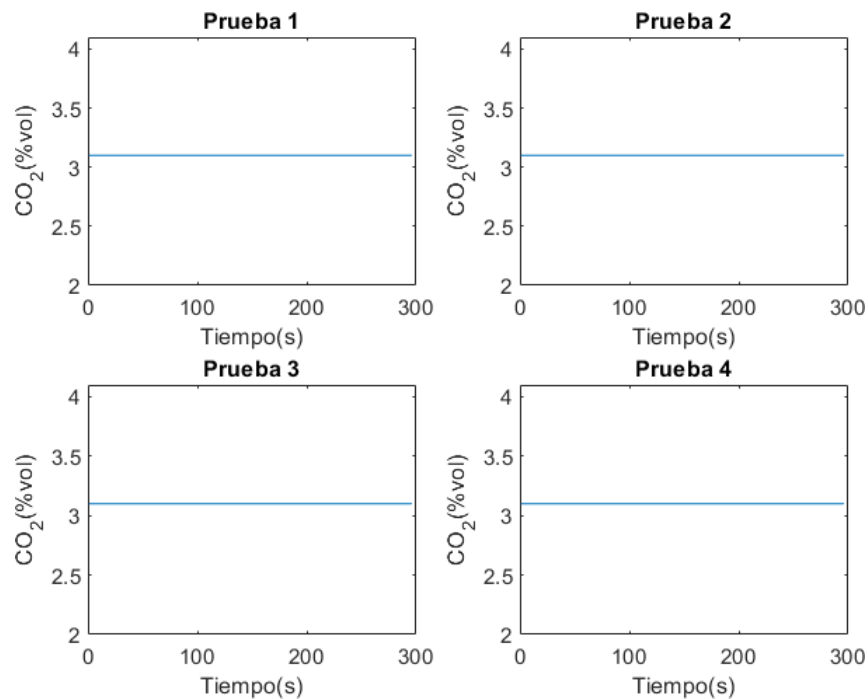
**Figura 4.9** Pruebas de comportamiento de CO con combustión a gasolina



*Nota: La imagen muestra dos gráficos que representan los valores de monóxido de carbono (CO) en función del tiempo (en segundos) para dos pruebas de combustión de gasolina Fuente: Autores.*

En la **figura 4.10** se muestra que los valores de CO<sub>2</sub> de 3.1(% vol.) durante las pruebas como una constante durante todas las pruebas.

**Figura 4.10** Pruebas de comportamiento de CO<sub>2</sub> con combustión a gasolina

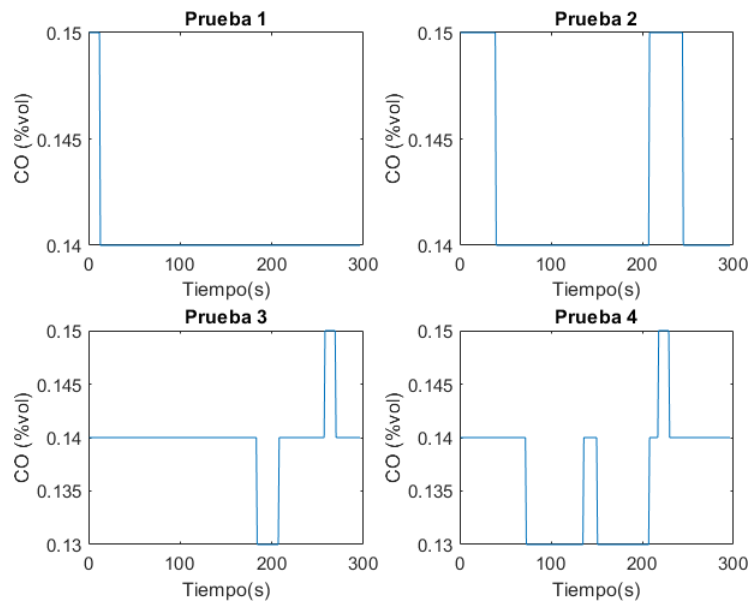


*Nota: La imagen muestra dos gráficos que representan los valores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en función del tiempo (en segundos) para las pruebas de combustión de gasolina Fuente: Autores.*

### 4.1.3 Resultados con combustión mixta gasolina-hidrógeno

La figura 4.11 muestra que la concentración de CO aumenta a lo largo del tiempo para las tres pruebas. El comportamiento de las pruebas es diferente, pero todas ellas muestran un aumento gradual de la concentración de CO. Los valores máximos de CO alcanzados son de aproximadamente 0.14% vol y 0.15% vol en las pruebas 1 y 2 y una reducción de hasta 0.13% vol para las pruebas 3 y 4, respectivamente.

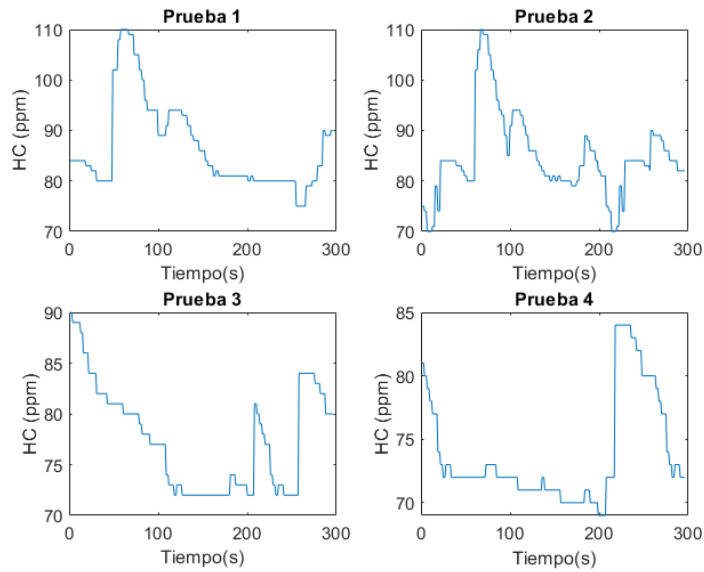
#### 4.11 Pruebas de comportamiento de CO con combustión mixta



*Nota:* Las tres pruebas alcanzan valores máximos de CO de aproximadamente 0.16% vol y 0.15% vol, respectivamente. Fuente: Autores.

La **figura 4.12** muestra la concentración de HC sin combustionar en partes por millón(ppm) en función del tiempo una disminución gradual de la concentración de HC. El comportamiento de las pruebas nos muestra una tendencia de valores mínimos a alcanzados son aproximadamente 70 ppm. Y vemos que trata de estabilizarse en un promedio de 73 a 75 ppm.

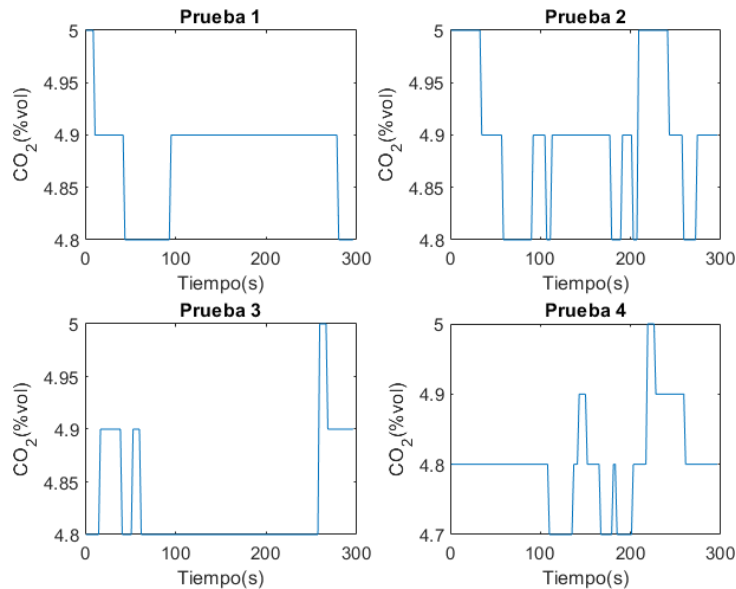
**Figura 4.12** Pruebas de comportamiento de HC con combustión mixta.



*Nota:* Los valores alcanzados de HC muestran una tendencia gradual y valores mínimos de HC alcanzados. Fuente: Autores.

La **Figura 4.13** muestra la relación entre la concentración de CO<sub>2</sub> y el tiempo, donde se observa que comienza en aproximadamente 4.8 (% vol.) y aumenta gradualmente hasta alcanzar un valor estable de alrededor de 5 (% vol.) refleja la producción del CO<sub>2</sub> como subproducto de la combustión tendencia ascendente en el tiempo.

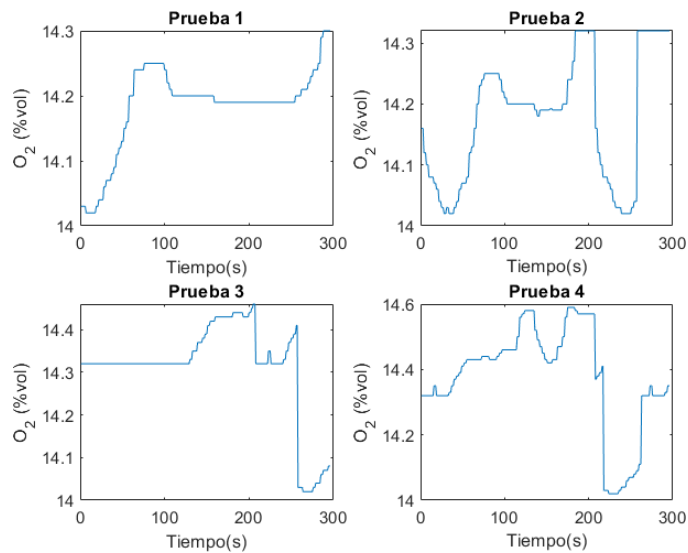
**Figura 4.13** Pruebas de comportamiento de CO<sub>2</sub> con combustión mixta



*Nota:* La producción de CO<sub>2</sub> se acelera con adición de hidrógeno ya que ayuda a generar una quema mucho más eficiente de la gasolina. Fuente: Autores.

En la **figura 4.14** se observa una concentración de O<sub>2</sub> comienza aproximadamente en 14.6% y disminuye gradadamente hasta un mínimo de aproximadamente 14.2% este aumento considerable de O<sub>2</sub> de debe a que en la hidrolisis también se produce O<sub>2</sub>

**Figura 4.14** Pruebas de comportamiento de O<sub>2</sub> en combustión mixta

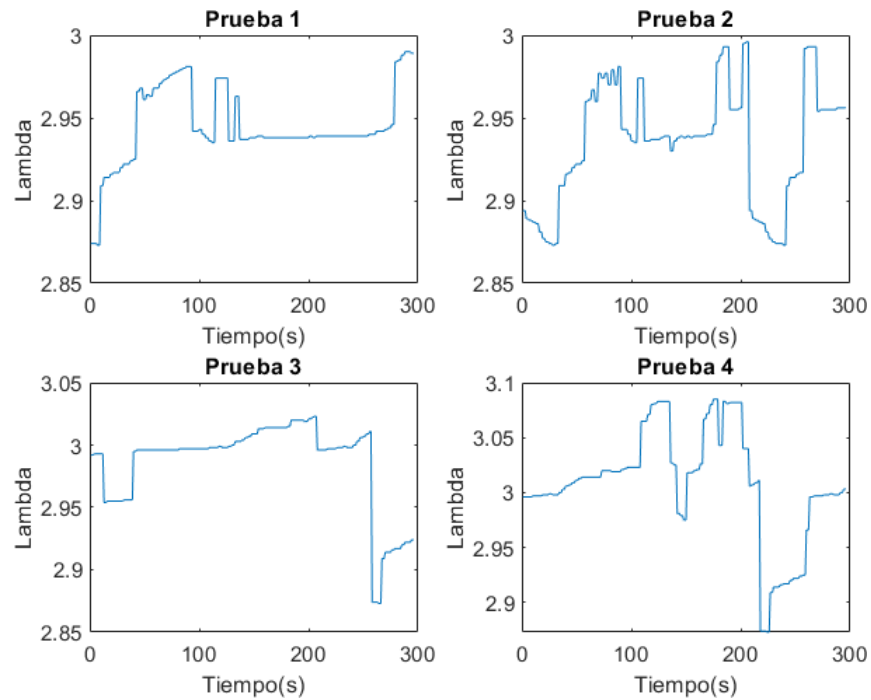


Nota: Los gráficos muestran que la concentración de O<sub>2</sub> disminuye inicialmente para las tres pruebas las gráficas. Fuente: Autores.

En la **figura 4.15** las gráficas muestran que el valor de lambda cambia con el tiempo. Estos cambios en lambda se deben a los cambios en la composición de la mezcla aire-combustible. En las pruebas al generar más O<sub>2</sub> en la mezcla con hidrógeno. Esto hace que el valor de lambda sea alto. este valor se vuelve extremadamente pobre ya que está ligado al porcentaje en volumen de O<sub>2</sub> que sale por el tubo de escape.

**Figura 4.15** Pruebas de comportamiento de lambda con combustión mixta





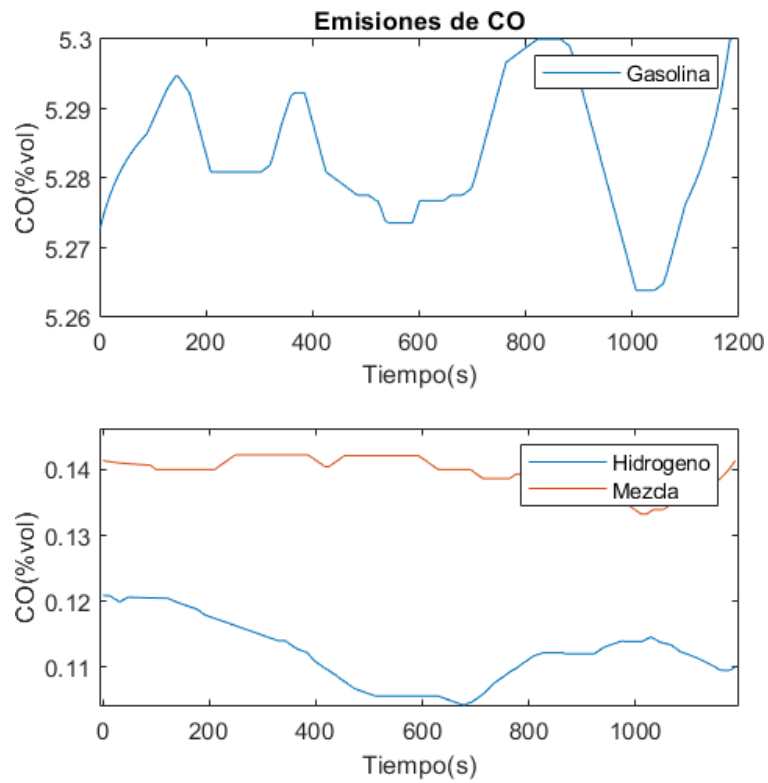
*Nota:* Las gráficas también incluyen algunos detalles adicionales. El número en la parte superior de cada gráfica indica el valor máximo de lambda alcanzado en esa prueba. El número en la parte inferior de cada gráfica indica el tiempo en segundos en que se alcanzó ese valor máximo.

Fuente: Autores.

## 4.2 Comparación de resultados

En la **figura 4.16** se puede observar la disminución de un 5.1(% vol.) de la combustión de gasolina a la combustión de hidrógeno afirmando la reducción de emisión contaminante, además la mezcla con gas hidrógeno genera un porcentaje de CO sumamente bajo lo que también puede ser factible para reducción de emisiones.

**Figura 4.16** Emisión de CO

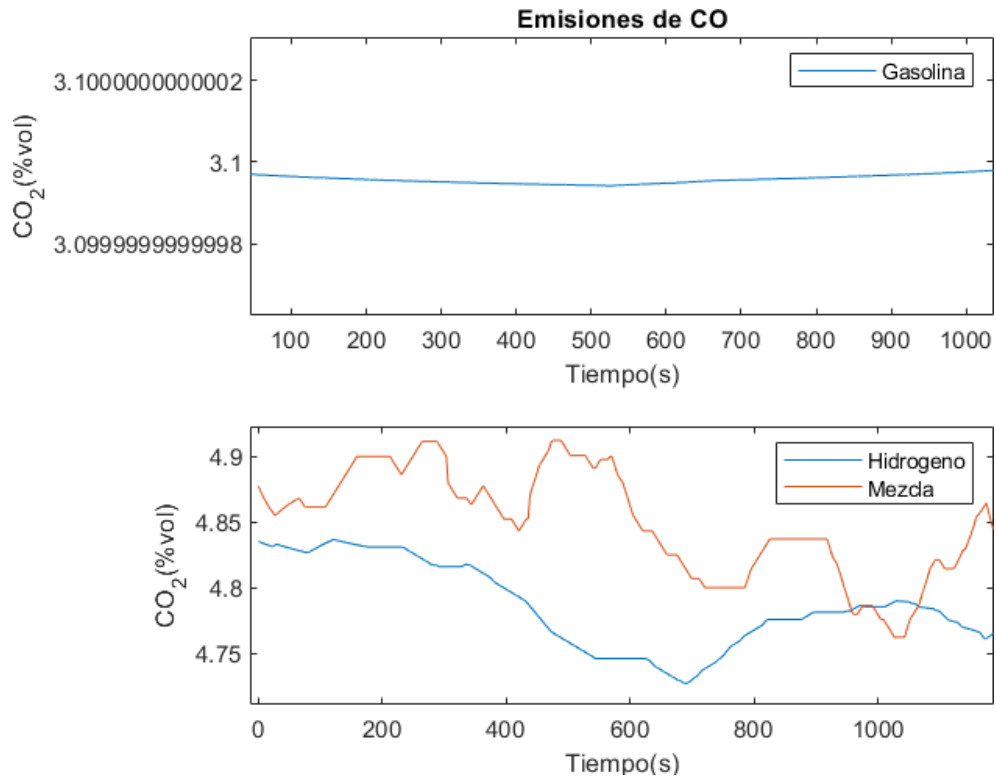


*Nota:* Se puede apreciar la generación de CO cuando se tiene una combustión de mezcla de gasolina y gas hidrógeno Fuente: Autores.

El hidrógeno al ser un gas sin carbono en su estructura molecular al momento de ser combustionado no genera residuos de carbono y la emisión de CO es prácticamente despreciable.

En la **figura 4.17** se observa el porcentaje de emisión de CO<sub>2</sub> de diferentes combustibles, incluyendo gasolina que se encuentra con una gráfica muy estable en su comportamiento con respecto al tiempo, en hidrógeno y mezcla este valor aumenta esto puede ser a diversos factores como la interacción de aceite de motor en el cilindro el O<sub>2</sub> generado por hidrolisis.

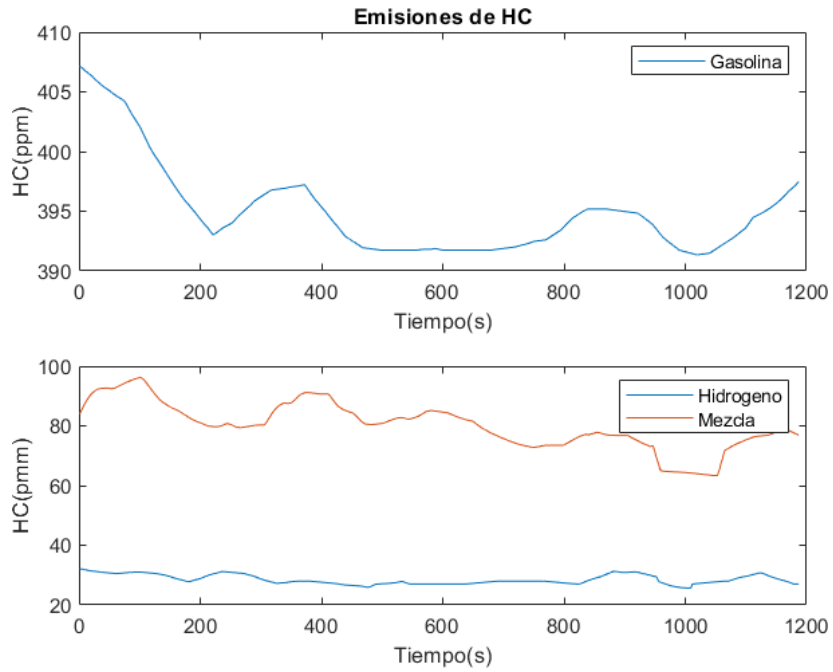
**Figura 4.17** Emisión de CO<sub>2</sub>



*Nota:* Se puede apreciar la generación de CO<sub>2</sub> cuando se tiene una combustión de mezcla de gasolina y gas hidrógeno Fuente: Autores.

En la **figura 4.18** muestra la generación de HC con los tres tipos de combustibles, obteniendo resultados como emisiones de HC un valor máximo de 408 ppm con combustión a gasolina y con combustión mixta un valor de 95 ppm ya que el hidrógeno ayuda a una mejor combustión de la gasolina y con hidrógeno un valor máximo de 32 ppm obtenemos estos valores de HC con hidrógeno ya que puede haber residuos de gasolina no combustionado en el escape de la motocicleta o residuos de aceite que se combustionan en las paredes del cilindro del motor.

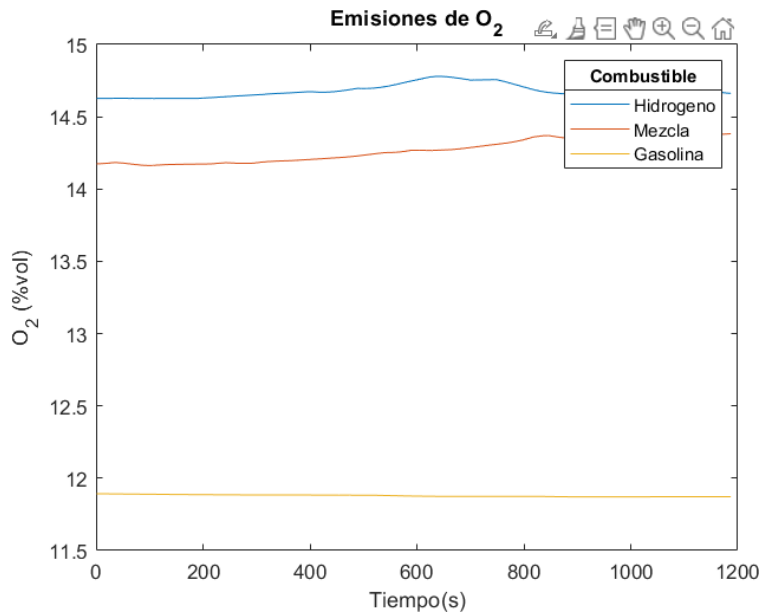
**Figura 4.18** Emisión de HC



*Nota:* Se puede apreciar la generación alta de HC cuando se tiene una combustión de gasolina Fuente: Autores.

En la figura 4.19 indica la generación de O<sub>2</sub> con respecto al tiempo tanto con gasolina es mucho más bajo ya que se necesita O<sub>2</sub> para realizar la combustión es esto genera una disminución de la medición, gasolina-hidrógeno e hidrógeno estos valores aumentan tal que un subproducto de la hidrólisis es O<sub>2</sub> se al no reaccionar completamente sale por el tubo de escape aumenta esta medición aumentando en más de 5(% vol.) entre gasolina y hidrógeno.

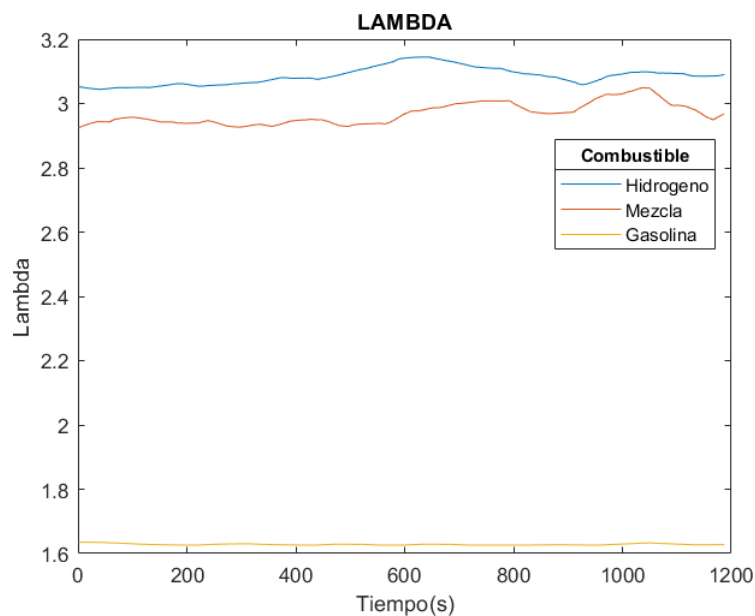
**Figura 4.19** Emisión de O<sub>2</sub>



*Nota:* Se puede apreciar la baja generación de O<sub>2</sub> cuando se tiene una combustión de gasolina Fuente: Autores.

En la figura 4.20 indica una proporción ideal de aire-combustible con los diferentes combustibles, se observa que lambda con combustión mixta tiene un valor de lambda 3.08 y con hidrógeno una lambda máxima de 3.15 y con gasolina una máxima de 1.63, obtenemos estos valores ya que lambda está ligada con el aumento de O<sub>2</sub> mediante cálculo de gases.

**Figura 4.20** Lambda



*Nota:* Se puede apreciar que lambda se comporta de forma similar al O<sub>2</sub> porque estos están estrechamente ligados y este genera el cálculo de lambda Fuente: Autores.

## CONCLUSIONES

- Se ha demostrado la viabilidad de desarrollar un reactor de hidrógeno para la producción de gas hidrógeno como combustible en un motor de combustión interna mono cilíndrico.
- El reactor de hidrólisis adaptado ha generado gas hidrógeno de manera eficiente y puede mantenerlo en funcionamiento continuo del motor con hidrógeno y segura para usarlo en el motor por los equipos de seguridad fabricados en el proyecto, garantizando así la seguridad de su uso y demostrando la correcta implementación del sistema generador de hidrógeno.
- La comparación de las emisiones contaminantes entre el motor de combustión interna convencional y el motor adaptado que funciona con hidrógeno ha demostrado una reducción significativa de emisiones contaminantes. Como es el caso de HC, se ha obtenido una disminución del 85 % aproximadamente, con un valor estable en CO el valor máximo de 0.08 (%vol.), además de aumentar O<sub>2</sub> con mezcla ya en la hidrólisis enriquecemos la mezcla con la obtención de O<sub>2</sub> de la hidrólisis.
- La comparación de emisiones contaminantes con diferente combustible muestra que la eficiencia de combustión para el hidrógeno es más alta ya que el hidrógeno, utilizado en celdas de combustible, produce como único residuo vapor de agua, no contaminando el aire.
- Con hidrógeno las emisiones de monóxido de carbono (CO) son extremadamente bajas, con un promedio de 0.11(%vol.) y una desviación estándar mínima 0.010, las emisiones de hidrocarburos (HC) son prácticamente nulas reduciéndose, obteniendo solo el 6% de las emisiones con gasolina, con un promedio de 28.51 ppm y una desviación estándar baja (2.278 ppm).
- Con mezcla gasolina-hidrógeno, las emisiones como monóxido de carbono (CO) se encuentran dentro de los límites aceptables, con un promedio de 0.14(%vol.) y una desviación estándar baja 0.004, emisiones de hidrocarburos (HC) son relativamente bajas obteniendo aproximadamente el 20% de emisión del uso de gasolina, con un promedio de 79.98 ppm y una desviación estándar moderada (11.43 ppm).

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar pruebas dinámicas en motores monocilíndricos adaptados para funcionar con hidrógeno, analizando su desempeño, eficacia y emisiones bajo diversas condiciones operativas.
- Se recomienda utilizar equipos sofisticados para evaluar la factibilidad técnica y económica del uso de hidrógeno en aplicaciones de motores monocilíndricos, considerando la disponibilidad de infraestructura y los costos correspondientes, ya que solo existen equipo enfocados en el uso de combustibles como gasolina, diésel, GLP, entre otros lo que puede generar daños en los equipos
- Realizar estudios a mayor escala para analizar la viabilidad técnica y económica del uso del hidrógeno como combustible en motores de combustión interna.
- Se sugiere emplear el hidrógeno como combustible, asegurando su seguridad y eficiencia ambiental.
- Se recomienda la colaboración de sectores industriales, académicos y gubernamentales para agilizar el progreso y la introducción al mercado de tecnologías sostenibles basadas en el hidrógeno.
- Se sugiere estudiar el ahorro de combustible que se puede obtener con la adición de hidrógeno en motores MEP

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AEADE – Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (s. f.).  
<https://www.aeade.net/>
- Alberto, M. A. S., De València Departamento de Máquinas y Motores Térmicos - Departament de Màquines I Motors Tèrmics, U. P., & De València Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño - Escola Tècnica Superior D'Enginyeria del Disseny, U. P. (2022, 15 octubre). Estudio experimental en motor monocilíndrico del uso de hidrógeno como combustible libre de carbono.  
<http://hdl.handle.net/10251/187798>
- Anderson, J. L., Talpone, J. I., Moré, J. J., & Puleston, P. F. (2023). Generación de energía limpia a base de hidrógeno y pilas de combustible.  
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/154841>
- Armando, O., Dran, G., Gallo, R., Hernández, E., Muñoz, C., Saavedra, R., & Valdez, L. M. (1997). Electrolizador de agua prototipo para la obtención de hidrógeno.  
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79160>
- BBC News Mundo. (2019, 3 abril). ¿Cómo afecta a tu cuerpo la contaminación del aire? BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47786425>
- Bugna, L., Barilá, D., Distel, G., Soria, G., & Gómez, R. (2016). Adaptación de un motor de combustión interna para usar hidrógeno como combustible.  
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77284>
- Brijaldo, M., Castillo, C., & Pérez, G. (10 de Abril de 2021). Principales Rutas en la Producción de Hidrógeno. 23, 2. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/2913/291368646019/>
- Castillo, F. O. (2010, 1 noviembre). Diseño de un prototipo para un sistema de alimentación de gas hidrógeno como combustible alternativo para un motor de ciclo Otto.  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1152>
- Catalina, G. E. C. (2019). *Optimización de la producción de energía de una celda tipo PEM*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18045>



- Cebriá González, Á. (2021/2022). Estudio experimental en motor monocilíndrico .  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/187798/Cebri%20Gonz%20a1lez%20%20%20%20%20%20TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cornejo-Vásconez, D., Rodríguez-Espinosa, F., Guasumba, A., & Toulkeridis, T. (2022). Contrasting Effects of Air Pollution Assessment in two Areas of the Quito Metropolitan District, Ecuador. *La Granja/la Granja*, 36(2).  
<https://doi.org/10.17163/lgr.n36.2022.08>
- Cordava Vasquez, K. J., & Paredes Campoverde, G. E. (2002). Analisis comparativos de la influencia del combustible GLP y Ecopais en los niveles de contaminacion de un vehiculo subcategoria M1 con motor otta para el servicio de taxis en la ciudad de Guayaquil. Rogeli Santiago León Japa.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23654/1/UPS-GT003993.pdf>
- Cortes Marín, E., González Sánchez, H., & Álvarez Mejía, F. (7-12 de 2008). Colombia en la era del alcohol carburante. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 3(2), págs. 120-132. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3214/321428100014.pdf>
- Díaz, J. (Enero de 2016). Estado del arte uso del hidrógeno y hho en aplicaciones automotrices. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/340719811\\_ESTADO\\_DEL\\_ARTE\\_USO\\_DEL\\_HIDRÓGENO\\_Y\\_HHO](https://www.researchgate.net/publication/340719811_ESTADO_DEL_ARTE_USO_DEL_HIDRÓGENO_Y_HHO)
- Fernando, C. S. J. (2014, 1 diciembre). Implementación de un generador de hidrógeno de celda seca en un vehículo Chevrolet Steem 1.6L.  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7354>
- García Mariaca, A., Cendales Ladino, E. D., & Eslava Sarmiento, A. F. (05 de Enero de 2016). Motores de combustión interna (MCI) operando con mezclas de etanol gasolina. 26(1), 75-96. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/911/91145342007/html/>
- Gonzalo, T. M. F. (2023, 1 julio). Análisis comparativo de los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO y HC, en un motor estacionario de cuatro tiempos implementando un generador de hidrógeno por celda húmeda.  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25663>

- Green Source. (2023, 24 marzo). Funcionamiento e instalación de generador de hidrógeno HHO para carros. Better Fuel Technology. <https://www.hho-1.com/hydrogeno-generador-instalacion/?lang=es>
- Industrial Physics. (2024, 15 enero). *La importancia de las pruebas de fugas*. <https://industrialphysics.com/es/base-de-conocimientos/articulos/por-que-son-importantes-las-pruebas-de-fugas/>
- IMF. (2022, 12 diciembre). La década del hidrógeno. <https://www.imf.org/es/Publications/fandd/issues/2022/12/>
- Instituto Mexicano del Transporte. (2023, 15 mayo). *Resumen boletines*. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=396&IdBoletin=149>
- López, L. V. J. C. (2018). Alimentación de un motor monocilíndrico con hidrógeno obtenido a través de la electrólisis del agua. Universidad Nacional de Loja, <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/20360/1/López%20Villacres%20C%20Juan%20Carlos.pdf>
- Mauricio, H. G. F., & Santiago, V. A. F. (2022). Análisis del nivel de contaminación atmosférica ocasionada por la emisión de gases de escape de las motocicletas en la ciudad de Quito. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/5468>
- Madrid Salud. (2024, 11 febrero). Página de Salud Pública del Ayuntamiento de Madrid [Ayuntamiento de Madrid]. Partículas en suspensión y salud. Recuperado 21 de de 2024, de <https://madridsalud.es/particulas-en-suspension-y-salud/>
- Moreno León, J. J. (2011). Gas natural como combustible alternativo para vehículos. Universitat Politècnica de Catalunya, 156. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/41803319.pdf>
- Murranga Peláez, F. (2009). Obtención de gasolinas de alto octano vía rectificación de una nafta craqueada. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3496260>
- Organización Panamericana de la Salud. OPS/OMS Calidad del aire. (2024, 15 febrero). <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

- Ortega Tapia, J. F. (s.f.). Obtención de alcohol como combustible. Recuperado el 24 de 6 de 2024, de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2819/1/Obtenci%20De%20Alcohol%20A%20Partir%20Del%20Tallo%20De%20Ma%20c3%20adz.pdf>
- Pedreira, P., Gulich, E., & Orbaiz, P. (2016). Instalación experimental para la investigación de motores de combustión interna con hidrógeno. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77367>
- Ramírez Martínez, J. A. (05 de 05 de 2017). Diferencias entre proceso de combustión de un mec y un mep. 4. Obtenido de file:///C:/Users/HASSAM/Downloads/pdf-diferencias-entre-proceso-de-combustion-mep-y-mec\_compress%20(1).pdf
- Tamayo, E., Rosales, C., Guzmán, A., & Pazmiño, P. (2016). Efecto del uso de hidrógeno en la potencia y rendimiento de un motor de combustión interna. <https://www.redalyc.org/journal/5722/572261626004/html/#B11>
- The Crazy Channel. (2022, 8 junio). Convierto un motor de gasolina en un motor de agua [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=FN61LrKMLmE>
- US EPA. (2023, 10 mayo). Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente | US EPA. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
- Vega, D., Ocaña, L., & Narváez, R. P. (2015). Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012. Avances En Ciencias E Ingenierías/Avances En Ciencias E Ingenierías (En Línea), 7(2). <https://doi.org/10.18272/aci.v7i2.270>
- Wilfrido, M. T. P. (2018, 1 enero). Análisis de la contaminación de gases de vehículos tipo L1 y L3, mediante el muestreo de emisiones para la determinación de niveles de contaminación en la ciudad de Loja. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15315>
- Xavier, E. G. M. (2023). Desarrollo de una metodología experimental para la determinación del flujo de dosado de hidrógeno para un motor otto de cuatro tiempos. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25897>

## ANEXOS

	<p>Instalación, ubicación de la celda de hidrógeno en la motocicleta</p>		<p>Instalación de elemento válvula antirretorno</p>
	<p>Instalación sistema de mangueras</p>		<p>Sistema completo apagalamas</p>
	<p>Resultado de emisiones como combustible hidrógeno</p>		<p>Resultados de emisiones con combustible gasolina</p>