



Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniera Automotriz

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autor: Melissa Michelle Quiroz Paez

Tutor: Ing. Adolfo Peña Pinargote

**Metodología de Implementación de un Sistema HHO Dry
Electrolyzer en un Vehículo M1**

Certificado de Autoría

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

Melissa Quiroz Paez

C.I.0951670025

Aprobación del Tutor

Yo, Adolfo Peña Pinargote certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Adolfo Peña Pinargote, M.Sc.

C.I: 1204668766

Director de Proyecto

Dedicatoria

Dedico este proyecto a Dios y mis padres por ser pilares fundamentales en mi carrera universitaria y brindarme su apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida. Estar cada día presente impulsándome a ser mejor profesional y ser humano y ser mi sustento en los momentos difíciles

Melissa Quiroz Paez

Agradecimiento

Con profunda estima y reconocimiento, agradezco a mis padres por ser pilares
fundamentales en este proceso.

Mi gratitud se extiende a mis docentes Fernando Gómez y Adolfo Peña por su dirección
académica ha sido fundamental para la creación de este proyecto

A cada uno de ustedes mi más profundo agradecimiento por el apoyo en esta etapa
universitaria.

Melissa Quiroz Paez

Índice General

Certificado de Autoría	iii
Aprobación del Tutor	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice General	vii
Índice de Imágenes.....	xi
Índice de Tablas.....	xii
Resumen	xiii
Abstract	xiv
Capítulo I.....	9
Antecedentes	9
1.1 Tema de Investigación.....	9
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema	9
<i>1.2.1 Planteamiento del Problema</i>	<i>9</i>
<i>1.2.2 Formulación del Problema.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3 Sistematización del Problema</i>	<i>10</i>
1.3 Objetivos de la Investigación	10
1.3.1 Objetivo General	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10

1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación.....	11
1.4.1 Justificación Teórica.....	11
1.4.2 Justificación Metodológica	12
1.4.3 Justificación Práctica.....	13
1.4.4 Delimitación Temporal	14
1.4.5 Delimitación Geográfica	14
1.4.6 Delimitación del Contenido.....	14
1.4.6.1 Componentes del Sistema	14
1.4.6.2 Normativas y Regulaciones	14
1.4.6.3 Sistema Eléctrico	14
Capítulo II	16
Marco Referencial	16
2.1 Marco Teórico.....	16
2.1.1 Contexto de la Sustentabilidad en el Transporte Automotriz	16
2.1.2 El Sistema HHO Dry Electrolyzer.....	16
2.1.3 Principios Termodinámicos en la Mejora de la Eficiencia	16
2.1.4 Normativas y Regulaciones para Sistemas de Hidrógeno en Vehículos	17
2.1.5 Viabilidad Económica y Ambiental	18
2.2 Conceptos Preliminares	18
2.2.1 Vehículos de Categoría M1	18

<i>2.2.2 Sistema HHO Dry Electrolyzer</i>	<i>18</i>
<i>2.2.3 Electrólisis del Agua.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.4 Producción de Gas HHO.....</i>	<i>21</i>
<i>2.2.5 Principios de Combustión Mejorada.....</i>	<i>21</i>
<i>2.2.6 Velocidad de Llama del Hidrógeno</i>	<i>21</i>
<i>2.2.7 Rango de Inflamabilidad</i>	<i>22</i>
<i>2.2.8 Análisis NVH (Ruido, Vibración y Aspereza)</i>	<i>22</i>
<i>2.2.9 Ruido.....</i>	<i>23</i>
<i>2.2.10 Vibración.....</i>	<i>23</i>
<i>2.2.11 Normativa ISO 26142:2010 para Sistemas de Hidrógeno</i>	<i>23</i>
<i>2.2.12 Almacenamiento y Manejo de Hidrógeno</i>	<i>23</i>
<i>2.2.13 Pruebas de Resistencia.....</i>	<i>23</i>
<i>2.2.14 Eficiencia Energética y Reducción de Emisiones.....</i>	<i>24</i>
<i>2.2.15 Reducción de Emisiones de NOx y CO.....</i>	<i>24</i>
Capítulo III	26
3.1 Proceso de Generación de gas Hidrogeno	26
3.2 Partes del HHO Dry Electrolyzer.....	29
3.3 Datos del Vehículo a Implementar el Sistema HHO Dry Electrolyzer	30
3.4 Proceso de Implementación del Dispositivo HHO Dry Electrolyzer.....	30
<i>3.4.1 Paso 1: Ubicar Espacio Dentro del Vehículo.....</i>	<i>32</i>

3.4.2 Paso 2: Conectar los Terminales Positivos y Negativos del H2 Energy.....	33
3.4.3 Paso 3: Conectar la Cañería de Vacío.....	34
3.4.4 Paso 4: Realizar Mezcla de Agua con Bicarbonato.....	36
3.4.5 Paso 5: Llenar el Reservorio del Dispositivo HHO Dry Electrolyzer	36
Capítulo IV	38
4.1 Análisis de Rendimiento con Dispositivo Generador de Hidrógeno HHO Dry Electrolyzer ..	38
4.2 Prueba de Ruta sin el Dispositivo HHO Dry Electrolyzer	38
4.2.1 Parámetros de Desempeño sin el Dispositivo HHO Dry Electrolyzer:	40
4.2.2 Parámetros de Desempeño con el Dispositivo HHO Dry Electrolyzer:	40
4.3 Análisis de Resultados.....	41
Conclusiones	43
Recomendaciones.....	44
Bibliografía.....	45

Índice de Imágenes

Figura 1 <i>Circuito de Instalación Eléctrica</i>	15
Figura 2 <i>Categoría Vehículos M1</i>	19
Figura 3 <i>Generación de Gas Hidrógeno</i>	20
Figura 4 <i>Proceso de Electrolisis</i>	20
Figura 5 <i>Potencia que Genera HHO System</i>	21
Figura 6 <i>Inflamabilidad del Hidrógeno</i>	22
Figura 7 <i>Eficiencia Energética del Hidrógeno</i>	24
Figura 8 <i>Partes de H2 Energy</i>	29
Figura 9 <i>Dispositivo H2 Energy</i>	31
Figura 10 <i>Vehículo Corsa Evolution 1.4</i>	31
Figura 11 <i>Espacio Para Ubicar Dispositivo</i>	32
Figura 12 <i>Dispositivo Ubicado</i>	32
Figure 13 <i>Conexión de Terminal Positivo</i>	33
Figura 14 <i>Conexión de Terminal Negativo</i>	34
Figura 15 <i>Cañería de Vacío</i>	34
Figura 16 <i>Adaptación de Conexión a Vacío de Gases del Tanque de Combustible</i>	35
Figura 17 <i>Conexión al Punto de Emisión del Vehículo</i>	35
Figura 18 <i>Mezcla de Bicarbonato con Agua</i>	36
Figure 19 <i>Llenado del Reservorio de Agua del H2 Energy</i>	37

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Producción de Gas Hidrógeno según Voltaje</i>	28
Tabla 2 <i>Especificaciones del Chevrolet Corsa 1.4</i>	30
Tabla 3 <i>Datos del Corsa Evolution 1.4</i>	38
Tabla 4 <i>Parámetros de Desempeño Según Prueba de Ruta sin el Dispositivo</i>	38
Tabla 5 <i>Parametros de Desempeño con el Dispositivo HHO Dry Electrolyzer</i>	39

Resumen

El desarrollo e implementación de un sistema HHO Dry Electrolyzer en vehículos de categoría M1, diseñado para mejorar la eficiencia energética, reducir las emisiones contaminantes y optimizar el consumo de combustible. Este sistema utiliza el proceso de electrólisis para descomponer moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno, los cuales se inyectan en la cámara de combustión del motor. La combinación de estos gases mejora la eficiencia de la combustión al aumentar la propagación de la llama y permitir una quema más completa del combustible, lo que se traduce en menores emisiones de gases contaminantes como óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO). El trabajo identifica los principales desafíos asociados con la implementación de esta tecnología, como la integración adecuada en vehículos M1, las normativas de seguridad aplicables y la viabilidad económica. Para abordar estos desafíos, se desarrolla una metodología estructurada que incluye el análisis teórico, pruebas experimentales y cumplimiento de normas internacionales como ISO 26142:2010. Se realizó un estudio de caso utilizando un Chevrolet Corsa Evolution 1.4 como vehículo de prueba, implementando el dispositivo HHO Dry Electrolyzer y evaluando su rendimiento antes y después de la instalación. Las pruebas incluyeron mediciones de consumo de combustible, eficiencia energética, emisiones y parámetros de desempeño como torque y potencia máxima. En términos de seguridad y normativas, el sistema cumple con las regulaciones internacionales, asegurando la protección del vehículo y del conductor. Esto incluye medidas para prevenir fugas de hidrógeno, sistemas de monitoreo continuo y componentes diseñados para resistir condiciones adversas como cambios de temperatura, vibraciones y exposición a agentes químicos.

Palabras Clave: HHO Dry Electrolyzer, vehículos M1, nitrógeno, eficiencia energética, electrólisis, NOx.

Abstract

The development and implementation of a HHO Dry Electrolyzer system in M1 category vehicles, designed to improve energy efficiency, reduce pollutant emissions and optimize fuel consumption. This system uses the electrolysis process to break down water molecules into hydrogen and oxygen, which are injected into the engine combustion chamber. The combination of these gases improves combustion efficiency by increasing flame spread and allowing the fuel to burn more completely, resulting in lower emissions of polluting gases such as nitrogen oxides (NO_x) and carbon monoxide (CO). The paper identifies the main challenges associated with the implementation of this technology, such as proper integration into M1 vehicles, applicable safety regulations, and economic feasibility. To address these challenges, a structured methodology is developed that includes theoretical analysis, experimental testing and compliance with international standards such as ISO 26142:2010. A case study was conducted using a Chevrolet Corsa Evolution 1.4 as a test vehicle, implementing the HHO Dry Electrolyzer device and evaluating its performance before and after installation. The tests included measurements of fuel consumption, energy efficiency, emissions and performance parameters such as torque and peak power. In terms of safety and regulations, the system complies with international regulations, ensuring vehicle and driver protection. This includes measures to prevent hydrogen leaks, continuous monitoring systems and components designed to withstand adverse conditions such as temperature changes, vibrations and exposure to chemicals.

Keywords: HHO Dry Electrolyzer, M1 vehicles, nitrogen, energy efficiency, electrolysis,

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Metodología de Implementación de un Sistema HHO Dry Electrolyzer en un Vehículo M1

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

En la actualidad existe preocupación constante por las causas del cambio climático y la contaminación, esto impulsa al sector automotriz reducir las emisiones de gases contaminantes en los motores de combustión interna.

A pesar de los avances en tecnologías alternativas, como los vehículos eléctricos, una gran parte de la flota vehicular sigue funcionando con combustibles fósiles, lo que contribuye significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero.

1.2.1 Planteamiento del Problema

El sistema HHO (Hidrógeno-Hidrógeno-Oxígeno) Dry Electrolyzer ha sido planteado como una alternativa de reducción de consumo de combustible ya que este sistema utiliza la electrolisis para generar hidrogeno a partir del agua (descompone sus moléculas) el hidrogeno es involucrado en la cámara de combustión del motor haciéndolo potente, mejorando eficiencia y reduciendo uso de combustible.

El principal problema radica en la falta de una metodología clara y eficiente para la implementación de un sistema HHO Dry Electrolyzer en vehículos M1, ya que esta tecnología aún no está completamente estandarizada ni adaptada a este tipo de vehículos. Existen interrogantes sobre la efectividad real del sistema en condiciones de uso regular, su impacto a largo plazo en el motor, los costos asociados a su instalación, mantenimiento, y la aceptación del mercado para su implementación masiva. Además, las diferencias en los diseños de motores y los requisitos de cada vehículo complican la posibilidad de generalizar el uso de este sistema.

1.2.2 Formulación del Problema

¿Cómo se puede implementar de manera eficiente y segura un sistema HHO Dry Electrolyzer en un vehículo de categoría M1 sin comprometer la seguridad, la integridad del motor, y mejorando la eficiencia del combustible?

1.2.3 Sistematización del Problema

- ¿Cómo afecta la implementación del sistema HHO Dry Electrolyzer en la combustión del motor y qué impacto tiene en la reducción de las emisiones de gases contaminantes?
- ¿Es posible justificar económicamente la instalación de un sistema HHO Dry Electrolyzer en vehículos M1 en términos de ahorro de combustible y reducción de emisiones, frente a otras tecnologías disponibles?
- ¿Qué normativas y regulaciones deben cumplirse al instalar un sistema HHO en un vehículo M1 y cómo se puede asegurar que el sistema cumpla con estos requisitos?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar la metodología de implementación de un sistema HHO Dry Electrolyzer en un vehículo M1

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir los componentes del sistema HHO Dry Electrolyzer considerando los fenómenos NVH.
- Identificar las ubicaciones adecuadas para los componentes del sistema HHO Dry Electrolyzer según normativa ISO 26142:2010.
- Instalar el sistema HHO Dry Electrolyzer considerando el sistema eléctrico.

1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación

El uso de sistemas de combustión interna sigue siendo predominante en la industria automotriz, a pesar del creciente desarrollo de tecnologías como los vehículos eléctricos e híbridos.

La contaminación ambiental y el agotamiento de recursos fósiles exigen soluciones inmediatas para reducir las emisiones de gases contaminantes. En este sentido, el sistema HHO Dry Electrolyzer se presenta como una alternativa prometedora para mejorar la eficiencia de los motores de combustión interna, al generar hidrógeno y oxígeno mediante electrólisis, lo cual potencialmente reduce el consumo de combustible y las emisiones de CO₂. Este estudio es relevante porque aborda una tecnología emergente y poco explorada en vehículos de la categoría M1, específicamente aquellos con motores de combustión interna.

La implementación de este sistema podría representar una solución transitoria hacia una movilidad más sostenible, sin necesidad de cambiar toda la infraestructura de los vehículos existentes. Además, una metodología clara de instalación y evaluación de la efectividad del sistema HHO Dry Electrolyzer podría abrir el camino para su aceptación masiva, siempre que se justifiquen los beneficios económicos y ecológicos.

1.4.1 Justificación Teórica

Desde un punto de vista teórico, la combustión de hidrógeno es eficaz porque el hidrógeno tiene una mayor relación de energía por masa en comparación con los combustibles fósiles tradicionales, como la gasolina o el diésel. Al añadir hidrógeno a la mezcla de combustible, se mejora la propagación de la llama dentro del cilindro, lo que permite una combustión más completa y una reducción en la cantidad de contaminantes, como el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NO_x). Adicionalmente, la inclusión de oxígeno (O₂) en el proceso de combustión favorece una oxidación más eficiente de los hidrocarburos, reduciendo las emisiones de compuestos incompletos ⁴ como el hollín o partículas en suspensión. Este enfoque teórico se alinea

con la termodinámica aplicada a los motores de combustión interna, ya que la presencia de un gas más reactivo como el hidrógeno puede influir positivamente en la dinámica del proceso de combustión. El concepto de mejora de la eficiencia energética también está respaldado por la teoría de los ciclos termodinámicos (como el ciclo Otto o ciclo Diesel), que señala que el rendimiento del motor depende de la mezcla de combustible y del control adecuado de las condiciones de combustión. Introducir hidrógeno en la mezcla puede, en teoría, aumentar la eficiencia del motor al requerir menos energía para la combustión, reduciendo así el consumo de combustible fósil.

Teóricamente, esta tecnología puede mejorar la eficiencia del motor y reducir las emisiones sin modificar significativamente los componentes internos del motor. Sin embargo, aún persisten interrogantes sobre su efectividad a largo plazo, el impacto en la durabilidad del motor y los costos asociados a su implementación, lo que justifica la necesidad de desarrollar una metodología clara para su integración en vehículos M1, validando empíricamente las proyecciones teóricas de ahorro de combustible y reducción de emisiones.

1.4.2 Justificación Metodológica

La presente investigación adopta una metodología innovadora para la implementación del sistema HHO Dry Electrolyzer en vehículos M1, integrando tanto enfoques experimentales como analíticos, con el objetivo de desarrollar un procedimiento práctico y aplicable que combine eficiencia, seguridad y viabilidad económica. Lo novedoso de esta metodología radica en la combinación de varios campos del conocimiento, como la termodinámica, el análisis de NVH (ruido, vibración y aspereza), y la normativa de seguridad vehicular (ISO 26142:2010), que no han sido ampliamente explorados en conjunto para esta tecnología.

Enfoque práctico-experimental: Se propone la instalación del sistema HHO Dry Electrolyzer en un vehículo de prueba dentro de un entorno controlado, con el fin de obtener datos 5 empíricos sobre su funcionamiento real en condiciones de uso diario

1.4.3 Justificación Práctica

La implementación de un sistema HHO Dry Electrolyzer en vehículos de categoría M1 responde a la reducción de emisiones contaminantes que afecta al medio ambiente y a la necesidad de innovar y dar una solución rápida y accesible sin la necesidad de cambiar toda la infraestructura de un vehículo y motor ya diseñado al contrario es una adaptación que ayuda al motor. La justificación practica del presente proyecto tiene enfoque en brindar una metodología sencilla que puede ser aplicada en talleres y profesionales en el sector automotriz sin necesidad de tener tecnología y herramientas especializadas o invertir una gran cantidad de dinero en la implementación de la metodología.

El HHO Dry Electrolyzer es una solución rápida y accesible para la gran mayoría del medio, ya que este dispositivo permite una instalación en vehículos a combustión de manera fácil sin realizar modificaciones significativas en el motor. Este proyecto brindara una guía de pasos para instalar el sistema en vehículos M1, lo que será accesible para talleres automotrices y a usuarios con conocimientos básicos de mecánica que le permitan instalar de forma segura y eficiente. Compatibilidad con motores existentes: A diferencia de otras tecnologías de reducción de emisiones, como la electrificación total o los sistemas híbridos, que requieren un rediseño completo del tren motriz, el sistema HHO Dry Electrolyzer se puede adaptar a motores de combustión interna ya existentes. Este aspecto es clave desde un punto de vista práctico, ya que permite mejorar el rendimiento de la flota vehicular actual sin la necesidad de reemplazar completamente los vehículos.

Esto es particularmente relevante en mercados como Ecuador, donde la renovación vehicular es lenta y la penetración de vehículos eléctricos es aún limitada.

1.4.4 Delimitación Temporal

El presente proyecto se desarrolla durante un período de 6 meses, comenzando en octubre de 2024 y finalizando en marzo de 2025

1.4.5 Delimitación Geográfica

El trabajo se desarrolla en la ciudad de Guayaquil

1.4.6 Delimitación del Contenido

La investigación se centra en la implementación del sistema HHO Dry Electrolyzer en vehículos de la categoría M1, que son vehículos de pasajeros con un máximo de ocho asientos. Los aspectos clave que se estudiarán incluyen:

1.4.6.1 Componentes del Sistema

Se analizan los componentes principales del HHO Dry Electrolyzer, considerando su interacción con fenómenos como el ruido, vibración y aspereza (NVH) en el motor.

1.4.6.2 Normativas y Regulaciones

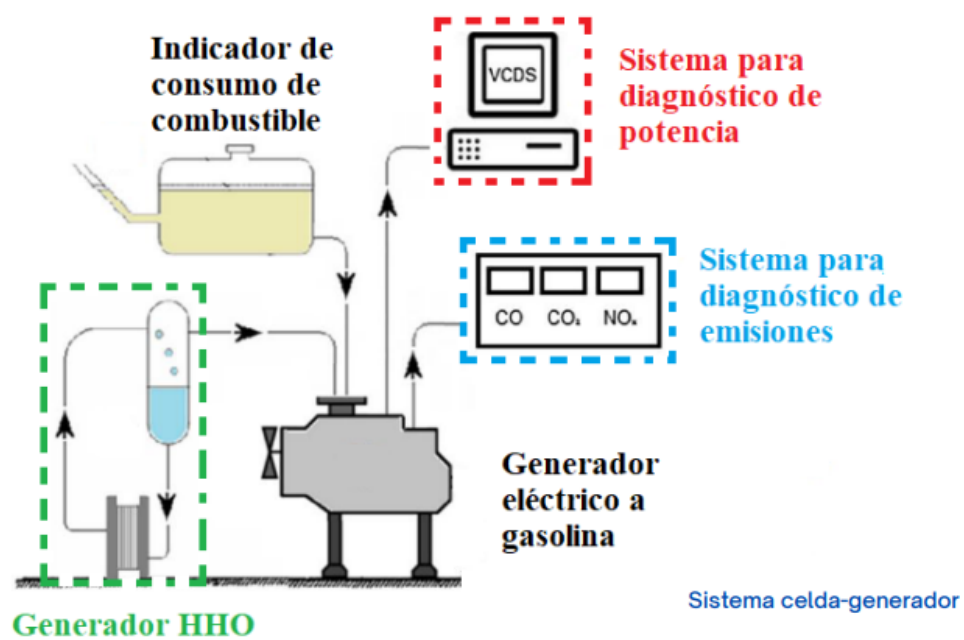
Se estudia la normativa ISO 26142:2010 y otras relevantes para identificar las ubicaciones más seguras y eficientes para instalar los componentes del sistema en los vehículos de esta categoría.

1.4.6.3 Sistema Eléctrico

Se evalúa los requisitos eléctricos necesarios para integrar de forma segura el sistema HHO en el vehículo sin comprometer su funcionamiento ni la seguridad del motor, ver figura 1.

Figura 1

Circuito de Instalación Eléctrica



Fuente: (fisica.cucei.udg, 2024)

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Contexto de la Sustentabilidad en el Transporte Automotriz

El sector automotriz ha sido históricamente uno de los mayores contribuyentes a la contaminación ambiental, principalmente debido al uso de combustibles fósiles en motores de 7 combustión interna. En el contexto actual, la presión para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ha incentivado la investigación de tecnologías más eficientes y ecológicas. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2020), los vehículos de combustión interna siguen dominando el parque vehicular global, representando aproximadamente el 90% del total. Esto ha generado una búsqueda constante de soluciones que no solo mitiguen el impacto ambiental, sino que también ofrezcan una transición gradual hacia fuentes de energía más limpias.

2.1.2 El Sistema HHO Dry Electrolyzer

El sistema HHO (Hidrógeno-Hidrógeno-Oxígeno) Dry Electrolyzer se basa en la electrólisis del agua, donde una corriente eléctrica divide el agua en hidrógeno y oxígeno. Este gas, conocido como "gas HHO" o "oxihidrógeno", se introduce en la cámara de combustión del motor, mejorando la eficiencia de la combustión y reduciendo las emisiones. De acuerdo con estudios de Cheng y Chow (2017), el hidrógeno potencia la combustión al reducir el tiempo de retardo en la ignición, lo que permite una quema más completa del combustible. Esto no solo incrementa la eficiencia, sino que también reduce la formación de contaminantes como el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NOx).

2.1.3 Principios Termodinámicos en la Mejora de la Eficiencia

La eficiencia del motor se ve influenciada por varios factores, incluyendo la calidad de la mezcla aire-combustible y la eficiencia de la combustión. La teoría termodinámica aplicada a

motores de combustión interna indica que el rendimiento del motor depende en gran medida de cómo se maneje la energía interna del combustible. Según Heywood (2018), el hidrógeno tiene un rango de inflamabilidad mas alto y produce combustión de forma más eficiente a comparación de los combustibles como el diésel o gasolina que necesitan mucha presión o mas inflamabilidad para combustionar, al tener estos beneficios se reduce la cantidad de energía desperdiciada en los gases de escape.

Además, la adición de oxígeno puro (generado en el proceso de electrólisis) contribuye a 8 mejorar el proceso de combustión, ya que proporciona un ambiente más oxidante que favorece la conversión completa de los hidrocarburos en dióxido de carbono y agua. En un estudio realizado por Kumar et al. (2020), se demostró que la inyección de gas HHO en motores de combustión interna puede reducir las emisiones de CO en un 30% y aumentar la eficiencia del motor en aproximadamente un 15%, sin necesidad de realizar modificaciones significativas en la arquitectura del motor.

2.1.4 Normativas y Regulaciones para Sistemas de Hidrógeno en Vehículos

El uso de sistemas de hidrógeno en vehículos está regulado por varias normativas internacionales que garantizan la seguridad y viabilidad de su implementación. La norma ISO 26142:2010 establece requisitos específicos para la instalación y operación de sistemas de hidrógeno en vehículos de carretera, enfocándose en la seguridad del almacenamiento, la prevención de fugas y la protección contra sobrepresión.

Además, según la normativa ECE R134 (2021), los vehículos que utilicen sistemas de generación y almacenamiento de hidrógeno deben estar equipados con válvulas de seguridad y sensores de monitoreo continuo para evitar accidentes relacionados con la alta inflamabilidad del hidrógeno. Estas normativas son esenciales para garantizar que la implementación de sistemas

HHO no comprometa la seguridad del vehículo ni la del conductor, y que las modificaciones cumplan con los estándares de seguridad internacionales.

2.1.5 Viabilidad Económica y Ambiental

Desde un punto de vista económico, la instalación de un sistema HHO Dry Electrolyzer en vehículos de categoría M1 presenta un costo inicial relativamente bajo en comparación con tecnologías alternativas como los vehículos eléctricos o híbridos. Según estudios de Amador y López (2019), los costos de instalación de estos sistemas son recuperables en el mediano plazo gracias al ahorro en combustible, estimado entre un 10% y 25% en vehículos convencionales. Este aspecto económico se complementa con los beneficios ambientales, ya que la reducción en el consumo de combustibles fósiles también se traduce en una disminución proporcional de las emisiones de gases de efecto invernadero.

2.2 Conceptos Preliminares

2.2.1.1 Vehículos de Categoría M1

Los vehículos de categoría M1 son definidos como aquellos diseñados y construidos para el transporte de pasajeros, con un máximo de ocho asientos además del asiento del conductor (UNECE, 2018). Estos vehículos representan una porción significativa del parque vehicular global, especialmente en el segmento de vehículos familiares y utilitarios, ver figura 2. La combustión interna es un método de generar energía dentro de un motor que sigue siendo predominante en los vehículos M1, lo que significa un gran desafío a la reducción de emisiones de gases contaminantes y disminuir significativamente el uso de combustibles fósiles.

2.2.2 Sistema HHO Dry Electrolyzer

El HHO Dry Electrolyzer es una tecnología que utiliza la electrólisis para dividir las moléculas de agua (H_2O) en hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2) gaseosos. A diferencia de otros sistemas de electrólisis húmeda, un "electrolizador seco" utiliza una disposición donde el agua no está en

contacto directo con las placas de electrólisis, lo que mejora la eficiencia del sistema y reduce el riesgo de corrosión. El gas HHO generado se introduce en la admisión de aire del motor de combustión interna, donde se mezcla con el combustible tradicional, como la gasolina o el diésel, optimizando la combustión, ver figura 3.

Figura 2

Categoría Vehículos M1

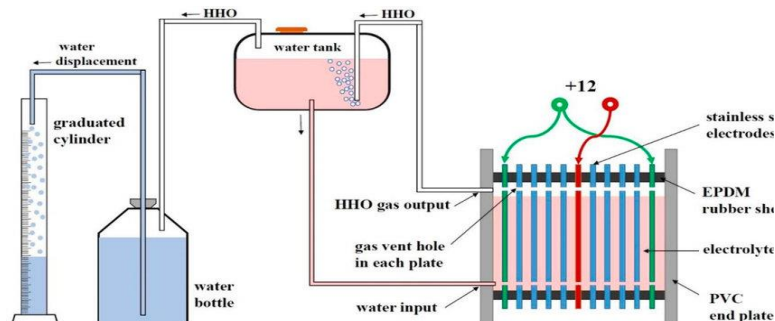


M1: Vehículos de 8 asientos o menos, sin contar el asiento del conductor.

M2: Vehículos de más de 8 asientos, sin contar el asiento del conductor y peso bruto de 5 toneladas o menos.

M3: Vehículos de mas de 8 asientos, sin contar el el conductor y peso de más de 5 toneladas.

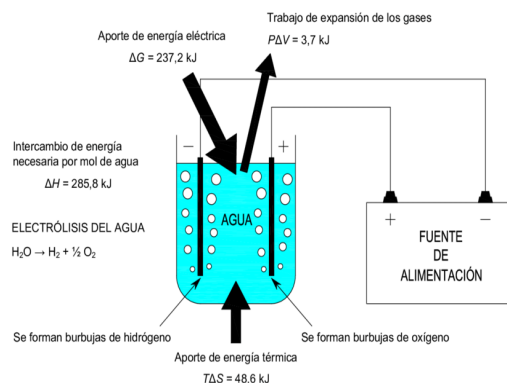
Fuente: (Aprendemergencias, 2022)

Figura 3*Generación de Gas Hidrógeno*

Fuente: (Researchgate, s.f.)

2.2.3 Electrólisis del Agua

La electrólisis se refiere a la descomposición del agua en hidrógeno y oxígeno mediante una corriente eléctrica. En un sistema HHO, esto se logra utilizando una celda de electrólisis con placas de acero inoxidable, generalmente separadas por un electrolito como hidróxido de sodio (NaOH) o potasio (KOH) para mejorar la conductividad.

Figura 4*Proceso de Electrólisis*

Fuente: (ResearchGate, 2023)

2.2.4 Producción de Gas HHO

El gas resultante contiene dos moléculas de hidrógeno (H_2) y una de oxígeno (O_2), formando un gas conocido como oxihidrógeno o gas HHO, ver figura 5. Este gas tiene propiedades explosivas que, cuando se combinan con la mezcla de aire-combustible en el motor, mejoran la eficiencia de la combustión, permitiendo una quema más completa del combustible.

Figura 5

Potencia que Genera HHO System



Fuente: (Energies, 2025)

2.2.5 Principios de Combustión Mejorada

La combustión en los motores de combustión interna depende de una mezcla precisa de aire y combustible. Al introducir hidrógeno en esta mezcla, se mejora la combustión debido a las características químicas del hidrógeno

2.2.6 Velocidad de Llama del Hidrógeno

El hidrógeno tiene una velocidad de propagación de llama significativamente mayor que los hidrocarburos tradicionales, lo que facilita una combustión más rápida y completa (Heywood, 2018). Esto permite que se queme una mayor proporción de combustible en cada ciclo del motor,

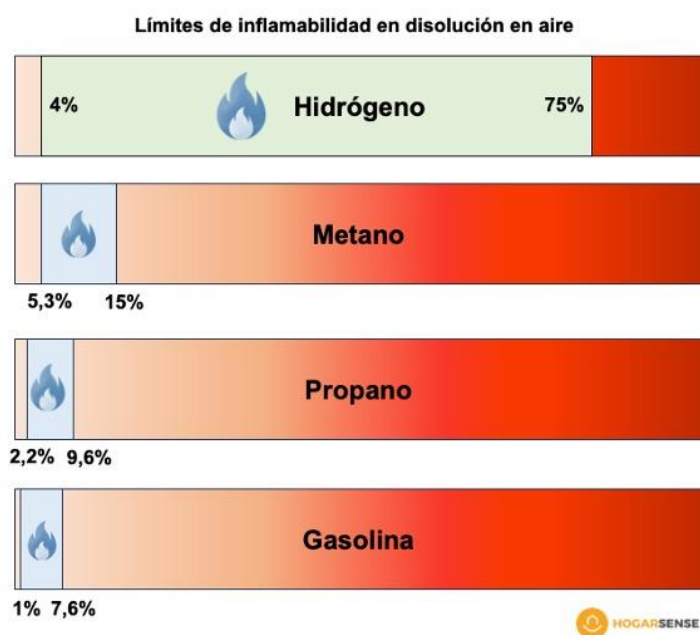
lo que mejora la eficiencia térmica y reduce las emisiones incompletas como el monóxido de carbono (CO).

2.2.7 Rango de Inflamabilidad

El hidrógeno tiene un rango de inflamabilidad más amplio que los combustibles fósiles, lo que significa que puede combustionar eficientemente en una gama más amplia de proporciones aire-combustible, incluso en condiciones de mezcla pobre (Heywood, 2018). Esto resulta en un mejor aprovechamiento del combustible en distintas condiciones de operación.

Figura 6

Inflamabilidad del Hidrógeno



Fuente: (Ingeniería, 2023)

2.2.8 Análisis NVH (Ruido, Vibración y Aspereza)

En la implementación de un sistema HHO en un vehículo M1, es crucial analizar los fenómenos NVH (ruido, vibración y aspereza) para asegurar que el confort y la seguridad del conductor no se vean comprometidos. El análisis NVH estudia los efectos sonoros y vibracionales 11 que resultan de las modificaciones en el motor y sus componentes.

2.2.9 Ruido

Al añadir un sistema HHO, pueden generarse cambios en la frecuencia y el volumen del ruido emitido por el motor, debido a la alteración en la combustión y la presión en los cilindros. Estos ruidos deben ser controlados para no exceder los límites aceptables de confort acústico en vehículos de pasajeros (Wong, 2020).

2.2.10 Vibración

La vibración en un motor está relacionada con los desequilibrios en la combustión y el movimiento de los componentes internos. La mejora en la eficiencia de la combustión puede reducir algunas vibraciones, pero es necesario evaluar si la adición del sistema HHO genera nuevas frecuencias de vibración que puedan afectar la durabilidad de los componentes o el confort del conductor.

2.2.11 Normativa ISO 26142:2010 para Sistemas de Hidrógeno

La norma ISO 26142:2010 establece los requisitos técnicos y de seguridad para la implementación de sistemas que utilizan hidrógeno en vehículos de carretera. Esta normativa se enfoca en garantizar que los sistemas de hidrógeno, incluidos los generadores de gas HHO, cumplan con criterios rigurosos de seguridad

2.2.12 Almacenamiento y Manejo de Hidrógeno

Asegura que los componentes del sistema de hidrógeno, como las líneas de gas y los sistemas de almacenamiento, estén diseñados para evitar fugas y sobrepresiones, reduciendo el riesgo de explosiones o incendios.

2.2.13 Pruebas de Resistencia

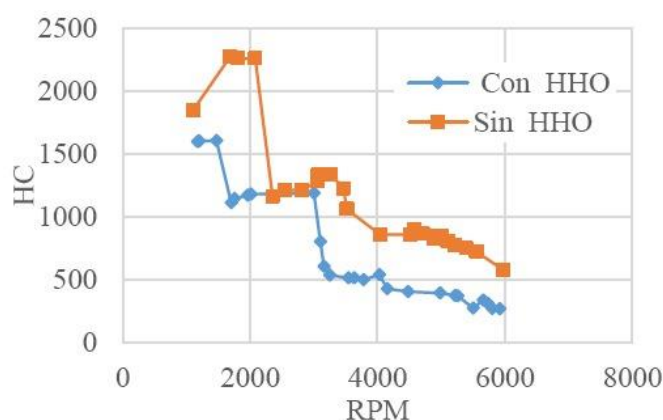
Los sistemas deben pasar ensayos de resistencia y durabilidad para garantizar que no se vean afectados por las condiciones de operación del vehículo, como cambios de temperatura, vibraciones o presencia de productos químicos.

2.2.14 Eficiencia Energética y Reducción de Emisiones

Una de las principales metas de la implementación de un sistema HHO es la reducción de emisiones contaminantes y la mejora de la eficiencia energética. El uso de hidrógeno como aditivo al combustible tiene el potencial de reducir significativamente las emisiones de gases contaminantes.

Figura 7

Eficiencia Energética del Hidrógeno



Fuente: (Rey, 2017)

2.2.15 Reducción de Emisiones de NOx y CO

Como el hidrógeno mejora la combustión al reducir el tiempo de ignición y permite una quema más completa del combustible, se reducen las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO), que son generados en condiciones de combustión incompleta o alta temperatura (Kumar et al., 2020). 5.2.16 Ahorro de Combustible Estudios muestran que la adición de gas HHO puede mejorar la eficiencia del motor entre un 10% y un 25%, lo que se traduce en un ahorro directo de combustible (Amador & López, 2019).

2.2.16 Aumento de Potencia del Motor

El aumento de potencia es alrededor del 25% y reducción de contaminantes del 80% contribuyendo al medio ambiente, regula la temperatura del motor previniendo el sobrecalentamiento y además prolonga el cambio de aceite de motor.

Capítulo III

Marco Referencial

3.1 Proceso de Generación de gas Hidrogeno

La producción de hidrógeno mediante la electrolisis es una energía renovable mediante celdas secas donde se genera la electrolisis del agua con un voltaje de 5 v y concentración electrolítica de 0.05 m.

Este generador consta de 5 partes la fuente de energía, panel de control, medidor de temperatura, electrolizador y medición del volumen del gas. La fuente de energía se encarga de convertir la corriente alterna en continua, el electrolizador del tipo celda seca el cual produce gas HHO mediante el proceso electrolítico que contiene 26 electrodos de acero inoxidable disponibles con separadores para prevenir fugas y tener un aislamiento eléctrico. Mousa, A., Sayed, H., Ali, K., Elkaoud, N., & Mahmoud, W. (2024)

El hidrogeno produce un octano de 130 lo que permite que el combustible antes de tiempo, la energía mínima para la ignición del gas HHO es 0.014 Mj y una velocidad de quemado d 2.65 m/s y 3.25 m/s lo que es relativamente rápido. Este gas se produce a partir del hidrogeno diatómico y oxígeno en una relación molar 2:1 en la combustión produce agua y 142.35 kJ por gramo de hidrógeno. Díaz-Rey, A. O., González-Gil, J. E., & González-Estrada, O. A. (2018).

Se genera la electrolisis para obtener el gas HHO ya que se descompone las moléculas de agua en oxígeno e hidrógeno, mediante corriente eléctrica para esto se modifica el pH del agua en este caso se utiliza bicarbonato para lograr la variación de pH, como se mencionó antes la electrolisis está relacionado a la corriente eléctrica que circula, se usa la siguiente fórmula para calcular el volumen producido

$$m = \frac{Elt}{F}$$

$$pv = nRT$$

Donde:

m: masa de la sustancia producida en el electrodo (g)

E: peso equivalente (g/mol)

I: intensidad de corriente (A)

T: tiempo (s)

F: constante de Farady (96500 c/mol)

P: Presión (atm)

V: Volumen (l)

N: numero de moles

R: constante de gases 0.082 atmL/mol°K

T: temperatura °K

Tabla 1

Producción de Gas Hidrógeno según Voltaje

Voltaje DC (V)	Tasa de producción de gas HHO (cm³/min)				Media
	Concentración de la solución electrolítica (M)				
	0,05	0,10	0,15	0,20	
10,50	68.17	96.25	118.1	114.1	99.17 ^a
	(3.06)	(2.42)	(2.82)	(4.82)	
11,00	108.8	164.9	194.7	206.8	168.8 ^b
	(3.29)	(2.40)	(4.73)	(6.87)	
11,50	174.0	250.2	300.7	311.3	259.0 ^c
	(8.15)	(12.0)	(11.7)	(4.44)	
12,00	174.0	343.9	418.3	442.8	360.1 ^d
	(8.15)	(6.68)	(19.8)	(4.69)	
12,50	296.2	442.7	529.0	586.3	463.5 ^e
	(6.80)	(7.82)	(11.9)	(2.54)	
13,00	364.4	547.8	650.5	737.6	575.1 ^f
	(4.10)	(6.46)	(22.1)	(18.1)	
Media	207.84 ^a	307.62 ^b	368.55 ^c	399.82 ^d	

Fuente: (Ali., 2024)

3.2 Partes del HHO Dry Electrolyzer

Figura 8

Partes de H2 Energy



Fuente: (Hidrógeno, 2024)

3.3 Datos del Vehículo a Implementar el Sistema HHO Dry Electrolyzer

Tabla 2

Especificaciones del Chevrolet Corsa 1.4

Especificaciones Chevrolet Corsa 1.4		
Motor	Código	1.4 MPFI X14XE
	Tipo	Longitudinal delantero
	Numero de cilindros y válvulas por cilindros	4 en línea 2 válvulas por cilindro
	Orden de encendido	1-3-4-2
	Diámetro del pistón	77.6 mm
	Carrera del pistón	73.4 mm
	Relación de compresión	9.5 a 1
	Cilindrada	1388 cc
	Revoluciones de relenti	950 +- 50 rpm
	Potencia mínima neta	83.7 HP a 6000 rpm
	Torque máximo neto	113.56 Nm a 3000 rpm
Desempeño	0 a 100 km/h	12.5 segundos
	Velocidad máxima	173 km/h
	Consumo mixto	6.8l/100 km o 55.6 km/gal

3.4 Proceso de Implementación del Dispositivo HHO Dry Electrolyzer

Materiales:

- Dispositivo H2 energy
- Agarradera

- Agua
- Bicarbonato

Figura 9

Dispositivo H2 Energy



Figura 10

Vehículo Corsa Evolution 1.4



3.4.1 Paso 1: *Ubicar Espacio Dentro del Vehículo*

Se ubica el dispositivo a lado de los cables de bujía ya que esto facilita conectar el terminal positivo del dispositivo a una de os cables de bujía como método inductivo, en la figura 12 se muestra que el dispositivo está a lado de las bujías para facilitar la conexión.

Figura 11

Espacio Para Ubicar Dispositivo

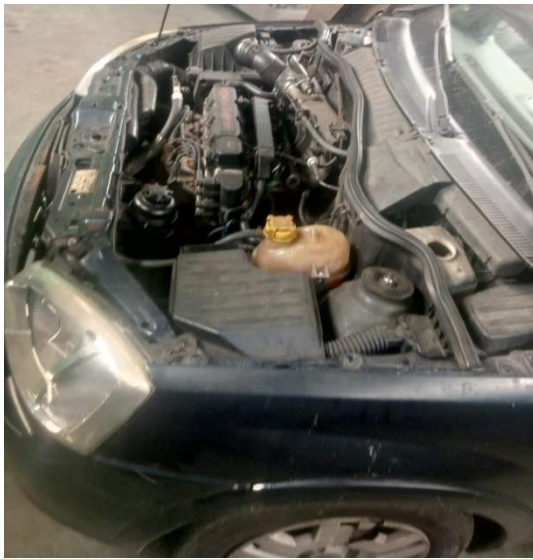


Figura 12

Dispositivo Ubicado



3.4.2 Paso 2: *Conectar los Terminales Positivos y Negativos del H2 Energy*

El terminal positivo se embobina de 7 a 10 vueltas en un cable de bujía para que no sea una conexión invasiva, el terminal negativo se conecta a una tierra en este caso se conecta en la tierra de la ECU tal como se muestra en la figura 13 y 14 es importante reconocer que el embobinado del terminal positivo debe ser protegido con cinta para no tener un mal contacto en el futuro.

Figure 13

Conexión de Terminal Positivo

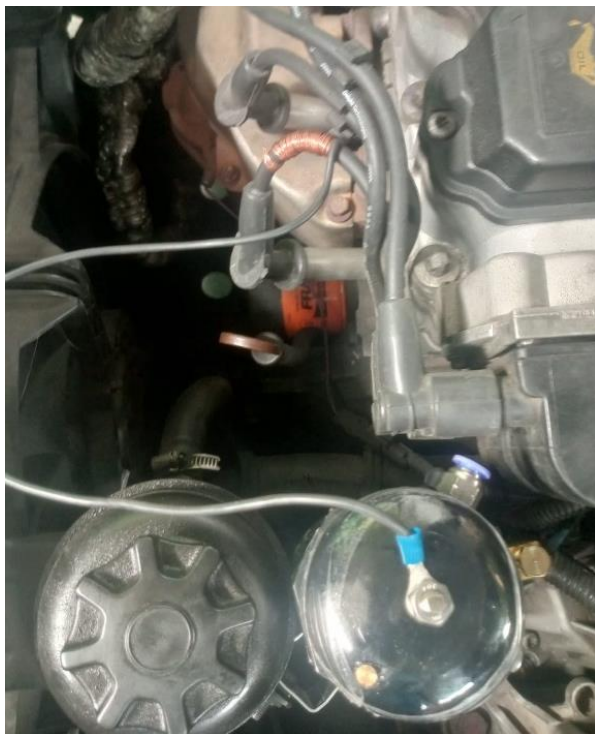


Figura 14

Conexión de Terminal Negativo



3.4.3 Paso 3: Conectar la Cañería de Vacío

Se conecta la cañería de vacío en la cañería de recirculación de gases del tanque de combustible, se coloca una T para poder adaptar la conexión, en la figura 15 se muestra la conexión al punto de admisión donde se explica de forma gráfica el funcionamiento de acuerdo con la figura 16.

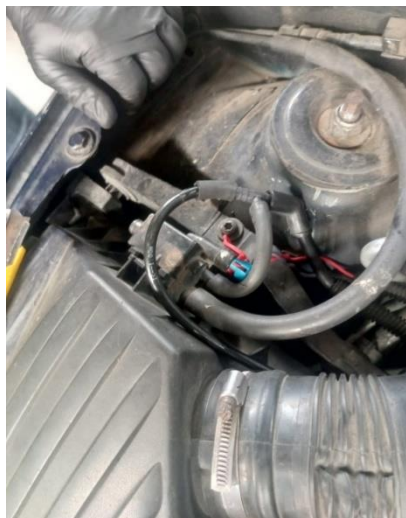
Figura 15

Cañería de Vacío

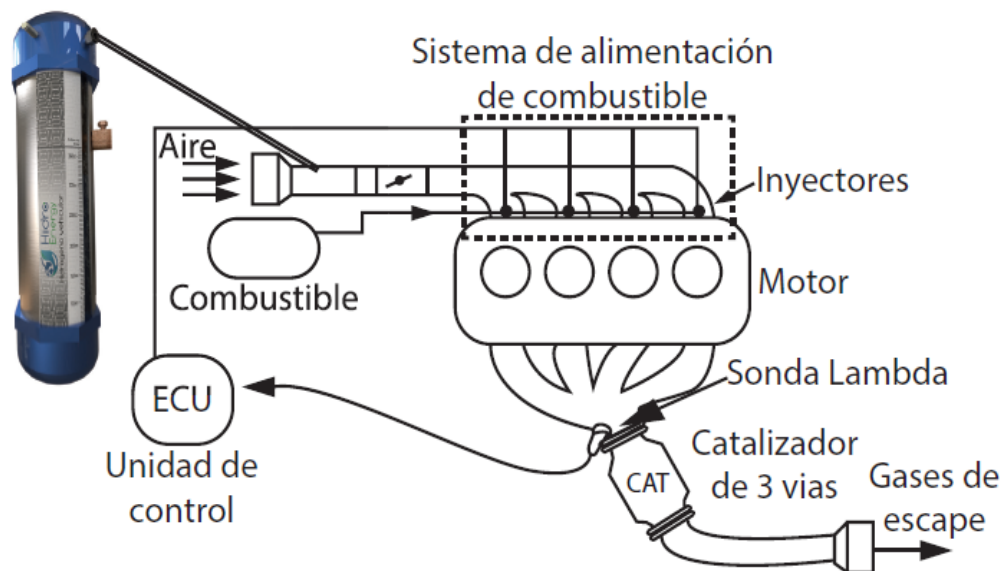


Figura 16

Adaptación de Conexión a Vacío de Gases del Tanque de Combustible

**Figura 17**

Conexión al Punto de Emisión del Vehículo



3.4.4 Paso 4: Realizar Mezcla de Agua con Bicarbonato.

Para realizar la mezcla se necesita aproximadamente 18 gr de bicarbonato mezclado con aproximadamente medio litro de agua. Se disuelve por completo el bicarbonato para poder introducirlo en el depósito del dispositivo HHO Dry Electrolyzer.

Figura 18

Mezcla de Bicarbonato con Agua



3.4.5 Paso 5: Llenar el Reservorio del Dispositivo HHO Dry Electrolyzer

Se llena el reservorio con la mezcla de bicarbonato con agua para poder realizar la electrolisis se lo llena por el tapón que tiene hasta que se pueda visualizar el nivel del agua por la manguera que tiene fuera del sistema.

Figura 19

Llenado del Reservorio de Agua del H2 Energy



Se realiza una prueba con una conexión directa de los terminales positivos y negativos, donde se puede evidenciar como el dispositivo genera gas de hidrogeno que es lo que ayudara al motor tener más potencia, el hidrogeno lo produce solo cuando el vehículo este encendido donde lo producido lo absorbe la cámara de combustión, este dispositivo ayuda a la fuerza y potencia del motor hasta un 25%, regula la temperatura del motor y la emisión de gases hasta un 80%.

Capítulo IV

4.1 Análisis de Rendimiento con Dispositivo Generador de Hidrógeno HHO Dry Electrolyzer

4.2 Prueba de Ruta sin el Dispositivo HHO Dry Electrolyzer

Tabla 3

Datos del Corsa Evolution 1.4

Datos del vehículo			
Masa_vehículo	Masa	1000	[Kg]
coeficiente de arrastre	Cd	0,3	[-]
Área Frontal	Af	2,10000	[m ²]
Presión en la zona	Presión	101,0	[Kpa]
T° en la zona	Temperatura	29,0	[°]
Densidad	Rho_a	1,2	[Kg/m ³]
coeficiente de resistencia a la rodadura	fr	0,126	[-]
Radio dinámico de la rueda	Rd	0,36	[m]

Tabla 4

Parámetros de Desempeño Según Prueba de Ruta sin el Dispositivo

Parámetros de desempeño		
Tx max	2293,2	[N.m]
Px max	77,9	[kW]
Ex.+ Total	1,3	[kWh]

Ex. – total	0,02	[kWh]
% de Reg	2%	[%]
Rendimiento_rueda	2,65	[Km/kWh]
n_Trans	0,95	[%]
n_Motor	0,25	[%]
Cons_Motor	5,59	[kWh]
Cons_Tanque	0,17	[gal]
Rendimiento_vehículo	21,22	Km/gal

Tabla 5

Parámetros de Desempeño con el Dispositivo HHO Dry Electrolyzer

Parámetros de desempeño		
Tx max	1668,4	[N.m]
Px max	63,9	[kW]
Ex.+ Total	1,2	[kWh]
Ex. – total	0,04	[kWh]
% de Reg	3%	[%]
Rendimiento_rueda	2,84	[Km/kWh]
n_Trans	0,95	[%]
n_Motor	0,25	[%]
Cons_Motor	5,15	[kWh]
Cons_Tanque	0,15	[gal]
Rendimiento_vehículo	22,76	Km/gal

El análisis de las dos pruebas de ruta una sin el dispositivo HHO Dry Electrolyzer y otra con el dispositivo revela varias diferencias en el rendimiento del Corsa Evolution 1.4. A continuación se presenta en detalle los datos obtenidos.

4.2.1 Parámetros de Desempeño sin el Dispositivo HHO Dry Electrolyzer:

- Torque máximo: 2293,2 N.m
- Potencia máxima: 77,9 kW
- Energía total consumida: 1,3 kWh
- Energía total recuperada: 0,02 kWh
- % de Regeneración: 2%
- Rendimiento rueda: 2,65 km/kWh
- Rendimiento vehículo: 21,22 km/gal

El rendimiento sin el dispositivo HHO muestra que el vehículo tiene un torque relativamente alto 2293,2 N.m y una potencia máxima de 77,9 kW, lo que indica un rendimiento bastante bueno en términos de capacidad de aceleración y potencia entregada. Sin embargo, el porcentaje de regeneración es bajo (2%), lo que sugiere que la eficiencia en la recuperación de energía es limitada. El rendimiento por galón es de 21,22 km/gal, lo que indica un consumo relativamente alto de combustible para la distancia recorrida.

4.2.2 Parámetros de Desempeño con el Dispositivo HHO Dry Electrolyzer:

- Torque máximo: 1668,4 N.m
- Potencia máxima: 63,9 kW
- Energía total consumida: 1,2 kWh
- Energía total recuperada: 0,04 kWh
- % de Regeneración: 3%

- Rendimiento rueda: 2,84 km/kWh
- Rendimiento vehículo: 22,76 km/gal

Con el dispositivo HHO Dry Electrolyzer, el torque y la potencia máximos se reducen 1668,4 N.m y 63,9 kW, respectivamente, lo cual indica que el motor del vehículo tiene una menor capacidad de entrega de potencia. Esto podría ser un efecto secundario de la instalación del dispositivo, que puede haber modificado las características de combustión y entrega de energía. Sin embargo, hay varias mejoras en otros aspectos:

Energía consumida: La energía consumida total se reduce a 1,2 kWh en comparación con los 1,3 kWh sin el dispositivo, lo que sugiere que el dispositivo mejora la eficiencia energética del vehículo.

Energía recuperada: La energía recuperada también es ligeramente mayor 0,04 kWh en comparación con 0,02 kW, lo que indica que el sistema de regeneración se ha incrementado.

Rendimiento por rueda: El rendimiento por rueda mejora de 2,65 km/kWh a 2,84 km/kWh, lo que significa que el vehículo es más eficiente en el uso de energía para mover las ruedas con el dispositivo HHO.

Rendimiento de vehículo: El rendimiento total del vehículo mejora ligeramente de 21,22 km/gal a 22,76 km/gal, lo que muestra que el dispositivo contribuye a una mayor eficiencia en términos de distancia recorrida por galón de combustible.

4.3 Análisis de Resultados

Eficiencia energética: El dispositivo HHO Dry Electrolyzer mejora la eficiencia energética del vehículo al reducir el consumo de energía (1,2 kWh frente a 1,3 kWh) y mejorar el rendimiento por rueda (2,65 km/kWh frente a 2,84 km/kWh). Esto indica que el sistema de hidrógeno ayuda a utilizar mejor la energía disponible.

Regeneración y recuperación de energía: La energía recuperada es ligeramente superior con el dispositivo 0,04 kWh frente a 0,02 kWh, lo que podría implicar una pequeña mejora en la regeneración de energía, posiblemente a través de un mejor aprovechamiento de la energía durante las frenadas o la operación del motor.

Rendimiento del vehículo: A pesar de la reducción en el torque y la potencia máximos, el rendimiento del vehículo en cuanto a distancia recorrida por galón mejora, pasando de 21,22 km/gal a 22,76 km/gal. Esto sugiere que el dispositivo contribuye a una mayor eficiencia en el uso del combustible, posiblemente al mejorar la combustión y reducir el consumo de gasolina.

Potencia y torque: Aunque el torque y la potencia máximos disminuyen con el dispositivo, estas reducciones no parecen tener un impacto significativo en el rendimiento global del vehículo, ya que la eficiencia general mejora y la autonomía también aumenta.

Conclusiones

El HHO Dry Electrolyzer muestra un impacto positivo en la eficiencia energética y el rendimiento del vehículo, a pesar de una ligera disminución en la potencia y el torque máximos. El dispositivo mejoro el rendimiento en términos de consumo de combustible (más kilómetros por galón) y rendimiento de las ruedas, lo que indica una optimización en el uso de la energía disponible. Aunque se observa una pequeña mejora en la recuperación de energía, el impacto más significativo está en la eficiencia del combustible, lo que hace que el vehículo sea más económico en su operación con el dispositivo instalado.

Los resultados revelaron mejoras significativas en varios aspectos. El rendimiento del vehículo aumentó de 21,22 km/gal a 22,76 km/gal, mostrando un ahorro de combustible cercano al 7%. Además, la eficiencia energética del sistema mejoró, con un incremento en el rendimiento por rueda de 2,65 km/kWh a 2,84 km/kWh. Aunque se observó una ligera reducción en el torque máximo (de 2293,2 N.m a 1668,4 N.m) y en la potencia máxima (de 77,9 kW a 63,9 kW), estas disminuciones no afectaron de manera significativa el rendimiento global del vehículo, ya que el sistema mostró una compensación mediante una combustión más eficiente y una menor demanda de energía.

Desde una perspectiva económica, el costo inicial del sistema HHO Dry Electrolyzer es accesible y recuperable a mediano plazo debido al ahorro en combustible. Este aspecto lo posiciona como una solución viable y práctica frente a tecnologías alternativas como los vehículos eléctricos o híbridos, especialmente en mercados emergentes donde la infraestructura para estas últimas es limitada.

Recomendaciones

Se recomienda hacer pruebas de ruta con diferentes tipos de vehículo M1 y diferentes entornos, como zonas urbanas, rurales, montañosas, alta velocidad; para así poder analizar el desempeño del sistema HHO Dry Electrolyzer bajo variables de velocidad, peso y altitud. Esto ayuda a tener resultados diversidad en escenarios reales de la vida cotidiana de los ciudadanos donde será aplicado el proyecto.

Es importante conocer el impacto a largo plazo del dispositivo HHO en los motores, y tener en cuenta varios factores tales como, corrosión interna, desgaste de componentes y posibles afectaciones en la combustión del vehículo. Esta investigación ayuda a asegurar que la implementación del dispositivo no involucre la vida útil el motor, ni tenga alteraciones que aumente el costo de mantenimiento.

Se enfatiza la mejora el diseño del dispositivo HHO Dry Electrolyzer dando enfoque en la eficiencia de la electrolisis, minimización de perdida de energías, disminución de torque y potencia ya que nuevos materiales como electrodos de mejor calidad y sistemas de control avanzado puede incrementar el rendimiento general, en tema de infraestructura se puede adaptar diferentes formas y posiciones de diseño donde en la forma interna del dispositivo siga manteniendo la electrolisis de forma segura pero que existan opciones de instalación a vehículos con motores 1.0 y 1.2 que suelen tener poco espacio para adaptaciones.

Bibliografía

- Mousa, A., Sayed, H., Ali, K., Elkaoud, N., & Mahmoud, W. (2024). Energy-conversion efficiency for producing oxy-hydrogen gas using a simple generator based on water electrolysis. *Scientific Reports*, 14(1), 25312. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73534-1>
- Cheng, K., & Chow, C. (2017). Hydrogen combustion systems and their impact on internal combustion engines. *Energy Research Journal*.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill Education.
- Kumar, A., Singh, R., & Sharma, V. (2020). Efficiency improvement and emission reduction using hydrogen-enriched fuel. *Journal of Automotive Engineering*.
- Amador, P., & López, G. (2019). Cost-effectiveness of alternative fuel systems in conventional vehicles. *Green Energy Solutions*.
- Normativa ISO 26142:2010. *Sistemas de hidrógeno para vehículos*.
- Normativa ECE R134 (2021). *Regulación para almacenamiento de hidrógeno*.
- Aprendemergencias. (n.d.). *Sistemas de retención infantil*. Recuperado de <https://www.aprendemergencias.es/seguridad-vial/sistemas-de-retenci%C3%B3n-infantil/>
- ResearchGate. (n.d.). *Schematic of the dry-cell HHO generator*. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-dry-cell-HHO-generator_fig2_348818192
- ResearchGate. (n.d.). *Figura 37: Balance de energía de la electrólisis del agua*. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-37-Balance-de-energia-de-la-electrolisis-del-agua-Fuente-elaboracion-propia-a_fig22_348991177
- HHO Plus. (n.d.). *Producción de hidrógeno con HHO System*. Recuperado de https://www.hho-plus.com/lang-es/?id_product=12

UDIMA. (n.d.). ¿Puede el hidrógeno sustituir al gas natural? Límites de inflamabilidad.

Recuperado de <https://blogs.udima.es/ingenieria-industrial/puede-el-hidrogeno-sustituir-al-gas-natural/limites-de-inflamabilidad/>

Redalyc. (n.d.). Eficiencia energética del hidrógeno. Recuperado de

<https://www.redalyc.org/journal/5537/553756967014/html/>

Mousa, A., Sayed, H., Ali, K., Elkaoud, N., & Mahmoud, W. (2024). Energy-conversion efficiency for producing oxy-hydrogen gas using a simple generator based on water electrolysis.

Scientific Reports, 14(1), 25312. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73534-1>

