UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN MOTOR HONDA SOHC DE 110 CC PARA REDUCIR LA EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autores: Egre. Chinchay Pérez Julio Cesar
Bach. Rodríguez Neira Jhan Carlos
Asesores: Dr. García Campos Deibi Eric
Dr. Shimabuku Ysa Ricardo Ángel

Línea de investigación: Eficiencia energética.

JAÉN-PERÚ.

2026

Chinchay Perez Julio C. Y Rodríguez Neira Jhan C.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN MOTOR HONDA SOHC DE 110 CC PARA REDU...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3665075505

Fecha de entrega
30 sep 2026, 10:34 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
30 sep 2026, 10:37 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
ODRIGUEZ__NEIRA-_260930_075054_-_JHAN_CARLOS_RODRIGUEZ_NEIRA.pdf

Tamaño del archivo
2.9 MB

91 páginas

13.410 palabras

88.114 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

3%	Fuentes de Internet
1%	Publicaciones
2%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día jueves 26 de agosto del 2026, siendo las 17:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon
Secretario : Dr. Walter Linder Cabrera Torres
Vocal : Mg. Juan Antonio Labrin Romero

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

( ) Trabajo de Investigación
(X) Tesis
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN MOTOR HONDA SOHC DE 110 CC PARA REDUCIR LA EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES"**.

Presentado por los bachilleres: **Julio Cesar Chinchay Perez** y **Jhan Carlos Rodriguez Neira**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar ( ) Desaprobar (X) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	(16)
c)	Bueno	14, 15	( )
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 ó menos	( )

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.

Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon
Presidente Jurado Evaluador

Dr. Walter Linder Cabrera Torres
Secretario Jurado Evaluador

Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Vocal Jurado Evaluador

Escaneado con CamScanner

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Jhan Carlos Rodriguez Neira y Julio Cesar Chinchay Pérez, egresado de la carrera Profesional de INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA de la Facultad de INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 75321088 y 75691737 respectivamente.

Declaro bajo juramento que:

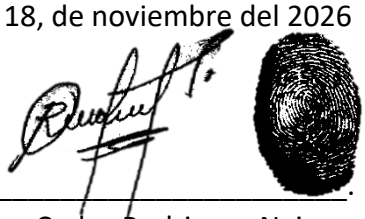
1. Soy Autor del trabajo titulado: **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN MOTOR HONDA SOHC DE 110 CC PARA REDUCIR LA EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES”.**

   Asesorado por **Dr. Deibi Eric García Campos** y **Dr. Ricardo Ángel Shimabuku Ysa**
   El mismo que presento bajo la modalidad de Bachiller para optar; el Título Profesional de ingeniero Mecánico y Electricista. del grado o título a obtener.

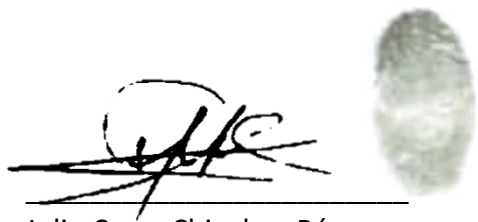
2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 18, de noviembre del 2026



Jhan Carlos Rodriguez Neira
DNI: 75321088



Julio Cesar Chinchay Pérez
DNI: 75691737

INDICE

RESUMEN 7
ABSTRACT 8
I. INTRODUCCION 9
1.1. Problemática 10
1.2. Justificación 11
1.3. Hipótesis: 12
1.4. Objetivos 12
1.5. Antecedentes 13
1.5.1. Antecedentes internacionales 13
1.5.2. Antecedentes nacionales 18
II. MATERIALES Y METODOS 25
2.1. Materiales 25
2.2. Instrumentos de medición 28
2.3. Instrumentos de diseño 31
2.4. Población, muestra y muestreo 33
2.4.1. Población 33
2.4.2. Muestra 33
2.4.3. Muestreo 33
2.5. Método de investigación 34
2.5.1. Objeto de estudio 34
2.5.2. Tipo de investigación 34
2.5.3. Enfoque de investigación 34
2.5.4. Diseño de la investigación 34
2.5.5. Método De Razonamiento 35
2.6. Variable de estudio 35
2.7. Procedimiento 38
III. RESULTADOS 52
3.1. Descripción del sistema experimental 52
3.2. Construcción del sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis. 52
3.3. Implementación del sistema de suministro de hidrógeno para el motor Honda. 54
3.4. Evaluación del desempeño del motor y comparación con su funcionamiento convencional 55

IV. DISCUSIÓN 64
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 66
5.1. Conclusiones 66
5.2. Recomendaciones 67
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 69
DEDICATORIA 72
AGRADECIMIENTO 74
ANEXOS 75

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 29
Especificaciones técnicas del Voltímetros/Amperímetro DC 29
Tabla 2 30
Datos técnicos del analizador de gases contaminantes 30
Tabla 3 31
Rangos de medición del analizador de gases 31
Tabla 4 35
Tipos de variable de estudio 35
Tabla 5 36
Operacionalización de la variable independiente 36
Tabla 6 37
Operacionalización de la variable dependiente 37
Tabla 7 41
Adquisición de materiales. 41
Tabla 8 47
Parámetros de electrólisis según la cantidad de electrolito (KOH). 47
Tabla 9 55
Parámetros de gases contaminantes medidos mediante el analizador de gases. 55
Tabla 10 56
Límites máximos permisibles para vehículos en circulación a nivel nacional(Motores de 4T mayores de 50cc). 56
Tabla 11 61
Análisis comparativo de las emisiones del motor en condición de ralentí 61
Tabla 12 62
Análisis comparativo de las emisiones del motor en condición de media carga (acelerado) 62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 27
Imágenes del electrolito 27
Figura 2 28
Voltímetros/Amperímetro DC 28
Figura 3 30
Analizador de gases 30
Figura 4 38
Diagrama de flujo del procedimiento realizado en la investigación 38
Figura 5 40
Diseño del prototipo en el programa SolidWorks 40
Figura 6 42
Reactor de Celda electrolítica diseñada en SolidWorks 42
Figura 7 43
Plano técnico de los componentes del prototipo 43
Figura 8 44
Esquema eléctrico del sistema generador de hidrogeno 44
Figura 9 44
Inyección de hidrogeno al sistema de admisión del motor 44
Figura 10 45
Instalaciones eléctricas en el vehículo 45
Figura 11 46
Pesado del electrolito hidróxido de potasio 46
Figura 12 49
Empresa de revisiones técnicas vehiculares 49
Figura 13 50
Conexiones del analizador de gases. 50
Figura 14 51
Solución electrolítica de 10 gramos de (KOH) disueltos en 1 litro de agua 51
Figura 15 53
Reactor de celda seca ensamblada 53
Figura 16 54
Implementación del sistema generación de hidrógeno a la moto Honda 110 cc. 54

Figura 17 57
Valores de emisiones contaminantes registrados por el analizador de gases durante el funcionamiento del motor a gasolina en modo ralentí. 57
Figura 18 58
Valores de emisiones contaminantes registrados por el analizador de gases durante el funcionamiento del motor a gasolina a media carga. 58
Figura 19 59
Valores de emisiones contaminantes registrados durante el funcionamiento del motor utilizando hidrógeno como aditivo de la gasolina en modo ralentí. 59
Figura 20 60
Valores de emisiones contaminantes registrados durante el funcionamiento del motor en modo acelerado utilizando hidrógeno como aditivo de la gasolina. 60
Figura 21: 75
Ficha técnica plancha de acero inoxidable aisi-316l 75
Figura 22: 75
Ficha técnica del acrílico 75
Figura 23: 76
Desarrollo del prototipo generador de hidrogeno 76
Figura 24: 76
Instalaciones eléctricas del sistema 76
Figura 25: 77
Corte y ensamble de piezas del prototipo 77
Figura 26: 77
Pruebas de la producción de hidrogeno 77
Figura 27: 78
Pruebas de emisión de gases contaminantes 78
Figura 28: 78
Prototipo generador de hidrogeno 78
Figura 29. 79
Resultados de inspección técnica con hidrogeno como aditivo de la gasolina 79
Figura 30: 80
Resultados de inspección técnica funcionando a gasolina 80
Figura 31 81
Plano general del sistema generador de hidrógeno. 81

RESUMEN

La investigación abordó el problema de las emisiones contaminantes generadas por motores de combustión interna. En este contexto, el objetivo general fue desarrollar e implementar un sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis adaptada a un motor Honda SOHC de 110 cc para evaluar su influencia en la reducción de emisiones contaminantes durante el proceso de combustión. Se aplicó metodología experimental, de tipo aplicada. Se diseño componentes en Solidword y se fabricó el sistema de producción de hidrogeno. Los resultados evidenciaron que, en condición ralentí, los hidrocarburos no quemados (HC) disminuyeron de 1165 ppm a 131 ppm, y el monóxido de carbono (CO) de 2.13 % a 0.88 %, mientras que el dióxido de carbono (CO_2) aumentó de 2.08 % a 2.76 %. En condición de media carga, los hidrocarburos no quemados (HC) disminuyeron de 443 ppm a 236 ppm y el monóxido de carbono (CO) de 6.34 % a 1.45 %, asimismo el dióxido de carbono (CO_2) disminuyó de 7.09 % a 2.82 %. En conjunto, los resultados demostraron que la incorporación del sistema de producción de hidrógeno permitió reducir la emisión de gases contaminantes.

Palabras clave: hidrógeno, sistema, celda.

ABSTRACT

The research addressed the problem of pollutant emissions generated by internal combustion engines. In this context, the general objective was to develop and implement a hydrogen production system based on electrolysis adapted to a 110 cc Honda SOHC engine in order to evaluate its influence on reducing pollutant emissions during the combustion process. An applied experimental research methodology was employed. The system components were designed using SolidWorks, and the hydrogen production system was subsequently manufactured and implemented. The results showed that, under idle operating conditions, unburned hydrocarbons (HC) decreased from 1,165 ppm to 131 ppm, and carbon monoxide (CO) decreased from 2.13% to 0.88%, while carbon dioxide (CO_2) increased from 2.08% to 2.76%. Under medium-load conditions, unburned hydrocarbons (HC) decreased from 443 ppm to 236 ppm, and carbon monoxide (CO) decreased from 6.34% to 1.45%. Likewise, carbon dioxide (CO_2) decreased from 7.09% to 2.82%. Overall, the results demonstrated that the incorporation of the hydrogen production system contributed to a reduction in pollutant gas emissions.

Keywords: hydrogen, system, electrolysis cell

I. INTRODUCCION

La creciente demanda energética a nivel mundial, impulsada por el desarrollo industrial, ha llevado históricamente a adopción de diversos métodos de generación de energía. Sin embargo, el modelo energético actual depende drásticamente de los combustibles fósiles, recursos no renovables, cuya progresiva escasez obliga a una transición urgente hacia energías renovables. Esta transición no solo responde a la seguridad energética, sino también a la crisis de contaminación ambiental.

En este contexto, el Estado Peruano ha establecido compromisos ambientales significativos, como la reducción del 40% de las gases de efecto invernadero (GEI) al año 2030, conforme a lo planteado por el Ministerio de Ambiente (MINAM, 2020). No obstante, el principal desafío de alcanzar este objetivo se ve reflejado en la alta dependencia de motores combustión interna en el parque automotor nacional, el cual contribuye a una de las mayores fuentes de emisiones de dióxido de carbono (CO_2), y monóxido de carbono (CO).

La investigación se sustenta frente a la necesidad de encontrar alternativas orientadas a reducir las emisiones contaminantes, entre las que destacan la electrificación del transporte (motores eléctricos y baterías), el uso de biocombustibles, y de manera creciente, la incorporación del hidrogeno como vector energético que se posiciona como una de las alternativas más prometedoras debido a su alto contenido energético y su potencial para generar una combustión limpia, su obtención requiere de procesos como la electrólisis del agua.

1.1. Problemática

En la actualidad, la contaminación del aire se ha convertido en uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial, debido a sus efectos directos sobre la salud de la población y contribución al cambio climático. Según la Organización de Naciones Unidas (2024), cada año millones de personas fallecen como consecuencia de enfermedades relacionadas con la exposición a gases contaminantes, principalmente originados por el sector industrial y el parque automotor.

Según Casio y Huayna (2024), el Perú es uno de los principales consumidores de combustibles fósiles como la gasolina y el diéses, los cuales son ampliamente utilizados en el sector transporte. Esta dependencia genera una preocupación creciente por su impacto ambiental, ya que estos combustibles son responsables directos de la emisión de dióxido de carbono (CO_2) y monóxido de carbono (CO), principales gases de efecto invernadero y contaminantes del aire.

La provincia de Jaén enfrenta un creciente problema de contaminación del aire, generado principalmente por la gran cantidad de vehículos menores especialmente motocicletas. Según datos de la Municipalidad Provincial de Jaén, en la ciudad existen aproximadamente 30 000 vehículos de este tipo, de los cuales 17 000 son mototaxis y 13 000 motos lineales. La mayoría de estos vehículos funcionan básicamente con motores de combustión interna, emitiendo gases nocivos que contribuyen al deterioro de la calidad del aire y al aumento de los niveles de gases de efecto invernadero.

Ante este escenario, resulta urgente evaluar medidas destinadas a mitigar las emisiones del parque de vehículos menores. Ante ello, nos planteamos la siguiente interrogante:

¿De qué manera influye la implementación de un sistema de producción de hidrógeno por electrólisis en el sistema de admisión de un motor Honda SOHC de 110 cc sobre la reducción de las emisiones contaminantes?

1.2. Justificación

Se justifica socialmente porque el estudio plantea disminuir la contaminación ambiental a partir de vehículos ya existentes, para beneficiar a la población que utiliza unidades vehiculares de combustión interna, quienes podrían considerar esta alternativa. Asimismo, un ambiente menos contaminado influye favorablemente en la salud de las personas.

Se justifica teóricamente porque genera evidencia sobre la aplicación de sistemas de producción de hidrogeno mediante electrolisis como aditivo del combustible en motores de combustión interna de baja cilindrada. De esta manera, el estudio contribuye a reducir el vacío de conocimiento existente sobre la aplicación de esta tecnología.

Se justifica ambientalmente porque evalúa el efecto del uso del hidrogeno como aditivo del combustible tradicional sobre las emisiones contaminantes de un motor, para contribuir a la mitigación del impacto ambiental y al mejoramiento de la calidad del aire.

Se justifica económicamente porque el estudio representa una base para futuros emprendimientos, tales como talleres mecánicos en los que eventualmente se podrían realizar conversiones de sistemas convencionales a sistemas de uso dual gasolina-hidrógeno, para generar nuevas oportunidades de trabajo y contribuir el desarrollo económico.

La investigación se justifica tecnológicamente porque permitió desarrollar e implementar un sistema generador de hidrógeno mediante electrólisis, diseñado específicamente para su integración en un motor Honda SOHC de 110 cc.

1.3. Hipótesis:

La implementación del sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis, integrado al sistema de admisión de un motor Honda SOHC de 110 cc, permitirá reducir las emisiones de hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO_2)

1.4. Objetivos

1.4.1.-Objetivo General.

Desarrollar un sistema de producción de hidrógeno aplicado en motor Honda SOHC de 110 CC para reducir la emisión de gases contaminantes producidas en el proceso de combustión.

1.4.2.- Objetivo Específicos.

- Construir sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis.
- Implementar el sistema de suministro de hidrógeno para el motor Honda SOHC de 110 CC.
- Evaluar el desempeño del motor y compararlo con su funcionamiento convencional.

1.5. Antecedentes

1.5.1. Antecedentes internacionales

Recientemente, en la investigación desarrollada en Ecuador por Marcillo et al. (2024), se propuso la electrólisis como estrategia para reducir el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes, mediante un sistema alternativo de hidrógeno. Para las pruebas de metodología experimental, se utilizó un motor gasolinero Aveo Family 1,5 litros, evaluando el consumo de combustible y la emisión de gases, antes y después de la instalación del sistema de hidrógeno. El experimento se desarrolló con una batería y celdas de acero inoxidable de 10 cm x 15 cm, y una solución de agua con bicarbonato. El sistema de ignición fue controlado por sistemas de inyección electrónica que utilizando sensores monitorean los parámetros de temperatura, vacío y revoluciones del motor, las pruebas se realizaron en condiciones ambientales. Los resultados evidenciaron un ahorro combustible del 5 %, lo cual reduce la emisión de gases contaminantes. Además, se registró un incremento en la eficiencia del motor de la autonomía del vehículo de 9,5 a 9,97 kilómetros por litro. En conclusión, los autores determinaron que el proceso de la electrolisis es una alternativa tecnológica viable para la producción de hidrogeno verde, aportando de manera significativa a la sostenibilidad ambiental, Este antecedente brinda evidencia fundamental sobre la factibilidad técnica del enriquecimiento con hidrógeno en motores de combustión. Aunque Marcillo et al. evaluaron un motor automotriz de 1.5 L de inyección electrónica, su estudio se relaciona con este trabajo al validar que la adición de gas de hidrogeno. La presente investigación toma como base dicha viabilidad para transferir el concepto a un motor mono cilíndrico carburado de baja cilindrada (110 cc), donde los sistemas de control de mezcla no son electrónicos y la dinámica de admisión difiere significativamente

Por otro lado, la tesis de Uquillas (2024), se centró en analizar las emisiones contaminantes en motocicletas equipadas con un sistema de inyección de hidrógeno, con el

propósito de comparar los parámetros de los gases emitidos por estos vehículos. La metodología empleada fue experimental. El estudio se realizó en dos modelos de motocicletas: Royal Enfield Hunter 350 y Yamaha XTZ 150. Para la generación del hidrógeno se utilizó un prototipo de celda seca, compuesto por placas de acero inoxidable tipo 316L, dispuestas en una configuración de dos cátodos (placas negativas) en los extremos, un ánodo (placa positiva) en el centro y cuatro placas neutras intercaladas que funcionan como aislantes. El sistema fue alimentado por una batería de 12 voltios, utilizando como electrolito una solución compuesta por 25% de hidróxido de sodio (NaOH) y el 75% de agua destilada. El hidrógeno generado fue utilizado como combustible aditivo, inyectado en el sistema de admisión antes del filtro de aire. La cantidad de gas suministrado se reguló mediante la apertura de una válvula en los siguientes porcentajes (0%, 33%, 66% y 100%). En particular, con una apertura del 66% de la válvula se obtuvo los siguientes resultados: Disminución del 2,52 % en el volumen de CO2, reducción del 0.13 % en volumen de CO, concentración de 82,4 (ppm) de hidrocarburos no quemados y un aumento del 3,24 % en volumen de O2 en los gases de escape. En conclusión, los resultados evidencian una disminución en la emisión de gases contaminantes, así como una mejora en la combustión mediante el uso de un sistema de inyección electrónica, el cual permite una dosificación más eficiente del combustible, El trabajo de Uquillas guarda una estrecha relación, al emplear una motocicleta, celda seca con placas AISI 316L y adición de gas en la admisión. Sin embargo, mientras Uquillas analizó motocicletas de mediana cilindrada (150 cc y 350 cc) con inyección electrónica, la presente tesis se realizó en un motor honda 110cc.

Herdoiza (2022), planteó como objetivo la construcción de un prototipo para la producción de hidrógeno mediante el proceso de electrólisis, utilizando métodos convencionales para cuantificar la cantidad de gas producido. En el desarrollo de la metodología experimental, la construcción se llevó a cabo con materiales acordes al proyecto. Para el recipiente se utilizó un material que sea resistente al ataque de ácidos como el

polipropileno y electrodos de acero inoxidable 304. El electrolito estuvo conformado de agua destilada con hidróxido de sodio y la celda fue alimentada por una batería de 12 voltios. Para la cuantificación del hidrógeno, el gas fue conducido hasta una probeta volumétrica llena de agua para tomar la medida de cuanto volumen es extraído en un determinado tiempo. Entre los resultados más destacados, se obtuvo una producción de 470,43 cm^3/min de hidrógeno con conexión en paralelo, mientras que con conexión en serie se produce una cantidad de 42 304,66 cm^3/min de hidrógeno demostrando la influencia del tipo de conexión. Además, se comprobó que la adición de hidróxido de sodio (NaOH) como electrolito mejora la conductividad eléctrica del agua incrementando la eficiencia del proceso de electrolisis. En conclusión, el autor señala que una alternativa más eficiente para la producción de hidrógeno sería el uso de electrolizadores tipo PEM (Membrana de Intercambio de Protones), debido a su configuración compacta y facilidad de construcción; sin embargo, estos no fueron empleados en el prototipo desarrollado, dado que sus materiales son de difícil acceso y presentan un costo económico elevado, Este antecedente fundamenta el aspecto metodológico del diseño electrolítico y la selección de catalizadores. La investigación de Herdoiza se articula con el presente estudio al ratificar el uso de soluciones alcalinas y alimentación a 12 V. No obstante, difiere en que Herdoiza se limitó a la generación y caracterización volumétrica del gas de manera aislada; el presente trabajo extiende dicho conocimiento aplicándolo de manera operativa e integrada al sistema de admisión del motor Honda 110 cc para evaluar la emisión de gases contaminantes.

Asimismo, el estudio realizado por González et al. (2018), se enfocó en la evaluación de un generador de gas HHO (hidro-oxígeno) mediante celda seca, diseñado para mejorar el desempeño de motores de combustión interna alimentados a gasolina. La investigación de metodología experimental, analizó cómo la adición de HHO podría afectar la eficiencia térmica y las emisiones contaminantes. En particular, los autores construyeron una celda seca cuyos electrodos fueron placas de acero inoxidable, donde las dimensiones, número de placas y

conexión eléctrica (serie/paralelo), fueron ajustados para optimizar la producción de HHO, empleando una solución electrolítica y una fuente de tensión adecuada. El gas generado fue incorporado al sistema de admisión del motor como aditivo al combustible convencional. Entre los resultados más relevantes demostraron que el tiempo requerido para consumir 10 mL de gasolina aumento ligeramente al incorporarse el gas HHO: Un 2.7% a 5000 RPM, 3.7% a 6000 RPM y 8.5% a 7000 RPM, lo cual indica un menor consumo de gasolina durante el funcionamiento. En cuanto a la eficiencia mecánica los valores obtenidos fueron 0.87 con sistema HHO y 0.88 sin el, lo cual representa una diferencia mínima. Asimismo, con el analizador de gases se registró una disminución del monóxido de carbono (CO) entre 13 % y 18 %, un incremento del dióxido de carbono (CO_2) entre 5 % y 9 %, una reducción del oxígeno (O_2) del 20 %, y una disminución de los hidrocarburos (HC) sin quemar entre 30 % y 54 %, evidenciando una combustión más completa y eficiente. En conclusión, los resultados confirman que la incorporación del gas HHO en motores de combustión contribuye a una reducción significativa de las emisiones contaminantes y a una mejor utilización del combustible, aunque presenta efectos marginales sobre la potencia y eficiencia mecánica. Este antecedente coincide con la presente investigación en la utilización de un sistema generador de gas HHO mediante electrólisis como aditivo al combustible y en la evaluación de su efecto sobre las emisiones contaminantes de un motor de combustión interna, sirviendo de referencia para comparar niveles de reducción de emisiones y diseño del prototipo.

Marin y Jiménez (2021), diseñaron una celda de hidrógeno para implementarla en un motor de combustión interna. La metodología tuvo un enfoque experimental, considerando para la fabricación del prototipo, un recipiente conformado por siete placas de acero inoxidable AISI 304L, de las cuales 5 son placas neutras y las otras dos son electrodos (positivo y negativo), ensambladas mediante empaques de elastómeros de 3mm de espesor y sujetados con pernos para garantizar la durabilidad del sistema. La celda fue alimentada por el sistema

eléctrico del vehículo, operando en un rango de 13,5 a 14,5 voltios continuos y una corriente de 4 amperios. Como electrolito se empleó agua destilada desmineralizada, utilizando el hidróxido de potasio (KOH) y Hidróxido de sodio (NaOH) como catalizadores para mejorar la conductividad eléctrica. Además, se utilizó un depósito burbujeador donde el gas es transportado con la finalidad de ser purificado y a la vez actuar como válvula antirretorno. El hidrógeno producido fue utilizado como aditivo del combustible convencional, siendo inyectado directamente al múltiple de admisión del motor. Entre los resultados más relevantes se obtuvo que la celda electrolizadora suministró una capacidad de 0,251 litros/min de HHO para un motor de 1,4 litros; verificándose una disminución del 0,22 % en volumen de CO, reducción del 0,21 % en volumen de O2, disminución de 143 ppm de hidrocarburos no quemados y un aumento del 0,3% en volumen de CO2 en los gases contaminantes. Se evidenció que cuando la solución se forma con hidróxido de potasio la producción es de $5,85x10^{-6}$ litros/minuto mayor, en comparación con el hidróxido de sodio. En conclusión, se determinó una reducción significativa de los contaminantes tras la implementación del sistema generador de hidrógeno, El trabajo de Marín y Jiménez contribuye directamente a la definición del diseño conceptual de esta tesis, especialmente en la selección de KOH sobre NaOH como electrolito debido a su mayor conductividad y tasa de producción de gas, así como en la necesidad de incluir un burbujeador de seguridad. Su articulación con el problema investigado radica en validar la celda seca como sistema aditivo; sin embargo, se distingue en que el motor de 110 cc abordado en esta investigación posee una capacidad de generación eléctrica más ajustada, lo que exige un dimensionamiento energético riguroso del reactor.

1.5.2. Antecedentes nacionales

En la tesis desarrollada por Baltazar (2020), el objetivo principal fue el diseño y construcción de un generador de hidrógeno basado en celdas electrolíticas, destinado a ser integrado en un motor Volkswagen de 1,5 litros con la finalidad de mejorar su rendimiento y reducir su impacto ambiental. La investigación de metodología aplicativa y de diseño ingenieril se enfocó en el desarrollo de una celda seca compuesta por un depósito de polietileno que alberga trece placas metálicas de acero inoxidable AISI 316, dispuestas en forma rectangular. Estas se encuentran separadas por catorce láminas de caucho utilizadas como pasantes con sus respectivas tuercas. Para facilitar la electrólisis se empleó una solución al 20% de hidróxido de sodio (NaOH). La fuente de alimentación del sistema fue una batería de 12 voltios del propio vehículo, conectada mediante un interruptor eléctrico, el cual activaba el generador de hidrógeno 3 minutos después del calentamiento del motor. El hidrógeno producido fue suministrado como aditivo de la gasolina inyectándose directamente al colector de admisión del motor. Entre los resultados más relevantes, se logró el diseño y construcción de un generador de hidrógeno utilizando electrodos de acero inoxidable, el cual fue implementado en un motor Volkswagen de 1.5 L. Mediante el uso del analizador de gases JEVOL, se comprobó una reducción del 11 % en la concentración de hidrocarburos (HC), medida en partes por millón (ppm), en comparación con el funcionamiento del motor empleando únicamente gasolina convencional. En cuanto a la potencia y rendimiento, no se registraron variaciones significativas. En conclusión, el estudio demostró que la incorporación de un generador de hidrógeno constituye una alternativa tecnológica viable para disminuir las emisiones contaminantes. Asimismo, se evidenció que la producción de hidrógeno mediante electrólisis puede implementarse de manera económica, funcional y con materiales accesibles, lo que refuerza su aplicabilidad en sistemas automotrices convencionales. Este antecedente es de gran relevancia, ya que presenta similitudes con la presente investigación al emplear la electrólisis

para producir hidrógeno y suministrarlo como aditivo al combustible con el propósito de reducir las emisiones contaminantes. Sin embargo, difiere en el tipo de motor evaluado, ya que Baltazar trabajó con un motor Volkswagen de 1,5 L, mientras que la presente investigación se desarrolla en un motor Honda SOHC de 110 CC.

Puican (2024), tuvo como objetivo principal diseñar un reactor de hidrógeno para ser integrado en un motor de combustión interna a gasolina, con el propósito de mejorar la eficiencia de consumo y reducir el impacto ambiental. La metodología de enfoque aplicado y preexperimental, consideró el uso del software SolidWorks para diseñar la estructura del reactor, el reservorio de electrolito y todos los complementos necesarios para su operación. El prototipo construido estuvo conformado de 11 placas octogonales de acero inoxidable 316L, de las cuales 3 fueron placas conductoras y 8 neutras. La fuente de alimentación utilizada fue una batería de 12 voltios, protegida por un fusible de 15 amperios, lo cual garantizó la seguridad del sistema. El gas producido por electrólisis fue canalizado por mangueras de alta presión hacia el sistema de admisión, sin inyección directa al cilindro siendo utilizado como aditivo del combustible convencional. Entre los resultados más relevantes se logró instalar el sistema en un motor de 150 cm^3 y se realizaron pruebas experimentales alcanzando generar 1525,48 cm^3/min de gas HHO, y permitió una reducción de 9.86 % en el consumo de combustible. En la evaluación de gases contaminantes se observó una disminución del 12.6 % en CO2, una reducción del 20.2% en HC (hidrocarburos no quemados) y una mejor combustión. En conclusión, esta investigación demostró que la incorporación de un generador de hidrogeno tipo celda seca constituye una alternativa eficiente y sostenible para optimizar el proceso de combustión y reducir las emisiones contaminantes. Este estudio presenta similitudes con la presente investigación, ya que ambos desarrollan e implementan un sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis utilizando una celda seca, alimentada por una batería de 12 V, con el objetivo de emplear el hidrogeno como aditivo del combustible para reducir las

emisiones contaminantes. No obstante, existen diferencias en el diseño del reactor, la configuración de las placas, la cilindrada del motor evaluado y las variables analizadas. Mientras Puican (2024) priorizó la evaluación de la producción de hidrogeno y del ahorro de combustible en un motor de 150 cm^3, la presente investigación se centra en el desarrollo e implementación del sistema en un motor Honda SOHC de 110 cc.

A continuación, la tesis de Vasquez (2022), de metodología tipo aplicada con un alcance descriptivo y explicativo, consideró diseñar una máquina generadora de hidrógeno mediante el proceso de electrólisis, destinada a ser utilizada como fuente de combustible en vehículos híbridos. El diseño fue realizado utilizando el software CAD/CAE SolidWorks, y se proyectó una estructura cúbica de 28 cm de lado. El sistema cuenta con dos electrodos de acero inoxidable AISI 309 (ánodo y cátodo), cada uno con una longitud de 20 cm. La solución electrolítica empleada consistió en una mezcla de hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de sodio (NaOH). La unidad se alimentó de la batería del vehículo, operando en un rango de tensión de 13,5 a 14,5 voltios, e incorporando elementos de protección eléctrica como fusibles y interruptores. El hidrógeno producido por la celda electrolítica fue conducido hacia un burbujeador, para su purificación, y posterior mezclado con el aire de admisión del motor, funcionando como aditivo complementario al combustible convencional. Entre los resultados más destacados se estimó que el sistema requiere 0.32 kWh de energía eléctrica por hora para operar, lo cual logra generar 2,748 litros de hidrógeno durante 30 minutos, lo que equivale a una tasa de generación de aproximadamente 5,496 litros/hora. En conclusión, esta tesis demostró la viabilidad técnica y económica de generar hidrogeno mediante el proceso de la electrolisis para su uso en vehículos híbridos, asimismo el estudio confirmó que el uso de hidrogeno como vector energético puede reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir la contaminación ambiental. Entre los principales resultados se estimó que el sistema requiere 0,32 kWh de energía eléctrica por hora para su funcionamiento y que es capaz de

producir 2,748 litros de hidrógeno en 30 minutos, equivalente a una tasa aproximada de 5,496 L/h. En conclusión, se demostró la viabilidad técnica y económica de la producción de hidrógeno mediante electrólisis como vector energético complementario para reducir la dependencia de combustible fósiles y reducir el impacto ambiental. Este estudio presenta similitudes con la presente investigación al emplear el proceso de electrólisis para producir hidrógeno utilizando una alimentación eléctrica proveniente de la batería del vehículo y al utilizar el gas generado como complemento del combustible convencional. Sin embargo, existen diferencias Vásquez (2022) orientó su investigación al diseño de un sistema para vehículos híbridos, priorizando la estimación de la producción de hidrógeno y el análisis de la viabilidad energética del prototipo, la presente investigación se desarrolla en un motor Honda SOHC de 110 cc de combustión interna convencional y evalúa experimentalmente el efecto del hidrógeno sobre la reducción de las emisiones contaminantes.

Asimismo, la tesis realizada por Casio y Huayna (2024), tuvieron como objetivo implementar un sistema generador de hidrógeno para evaluar el desempeño de un motor de ciclo Otto. El estudio de metodología experimental y enfoque cuantitativo consistió en construir el generador de hidrógeno con cinco placas de acero inoxidable con recubrimiento de níquel, cada una con dimensiones de 12,5 x 16,5cm, complementadas por placas de acrílico que conformaron la estructura de la celda seca. El sistema operó con una batería automotriz de 12 voltios y un consumo promedio de 1,5 amperios, utilizando una solución de hidróxido de sodio (NaOH) como electrolito para aumentar la conductividad del agua. El hidrógeno generado por electrólisis fue suministrado directamente al sistema de admisión de un motor Honda mono cilíndrico de cuatro tiempos, funcionando como aditivo del combustible. Entre los resultados más relevantes, se logró la construcción y operación del generador de hidrógeno, el cual suministró 0,000089 kg/s de hidrógeno, equivalente al 38,7% de la potencia térmica requerida por el motor a una carga de 30,66 kW. Para esta configuración se utilizó 0,446

galones de gasohol de 90 octanos y se observó una reducción de 3,826 kg a 2,115 kg de CO2 tras 500 horas de operación. En conclusión, el estudio demostró que la implementación del generador de hidrógeno por electrólisis aplicado en un motor es técnica y económicamente viable. La adición parcial de hidrógeno al combustible convencional de gasohol de 90 octanos permitió una disminución de 50% en el consumo de combustible y una reducción del 45% en las emisiones de dióxido de carbono, sin afectar la potencia del grupo electrógeno. Este estudio presenta similitudes con la presente investigación, ya que ambas emplean un sistema de producción de hidrógeno por electrólisis para suministrar el hidrogeno como aditivo al combustible convencional, utilizando una batería de 12 V y evaluando el comportamiento del motor a partir de indicadores de desempeño y emisiones contaminantes. Sin embargo, existen diferencias Casio y Huayna (2024) evaluaron un motor de ciclo Otto acoplado a un grupo electrógeno, utilizando gasohol de 90 octanos y enfocándose principalmente en el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, la presente investigación se desarrolla en un motor Honda SOHC de 110 cc, donde se evalúa el efecto del hidrógeno sobre las emisiones contaminantes.. En consecuencia, este antecedente aporta evidencia sobre la viabilidad técnica del uso del hidrógeno como aditivo del combustible; sin embargo, también pone de manifiesto la necesidad de ampliar la evidencia experimental en motores de pequeña cilindrada empleados en motocicletas, aspecto que la presente investigación busca desarrollar.

De igual manera la tesis de Núñez (2022), tuvo como objetivo evaluar el uso de hidrógeno como complemento del combustible en un motor D13B2 de ciclo Otto. La investigación se enmarcó en una metodología experimental, centrada en el diseño y construcción de un generador de hidrógeno mediante una celda seca, modelada previamente con el software AutoCAD 3D. Para la fabricación del prototipo se emplearon placas de acero inoxidable 316L, con dimensiones de 11,2 cm x 11,2 cm y espesor de 1,5 mm. El diseño incluyó el arreglo de seis celdas electrolíticas, compuesto por dos electrodos negativos y un electrodo

positivo, configurado de manera estratégica para maximizar la producción de hidrógeno. El sistema fue alimentado por una batería de 12 voltios con corriente de 8,5 amperios. Como electrolito se utilizó una solución de agua destilada mezclada con hidróxido de sodio (NaOH) al 5% en peso por litro de agua. El hidrógeno producido fue incorporado como aditivo y se inyectó directamente en la mezcla aire - combustible del motor D13B2. Entre los resultados más relevantes se destaca la generación de un caudal de 0,6 litros/minuto de hidrógeno permitiendo alcanzar una reducción del 35 % en el consumo de gasolina, sin comprometer el rendimiento del motor. Asimismo, se evidenció una disminución del 35 % en las emisiones de gases contaminantes como CO2, CO y HC, y una reducción del 40 % en la emisión de partículas sólidas y líquidas (PM), asociadas al proceso de combustión. En conclusión, esta investigación demostró que es técnicamente viable integrar el hidrogeno como combustible complementario en motores de ciclo Otto convencionales, sin requerir modificaciones estructurales profundas. Este sistema permitió producir hidrogeno en tiempo real aprovechando la energía eléctrica del propio vehículo. Este estudio presenta similitudes con la presente investigación, ya que ambas emplean una celda seca, batería de 12 V como fuente de alimentación e incorporan el hidrógeno como aditivo del combustible con el propósito de reducir las emisiones contaminantes. Sin embargo, existen diferencias en el motor evaluado, el diseño de la celda electrolítica y las variables de análisis. Núñez (2022) desarrolló su investigación en un motor D13B2 de ciclo Otto, evaluando principalmente el consumo de combustible y las emisiones de CO_2, CO, HC y PM, la presente investigación se desarrolla en un motor Honda SOHC de 110 cc, centrándose en el diseño e implementación del sistema de producción de hidrógeno y en la evaluación experimental de las emisiones de HC, CO y CO_2. En consecuencia, este antecedente aporta criterios técnicos para el diseño de la celda, la configuración del sistema y las condiciones de operación.

En conjunto, los antecedentes nacionales e internacionales revisados evidencian una tendencia hacia el desarrollo e implementación de sistemas de producción de hidrogeno mediante electrólisis como tecnología complementaria para motores de combustión interna. La mayoría de las investigaciones coinciden en emplear celdas electrolíticas tipo seca fabricadas con acero inoxidable, alimentadas por la batería del vehículo e integradas al sistema de admisión, reportando reducciones en las emisiones de hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO). Sin embargo, se identifican diferencias en el diseño de los prototipos, los tipos y concentraciones de electrolitos utilizados, las condiciones de operación y los motores evaluados, lo que explica la variabilidad de los resultados obtenidos. Asimismo, se observa una limitada evidencia experimental en motores de baja cilindrada, particularmente en motores Honda SOHC de 110 cc, lo que evidencia un vacío de conocimiento respecto al comportamiento de las emisiones contaminantes bajo estas condiciones específicas. En este contexto, la presente investigación busca aportar evidencia experimental que contribuya a fortalecer el conocimiento sobre la aplicación de sistemas de producción de gas HHO en este tipo de motores.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1. Materiales

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales:

2.1.1.-Materiales de uso general

- **Motocicleta de prueba**

Se seleccionó una motocicleta Honda CB 110 debido a que representa un motor de pequeña cilindrada ampliamente utilizado en el transporte urbano, lo que permite evaluar la implementación del sistema de producción de hidrogeno en condiciones reales de operación. Sobre esta unidad se instaló el prototipo y se realizaron las pruebas experimentales para evaluar las emisiones contaminantes.

- **Batería 12 Voltios**

La batería es la fuente de energía eléctrica, su función fue suministrar corriente y voltaje a la celda electrolítica.

- **Recipiente tipo burbuja**

Componente de plástico herméticamente sellado, provisto de dos entradas y salidas para la circulación de agua y gas. Su función es contener la solución electrolítica (agua mezclada con electrolito, hidróxido de sodio o potasio). Fue elegido por su resistencia a los gases.

- **Filtro**

Este componente tiene la función de purificar el gas generado, se eligió porque permite retener impurezas y reducir la humedad, asegurando que el hidrogeno llegue en condiciones adecuadas al sistema de admisión del motor.

- **Relé - GE0005**

Este dispositivo electromecánico se utilizó para proteger y controlar el suministro de energía a la celda electrolítica, evitando consumo innecesario de la batería y granizando un funcionamiento seguro.

- **Mangueras de caucho sintético**

Componente elegido porque es flexible y resistente, se utilizó para que transporte de manera segura el gas generado entre los diferentes componentes del sistema generador de hidrogeno. Además, permite la conexión entre elementos sin afectar la continuidad del flujo.

- **Cables eléctricos**

Se seleccionó un conductor de cobre calibre 14 AWG debido a que posee una capacidad de conducción de 20 A, superior a la corriente máxima de operación del sistema (7 A). Encargados de transportar energía eléctrica desde la fuente de alimentación (batería) hacia el voltímetro, amperímetro, switch y la celda electrolítica.

2.1.2.-Materiales para la construcción de la celda electrolítica

- **Placas de acrílico (PMMA, polimetilmetacrilato)**

Se seleccionó acrílico para conformar las tapas estructurales exteriores de la celda seca debido a su rigidez mecánica, bajo peso, impermeabilidad y excelente resistencia a reactivos químicos moderados y soluciones alcalinas.

- **Placas de acero inoxidable 316L**

se seleccionó este material debido a su elevado contenido de molibdeno, lo que le otorga una alta resistencia a la corrosión picante y al ataque químico continuo en medios altamente

alcalinos (soluciones de KOH y NaOH). Asimismo, presenta una adecuada conductividad eléctrica y estabilidad estructural frente a los procesos foto-electroquímicos de transferencia de electrones durante la producción del gas de hidrogeno.

2.1.3.-Materiales utilizados como solución electrolítica

- **Electrolito (hidróxido de potasio e hidróxido de sodio)**

Se seleccionaron estos reactivos de grado técnico debido a su elevada capacidad de disociación iónica en medio acuoso, lo que maximiza la conductividad eléctrica del agua destilada y reduce la sobretensión de la celda electrolítica. Se priorizó el uso del KOH frente al NaOH por su menor resistencia específica y mayor movilidad iónica en solución, optimizando la tasa de generación de gas de hidrogeno con un menor consumo térmico.

Figura 1

Imágenes del electrolito



Fuente: Fotografía tomada por los autores

2.2. Instrumentos de medición

- **Voltímetro/Amperímetro DC**

Instrumento de medición eléctrica que permitió medir, controlar y monitorear de manera simultánea el voltaje (V) y corriente (A) consumida por la celda electrolítica. Parámetros fundamentales que influyen directamente en la eficiencia de producción de hidrogeno.

Figura 2

Voltímetros/Amperímetro DC



Fuente: *https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/244-voltimetro-amperimetro-dc-0-100v-0-10a.html*

Tabla 1

Especificaciones técnicas del Voltímetros/Amperímetro DC

Voltímetro/Amperímetro DC 0-100V 0-10ª	
Voltaje de alimentación	*4.5V - 30V DC*
Consumo de corriente	*<20mA*
Voltaje de medición	*0-100 VDC*
Corriente de medición	*0-10A*
Resolución	*0.1V/0.1A*
Periodo de refresco	*0.5s*
Color de display	*Rojo y Azul*
Display de dígitos led	*7-seg 0.28"*
Temperatura de trabajo	*-10ºC a +65ºC*
Agujero de montaje	*45.5*26.5 mm*
Dimensiones	*48*29*21 mm*
Peso	*19 gramos*

Fuente:*https://naylampmechatronics.com/sensores-corriente-voltaje/244-voltimetro-amperimetro-dc-0-100v-0-10a.html*

- **Cronómetro.**

Se utilizó para controlar el tiempo de funcionamiento del sistema y la duración de cada prueba experimental.

- **Analizador de gases**

El analizador de gases JEVOL JVE-501, es un instrumento de medición fundamental en la investigación, su función es cuantificar las emisiones contaminantes generadas por el motor, tales como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrocarburos (HC)y óxidos de nitrógeno (NOx). Su función principal fue evaluar y comprobar la reducción de gases

contaminantes. Previo al desarrollo de las pruebas, se verifico el correcto funcionamiento y calibración del analizador de gases.

Figura 3

Analizador de gases



***Fuente**:* Fotografía tomada por los autores

Tabla 2

Datos técnicos del analizador de gases contaminantes

Nombre	*15T&37 vecicle mixed test lane:*
Modelo	*JEVOL- 15T + 3T-VMTL*
Componentes	*Gas Analizer (JVS-501)*
Serie	*17020403*
Combustible	*Motores a gasolina y GLP*
Pantalla	*LCD a azul*
Alimentación	*AC 220 V ±10 %, 50 Hz*
Temperatura de operación	*5 °C – 40 °C*

Fuente: Información técnica proporcionada por Eco vial

Tabla 3

Rangos de medición del analizador de gases

Parámetros	***Rango de medición***	***Precisión***
CO	*(0 – 10.00 % vol),*	*± 0,06 x 10^{-2} (%) (error absoluto) o ±5% (error relativo)*
CO_2	*(0 – 20.00 % vol)*	*± 0,50 x 10^{-2} (%) (error absoluto) o ±5% (error relativo)*
HC	*(0 – 9 999 ppm)*	*HC: ± 12 x 10^{-6} (error absoluto) o ±5% (error relativo)*
O2	*(0 – 20.00 % vol)*	*± 0,10 x 10^{-2} (%) (error absoluto) o ±5% (error relativo)*
Lambda (λ)	*(0.5 – 2.0)*	*automáticamente*
Nox	*(0 – 5000 % ppm)*	*± 25 x 10 -6 (error absoluto) o ±5% (error relativo)*
Rpm	*(300 – 9 999 rpm)*	*10 rpm*

Fuente: https://fr.scribd.com/document/569949346/JVE-501-Gas-Analyser

2.3. Instrumentos de diseño

- **SolidWorks**

SolidWorks fue el software de diseño asistido por computadora (CAD) empleado para el modelado tridimensional, el ensamblaje virtual, la comprobación de compatibilidad geométrica. No se realizaron simulaciones estructurales, térmicas ni de dinámica de fluidos, por lo que el alcance del software se limitó exclusivamente al diseño y preparación de los planos para la fabricación y ensamblaje del sistema, entre ellos:

-Placas de acero inoxidable AISI 316L de la celda electrolítica.

-Tapas de acrílico (PMMA).

-Empaques de neopreno.

-Distribución de los pernos de sujeción.

-Conectores de entrada del electrolito y salida del hidrogeno

-Sistema de conexiones eléctricas.

-Filtro del gas hidrogeno

-Recipiente burbujeador.

-Disposición del sistema sobre el motor Honda SOHC de 110 cc.

El software permitió definir las dimensiones de cada componente, realizar el ensamblaje virtual del conjunto, verificar la compatibilidad geométrica entre las piezas y detectar posibles interferencias antes de la fabricación del prototipo. Asimismo, facilitó la comprobación dimensional de los componentes y la elaboración de los planos técnicos acotados necesarios para su manufactura y ensamblaje.

2.4. Población, muestra y muestreo

2.4.1. Población

La población está conformada por los motores de combustión interna de cuatro tiempos, alimentados con gasolina y de baja cilindrada (entre 100 y 125 cm^3), utilizados en motocicletas de uso urbano y rural. No obstante, debido al diseño de la investigación, la evaluación experimental se realizó sobre una única unidad de estudio, por lo que los resultados corresponden exclusivamente a las condiciones del motor analizado.

2.4.2. Muestra

La muestra esta conformada por un motor Honda SOHC de 110 cc, seleccionado para la implementación del sistema de producción de hidrogeno, la unidad de análisis estuvo constituida por cada ensayo experimental realizado sobre el motor antes y después de la incorporación del sistema.

2.4.3. Muestreo

Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a que el motor Honda SOHC de 110 cc fue seleccionado de manera intencional por cumplir con las características técnicas requeridas para la investigación. Su elección respondió a criterios metodológicos relacionados con su compatibilidad con el sistema de producción de hidrogeno diseñado, la disponibilidad de un sistema eléctrico de 12 V para alimentar la celda electrolítica, la facilidad de instalación del prototipo sin realizar modificaciones estructurales significativas y la posibilidad de ejecutar pruebas experimentales bajo condiciones controladas.

2.5. Método de investigación

2.5.1. Objeto de estudio

El objeto de estudio de la presente investigación fueron las emisiones de hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO_2) generadas por un motor Honda SOHC de 110 cc durante su funcionamiento. Estas emisiones constituyen el fenómeno analizado para determinar su variación bajo las condiciones experimentales establecidas en la investigación.

2.5.2. Tipo de investigación

La presente investigación corresponde al tipo aplicada, debido a que utiliza conocimientos científicos y tecnológicos para diseñar, construir e implementar un sistema de producción de hidrogeno orientado a disminuir las emisiones contaminantes generadas por un motor de combustión interna. Según Lozada (2014), la investigación aplicada busca resolver problemas específicos mediante la aplicación práctica del conocimiento científico.

2.5.3. Enfoque de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, debido a que las variables fueron medidas mediante valores numéricos obtenidos con un analizador de gases. De acuerdo con Sánchez Flores (2019), el enfoque cuantitativo se caracteriza por medir fenómenos y analizar los datos mediante procedimientos objetivos que permiten describir y explicar el comportamiento de las variables estudiadas.

2.5.4. Diseño de la investigación

La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental de tipo preexperimental, utilizando un solo grupo con medición antes y después de la intervención, de acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014). Este diseño permitió evaluar el efecto de la implementación del sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis sobre las emisiones de

hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO_2) generadas por un motor Honda SOHC de 110 cm^3. Al tratarse de un diseño preexperimental, la comparación de las mediciones obtenidas antes y después de la intervención permitió determinar la variación de las emisiones contaminantes atribuible a la implementación del sistema.

2.5.5. Método De Razonamiento

Se empleó el método inductivo, ya que a partir de los resultados obtenidos en los ensayos experimentales realizados sobre el motor Honda SOHC de 110 cc se formularon conclusiones acerca del comportamiento de las emisiones contaminantes tras la implementación del sistema de producción de hidrogeno. Según Rodríguez y Pérez (2017) , la inducción permite establecer generalizaciones a partir de la observación y análisis de hechos particulares.

2.6. Variable de estudio

Tabla 4

Tipos de variable de estudio

Tipo	Variable
Variable independiente	Implementación de un sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis
Variable dependiente	Reducción de emisión de gases contaminantes.

Tabla 5

Operacionalización de la variable independiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Criterios de medición	Unidad	Instrumento
Implementación del sistema de producción de hidrogeno mediante electrólisis	Sistema diseñado para producir hidrogeno mediante electrólisis del agua e incorporarlo al sistema de admisión del motor como complemento del combustible convencional.	Consiste en el diseño, construcción e implementación de una celda electrolítica alimentada por una batería de 12 V para producir hidrogeno y suministrarlo al sistema de admisión del motor	Parámetros de operación del sistema	Voltaje de operación	Voltaje suministrado durante la electrolisis.	V	Voltímetro
--		--		Corriente de operación	Corriente consumida durante la electrolisis	A	Amperímetro
--		--		Concentración de electrolito	Cantidad de KOH por litro de agua utilizada en cada prueba	g/L	Balanza digital

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6

Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Criterio de medición	Unidad	Instrumento
Reducción de emisión de gases contaminantes	Disminución de la concentración de gases generados durante la combustión de un motor de gasolina, utilizada como indicador del desempeño ambiental del motor.	Se determinó comparando las emisiones del motor antes y después de la implementación del sistema generador de hidrógeno.	Emisiones contaminantes	Hidrocarburo no quemados (HC)	Medición antes y después mediante analizador de gases, en ralentí y media carga.	Partes por millón (ppm)	Analizador de gases JVE-501
--		--		Monóxido de carbono (CO)	Medición antes y después mediante analizador de gases, en ralentí y media carga.	(%) volumen	Analizador de gases JVE-501
--		--		Dióxido de carbono (CO_2)	Medición antes y después mediante analizador de gases, en ralentí y media carga.	(%) volumen	Analizador de gases JVE-501

Fuente: Elaboración propia

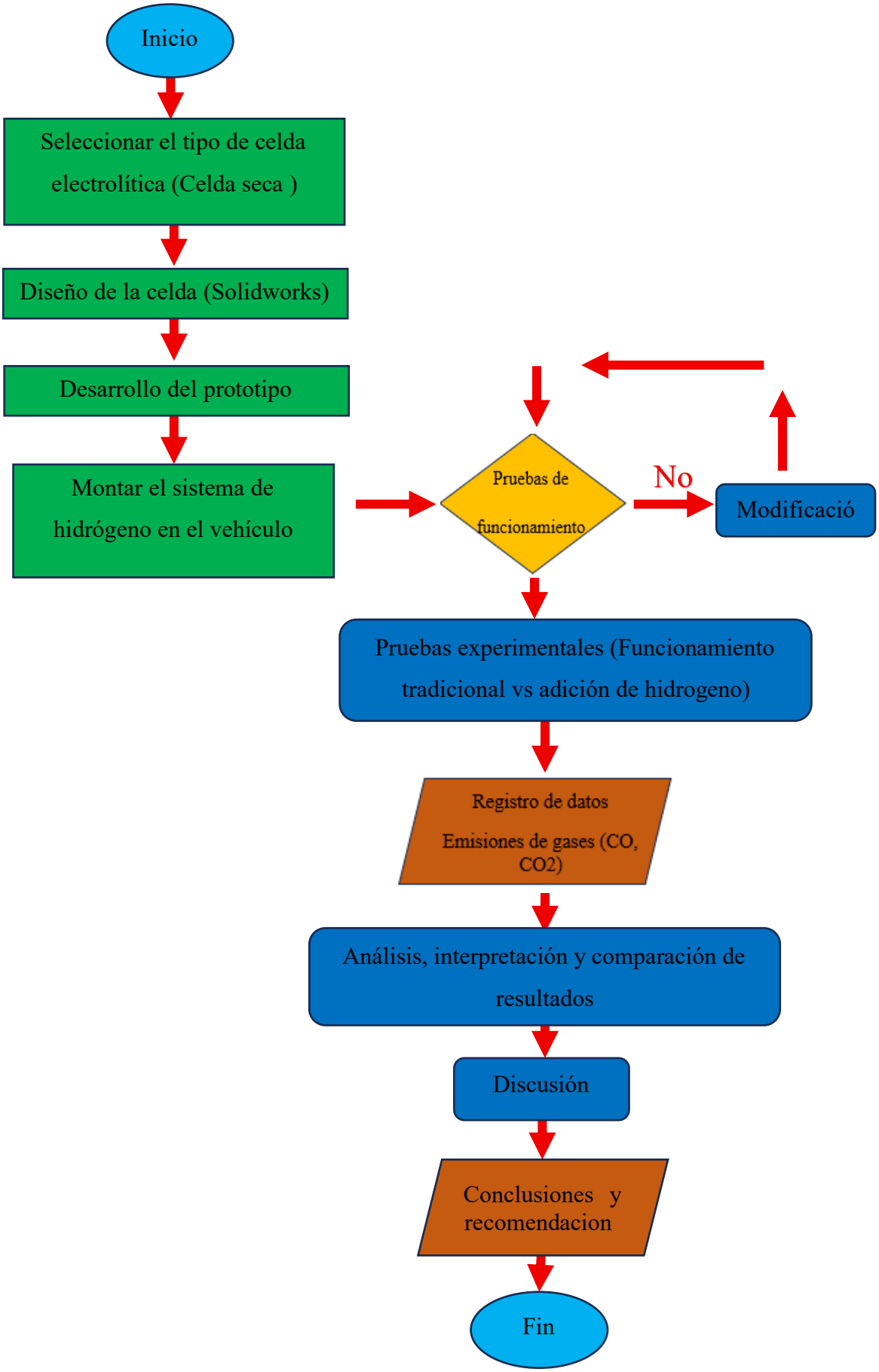
2.7. Procedimiento

El desarrollo de la investigación se estructuró de manera secuencial a través de cuatro etapas principales: diseño, construcción, implementación y evaluación experimental del sistema de producción de hidrógeno. El flujo general de las actividades ejecutadas se sintetiza en lo siguiente:

Diagrama de flujo

Figura 4

Diagrama de flujo del procedimiento realizado en la investigación



***Fuente**: Elaboración propia*

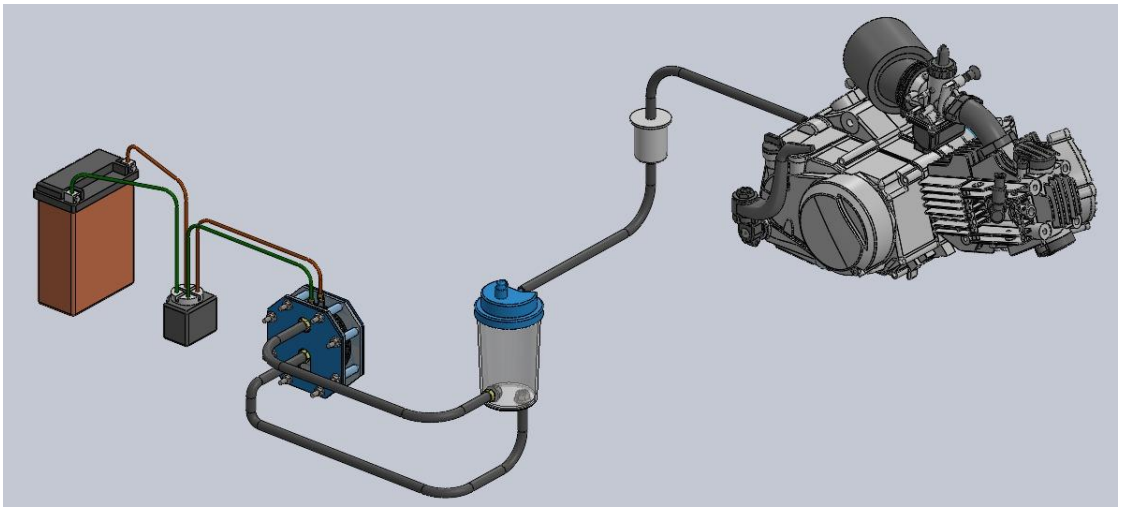
- Construir sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis.

En esta etapa se realizó el diseño y la construcción del sistema de producción de hidrogeno mediante electrólisis, de acuerdo con los requerimientos establecidos para su implementación en el motor Honda SOHC de 110 cc.

Inicialmente, se desarrolló el modelado tridimensional del prototipo utilizando el software **SolidWorks**, el cual permitió definir la geometría de los componentes, verificar su compatibilidad mediante el ensamblaje virtual y generar los planos técnicos necesarios para su fabricación

Figura 5

Diseño del prototipo en el programa SolidWorks

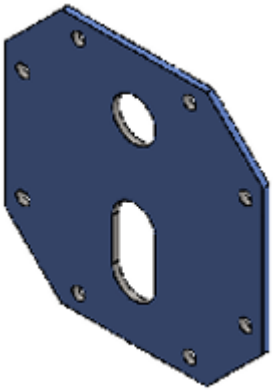
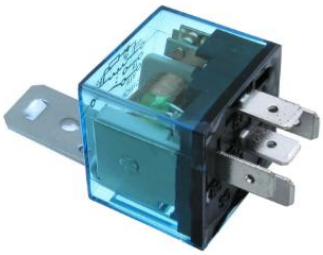


Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se efectuó la selección y adquisición de los materiales y componentes requeridos para la construcción del sistema, considerando criterios de resistencia a la corrosión, compatibilidad con el proceso de electrólisis, disponibilidad comercial y adecuación a las condiciones de operación del prototipo.

Tabla 7

Adquisición de materiales.

Acero inoxidable 316L (diámetro 9 cm)	**Placas de acrílico (PMMA, polimetilmetacrilato)**	**Filtro**
		
Rele	**Manguera**	**Recipiente**
		

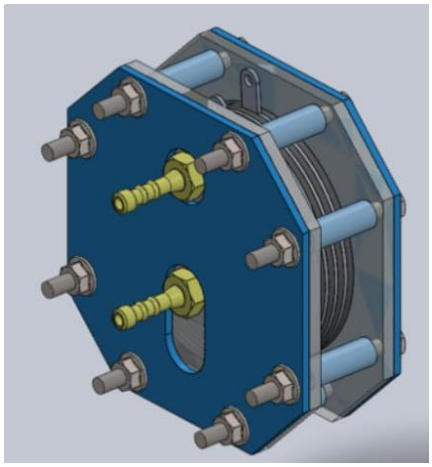
Fuente: Elaboración propia

Con base en los planos obtenidos durante la etapa de diseño, se procedió a la fabricación y ensamblaje de la celda electrolítica. Para ello, se integraron seis placas de acero inoxidable AISI 316L, separadas mediante anillos de caucho neopreno tipo O-ring, los cuales proporcionaron el aislamiento eléctrico entre los electrodos y aseguraron el sellado hermético del sistema. Posteriormente, se incorporaron los demás componentes estructurales y

funcionales de la celda, verificándose el correcto ensamblaje mecánico, la hermeticidad del conjunto y la adecuada instalación de las conexiones hidráulicas y eléctricas necesarias para el funcionamiento del sistema de producción de hidrogeno.

Figura 6

Reactor de Celda electrolítica diseñada en SolidWorks



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se realizaron pruebas preliminares de funcionamiento con el propósito de comprobar la integridad del sistema construido, verificar el suministro adecuado de energía eléctrica hacia la celda electrolítica y confirmar la generación de hidrogeno antes de proceder a su instalación en el motor de ensayo.

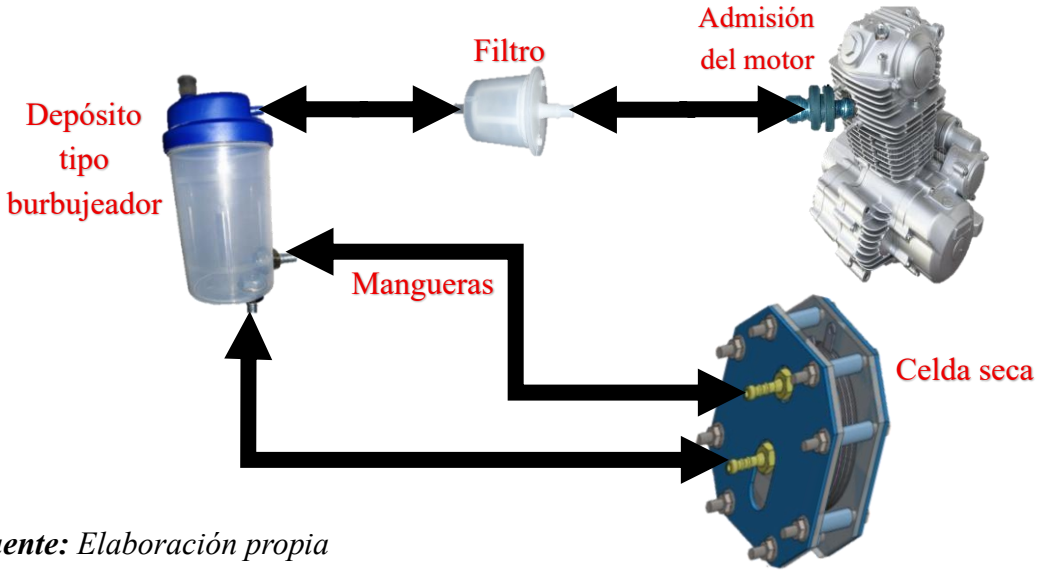
-Implementar el sistema de suministro de hidrógeno para el motor Honda SOHC de 110 CC.

La implementación del dispositivo generador de hidrógeno se realizó en el taller de mecánica automotriz “CHINPER”, que cuenta con las herramientas y equipos necesarios para la instalación, montaje y ajuste del sistema.

Como actividad inicial, se elaboró el plano técnico y el esquema general de instalación, con el propósito de definir la ubicación de los componentes y planificar su integración al vehículo

Figura 7

Plano técnico de los componentes del prototipo

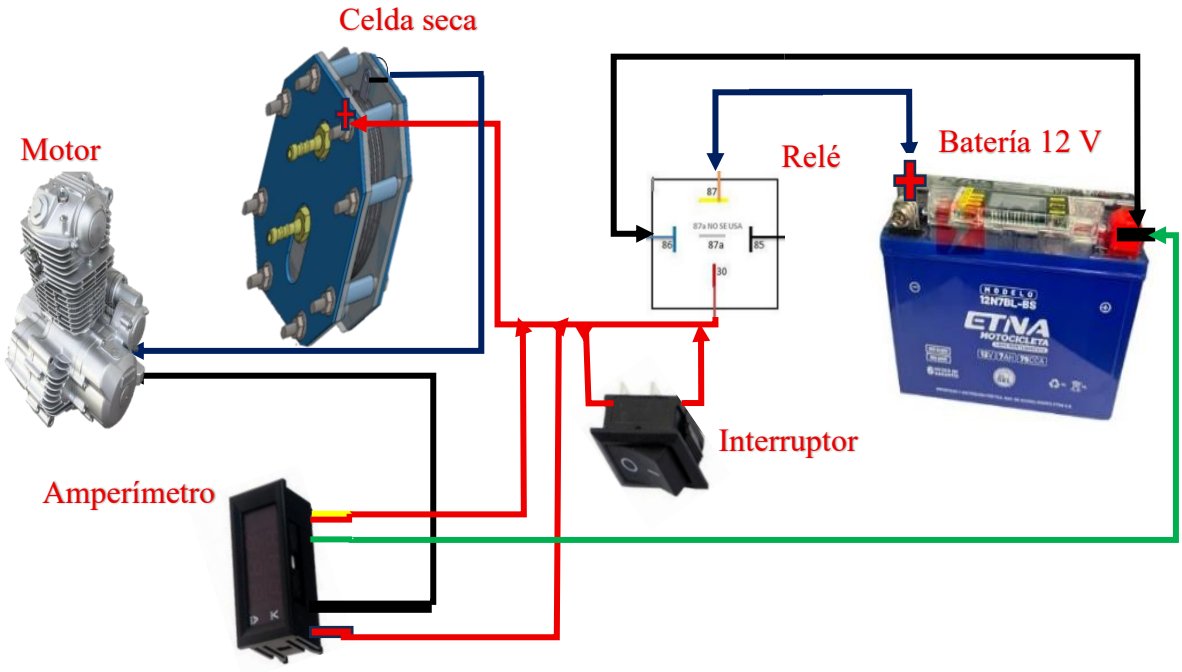


Fuente: *Elaboración propia*

De la misma forma se elaboró un esquema eléctrico de todos los componentes necesarios para la instalación del prototipo generador de hidrogeno, detallando las conexiones eléctricas.

Figura 8

Esquema eléctrico del sistema generador de hidrogeno



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se instaló el sistema de producción de hidrogeno, integrando la celda electrolítica, el depósito tipo burbujeador, el filtro y las líneas de conducción del gas hacia el sistema de admisión del motor, de acuerdo con el diseño previamente establecido.

Figura 9

Inyección de hidrogeno al sistema de admisión del motor



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Asimismo, se realizaron las conexiones eléctricas de alimentación y control del sistema, incorporando los dispositivos necesarios para garantizar un funcionamiento seguro y estable del prototipo.

Figura 10

Instalaciones eléctricas en el vehículo



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Concluida la instalación de todos los componentes del sistema, se procedió con las pruebas de funcionamiento del prototipo, verificando el correcto ensamble y ajuste de las conexiones.

Pruebas experimentales del sistema

Las pruebas de funcionamiento de la celda electrolítica se realizaron con la finalidad de evaluar la producción de hidrógeno del prototipo ya instalado.

Se realizaron pruebas utilizando diferentes tipos y concentraciones de electrolitos, empleando hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de sodio (NaOH) para evaluar su comportamiento durante el proceso de electrólisis. Con la ayuda de una balanza electrónica, se efectuó el pesaje de hidróxido de potasio (KOH) y del hidróxido de sodio (NaOH), utilizando cantidades de 5 g, 10 g y 15 g de cada electrolito.

Figura 11

Pesado del electrolito hidróxido de potasio



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Posteriormente cada una de las cantidades de electrolito previamente pesadas fue disuelta en 1 litro de agua destilada, obteniendo distintas soluciones electrolíticas.

Incorporación de la solución electrolítica al sistema

Las soluciones electrolíticas fueron introducidas en el recipiente tipo burbuja, el cual forma parte del prototipo generador de hidrógeno.

Generación de hidrógeno mediante electrólisis

Al encender el suministro eléctrico, se observó la formación de burbujas en el prototipo generador de hidrógeno producto del proceso de electrólisis.

De esta manera inició el proceso de electrólisis (separación de moléculas de oxígeno e hidrógeno) dentro de la celda electrolítica, observándose la formación de burbujas que se podían retener en un pequeño depósito externo para luego encender, verificándose la formación de un gas altamente inflamable, que en realidad es una mezcla de hidrogeno y oxígeno.

Se realizaron pruebas con electrolitos a diferentes concentraciones a fin de determinar cuál opción es la más ventajosa, pudiéndose verificándose la producción de hidrógeno mediante cálculos. Detalle de las pruebas se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 8

Parámetros de electrólisis según la cantidad de electrolito (KOH).

Electrolito (KOH) gramos	***Voltaje (V)***	***Amperaje (A)***	***Tiempo (Segundos)***
05 gramos	*12 V*	*2 A*	*30 s*
10 gramos	*12 V*	*7 A*	*30 s*

Fuente: Elaboración propia

1. **Ecuación para el cálculo de la producción de hidrógeno**

Badea et al (2022) La ecuación de la producción de hidrógeno está determinada directamente por el tiempo de funcionamiento, la corriente eléctrica y la eficiencia del proceso electrolítico, según lo establece la Ley de Faraday de electrólisis. Por consiguiente, esta ecuación permite calcular el volumen o caudal del hidrógeno producido y así vincular la generación de hidrogeno con el rendimiento del motor y con la disminución de emisiones contaminantes:

$$V_{h2} = \frac{\mathbf{I \,.\, t \,.R \,.T}}{\mathbf{Z_{h2} \,.\, F \,.\, P}} \qquad (1)$$

V_{h2} : Volumen generación de hidrógeno

I : Corriente

T : Tiempo

R : Constante universal de los gases (8.314 J/mol·K)

T : Temperatura absoluta (K)

Z_{h2} : Número de electrones transferidos (2)

F : Constante de Faraday (96485 C/mol)

P : Presión del sistema (Pa)

Nota: Z_{h2} se utiliza (2) para el proceso de electrólisis del agua porque para formar una molécula de hidrógeno (H_2) se necesitan 2 electrones

2. Cálculos de la generación de hidrógeno del sistema

Para estimar el rendimiento del sistema antes de su implementación y comprobar que la producción de hidrogeno sea adecuada para cumplir con las necesidades del motor Honda SOHC de 110 cc, se utilizan los cálculos de generación de hidrógeno. Por lo tanto, estos cálculos permiten evidenciar que la celda electrolítica creada tiene la capacidad requerida para generar un flujo constante y estable de hidrogeno, que es enviado al sistema de admisión del motor.

En la **Tabla 10** puede apreciarse que un electrolito con mayor concentración se relaciona con un mayor consumo eléctrico lo cual indica una mayor producción de hidrógeno. Los cálculos de generación de hidrógeno se realizaron considerando este caso (7 amperios durante 30 segundos).

$$V_{h2} = \frac{7A * 30\ s * 8{,}314 \frac{J}{mol*K} - * 298}{2 * 96485 \frac{C}{mol} * 0.1015\ X\ 10^{6}}$$

$$V_{h2} = 2.66\ X\ 10^{-5}\ m^3$$

Convertimos de m3 a litros:

$$V_{h2} = 2.66\ X\ 10^{-5}\ m^3 * \frac{1000\ l}{1m^3}$$

$$V_{h2} = 0.0266\ litros$$

El sistema funcionando con un amperaje de 7 Amperios genera 0.0266 litros en 30 segundos.

-Evaluar el rendimiento del motor y compararlo con su funcionamiento convencional.

Para la evaluación del funcionamiento del motor, se realizaron pruebas comparativas de emisiones de gases contaminantes bajo dos condiciones de operación:

- Funcionamiento convencional del motor
- Funcionamiento con adición de hidrógeno generado mediante el prototipo implementado.

Se coordinó con diferentes empresas de revisiones técnicas con la finalidad que evalúen la emisión de gases durante las pruebas de funcionamiento de la motocicleta con el prototipo en funcionamiento.

La empresa de revisiones técnicas Eco vial, ubicado en el sector Fila Alta de la provincia de Jaén, fue el lugar donde se realizaron las pruebas de funcionamiento y medición de emisiones de la motocicleta con el sistema generador de hidrógeno implementado.

Figura 12

Empresa de revisiones técnicas vehiculares



Fuente: Fotografía tomada por los autores de la investigación.

Antes de iniciar las pruebas, se verificó el correcto funcionamiento mecánico y eléctrico del motor, así como el estado del sistema generador de hidrógeno y las conexiones del prototipo implementado.

Prueba de funcionamiento convencional (solo gasolina)

Se realizó una primera medición de emisiones con el motor funcionando de manera convencional. Durante esta prueba se registraron los valores de gases emitidos por el escape del vehículo.

Figura 13

Conexiones del analizador de gases.



Fuente: Fotografía tomada por los autores.

Prueba de funcionamiento con aditivo (gasolina + hidrógeno)

Para este caso se utilizó un electrolito preparado con 10 gramos de hidróxido de potasio (KOH) disueltos en un litro de agua.

Figura 14

Solución electrolítica de 10 gramos de (KOH) disueltos en 1 litro de agua



Fuente: Fotografía tomada por los autores.

Posteriormente, se activó el prototipo generador de hidrógeno y se inició el suministro del gas hidrógeno hacia el sistema de admisión del motor, permitiendo el funcionamiento del vehículo con el aditivo gaseoso.

III. RESULTADOS

3.1. Descripción del sistema experimental

Los ensayos experimentales fueron realizados en un motor mono cilíndrico Honda 110 utilizando:

- Gasolina convencional (Premium),
- Gasolina convencional (Premium) enriquecida con hidrogeno.

El hidrógeno fue generado mediante una celda de electrólisis instalada en la motocicleta. El gas producido fue conducido hacia la admisión para mezclarse con el aire y el combustible antes del ingreso al cilindro. El hidrogeno generado por electrólisis contiene principalmente Hidrógeno y Oxígeno.

(2)

3.2. Construcción del sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis.

En respuesta al objetivo específico de construir un sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis, se desarrolló una celda electrolítica tipo seca destinada a la generación de hidrógeno.

El reactor de la celda seca fue diseñado en el software SolidWorks para establecer dimensiones y parámetros. La estructura estuvo conformada por seis placas circulares de acero inoxidable 316L de 9 cm de diámetro y 1.5 mm de espesor (electrodos), con dos perforaciones de 2 cm de diámetro para la circulación de la solución electrolítica. Las placas se intercalaron mediante siete anillos de caucho tipo O-ring para evitar cortocircuitos.

Asimismo, las placas de acero inoxidable fueron intercaladas mediante siete anillos de caucho tipo O-ring, los cuales permitieron mantener la separación entre los electrodos, evitando el contacto directo entre las placas y previniendo posibles cortocircuitos dentro de la celda electrolítica.

El ensamblaje del sistema se realizó utilizando dos placas exteriores de acrílico cortadas en forma octogonal, colocadas en ambos extremos de la estructura. Para asegurar el ajuste y compresión permanente de la celda electrolítica, se emplearon ocho pernos hexagonales M6 de 11 cm de longitud, complementados con aislamiento de nylon.

Además, se instalaron dos conectores tipo espiga para manguera, destinados al ingreso de la solución electrolítica y a la salida del gas generado entre las placas de acero inoxidable 316L.

Figura 15

Reactor de celda seca ensamblada



Fuente: Fotografía tomada por los investigadores

3.3. Implementación del sistema de suministro de hidrógeno para el motor Honda.

En respuesta al objetivo específico de implementar el sistema de suministro de hidrógeno para el motor, se realizó la instalación e integración de los componentes necesarios para el suministro del hidrógeno generado hacia el sistema de admisión del motor.

Se logró la implementación del sistema conformado por una celda electrolítica tipo seca, un recipiente tipo burbuja destinado al almacenamiento de la solución electrolítica, un filtro de aire utilizado para el filtrado de impurezas del gas generado, una batería de 12 V encargada de suministrar energía eléctrica al sistema, mangueras para la conducción del gas hidrógeno, conductores eléctricos calibre 14 AWG y un relé de control que permitió el flujo de corriente hacia la celda electrolítica. Todos estos componentes fueron acondicionados e instalados en el vehículo experimental.

Asimismo, se instaló un amperímetro/multímetro para la visualización del voltaje y corriente suministrada a la celda electrolítica durante su funcionamiento. También se incorporó un interruptor (switch) destinado al encendido y apagado del sistema generador de hidrógeno.

Figura 16

Implementación del sistema generación de hidrógeno a la moto Honda 110 cc.



Fuente: Fotografía tomada por los investigadores

3.4. Evaluación del desempeño del motor y comparación con su funcionamiento convencional

Las pruebas de funcionamiento del motor se llevaron a cabo en la empresa de revisiones técnicas Eco vial, para ello se realizaron pruebas comparativas de emisiones de gases contaminantes bajo dos condiciones de operación:

- Funcionamiento convencional del motor (solo gasolina)
- Funcionamiento con aditivo (gasolina +hidrogeno)

3.4.1. -Parámetros del analizador de gases

Los valores registrados por el equipo analizador de gases permiten medir la concentración volumétrica de las emisiones generadas al final del ducto de escape, tales como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrocarburos no quemados (HC) y oxígeno (O_2)

Tabla 9

Parámetros de gases contaminantes medidos mediante el analizador de gases.

Gas contaminante	***Unidad de medida***	***Gas contaminante***	***Unidad de medida***
CO	*%*	*NO*	*Ppm*
C0₂	*%*	*O_2*	*%*
HC	*Ppm*	*RPM*	*RPM*

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.- Procedimiento y rangos permisibles en la línea de inspección

Para efectos de la evaluación de la conformidad con el ordenamiento ambiental nacional establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se contrastaron los datos experimentales con los Límites Máximos Permisibles (LMP) vigentes.

Tabla 10

Límites máximos permisibles para vehículos en circulación a nivel nacional(Motores de 4T mayores de 50cc).

VEHICULOS MENORES CON MOTORES DE CUATRO TIEMPOS QUE USAN GASOLINA COMO COMBUSTIBLE		
Volumen desplazamiento nominal cc	CO % de volumen	HC ppm
Mayores de 50 cc (3)	4,5	600

Fuente: Tomado de Límites máximos permisibles de emisiones vehiculares, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2022). https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/308624-047-2001-mtc?utm_source=chatgpt.com

3.4.3.- Pruebas realizadas en funcionamiento convencional del motor (solo gasolina)

Condición de Ralentí (solo gasolina)

Se realizó la prueba del motor funcionando únicamente con gasolina en condición de ralentí, efectuándose la medición de emisiones contaminantes mediante el analizador de gases.

Resultados experimentales registrados:

En esta condición operativa base, el analizador de gases registró 1165 ppm de hidrocarburos (HC), 2.13% de monóxido de carbono (CO), 2.08% de dióxido de carbono (CO_2).

Figura 17

Valores de emisiones contaminantes registrados por el analizador de gases durante el funcionamiento del motor a gasolina en modo ralentí.



Fuente: Imagen captura por el personal investigador.

Analisis de datos:

- El nivel de CO (2,13 %) está por debajo del límite legal de 4,5 %, por lo que cumple la normativa. El CO2 también se mantiene por debajo del límite máximo permitido (7,5 %). Sin embargo, los hidrocarburos no quemados alcanzan 1.165 ppm, superando claramente el límite máximo permisible de 600 ppm..

Condición de Media Carga (solo gasolina)

Se realizó la prueba del motor funcionando únicamente con gasolina en condición de media carga, efectuándose la medición de emisiones mediante el analizador de gases.

Resultados experimentales:

Al elevar el régimen de giro a condiciones de aceleración parcial, las emisiones basales se modificaron a: 443 ppm de HC, 5 ppm de NO_x, 6.34% de CO, 7.09% de CO_2

Figura 18

Valores de emisiones contaminantes registrados por el analizador de gases durante el funcionamiento del motor a gasolina a media carga.



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Se observó lo siguiente:

- La concentración de CO asciende drásticamente a 6.34%, superando el límite máximo permisible (4.5%), el CO_2 registro 7.09% ubicándose dentro del límite permisible, mientras que el comportamiento de los HC bajó a 443 ppm debido al incremento de la temperatura interna del motor.

3.4.4.- Pruebas realizadas en funcionamiento del motor con aditivo (gasolina + hidrógeno)

Condición de Ralentí (gasolina + hidrógeno)

Tras activar el sistema de electrólisis y suministrar el gas hidrogeno al conducto de admisión, las lecturas en ralentí variaron a: 131 ppm de hidrocarburos (HC), 09 ppm de NO_x, 0.88% de monóxido de carbono (CO), 2.76% de dióxido de carbono (CO_2).

Figura 19

Valores de emisiones contaminantes registrados durante el funcionamiento del motor utilizando hidrógeno como aditivo de la gasolina en modo ralentí.



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Se observó lo siguiente:

- Efecto sobre los contaminantes principales: Se constató una disminución drástica de los HC (de 1165 ppm a 131 ppm) y del CO (de 2.13% a 0.88%), enmarcando ambos parámetros dentro de las exigencias de la normativa, mientras que del CO_2, ascendió de 2.08% a 2.76%.

Condición de Media Carga (gasolina + hidrogeno)

Se realizaron las pruebas del motor en modo acelerado utilizando hidrógeno como aditivo del combustible, efectuándose la medición de emisiones mediante el analizador de gases.

Figura 20

Valores de emisiones contaminantes registrados durante el funcionamiento del motor en modo acelerado utilizando hidrógeno como aditivo de la gasolina.



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Resultados experimentales

En régimen acelerado con adición del vector gaseoso, las concentraciones medidas en el escape fueron: 236 ppm de HC, 15 ppm de NO_x, 1.45% de CO y 2.82% de dióxido de carbono (CO_2).

Analisis:

- El valor de CO descendió de un crítico 6.34% a un aceptable 1.45%, consiguiendo que el motor retorne a los rangos permitidos por la ley bajo condiciones de carga parcial. Los HC se mantuvieron estables en 236 ppm encontrándose dentro de limite.
- Análisis del comportamiento del Dióxido de Carbono (CO_2): A diferencia del ralentí, en la condición de media carga se observó una marcada reducción del CO_2, disminuyendo de 7.09% a 2.82%. Este comportamiento, reportado de igual manera en investigaciones

sobre adición de hidrógeno bajo demanda, se fundamenta rigurosamente en dos factores experimentales.

3.4.5.- Análisis comparativo de las emisiones registradas en las condiciones de prueba

A continuación, se consolidan y contrastan cuantitativamente las mediciones directas obtenidas para ambas condiciones de operación del motor mono cilíndrico Honda de 110 cc.

Tabla 11

Análisis comparativo de las emisiones del motor en condición de ralentí

MODO RALENTI			
Parámetro de Medición	***Gasolina***	***Gasolina + hidrogeno***	***REQUERIMIENTO MÍNIMO Y MÁXIMO***
Monóxido de Carbono (CO %)	***2.13 %***	***0.88 %***	***0 a 4.5%***
Hidrocarburos (HC ppm)	***1165 ppm***	***131 ppm***	***0- 600 ppm***
Dióxido de Carbono (CO_2 %)	***2.08 %***	***2.76 %***	***-***

Fuente: Elaboración propia.

HC (ppm):

$$\%\ (HC)=\frac{(Resultado_{gasolina+HHO}-Resultado_{gasolina})}{Resultado_{gasolina}}x100\% \qquad (7)$$

$$\%\ (HC)=\frac{(131-1165)}{1165}x100\%=-88.76\%$$

En relación a los hidrocarburos no quemados, el valor decrece en 88.76 %

Análisis de resultados

Para la condición de funcionamiento en ralentí, el análisis comparativo de los resultados, expresados en porcentajes (%) durante el funcionamiento del motor con gasolina convencional y gasolina enriquecida con hidrogeno, evidenció un ligero incremento de CO_2 (de 2.08% a 2.76 %). Sin embargo, como el motor está quemando equitativamente el combustible, esta condición puede ocultar varias situaciones que podrían estar ocurriendo. Experimentalmente, se obtuvo una reducción considerable de hidrocarburos no quemados (HC) del 88.76 %, así como una disminución del monóxido de carbono (CO) que pasó de 2.13% a 0.88 %.

Tabla 12

Análisis comparativo de las emisiones del motor en condición de media carga (acelerado)

MODO MEDIA CARGA			
Parámetro de Medición	***Gasolina***	***Gasolina + hidrogeno***	***REQUERIMIENTO MÍNIMO Y MÁXIMO***
Monóxido de Carbono (CO %)	***6.34 %***	***01.45 %***	***0 a 4.5 %***
Hidrocarburos (HC ppm)	***443 ppm***	***236 ppm***	***0 -200 ppm***
Dióxido de Carbono (CO_2 %)	***7.09 %***	***2.82%***	***0 - 7.5 %***

Fuente: Elaboración propia.

HC (ppm):

$$\%\ (\mathrm{HC}) = \frac{(\mathrm{Resultado}_{\mathrm{gasolina+HHO}} - \mathrm{Resultado}_{\mathrm{gasolina}})}{\mathrm{Resultado}_{\mathrm{gasolina}}} \mathrm{x}100\% \qquad (8)$$

$$\%\ (HC) = \frac{(236-443)}{443} x100\% = -46.73\%$$

En relación a los hidrocarburos no quemados, el valor decrece en 46.73 %

Análisis de resultados

El análisis comparativo de los resultados, expresados en porcentajes (%) durante el funcionamiento del motor con gasolina convencional y gasolina enriquecida con hidrogeno, mostró una reducción en la emisión de los gases medidos, lo que evidenciaría una aparente mejora en la calidad de la combustión en la condición de media carga. No obstante, en esta condición (motor acelerado), resalta la considerable reducción del CO_2, cuyo valor disminuyó de 7.09 % a 2.82 %. Esta condición podría ser resultado de efectos iniciales no previstos. Experimentalmente, se obtuvo una reducción considerable de hidrocarburos no quemados (HC) del 46.73%, así como una disminución del monóxido de carbono (CO) que pasó de 6.34 % a 01.45 %.

IV. DISCUSIÓN

La evaluación experimental del sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis implementado en un motor Honda SOHC de 110 cc permitió determinar las variaciones en las emisiones de hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), variables registradas mediante un analizador de gases. La discusión de los resultados se centra en las variables efectivamente medidas durante los ensayos experimentales y en su comparación con investigaciones previas, evitando establecer relaciones causales que no fueron evaluadas directamente en la presente investigación.

En condición de ralentí, las emisiones de hidrocarburos no quemados (HC) disminuyeron de 1165 ppm a 131 ppm, equivalente a una reducción del 88.76 %, mientras que el monóxido de carbono (CO) disminuyó de 2.13 % a 0.88 %, ubicándose ambos parámetros por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa nacional. Estos resultados evidencian una reducción de las emisiones medidas durante las pruebas.

En condición de media carga también se observó una disminución de los hidrocarburos no quemados (HC), de 443 ppm a 236 ppm (46.73 %), y del monóxido de carbono (CO), de 6.34 % a 1.45 %. No obstante, el dióxido de carbono (CO_2) presentó una disminución de 7.09 % a 2.82 %, comportamiento que difiere de la tendencia reportada en varios estudios revisados.

Al comparar estos hallazgos con los antecedentes, se observan discrepancias técnicas explicables por la configuración de los sistemas por Baltazar (2020), quien reportó una reducción modesta del 11% en HC utilizando un motor Volkswagen de 1.5 L con una solución al 20% de NaOH. El presente estudio obtuvo una reducción mayor en condición de ralentí (88.76 %). Esta diferencia podría estar asociada a diversos factores metodológicos, entre ellos la cilindrada del motor, el diseño del sistema generador de hidrógeno, la configuración de la

celda electrolítica, la concentración del electrolito empleada y las condiciones bajo las cuales se realizaron las pruebas experimentales.

Se encuentra una gran similitud con la investigación realizada por Uquillas (2024), quien empleó una celda de tipo seca y utilizó hidróxido de potasio (KOH) como electrolito, compuesto que también fue utilizado en las pruebas desarrolladas en la presente investigación. Dicho autor obtuvo resultados favorables, registrando una disminución del 2,52 % en el volumen de CO_2, una reducción del 0,13 % en el volumen de CO, una concentración de 82,4 ppm de hidrocarburos no quemados y un incremento del 3,24 % en el volumen de O_2 en los gases de escape. Estos resultados guardan relación con los obtenidos en el presente estudio, ya que en ambos casos se evidenció una reducción de gases contaminantes mediante el uso de hidrógeno como aditivo de la gasolina.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se logró diseñar construir e implementar con éxito un sistema de producción de hidrógeno por electrólisis de tipo celda seca acoplado al sistema de admisión (filtro de aire) de un motor mono cilíndrico Honda SOHC de 110 CC. El prototipo fue construido de materiales accesibles como el acero inoxidable 316L, placas de acrílico estructural y anillos de caucho neopreno.

- Se implementó el sistema de producción de hidrógeno mediante electrolisis en el motor Honda SOHC de 110 cc, así como el sistema eléctrico correspondiente. El gas generado fue integrado adecuadamente al sistema de admisión del motor, específicamente al filtro de aire, permitiendo el funcionamiento durante las pruebas experimentales.

- La implementación del sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis permitió registrar una reducción de las emisiones de gases contaminantes durante las pruebas experimentales realizadas en el motor Honda SOHC de 110 cc. En condición de ralentí, los hidrocarburos no quemados (HC) disminuyeron de 1165 ppm a 131 ppm (88.76 %) y el monóxido de carbono (CO) de 2.13 % a 0.88 %, mientras que el dióxido de carbono (CO_2) aumentó de 2.08 % a 2.76 %.

- En condición de media carga, los hidrocarburos no quemados (HC) disminuyeron de 443 ppm a 236 ppm, el monóxido de carbono (CO) de 6.34 % a 1.45 % y el dióxido de carbono (CO_2) de 7.09 % a 2.82%.

- El sistema de producción de hidrógeno mediante electrólisis funcionó durante las pruebas experimentales bajo las condiciones de operación establecidas en la investigación, permitiendo realizar las mediciones comparativas de emisiones mediante el analizador de gases y obtener la información necesaria para evaluar el comportamiento de las variables estudiadas.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que futuras investigaciones amplíen el diseño experimental mediante la evaluación del sistema de producción de hidrógeno en un mayor número de unidades experimentales, utilizando motores de características similares. Esto permitirá fortalecer la validez de los resultados y ampliar su representatividad

- Para investigaciones futuras, se recomienda incrementar el tamaño de la muestra utilizando múltiples unidades de estudio (motores del mismo modelo o de configuraciones mecánicas diversas en la misma categoría de baja cilindrada), manteniendo protocolos de ensayo estandarizados que permitan comparar el comportamiento de las emisiones de hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO_2).

- Se recomienda realizar investigaciones que evalúen diferentes concentraciones y tipos de electrolito, como hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de sodio (NaOH), con la finalidad de determinar su influencia sobre las emisiones contaminantes registradas durante el funcionamiento del motor.

- Se recomienda que futuras investigaciones realicen las pruebas experimentales utilizando motores en adecuadas condiciones mecánicas o previamente inspeccionados, con la finalidad de reducir la influencia del estado mecánico sobre las mediciones de emisiones de hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO_2).
- Como línea de investigación futura, se recomienda desarrollar estudios específicos orientados a evaluar variables que no fueron consideradas en la presente investigación, tales como el consumo de combustible, la potencia, el torque, la durabilidad del sistema de producción de hidrógeno y el comportamiento de los componentes del motor durante periodos prolongados de operación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Badea, G. E., Hora, C., Maior, L., Cojocaru, A., Secui, C., Filip, S. M., & Dan, F. C. (2022). *Sustainable hydrogen production by seawater electrolysis: From fundamental electrochemical principles to the most recent developments. Energies*. *15(22)*(8560). https://doi.org/10.3390/en15228560

Baltazar Ortega, P. M. (2020). *Diseño de un generador de hidrógeno para optimizar la combustión de un motor Volkswagen 1.5 L en la ciudad de Huancayo* [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico, Universidad Continental]. Repositorio. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8444

Casio Herrera, D. H., & Huayna Huaman, J. G. (2024). *Implementación de un sistema de generación de hidrógeno por electrólisis para evaluar el desempeño de un motor de combustión interna de ciclo Otto* [Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Energía, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio. https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4663

González Gil, J. E., Díaz Rey, Á. O., & González-Estrada, O. A. (2018). *Análisis de un generador de HHO de celda seca para su aplicación en motores de combustión interna | Revista UIS Ingenierías*. *17*(1), 51-60. https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/6976

Herdoiza Zurita, D. M. (2022). *Diseño y construcción de un sistema de generación de hidrógeno por electrólisis* [Tesis para la obtención del título de Ingeniero Mecánico]. Repositorio. https://www.coursehero.com/es/file/222622862/Tesis-IM-677-Herdoiza-Zurita-Danilo-Manuelpdf/

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw Hill Education. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008

Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria. *CienciAmérica*, *3*(1), 47-50. https://cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/30

Marcillo, F., Ramírez Ponce, J. I., & Begnini, L. (2024). Electrólisis como estrategia para reducir el consumo de combustible y gases, mediante un sistema alternativo de hidrógeno. *Revista de Investigación Científica Innova*, *3*(2), 73-90. https://editorialinnova.com/index.php/rig/article/view/109

Marin Muñoz, E. A., & Jiménez Cárdenas, J. F. (2021). *Diseño e implementación de una celda generadora de hidrógeno en un motor de combustión interna en la Ciudad de Bogotá.* [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico]. Repository. https://repository.udistrital.edu.co/items/17238fee-47dc-4521-b5b2-776fcd48e3c8

MINAM. (2020). *Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático aprueba nueva ambición climática del Perú*. gob.pe. https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/321091-comision-de-alto-nivel-de-cambio-climatico-aprueba-nueva-ambicion-climatica-del-peru

Naciones Unidas. (2024). *La contaminación atmosférica causó 8,1 millones de muertes en todo el mundo en 2021*. Naciones Unidas. https://news.un.org/es/story/2024/06/1530631

Núñez Fuentes, J. M. (2022). *Uso del hidrógeno en el motor D13B2 del ciclo Otto como complemento del combustible* [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero mecánico electricista]. Repositorio.ucsm. https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/a431588a-89d6-4bc7-8787-3aeca0c9683e

Puican Cabrera, K. A. (2024). *Diseño de un reactor de hidrogeno de celda seca para el acoplamiento en un motor de 200 CC* [Tesis para la obtener el título de Ingeniero Mecánico]. Repositorio. https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/11738/Puican%20Cabrera%20Kevin%20Arnold.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista EAN*, *82*, 179-200. https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revista/article/view/1647

Sanchez Flores, F. A. S. (2019). Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, *13*(1), 101-122. https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644

Uquillas Parra, H. O. (2024). *Análisis de emisiones producidas por motocicletas de 4 tiempos a inyección mediante el suministro de hidrógeno al sistema de admisión del motor* [Tesis para la obtención del titulo de Ingeniero Automotriz]. dspace.ups. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29132

Vasquez Polo, D. A. (2022). *Diseño de una máquina generadora de hidrógeno mediante electrólisis para utilizarlo como vector energético en un auto eléctrico* [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Eléctrico, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Tesis.usat. http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4422

DEDICATORIA

A mis padres, Narciso Chinchay Tineo y Luz María Delicia Perez Dávila Ellos han sido el cimiento inquebrantable y la base estructural sobre la cual se edificó mi vida; su sacrificio incansable fue la fuerza motriz que impulsó mis sueños cuando la inercia del desánimo intentaba detenerme. Gracias, mamá y papá, por enseñarme con su ejemplo que la perseverancia es el torque necesario para vencer cualquier resistencia; este título no es más que el reflejo de su amor y esa fe infinita que siempre inyectó energía a mi camino.

Autor: Julio Cesar Chinchay Perez:

A mi familia por su amor y apoyo incondicional a lo largo de esta etapa tan importante de mi vida. Especialmente a mis padres, Adelmo Rodríguez Granda y Esther Neira Guerrero, por sus invaluables esfuerzos, sacrificios y enseñanzas. Gracias por formarme con sólidos valores y demostrarme que, con perseverancia y humildad, es posible alcanzar todas las metas y sueños propuestos.

Autor: Jhan Carlos Rodríguez Neira

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, por brindarnos salud, sabiduría y la oportunidad de culminar esta importante etapa de nuestra vida profesional. Por guiarnos en cada paso y darnos la fortaleza y perseverancia necesarias para superar las dificultades presentadas durante el desarrollo de esta investigación.

Asimismo, expresamos nuestro más profundo agradecimiento a nuestras familias, por acompañarnos a lo largo de toda nuestra formación académica, por sus palabras de aliento, comprensión y apoyo incondicional en los momentos más difíciles. Su confianza y motivación han sido fundamentales para seguir adelante y alcanzar esta meta.

De igual manera, agradecemos a nuestros asesores de tesis, Dr. Deibi Eric García Campos y Dr. Ricardo Ángel Shimabuku Ysa, por su orientación, conocimientos, paciencia y apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo de investigación. Sus enseñanzas, recomendaciones y constante guía fueron fundamentales para la culminación satisfactoria de la presente tesis.

ANEXOS

Figura 21:

Ficha técnica plancha de acero inoxidable aisi-316l

USOS

304L	Usado en la industria alimentaria, para estructuras soldadas y equipos generales.
316L	Empleado en ambientes marinos, químicos y médicos.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

AISI	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N
AISI - 304L	0.030	2.00	1.00	0.045	0.030	18.0/20.0	8.0/12.0	-	0.10
AISI - 316L	0.030	2.00	1.00	0.045	0.030	16.0/18.0	10.0/14.0	2.0/3.0	0.10

PROPIEDADES MECÁNICAS MINIMAS

Norma técnica		Límite de fluencia (F) Kg/mm²	Resistencia a la tracción (R) Kg/mm²	Elongación (A) %
ASTM A-240	**AISI 304L**	17.58 mínimo	49.24 mínimo	40 mínimo
	AISI 316L	17.58 mínimo	49.24 mínimo	40 mínimo

**Norma Equivalente: JIS 4304(LAC) / JIS 4305 (LAF)*

Nota: Imagen extraída de Distribuidora Fermet S.R.L

Figura 22:

Ficha técnica del acrílico

DENSIDAD	NORMAS ASTM	UNIDADES	VALOR
Acrílico 3mm		Kg/m ^{2}	3.66
Acrílico 6mm		Kg/m ^{2}	7.32
PROPIEDADES MECÁNICAS	**NORMAS ASTM**	**UNIDADES**	**VALOR**
Modulo de tensión	D638	Kg/cm ^{2}	760
Elongación a la ruptura	D638	Kg/cm ^{2}	630
Resistencia a la flexión	D790	Kg/cm ^{2}	1,050
Fuerza compresiva	D638	Kg/cm ^{2}	1,260
Dureza Rockwell	D785	-	M100
PROPIEDADES ÓPTICAS	**NORMAS ASTM**	**UNIDADES**	**VALOR**
Transmisión de luz (Cristal)	D1003	%	92
Índice de refracción	D542		1.49
PROPIEDADES TÉRMICAS	**NORMAS ASTM**	**UNIDADES**	**VALOR**
Temperatura de formado	D648	°C	100
Coeficiente de expansión termal	D696	cm/cm °C	6x10-5
Inflamabilidad	D635	pulgadas/min.	1.45
Temperatura de ignición	D1929	°C	398
Densidad de humo	D2843	%	13.5

Nota: Imagen extraída de Procell Policarbonato

Figura 23:

Desarrollo del prototipo generador de hidrogeno



Fuente: Imagen captura por el personal investigador

Figura 24:

Instalaciones eléctricas del sistema



Fuente: Imagen captura por el personal investigador

Figura 25:

Corte y ensamble de piezas del prototipo



Fuente: Imagen captura por el personal investigador

Figura 26:

Pruebas de la producción de hidrogeno



Fuente: Imagen captura por el personal investigador

Figura 27:

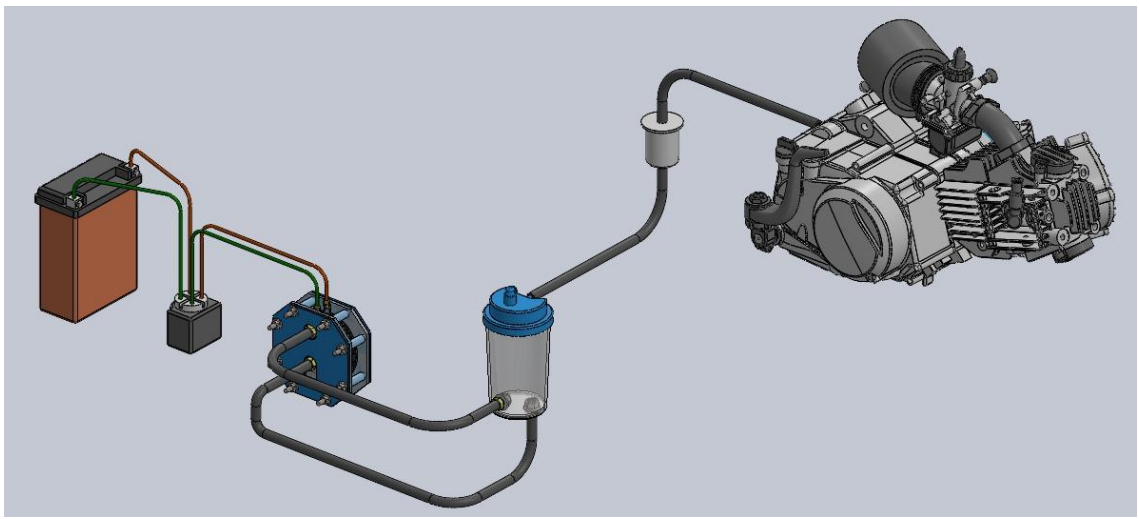
Pruebas de emisión de gases contaminantes



Fuente: Imagen captura por el personal investigador

Figura 28:

Prototipo generador de hidrogeno



Fuente: Imagen captura por el personal investigador

´

Figura 29.

Resultados de inspección técnica con hidrogeno como aditivo de la gasolina

RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL Y MECÁNICA PARA EMISIÓN DE CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

PLACA DEL VEHICULO	5540-05	AÑO FAB/MOD: 2016/2016
Nº DE SERIE	ME4JC47KDG7005621	COMBUSTIBLE: GASOLINA

PRUEBAS EJECUTADAS

ACORDE CON EL REGLAMENTO NACIONAL DE VEHÍCULOS APROBADO POR D.S N° 058-2003-MTC, LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES CONTAMINANTES APROBADO POR D.S. N° 047-2001-MTC Y SUS MODIFICACIONES VIGENTES.

VERIFICACIÓN DE:			
LONGITUD			
ALTURA			
ANCHO			
SOLDADURA	B	R	G
ALINEAMIENTO DE RUEDAS	B	R	G
ALINEAMIENTO DE EJES	B	R	G

VERIFICACIÓN DE:			
FRENADO	B	R	G
HOLGURAS	B	R	G
LUCES	B	R	G
SISTEMA ELÉCTRICO	B	R	G
EMISIONES SONORAS	B	R	G

DIAGNÓSTICO DE GASES DE ESCAPE				
MOTOR GASOLINERO	RPM RALENTI	2500	RPM 2500 +/- 250 RPM	5000
	TEMPERATURA	80°C	TEMPERATURA	93°C
	CO(%-v/v)	0.88	CO	1.45
	HC (ppm)	131	HC (ppm)	236
	CO + CO2(%-v/v)	3.64	CO + CO2	4.27

MOTOR DIESEL	RPM	
	TEMPERATURA	
	OPACIDAD (m^{-1})	

OBSERVACIONES: PRUEBA REALIZADA CON HIDRÓGENO

FECHA	06 dias del mes de Mayo del 2026

Neptalí A. Saucedo Véliz
ING. MECÁNICO ELECTRICISTA
CIP. N° 53889

ING. SUPERVISOR

Figura 30:

Resultados de inspección técnica funcionando a gasolina

RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL Y MECÁNICA PARA EMISIÓN DE CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

PLACA DEL VEHICULO	5540-0S	AÑO FAB/MOD: 2016/2016
Nº DE SERIE	ME4JC47KDG7005621	COMBUSTIBLE: GASOLINA

PRUEBAS EJECUTADAS

ACORDE CON EL REGLAMENTO NACIONAL DE VEHÍCULOS APROBADO POR D.S N° 058-2003-MTC, LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES CONTAMINANTES APROBADO POR D.S. N° 047-2001-MTC Y SUS MODIFICACIONES VIGENTES.

VERIFICACIÓN DE:			
LONGITUD			
ALTURA			
ANCHO			
SOLDADURA	B	R	G
ALINEAMIENTO DE RUEDAS	B	R	G
ALINEAMIENTO DE EJES	B	R	G

VERIFICACIÓN DE:			
FRENADO	B	R	G
HOLGURAS	B	R	G
LUCES	B	R	G
SISTEMA ELÉCTRICO	B	R	G
EMISIONES SONORAS	B	R	G

DIAGNÓSTICO DE GASES DE ESCAPE				
MOTOR GASOLINERO	RPM RALENTI	2500	RPM 2500 +/- 250 RPM	5000
	TEMPERATURA	80°C	TEMPERATURA	92°C
	CO(%-v/v)	2.13	CO	6.34
	HC (ppm)	1165	HC (ppm)	443
	CO + CO2(%-v/v)	4.21	CO + CO2	13.43

MOTOR DIESEL	RPM	
	TEMPERATURA	
	OPACIDAD (m^{-1})	

OBSERVACIONES: PRUEBA REALIZADA CON GASOLINA

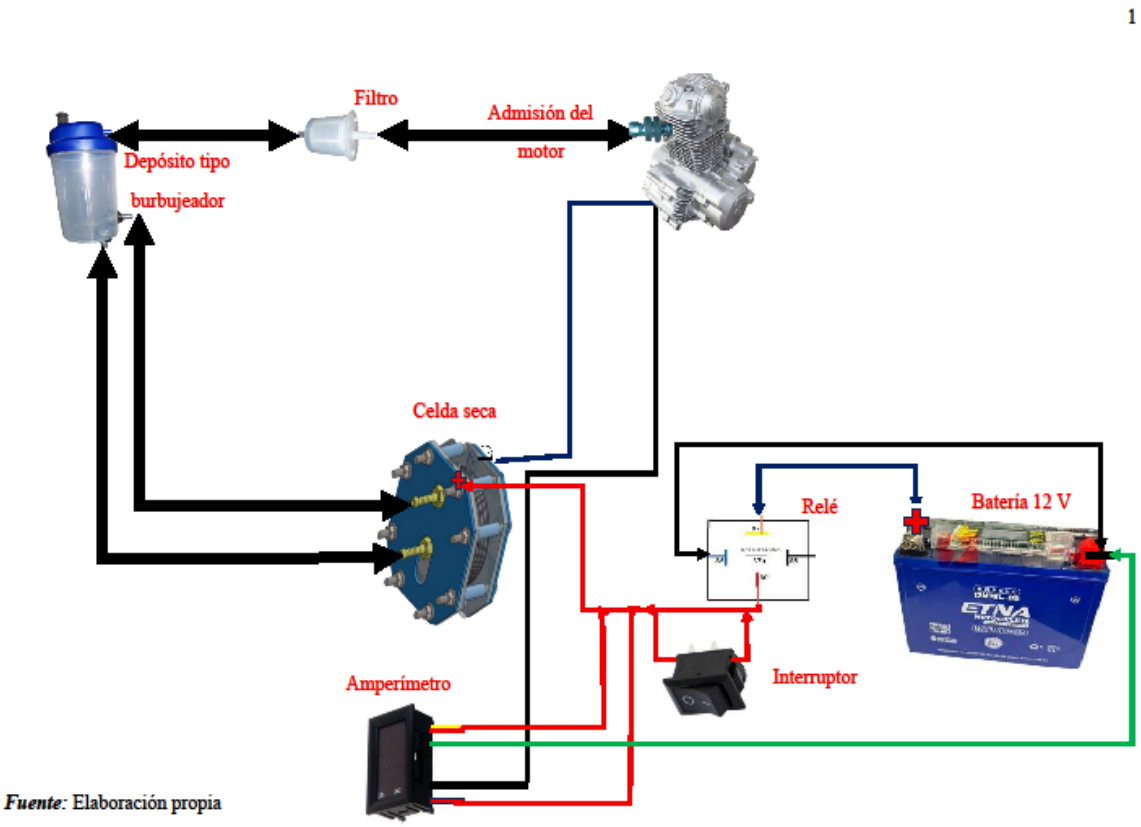
FECHA	06 dias del mes de Mayo del 2026

Neptalí A. Saucedo Veliz
ING. MECANICO ELECTRICISTA
CIP. N° 53889

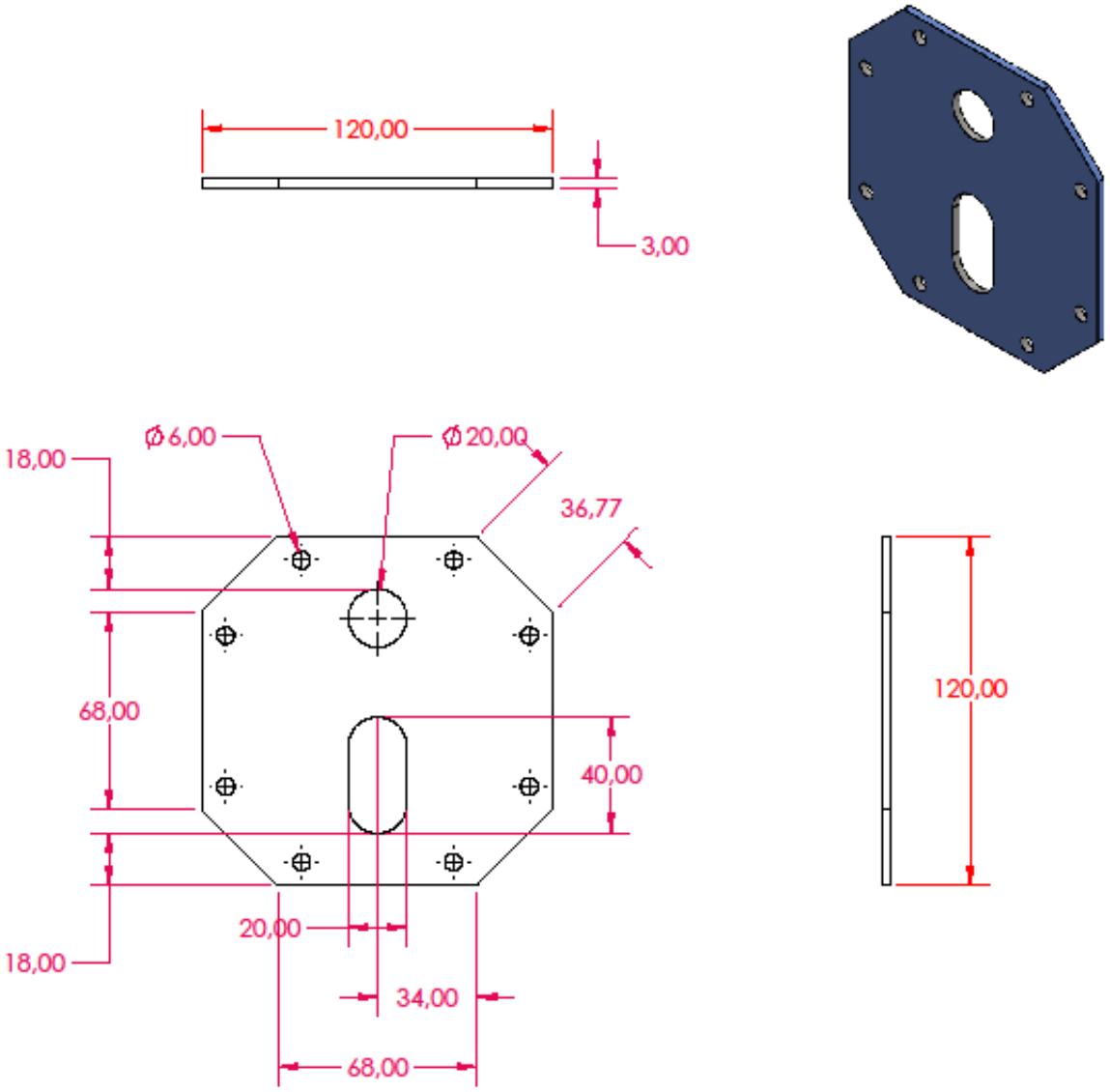
ING. SUPERVISOR

Figura 31

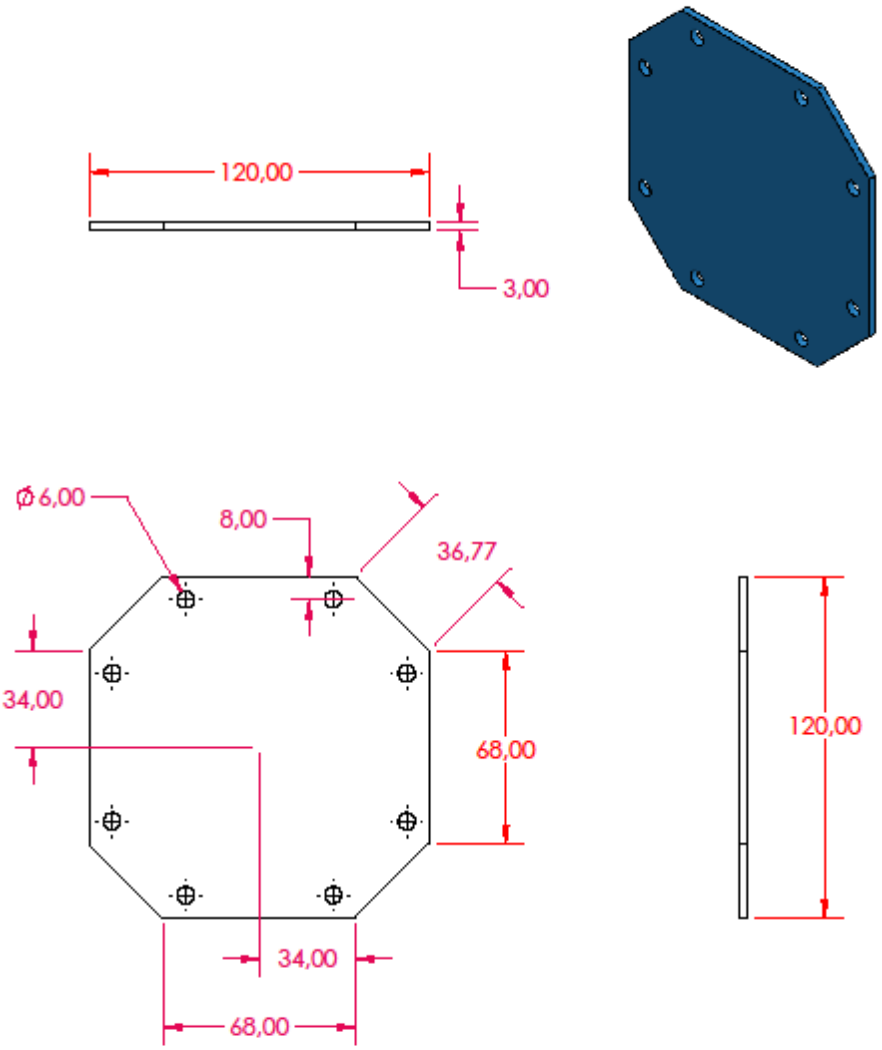
Plano general del sistema generador de hidrógeno.



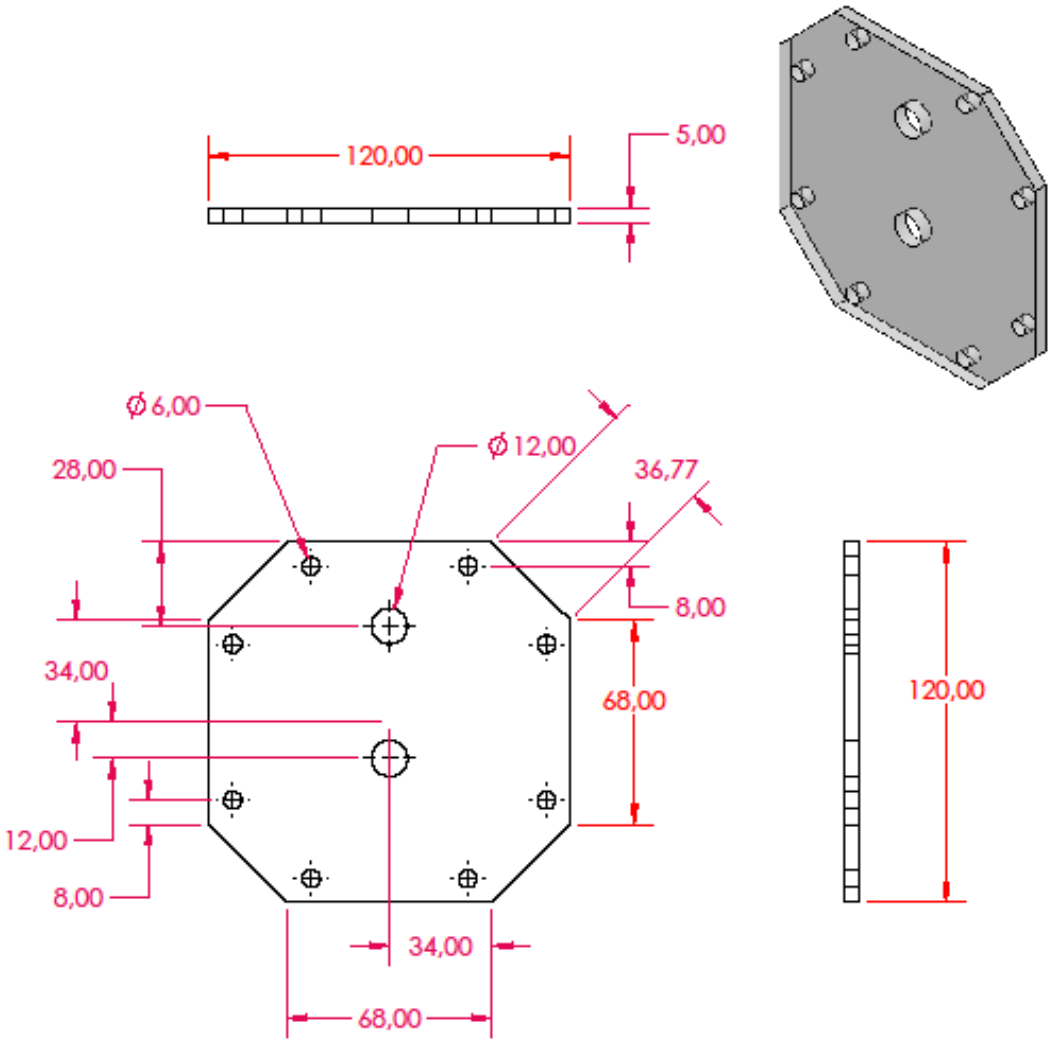
Fuente: Elaboración propia



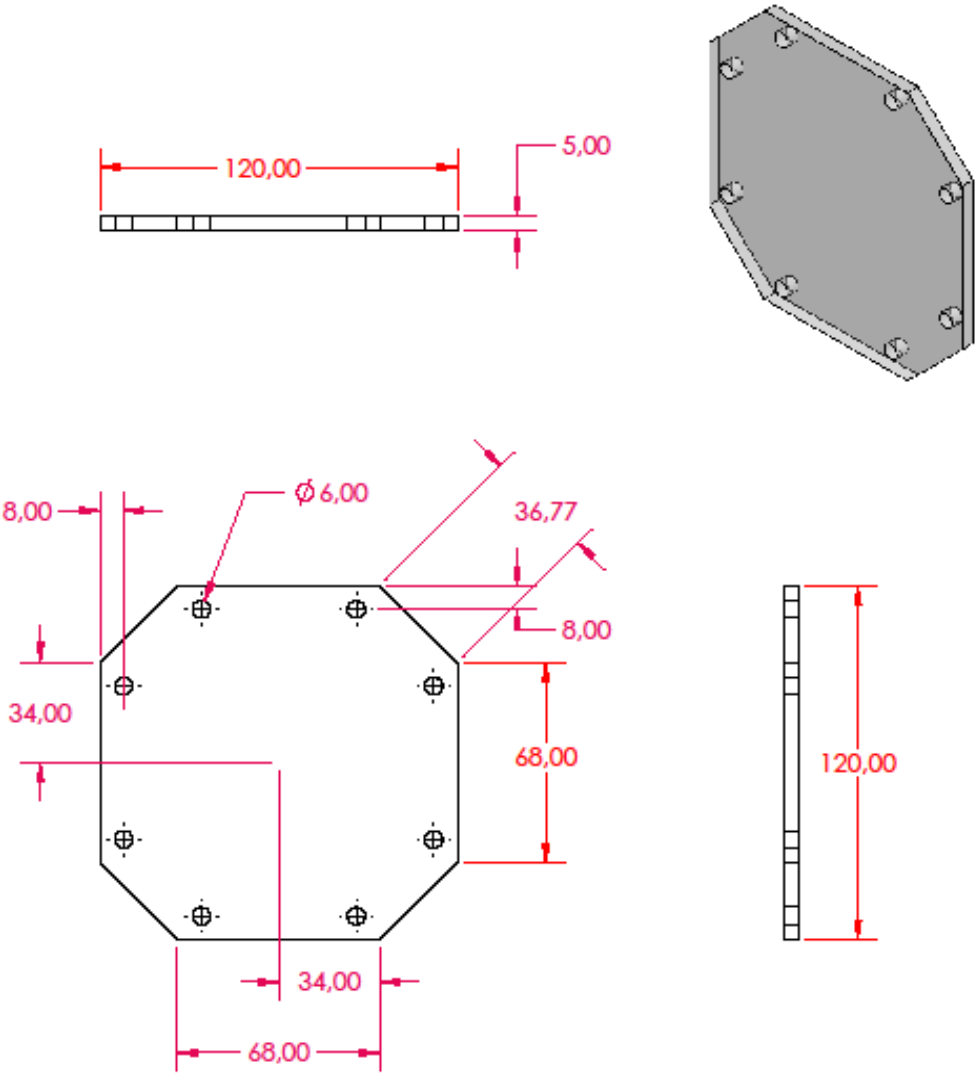
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN "Scientia et libertas"	PROYECTO:	SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDROGENO		
	PARTICIPANTES:	CHINCHAY PEREZ JULIO CÉSAR - RODRIGUEZ NEIRA JHAN CARLOS		
	Nº DE PIEZA	MATERIAL	PESO	ESCALA	Nº DE UNIDADES
	01	ASTM A36	275 gr.	1:2	01
	NOMBRE:	**CARA PRINCIPAL**		
	FECHA 10/05/2026			Nº HOJA 03 / A 4



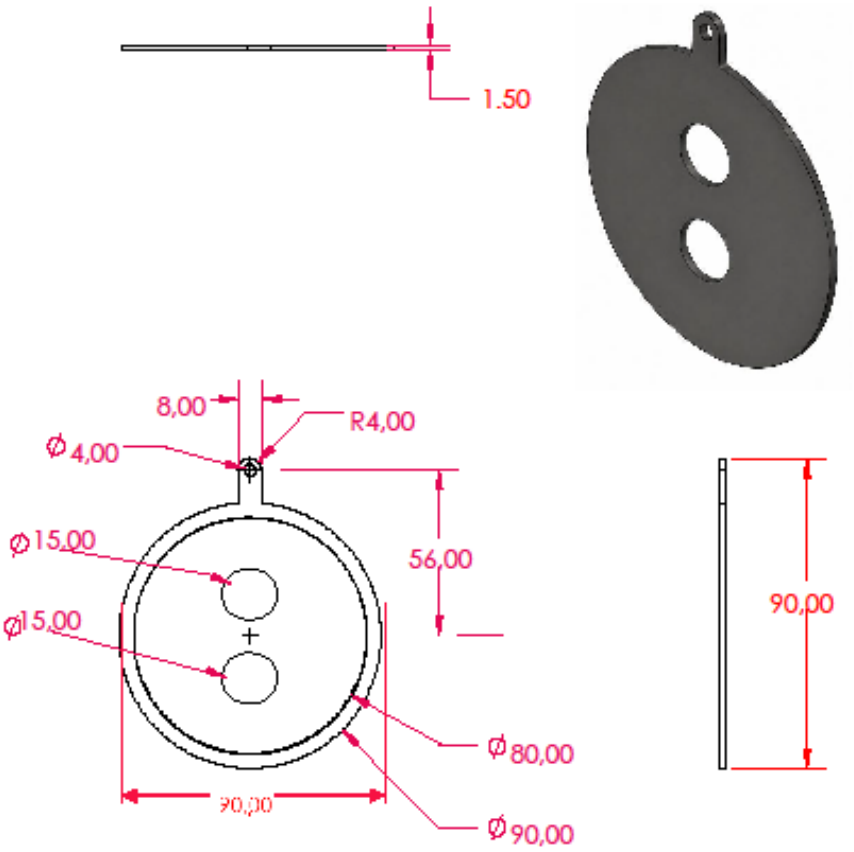
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN "Scientia et libertas"	PROYECTO:	SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDROGENO		
	PARTICIPANTES:	CHINCHAY PEREZ JULIO CÉSAR - RODRIGUEZ NEIRA JHAN CARLOS		
	Nº DE PIEZA	MATERIAL	PESO	ESCALA	Nº DE UNIDADES
	02	ASTM A36	300.03 gr.	1:2	01
	NOMBRE:	**CARA POSTERIOR**		
	FECHA 10/05/2026			Nº HOJA 04 / A 4



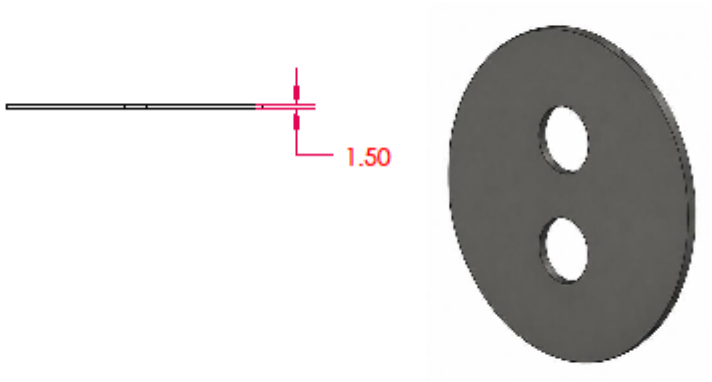
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN "Scientia et libertas"	PROYECTO:	SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDROGENO		
	PARTICIPANTES:	CHINCHAY PEREZ JULIO CÉSAR - RODRIGUEZ NEIRA JHAN CARLOS		
	Nº DE PIEZA	MATERIAL	PESO	ESCALA	Nº DE UNIDADES
	03	ACRILICO	75.57 gr.	1:2	01
	NOMBRE:	MICA CARA PERFORADA		
	FECHA 10/05/2026			Nº HOJA 05 / A 4

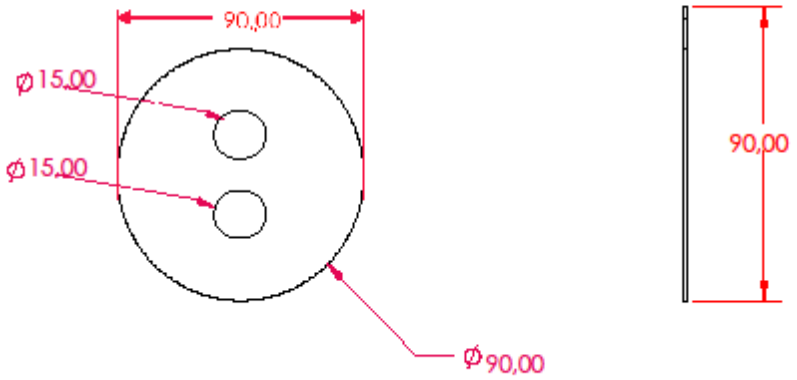


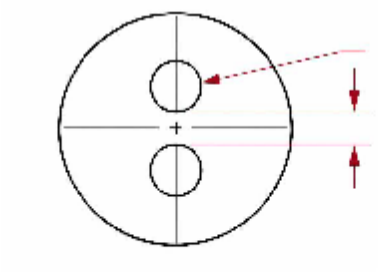
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN "Scientia et libertas"	PROYECTO:	SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDROGENO		
	PARTICIPANTES:	CHINCHAY PEREZ JULIO CÉSAR - RODRIGUEZ NEIRA JHAN CARLOS		
	Nº DE PIEZA	MATERIAL	PESO	ESCALA	Nº DE UNIDADES
	04	ACRILICO	76.93 gr.	1:2	01
	NOMBRE:	**MICA POSTERIOR**		
	FECHA 10/05/2026			Nº HOJA 06 / A 4



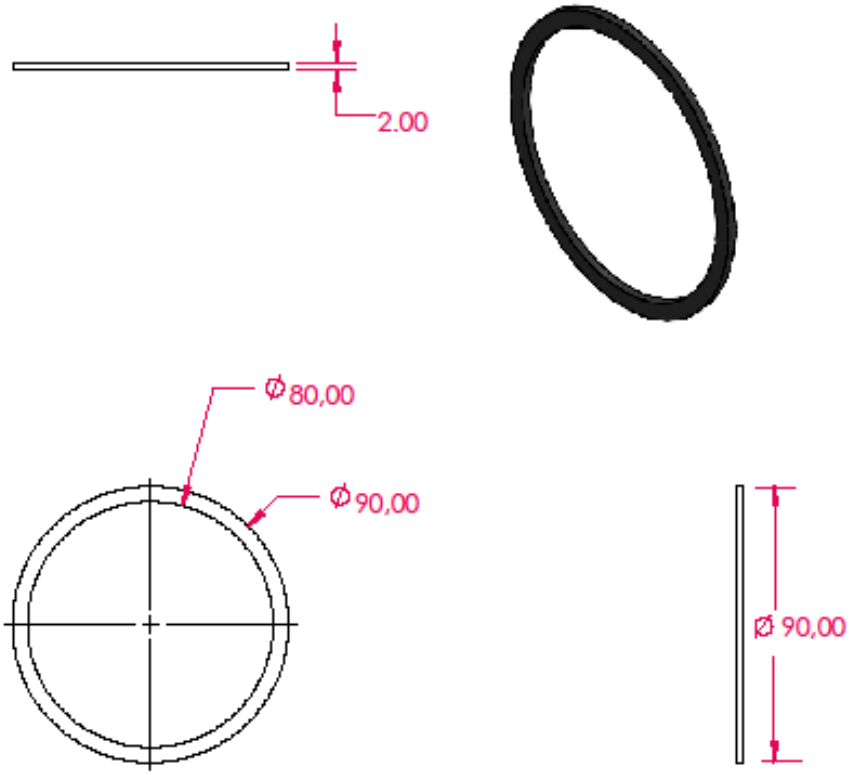
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN "Ciencia en libertad"	PROYECTO:	SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDROGENO		
	PARTICIPANTES:	CHINCHAY PEREZ JULIO CÉSAR - RODRIGUEZ NEIRA JHAN CARLOS		
	Nº DE PIEZA	MATERIAL	PESO	ESCALA	Nº DE UNIDADES
	05	ACERO INOX 316L	17.02gr.	1:2	02
	NOMBRE:	ANILLO DE ACERO CON PESTAÑA PARA PERNO			
	FECHA 10/05/2026				Nº HOJA 07
					A 4



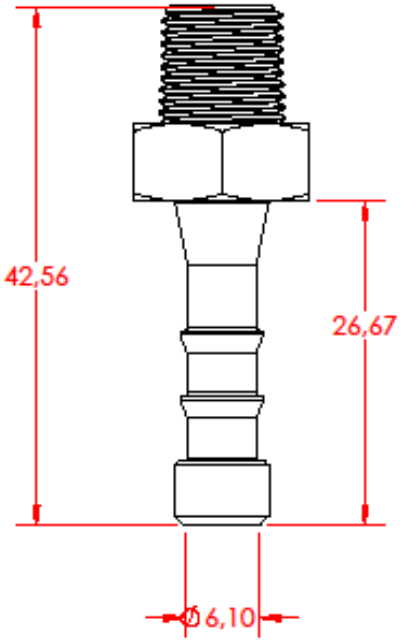


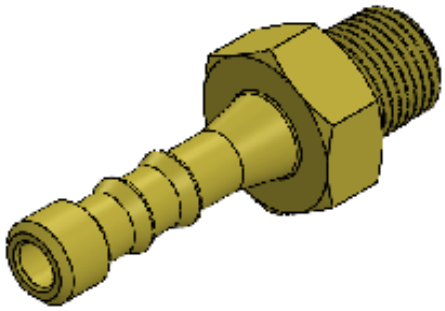


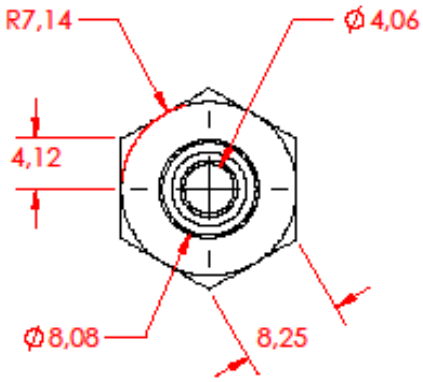
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN	PROYECTO:	SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDROGENO		
	PARTICIPANTES:	CHINCHAY PEREZ JULIO CÉSAR - RODRIGUEZ NEIRA JHAN CARLOS		
	Nº DE PIEZA	MATERIAL	PESO	ESCALA	Nº DE UNIDADES
	06	ACERO INOX 316L	17.02 gr.	1:2	04
	NOMBRE:	ANILLO DE ACERO			
	FECHA 10/05/2026				Nº HOJA 07
					A 4

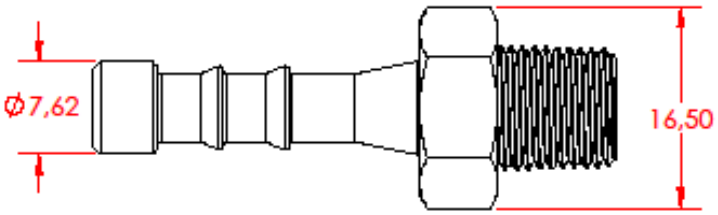


UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN "Scientia et libertas"	PROYECTO:	SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDROGENO		
	PARTICIPANTES:	CHINCHAY PEREZ JULIO CÉSAR - RODRIGUEZ NEIRA JHAN CARLOS		
	Nº DE PIEZA	MATERIAL	PESO	ESCALA	Nº DE UNIDADES
	07	CAUCHO EPDM-60	4.26 gr.	1:2	07
	NOMBRE:	**ANILLO DE CAUCHO**			
	FECHA 10/05/2026				Nº HOJA 09
					A 4









UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN "Scientia et libertas"	PROYECTO:	SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDROGENO		
	PARTICIPANTES:	CHINCHAY PEREZ JULIO CÉSAR - RODRIGUEZ NEIRA JHAN CARLOS		
	Nº DE PIEZA	MATERIAL	PESO	ESCALA	Nº DE UNIDADES
	10	BRONCE	16.34 gr.	2:1	02
	NOMBRE:	***ACOPLE PARA MANGUERA 0.25***			
	FECHA 10/05/2026				Nº HOJA 12 / A 4