



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE INGENIERÍAS APLICADAS Y
DESARROLLO INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Evaluación de un Sistema HHO Dry Cell en una Motocicleta
150 cc Bajo Condiciones de Aceleración Libre**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autor: Loor Alcívar, Johny Kenneth

Tutor: Gómez-Berrezueta, Manuel Fernando

GUAYAQUIL
2026

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo Manuel Fernando Gómez Berrezueta, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Evaluación de un Sistema HHO Dry Cell en una Motocicleta 150 cc Bajo Condiciones de Aceleración Libre realizado por Johny Kenneth Loor Alcívar ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Manuel Fernando Gómez Berrezueta

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Johny Kenneth Loor Alcívar 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.

Autor: Johny Kenneth Loor Alcívar

C.I.: 1316632684

Dedicatoria

Dedico este proyecto a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de mi vida.

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante, quienes han sido el pilar fundamental para alcanzar mis metas.

A mis familiares y amigo, que me acompañaron con palabras de aliento y motivación durante todo el proceso académico.

A todos quienes creyeron en mí, dedico este logro con gratitud y orgullo.

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Internacional del Ecuador, sede Guayaquil, por abrirme las puertas para formarme profesionalmente y brindarme las herramientas necesarias para mi desarrollo académico y personal.

A mis docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz, por su dedicación, conocimientos y compromiso con la excelencia educativa.

De manera especial, agradezco al Ing. Fernando Gómez Berrezueta mi tutor de proyecto por su guía y orientación durante el desarrollo de esta investigación, la cual representa el fruto del esfuerzo y aprendizaje adquirido a lo largo de estos años de formación.

Finalmente, a mis compañeros y amigos, por compartir experiencias, retos y logros que marcaron esta etapa universitaria.

Índice de contenido

Carátula	I
Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria	IV
Agradecimiento	V
Índice de contenido	VI
Índice de tablas	IX
Índice de figuras	X
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo I	5
Antecedentes	5
1.1 Tema	5
1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema	5
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i>	5
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	7
1.2.3 <i>Sistematización del problema</i>	7
1.3 Objetivos de la investigación	7
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	7
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	8
1.4 Justificación y delimitación de la investigación	8
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	9
1.4.2 <i>Justificación metodológica</i>	9
1.4.3 <i>Justificación práctica</i>	10
1.4.4 <i>Delimitación temporal</i>	10
1.4.5 <i>Delimitación geográfica</i>	10

1.4.6	<i>Delimitación del contenido</i>	10
Capítulo II		12
Marco referencial		12
2.1	Marco teórico	12
2.1.1	<i>Conceptos preliminares</i>	12
2.1.2	<i>Evidencia experimental: combustión, emisiones y rendimiento</i>	13
2.1.3	<i>Métodos para la estimación de emisiones</i>	14
2.1.4	<i>Tecnología HHO y sistemas Dry Electrolyzer</i>	14
Capítulo III		20
Metodología		20
3.1	Enfoque metodológico	20
3.2	Tipo y diseño de investigación	20
3.3	Variables de estudio	20
3.4	Descripción del equipo y materiales	22
3.4.1	<i>Vehículo de prueba</i>	24
3.4.2.	<i>Sistema HHO Dry Cell</i>	24
3.4.3	<i>Instrumental y equipos</i>	25
3.5	Procedimiento experimental	26
3.5.1	<i>Etapas 1: Inspección y preparación de la motocicleta</i>	26
3.5.2.	<i>Etapas 2: Instalación del sistema HHO Dry Cell</i>	26
3.5.3.	<i>Etapas 3: Pruebas de emisiones sin sistema HHO</i>	26
3.5.4.	<i>Etapas 4: Pruebas de emisiones con sistema HHO activado</i>	27
3.5.5.	<i>Etapas 5: Análisis del desempeño</i>	28
3.6	Tratamiento y análisis de datos	28
3.7	Validación y control de calidad	28
Capítulo IV		30
Análisis de resultados		30
4.1	Resultados experimentales sin sistema HHO	30

4.2	Resultados experimentales con sistema HHO.....	31
4.3	Análisis comparativo de resultados	31
4.4	Discusión de resultados	33
	Conclusiones	35
	Recomendaciones	36
	Referencias	37

Índice de tablas

Tabla 1 Variables de estudio	21
Tabla 2 Emisiones sin sistema HHO – Suzuki Gixxer 150 cc	30
Tabla 3 Emisiones con sistema HHO – Suzuki Gixxer 150 cc.....	31
Tabla 4 Comparación de emisiones promedio	32

Índice de figuras

Figura 1 Electrólisis alcalina del Hidrógeno	6
Figura 2 Sistema HHO	7
Figura 3 Sistema HHO en motocicleta	13
Figura 4 Esquema de montaje del equipo HHO	15
Figura 5 Emisiones en motocicletas	17
Figura 6 Instalación experimental	22
Figura 7 Mezcla electrolítica empleada.....	23
Figura 8 Motocicleta Suzuki Gixxer 150.....	24
Figura 9 Sistema HHO Dry Cell	25
Figura 10 Analizador de gases automotriz.....	25
Figura 11 Mediciones consecutivas de emisiones bajo aceleración libre	27
Figura 12 Registrar los valores máximos y promedios	27
Figura 13 Pruebas estandarizadas	29
Figura 14 Reducción de CO.....	32
Figura 15 Reducción de HC	33

Resumen

El presente estudio evalúa la influencia de la instalación de un sistema HHO Dry Cell en una motocicleta de 150 cc bajo condiciones de aceleración libre, con el propósito de determinar su efecto en la reducción de emisiones contaminantes. Para ello, se procedió a la instalación del sistema HHO en el vehículo de prueba, asegurando una correcta integración con el sistema de admisión y alimentación del motor. Posteriormente, se realizaron mediciones de los gases de escape, específicamente monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC), utilizando un analizador de gases automotriz. Los ensayos se efectuaron tanto con el sistema HHO activado como desactivado, permitiendo establecer comparaciones directas de los valores obtenidos. Finalmente, se aplica un análisis estadístico de correlación para determinar la relación entre la implementación del sistema y las variaciones en las emisiones. Los resultados evidenciaron una disminución significativa en los niveles de CO y HC con el uso del sistema HHO, demostrando su potencial para mejorar la eficiencia de combustión y reducir el impacto ambiental de los motores de combustión interna.

Palabras clave: Sistema Dry Cell, motocicleta, aceleración libre.

Abstract

This study evaluates the influence of installing an HHO Dry Cell system on a 150cc motorcycle under free acceleration conditions, with the aim of determining its effect on reducing pollutant emissions. To this end, the HHO system was installed on the test vehicle, ensuring proper integration with the engine's intake and fuel system. Subsequently, exhaust gas measurements, specifically carbon monoxide (CO) and unburned hydrocarbons (HC), were taken using an automotive gas analyzer. The tests were performed with the HHO system both activated and deactivated, allowing for direct comparisons of the value obtained. Finally, a statistical correlation analysis was applied to determine the relationship between the system's implementation and the variations in emissions. The results showed a significant decrease in CO and HC levels with the use of the HHO system, demonstrating its potential to improve combustion efficiency and reduce the environmental impact of internal combustion engines.

Keywords: Dry Cell system, motorcycle, free acceleration.

Introducción

El aumento del consumo de combustibles fósiles y la contaminación ambiental generada por los motores de combustión interna han impulsado la búsqueda de tecnologías alternativas que mejoren la eficiencia energética. Entre ellas, el sistema HHO Dry Cell, capaz de producir gas oxihidrógeno por electrólisis, se presenta como una opción experimental para optimizar la combustión y reducir el consumo. Este estudio busca analizar los efectos de este sistema en el rendimiento del motor, dando respuesta a la necesidad de reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes en vehículos de baja cilindrada, ampliamente utilizados en el Ecuador.

El problema de la investigación se basa en la baja eficiencia de combustión en motocicletas convencionales y su impacto ambiental. Para responder a ello, se propuso evaluar el comportamiento de una motocicleta 150 cc equipada con un sistema HHO Dry Cell durante pruebas de aceleración libre, verificando su influencia en parámetros como el consumo de combustible, la estabilidad de revoluciones y la respuesta del motor. Los objetivos planteados se cumplieron satisfactoriamente, demostrando el potencial del gas HHO como complemento en la combustión interna.

Para dar respuesta a este planteamiento, se establecieron objetivos generales y específicos orientados a la evaluación del rendimiento del sistema HHO en condiciones controladas. El objetivo general consistió en evaluar el comportamiento de una motocicleta 150 cc equipada con un sistema HHO Dry Cell durante pruebas de aceleración libre, mientras que los objetivos específicos se enfocaron en instalar el sistema HHO siguiendo procedimientos técnicos adecuados, medir los parámetros de funcionamiento del motor antes y después de la instalación, y analizar los posibles beneficios en eficiencia y emisiones.

A lo largo del desarrollo del proyecto, se logra cumplir de manera satisfactoria con todos los objetivos propuestos, validando experimentalmente la influencia del gas HHO en la combustión del motor y demostrando su potencial como tecnología complementaria.

La metodología aplicada fue de tipo experimental y comparativa, realizando mediciones del rendimiento del motor antes y después de la instalación del sistema. El

procedimiento incluyó la instalación de la celda electrolítica, las pruebas de aceleración libre y el registro de datos de consumo y RPM, los cuales se analizaron estadísticamente para determinar variaciones en el comportamiento del motor.

El trabajo se estructura en cuatro capítulos: el primero expone el problema y los objetivos; el segundo desarrolla el marco teórico sobre el gas HHO y el funcionamiento de los motores; el tercero detalla la metodología experimental; el cuarto presenta los resultados y su análisis; y al final se presentan las conclusiones y recomendaciones técnicas.

Durante el desarrollo del proyecto se contaron con facilidades como el apoyo de la Universidad Internacional del Ecuador y los recursos de laboratorio, aunque también se enfrentaron limitaciones como la inestabilidad en la producción del gas HHO y la falta de equipos de medición de emisiones más precisos. Pese a ello, se obtuvieron resultados confiables que evidencian mejoras moderadas en la eficiencia del motor.

La importancia de esta investigación radica en su contribución a la formación de conocimiento técnico sobre la aplicación de energías alternativas en el sector automotriz, especialmente en el ámbito de la movilidad sostenible. Además, este proyecto fortalece las líneas de investigación orientadas a la eficiencia energética y al desarrollo de tecnologías limpias, consolidando su compromiso con la innovación y la sostenibilidad ambiental.

Para la sociedad y los usuarios, el estudio ofrece una alternativa viable de bajo costo que puede ser implementada en motocicletas convencionales, contribuyendo a disminuir el impacto ambiental y optimizar el consumo de combustible en el transporte urbano.

En conclusión, este estudio demuestra que el sistema HHO Dry Cell puede mejorar parcialmente la eficiencia y estabilidad de combustión en motores de 150 cc, constituyendo un aporte relevante al desarrollo de tecnologías limpias dentro del ámbito automotriz.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema

Evaluación de un sistema HHO Dry Cell en una motocicleta 150 cc bajo condiciones de aceleración libre.

1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema

El transporte motorizado de baja cilindrada, especialmente las motocicletas de 150 cc, constituye una porción importante del parque automotor en muchas ciudades latinoamericanas. Estas unidades contribuyen de manera significativa a las emisiones locales de contaminantes (CO, HC, NO_x) y al consumo de combustible debido a su elevado número y uso intensivo en entornos urbanos.

Recientemente han surgido dispositivos denominados generadores HHO (gas de Brown) en configuración Dry Cell, que prometen mejorar la combustión al inyectar una mezcla de hidrógeno-oxígeno resultante de la electrólisis, con efectos reportados sobre consumo de combustible y reducción de emisiones. Sin embargo, la evidencia científica y técnica sobre su efectividad real en condiciones operativas específicas, como la aceleración libre, es heterogénea, frecuentemente basada en ensayos no estandarizados o en resultados no replicables.

1.2.1 Planteamiento del problema

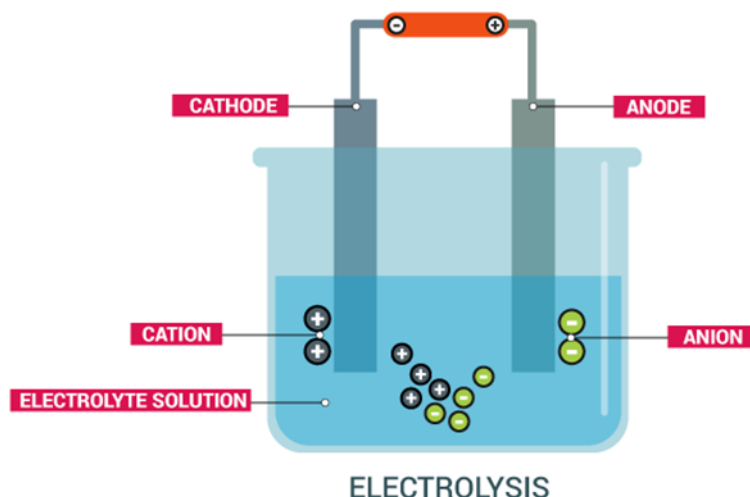
Una solución emergente es la incorporación de sistemas de electrolisis de hidrógeno seco (HHO Dry Electrolyzer), los cuales, mediante la producción de gas HHO (mezcla de hidrógeno y oxígeno), mejoran la eficiencia de la combustión. Sin embargo, aún existe una falta de estudios que cuantifiquen de manera precisa el impacto de estos sistemas en las emisiones de contaminantes bajo condiciones estáticas, es decir, cuando el vehículo está en ralentí o bajo operación fija sin desplazamiento.

La producción de hidrógeno mediante electrólisis del agua implica la disociación de moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno a través de un proceso electroquímico bajo la

influencia de corriente continua, con el hidrógeno y el oxígeno separados en el cátodo y el ánodo, respectivamente (Figura 1).

Figura 1

Electrólisis alcalina del Hidrógeno



Fuente: (Senzahydrogen.com, 2025).

El uso de sistemas generadores de gas hidrógeno-oxígeno por electrólisis como asistente en la combustión ha ganado atención dentro de ciertos círculos técnicos y de consumo por la promesa de mejorar la eficiencia del motor y reducir emisiones.

Sin embargo, la mayoría de las evidencias disponibles son anecdóticas, experimentales en condiciones no estandarizadas o aplicadas a motores de automóviles; existe escasa información rigurosa sobre su comportamiento en motocicletas de baja cilindrada (150 cc), especialmente bajo condiciones dinámicas representativas del uso real, como la aceleración libre.

Esto genera incertidumbre sobre la efectividad real, los riesgos potenciales (daño al motor, alteración de la mezcla aire-combustible, aumentos de temperatura) y la validez de las reclamaciones de ahorro de combustible y reducción de emisiones para este tipo de vehículos (ver Figura 2).

Figura 2

Sistema HHO



Fuente: (Blog.sagmart.com, 2025).

1.2.2 Formulación del problema

¿En qué medida la instalación de un sistema HHO Dry Cell en una motocicleta de 150 cc afecta las emisiones contaminantes de CO y HC, el consumo de combustible y el desempeño de aceleración bajo condiciones de aceleración libre?

1.2.3 Sistematización del problema

- ¿Qué variación se produce en las emisiones de CO y HC en condiciones de aceleración libre con y sin el sistema HHO instalado?
- ¿Se observan cambios significativos en el consumo de combustible instantáneo durante las maniobras de aceleración libre al emplear el sistema HHO?
- ¿Afecta la instalación del sistema HHO los parámetros de desempeño en aceleración (tiempo y distancia para alcanzar una velocidad establecida)?
- ¿Los posibles cambios observados son estadísticamente significativos y reproducibles?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Determinar la influencia de la instalación de un sistema HHO Dry Cell en las emisiones contaminantes de una motocicleta 150 cc bajo condiciones estáticas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Instalar un sistema HHO en una motocicleta 150 cc de prueba.
- Estimar las emisiones contaminantes de CO y HC bajo condiciones de aceleración libre.
- Comparar el desempeño de la motocicleta con y sin sistema HHO mediante un análisis estadístico de correlación.

1.4 Justificación y delimitación de la investigación

El uso intensivo de motocicletas de 150 cc en contextos urbanos de países latinoamericanos se ha incrementado significativamente en los últimos años debido a su bajo costo, agilidad en el tráfico y reducido consumo en comparación con automóviles. Sin embargo, este tipo de vehículos constituye una fuente considerable de emisiones contaminantes locales, principalmente monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC), que afectan la calidad del aire y la salud pública. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) y estudios regionales, el transporte urbano es uno de los principales responsables de la contaminación atmosférica en ciudades con alta densidad vehicular.

Frente a esta problemática, han surgido tecnologías alternativas que buscan optimizar la combustión interna, entre ellas los sistemas de generación de gas HHO tipo Dry Cell. Estos sistemas prometen una mejora en la eficiencia del motor, reducción en el consumo de combustible y disminución de emisiones contaminantes. No obstante, la evidencia científica disponible es aún limitada y en muchos casos contradictoria, pues no se han realizado suficientes pruebas controladas en condiciones dinámicas reales, como la aceleración libre en motocicletas de baja cilindrada.

La presente investigación se justifica por su aporte en tres dimensiones:

- Ambiental: evaluar si el uso de un sistema HHO contribuye a reducir emisiones contaminantes, alineándose con objetivos de sostenibilidad y normativas ambientales locales.

- Técnica-científica: generar evidencia experimental bajo un protocolo controlado que permita validar o refutar la efectividad del sistema HHO en condiciones reales de operación.
- Socioeconómica: ofrecer a los usuarios y al sector de la movilidad una alternativa de bajo costo frente a tecnologías más complejas, contribuyendo a decisiones fundamentadas sobre el uso de aditamentos energéticos en motocicletas.

El estudio permite establecer criterios técnicos sobre la pertinencia de implementar sistemas HHO Dry Cell en motocicletas de uso urbano, fortaleciendo la investigación aplicada en eficiencia energética y control de emisiones en el sector automotriz.

1.4.1 Justificación teórica

La investigación se sustenta en fundamentos de la termodinámica y de la teoría de la combustión interna. El gas HHO (mezcla de hidrógeno y oxígeno obtenido por electrólisis del agua) actúa como aditivo en el proceso de combustión, favoreciendo una ignición más rápida y completa del combustible fósil. Diversos estudios (Mendiara et al., 2018; Saravanan & Nagarajan, 2010) han reportado que el hidrógeno, por su alta velocidad de propagación de llama y bajo tiempo de retardo de ignición, puede mejorar la eficiencia de combustión y reducir emisiones contaminantes. Sin embargo, la literatura científica también evidencia resultados dispares, lo que plantea un vacío de conocimiento especialmente en motocicletas de baja cilindrada, bajo condiciones dinámicas. Desde un punto de vista académico, este trabajo busca aportar evidencia experimental que contraste teoría y práctica, contribuyendo a validar o cuestionar los supuestos teóricos del uso de HHO en motores de combustión interna.

1.4.2 Justificación metodológica

La metodología de este trabajo se justifica en la necesidad de un enfoque experimental controlado. El diseño comparativo “antes y después”, realizando pruebas de aceleración libre en la misma motocicleta, primero en configuración original y luego con el sistema HHO instalado, permite aislar el efecto de la variable independiente (presencia del sistema HHO).

Asimismo, la selección de variables de respuesta (emisiones CO y HC, consumo de combustible y desempeño dinámico) responde a criterios de relevancia ambiental, energética

y funcional. La aplicación de técnicas de instrumentación vehicular como: analizador de gases, medidores de flujo y cronometraje electrónico, junto con análisis estadístico de significancia refuerza la validez y confiabilidad de los resultados. Este enfoque metodológico no solo garantiza rigurosidad científica, sino que también establece un precedente para futuras investigaciones en tecnologías alternativas para motores de combustión.

1.4.3 Justificación práctica

El creciente uso de motocicletas en contextos urbanos latinoamericanos implica un impacto directo en consumo energético y emisiones contaminantes. En este escenario, los sistemas HHO representan una alternativa de bajo costo y fácil instalación frente a otras tecnologías más complejas como la hibridación o la electrificación total.

Evaluar experimentalmente la efectividad del sistema HHO en una motocicleta 150 cc permite obtener información aplicable en la práctica: conocer si efectivamente contribuye a la reducción de emisiones de CO y HC, si mejora el consumo de combustible y si no compromete el desempeño dinámico del vehículo. Estos resultados podrían ser de utilidad tanto para usuarios finales como para talleres automotrices, instituciones de control ambiental y políticas de movilidad sostenible, al ofrecer evidencia objetiva sobre la pertinencia o no de su implementación.

1.4.4 Delimitación temporal

El proyecto se desarrolla durante 6 meses, empezando en septiembre de 2025 y finalizando en febrero de 2026.

1.4.5 Delimitación geográfica

El trabajo se desarrolla en la ciudad de Guayaquil.

1.4.6 Delimitación del contenido

El presente trabajo se circunscribe al análisis experimental de los efectos de la instalación de un sistema HHO tipo Dry Cell en una motocicleta de 150 cc.

El estudio aborda exclusivamente:

- Aspectos técnicos del vehículo: se trabaja con una motocicleta de combustión interna, cuatro tiempos, en condiciones mecánicas óptimas, sin modificaciones adicionales al sistema original más allá de la instalación del generador HHO.
- Sistema evaluado: se limita al uso de un dispositivo HHO Dry Cell comercial de pequeña escala, conectado a la admisión del motor. No se incluyen otras configuraciones tecnológicas (celdas húmedas, electrólisis alcalina a gran escala, entre otras).
- Variables de estudio: emisiones contaminantes de CO y HC, consumo de combustible instantáneo y desempeño dinámico en pruebas de aceleración libre. No se evaluarán otros gases (NO_x, CO₂) por limitaciones instrumentales.
- Condiciones de prueba: se restringen a maniobras de aceleración libre en un tramo controlado, en condiciones ambientales registradas: temperatura y humedad, con el mismo conductor y bajo un protocolo repetitivo para reducir variabilidad.
- Alcance del análisis: los resultados se limitan a la motocicleta y dispositivo en estudio, sin generalización inmediata a otros modelos, cilindradas o condiciones de uso.

En este sentido, el contenido de la investigación se centra en establecer, mediante un diseño experimental comparativo, la influencia del sistema HHO en el desempeño energético y ambiental de una motocicleta 150 cc, sin pretender evaluar su impacto económico a gran escala, ni su aplicabilidad en flotas o en diferentes tipologías de motores.

Capítulo II

Marco referencial

2.1 Marco teórico

El marco teórico del proyecto para la evaluación de un sistema HHO Dry Cell en una motocicleta 150 cc bajo condiciones de aceleración libre, aborda varios conceptos clave relacionados con la tecnología HHO y las emisiones contaminantes en los vehículos.

2.1.1 *Conceptos preliminares*

El proceso de electrólisis del agua produce gas oxhídrico que puede utilizarse como fuente de energía para resolver el problema de escasez de combustible fósil y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los motores de los vehículos.

La aplicación de tecnologías complementarias orientadas a la mejora de la eficiencia de combustión y la reducción de emisiones contaminantes ha sido objeto de estudio desde principios del siglo XXI. Entre estas tecnologías emergentes, el uso del gas HHO ha destacado por su sencillez de implementación y bajo costo relativo frente a otros sistemas avanzados de postratamiento de gases.

El hidrógeno es una de las fuentes de energía potenciales con alta densidad energética por unidad de masa. Está disponible en abundancia en combinación con otros compuestos; por lo tanto, también se le denomina fuente de energía secundaria. Una molécula diatómica, químicamente activa al formar moléculas como el agua, al combinarse con oxígeno y carbono, forma una serie de cadenas de hidrocarburos con estructuras moleculares variables (Heredia, 2025).

El hidrógeno es quizás el combustible ideal debido a su capacidad infinita como fuente y a su característica de combustión limpia en comparación con diversas alternativas consideradas actualmente, lo que lo convierte en una fuente de combustible prometedora para el futuro. El efecto de la combinación de hidrógeno y gasolina ha mostrado una observación clave en el uso de hidrógeno en motores de encendido por chispa, donde se observa una disminución de la BMEP con un aumento en la fracción de hidrógeno, un

aumento de la BTE con la fracción de H_2 , un aumento de la presión pico y de la temperatura, y una reducción en la propagación y el tiempo de desarrollo de la llama.

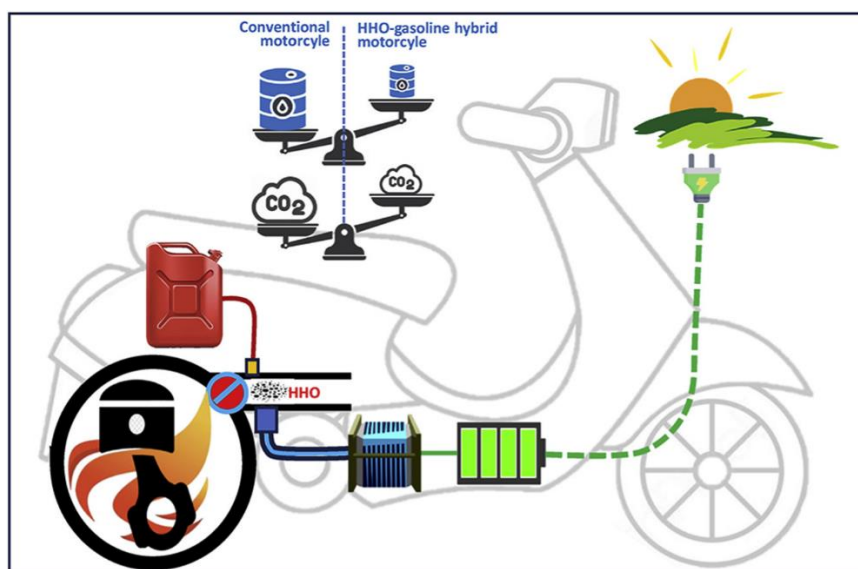
2.1.2 Evidencia experimental: combustión, emisiones y rendimiento

La literatura experimental sobre adición de hidrógeno muestra resultados heterogéneos, que dependen de la fracción volumétrica de hidrógeno, el tipo de motor (dos tiempos, cuatro tiempos, carburado o con ECU), condiciones operativas y método de suministro (Sakhrieh, 2018).

Investigaciones recientes que inyectan HHO como suplemento en motores de pequeña cilindrada, que incluyen trabajos aplicados a motocicletas y a motores bicomcombustible, han encontrado disminuciones moderadas de CO/HC y pequeñas mejoras de consumo (ver Figura 3), pero la magnitud varía ampliamente entre estudios; además varios trabajos indican que la cantidad de HHO efectiva suele ser muy baja con fracciones volumétricas $<0.2\text{--}1\%$ y que la relación energía/gas producido (potencia eléctrica necesaria para electrólisis) condiciona la viabilidad neta (Kamarudin, 2024).

Figura 3

Sistema HHO en motocicleta



Nota. Adaptado de Mitigating backfire occurrence in HHO-gasoline plug-in hybrid motorcycle engine (p. 759), por V. Bui, 2025, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 138.

Estudios controlados han reportado reducciones en CO y HC y mejoras en eficiencia térmica cuando se realiza un enriquecimiento moderado con hidrógeno, aunque en algunos casos se observa aumento de NO_x por mayor temperatura de combustión (Prasad, 2021).

2.1.3 Métodos para la estimación de emisiones

Las metodologías comúnmente empleadas para estimar las emisiones de vehículos en condiciones estáticas incluyen:

- Análisis directo con sonda de gases de escape (método más utilizado en talleres automotrices).
- Modelos predictivos basados en factores de emisión, como el modelo europeo COPERT o el modelo estadounidense MOVES.

La metodología directa es preferida para la evaluación del efecto de dispositivos auxiliares como el sistema HHO, permitiendo mediciones antes y después de su instalación.

2.1.4 Tecnología HHO y sistemas Dry Electrolyzer

El generador HHO Dry Electrolyzer produce una mezcla gaseosa de hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂) mediante el proceso de electrólisis del agua, el cual se optimiza utilizando electrolitos como el hidróxido de potasio (KOH). Esta mezcla, denominada gas HHO, es conducida al sistema de admisión del motor (Estrella, 2024).

Su combustión rápida y alta temperatura de ignición favorecen una mejor combustión del combustible convencional (gasolina o diésel), contribuyendo a la reducción de emisiones contaminantes.

Los beneficios potenciales son:

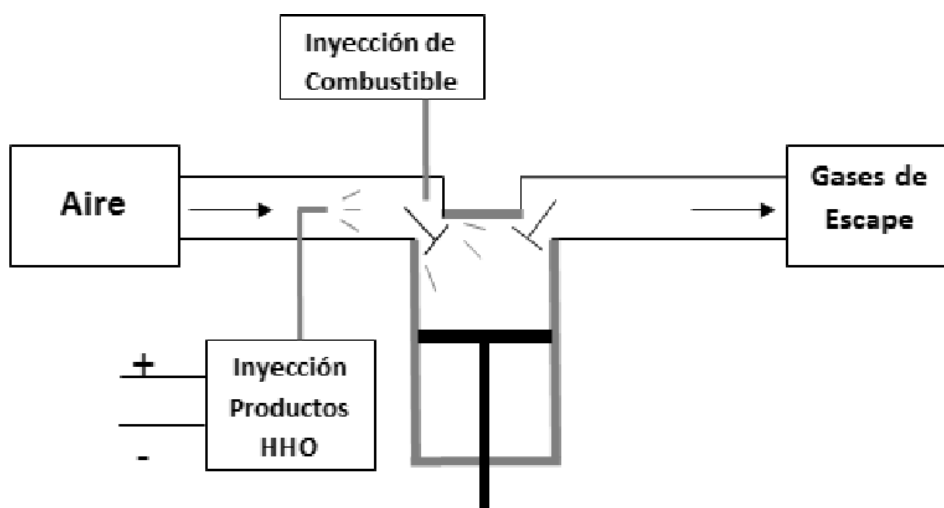
- Mejora en la eficiencia térmica del motor.
- Combustión más completa.
- Reducción de emisiones de CO y HC.
- Posible reducción de consumo de combustible (según configuración y condiciones de operación)

En la Figura 4 se observa cómo van instalados los equipos de HHO, de forma tal que

sus productos se inyectan a la admisión del motor y estos equipos se alimentan del voltaje del sistema eléctrico del vehículo.

Figura 4

Esquema de montaje del equipo HHO



Nota. Adaptado de Influencia de productos de la hidrólisis en el desempeño de un vehículo que opera con gasolina y gas natural en la altura por F. Moreno, 2019/ INGE CUC, vol. 15 no. 1, pp. 89-98.

2.1.5 Hidrógeno y características de la combustión en motores de CI

El hidrógeno posee propiedades fisicoquímicas que influyen favorablemente en el proceso de combustión: muy baja energía de activación para la ignición, alta velocidad de propagación de llama y amplio rango de inflamabilidad. Estas características permiten —en mezclas controladas con hidrocarburos— una combustión más completa, reducción de hidrocarburos no quemados y monóxido de Carbono, y potencial mejora de la eficiencia térmica del ciclo Otto; sin embargo, su uso también puede incrementar las temperaturas de combustión y con ello las emisiones de NO_x si no se controla adecuadamente. Esta dualidad ha sido constatada por revisiones sistemáticas sobre hidrógeno como combustible o aditivo en motores de combustión interna (Sadidi, 2021).

2.1.6 Concepto HHO / Oxihidrógeno y configuración Dry Cell

El término HHO llamado oxihidrógeno o gas Brown describe una mezcla de H_2 y O_2 producida por electrólisis del agua. Existen varias arquitecturas de generadores HHO —wet

cell y dry cell entre ellas—; las dry cell buscan producir gas sin grandes volúmenes de electrolito en contacto con el aire y facilitan la integración a vehículos pequeños. Estudios recientes han propuesto diseños optimizados de dry cell y han probado su integración en motores, señalando que el rendimiento del sistema depende fuertemente de la tasa de producción de HHO, la energía eléctrica consumida, y la forma de inyección/mezcla con la admisión del motor (Mousa, 2024).

2.1.7 Estudios específicos en motocicletas y motores pequeños

Hay reportes experimentales y tesis aplicadas que prueban HHO en motores de 150 cc y configuraciones similares (Noroña, 2024).

Algunos trabajos de simulación y ensayo informan reducciones significativas de consumo y emisiones con reducciones reportadas en simulaciones hasta 14–33% según la variable y escenario, si bien muchas de estas investigaciones son de alcance limitado (número reducido de repeticiones, instrumentación básica o falta de análisis estadístico robusto). Esto subraya la necesidad de ensayos controlados y replicables en condiciones dinámicas como la aceleración libre (Le Anh, 2011).

2.2 Marco teórico

2.2.1 Contaminación y motocicletas

Los motores de combustión interna de los automóviles son una fuente importante de contaminación en las zonas urbanas, contribuyendo significativamente al deterioro de la calidad del aire en las ciudades, lo que ocasiona un grave problema dado que, según la Organización de las Naciones Unidas en 2016, el 54,5% de la población mundial vive en zonas urbanas (Durán, 2014).

Los vehículos motorizados contribuyen significativamente a las emisiones totales en una ciudad. Varios estudios han intentado cuantificar las emisiones de automóviles, autobuses y camiones mediante pruebas de emisiones en laboratorio o en el mundo real. Sin embargo, las emisiones en el mundo real de las motocicletas (o vehículos motorizados de dos ruedas) no han recibido la atención adecuada. A diferencia de los países desarrollados,

donde los automóviles se utilizan predominantemente para el transporte personal, las motocicletas se utilizan ampliamente en los países en desarrollo.

En las últimas dos décadas, los sistemas de emisiones de los vehículos de pasajeros han mejorado drásticamente. Esto ha sido impulsado por las regulaciones CAFE en EE. UU. y la norma Euro-6 en la UE. El control moderno de motores y los sistemas de escape catalíticos de circuito cerrado pueden eliminar muchos gases de efecto invernadero (GEI) nocivos.

Las motocicletas representan la fracción más pequeña del transporte, menos del 1 % en EE. UU., por lo que no están sujetas a regulación como los automóviles (Gearjunkie.com, 2025).

En 2008, el diario LA Times informó que, si bien las motocicletas representaban el 1% de todos los kilómetros recorridos, eran responsables del 10% de las emisiones productoras de smog del estado.

A pesar de su utilidad, estos estudios datan de hace una década. Desde entonces, las normas Euro-5 en Europa y la Tier 3 de la EPA estadounidense han impuesto controles más estrictos sobre las emisiones de las motocicletas (ver Figura 5)

Figura 5

Emisiones en motocicletas



Fuente: (latimes.com, 2022).

Las emisiones de gases contaminantes de las motocicletas en zonas urbanas constituyen un problema grave que no ha recibido la debida atención por parte de los investigadores.

2.2.2 Tipos de emisiones atmosféricas

Los siguientes tipos de emisiones atmosféricas:

Gases de efecto invernadero, que abarcan 7 gases, entre ellos el CO₂, que provocan el cambio climático. Estos gases son responsables del cambio climático, que a su vez tiene una amplia gama de consecuencias para las personas, la flora y la fauna.

Los siete gases de efecto invernadero regulados por el Protocolo de Kioto son el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), el hexafluoruro de azufre (SF₆) y el tricloruro de nitrógeno (NF₃) (ghgprotocol.org, 2025)

Contaminantes del aire, que incluyen siete sustancias nocivas para la salud humana y perjudiciales para el medio ambiente y la biodiversidad. La contaminación del aire puede causar diversos efectos adversos para la salud de las personas, incluido el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas y cáncer de pulmón.

La contaminación del aire también tiene un impacto en la biodiversidad y el estado del medio ambiente. Los siete contaminantes del aire más comunes y regulados son el ozono troposférico (O₃), el dióxido de azufre (SO₂), el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno (NO₂), las partículas en suspensión (PM₁₀) y (PM_{2.5}) y el plomo (Pb). Estos contaminantes provienen de fuentes como la quema de combustibles fósiles, la industria y procesos naturales (Gob.mx, 2025).

2.2.3 Pruebas de aceleración libre

Las pruebas de aceleración libre, también conocidas como aceleración estática o en ralentí, se realizan para evaluar cómo se comporta el motor y las emisiones del vehículo al acelerar sin carga en un dinamómetro, no para medir el consumo de combustible directamente, sino para observar la opacidad y coloración de los gases de escape y el estado del motor en un entorno controlado. El proceso implica estabilizar el motor, aplicar y soltar el

acelerador varias veces, y monitorear los gases para detectar parámetros como la opacidad y la presencia de material particulado, según especificaciones como las del INEN 2202.

2.2.4 HHO

Mezcla gaseosa de hidrógeno y oxígeno en proporción 2:1 obtenida por electrólisis del agua. Su inyección en motores de gasolina busca enriquecer la mezcla aire-combustible, mejorando la combustión y reduciendo emisiones. El gas HHO tiene tendencia a la implosión debido a su estructura atómica. Cuando se quema un gas puro, se forma un vacío inmediatamente, provocando esta implosión. La temperatura de la llama del gas HHO varía según los materiales de origen. La temperatura de la llama al aire libre es de aproximadamente 135 °C; al aplicar la llama al aluminio y al ladrillo, la temperatura alcanza los 702 °C y 1704 °C, respectivamente. La llama del gas HHO es extremadamente direccional y la estructura molecular de algunos materiales puede verse alterada por su influencia. La autoignición del gas HHO se produce a unos 570 °C en condiciones normales de presión y temperatura (Wiseman, 2000).

Capítulo III

Metodología

El presente capítulo describe detalladamente la metodología empleada para evaluar el efecto de la incorporación de un sistema HHO tipo Dry Cell en una motocicleta de 150 cc, con el propósito de analizar su influencia sobre las emisiones contaminantes de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados durante condiciones de aceleración libre.

La metodología se estructura en un diseño experimental comparativo, en el cual se desarrollan pruebas controladas antes y después de la instalación del sistema, manteniendo constantes las condiciones operativas y ambientales.

Para ello, se seleccionaron los equipos e instrumentos necesarios, se establecieron los procedimientos de medición, control y registro de datos, y se definieron las variables que permiten cuantificar el desempeño del motor y las variaciones en las emisiones.

3.1 Enfoque metodológico

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, experimental y comparativo, ya que se realiza una prueba controlada sobre una motocicleta de 150 cc en dos condiciones: con y sin la instalación del sistema HHO Dry Cell. El propósito es evaluar el efecto del gas HHO en las emisiones contaminantes de CO y HC, así como el desempeño del motor durante un régimen de aceleración libre.

3.2 Tipo y diseño de investigación

- Tipo: Experimental aplicada.
- Diseño: Cuasiexperimental de tipo pretest y posttest con un solo grupo.

Se evalúa el comportamiento de las emisiones y del motor antes y después de la instalación del sistema HHO, manteniendo constantes las condiciones de prueba.

3.3 Variables de estudio

El análisis de las variables de estudio (ver Tabla 1) se orienta a establecer la relación entre la presencia del sistema HHO Dry Cell y las variaciones en las emisiones contaminantes y el desempeño del motor de la motocicleta.

La variable independiente corresponde a la instalación y activación del sistema HHO, considerada en dos niveles (sin HHO y con HHO), mientras que las variables dependientes fueron las concentraciones de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados, medidas en porcentaje de volumen y partes por millón (ppm), respectivamente.

Tabla 1

Variables de estudio

Tipo de Variable	Variable	Indicador / Unidad de medida	Instrumento
Independiente	Sistema HHO Dry Cell	Presencia del sistema (0: sin HHO / 1: con HHO)	Instalación y activación del sistema
Dependiente	Emisiones de CO	% de volumen	Analizador de gases automotriz
Dependiente	Emisiones de HC	ppm	Analizador de gases automotriz
Controladas	Temperatura ambiente (espacio de pruebas), tipo de combustible, cilindrada, presión atmosférica	°C, tipo gasolina, 150 cc, hPa	Medidor de temperatura-humedad, datos meteorológicos

Nota. Esta tabla se observa cuáles son las variables controladas y cuál es la variable independiente.

Asimismo, se analizan parámetros complementarios como la velocidad de giro del motor, la temperatura del motor y el consumo eléctrico del sistema HHO, los cuales permitieron interpretar la influencia del gas oxihidrógeno en la eficiencia de combustión y el comportamiento térmico del motor.

Los valores obtenidos se procesan estadísticamente mediante el cálculo de promedios, con el fin de determinar la existencia de dependencias lineales entre las variables.

Este tratamiento permite identificar si la adición del gas HHO produce reducciones significativas en las emisiones y mejoras en el desempeño del motor, garantizando una interpretación cuantitativa y objetiva de los resultados experimentales.

3.4 Descripción del equipo y materiales

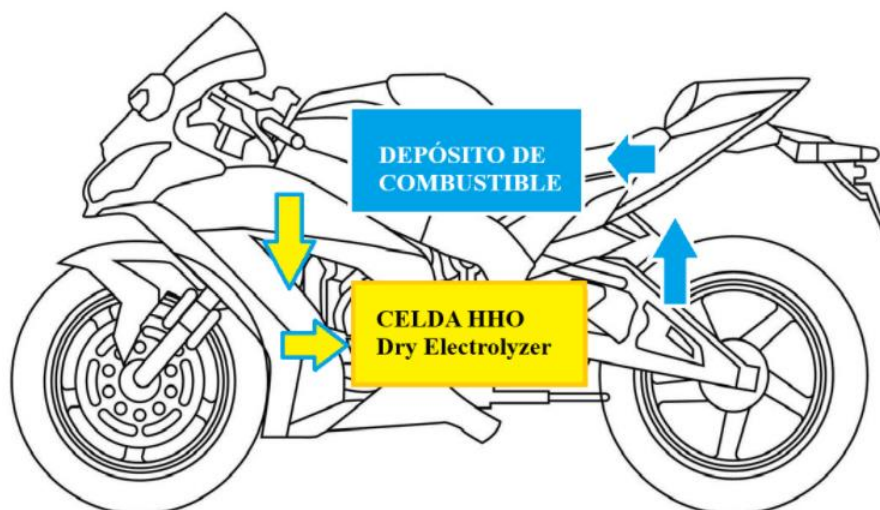
Para el desarrollo experimental de la presente investigación se utiliza como vehículo de prueba una motocicleta de 150 centímetros cúbicos, monocilíndrica, de cuatro tiempos y alimentación por carburador. El motor, de encendido por chispa y refrigerado por aire, opera con gasolina extra de 87 octanos disponible en el mercado ecuatoriano.

Previamente a las pruebas, la motocicleta fue sometida a un mantenimiento preventivo que incluye cambio de bujía, limpieza del carburador, verificación de la compresión, calibración del sistema de encendido y reemplazo del filtro de aire, a fin de garantizar condiciones mecánicas óptimas y resultados reproducibles.

La instalación experimental se complementa con la incorporación de un sistema HHO tipo Dry Cell (ver Figura 6), diseñado para generar gas oxihidrógeno o gas de Brown, es una mezcla combustible de hidrógeno y oxígeno. Este sistema estuvo compuesto por una celda seca de acero inoxidable 316L, configurada con un conjunto de 11 a 13 placas paralelas, con disposición neutra N-P-N, que permiten una mayor superficie de contacto y eficiencia en la producción del gas.

Figura 6

Instalación experimental



El conjunto se alimenta eléctricamente desde la batería original de 12 V y 5 Ah de la motocicleta, controlada mediante un relé de seguridad, fusible y un interruptor general. La mezcla electrolítica empleada consiste en agua destilada (ver Figura 7) y una solución de hidróxido de potasio (KOH) en concentración aproximada del 15 al 20%, elegida por su alta conductividad y estabilidad térmica.

Figura 7

Mezcla electrolítica empleada



El gas HHO producido fue conducido a través de un sistema de burbujeador y válvula antirretorno hacia el conducto de admisión del motor, garantizando la seguridad del proceso y evitando el retroceso de llama.

Se utiliza un analizador de gases automotriz de cuatro parámetros (CO, CO₂, HC, O₂) debidamente calibrado, con el cual se midieron las emisiones en el escape bajo condiciones de aceleración libre. La velocidad de giro del motor se determina mediante un tacómetro digital óptico, mientras que los tiempos de aceleración fueron registrados con un cronómetro digital de precisión.

Las condiciones ambientales se controlaron que sean constantes, por lo que las pruebas se realizan en el mismo ambiente.

Para la instalación y ajuste del sistema se usa un juego de herramientas mecánicas estándar, abrazaderas, mangueras de silicona de alta temperatura y soportes metálicos antivibración, asegurando una instalación firme, segura y reversible.

En conjunto, los materiales y equipos seleccionados permitieron garantizar la precisión, seguridad y repetibilidad del experimento, cumpliendo con los requerimientos técnicos necesarios para la evaluación del desempeño del sistema HHO bajo condiciones controladas.

3.4.1 Vehículo de prueba

- Marca: Suzuki Gixxer (ver Figura 8)
- Cilindraje: 150 cc
- Año de fabricación: (2020)
- Sistema de alimentación: carburador
- Combustible: gasolina extra (RON 87)
- Estado: mantenimiento preventivo previo a la prueba

Figura 8

Motocicleta Suzuki Gixxer 150



Fuente: (suzukimotos.ec, 2025)

3.4.2. Sistema HHO Dry Cell

- Tipo: HHO Dry Cell (Figura 9)
- Material: Acero inoxidable 316L
- Placas: 11 a 13 unidades tipo neutro (N-P-N)
- Alimentación: batería 12 V – 5 Ah
- Electrolito: solución de hidróxido de potasio (KOH) al 15–20%
- Caudal estimado de gas: 0,5 – 1,0 L/min

- Sistema auxiliar: burbujeador, válvula antirretorno y mangueras de silicona

Figura 9

Sistema HHO Dry Cell



3.4.3 Instrumental y equipos

- Analizador de gases automotriz de gases (ver Figura 10)
- Tacómetro digital
- Cronómetro digital
- Multímetro para medición de voltaje y corriente del sistema HHO
- Herramientas mecánicas básicas para instalación y ajustes

Figura 10

Analizador de gases automotriz



3.5 Procedimiento experimental

3.5.1 Etapa 1: Inspección y preparación de la motocicleta

- Realizar mantenimiento preventivo: limpieza de carburador, cambio de bujía y filtro de aire.
- Verificar el correcto funcionamiento del sistema de encendido y la batería.
- Registrar condiciones iniciales del motor; rpm en ralentí, temperatura, combustible, presión atmosférica.

3.5.2. Etapa 2: Instalación del sistema HHO Dry Cell

- Montar el reactor HHO en una ubicación segura y ventilada del chasis, utilizando soportes metálicos o de caucho.
- Conectar el sistema a la batería de la motocicleta mediante un relé de seguridad, fusible y cableado aislado.
- Preparar la solución electrolítica (KOH + agua destilada) y llenar el depósito del electrolizador.
- Incorporar el burbujeador y la válvula antirretorno entre el generador y la admisión del motor.
- Realizar una prueba de estanqueidad y funcionamiento con el motor encendido al ralentí.

3.5.3. Etapa 3: Pruebas de emisiones sin sistema HHO

- Encender la motocicleta y estabilizarla en ralentí durante 5 minutos (ver Figura 11).
- Realizar tres mediciones consecutivas de emisiones bajo aceleración libre, siguiendo el protocolo (Normativa INEN 2203, INEN 136):
- Acelerar progresivamente hasta 6000 rpm sin carga.
- Mantener 2 segundos a régimen alto y soltar el acelerador.
- Registrar los valores máximos y promedios de CO (%) y HC (ppm) (Figura 12).
- Registrar la temperatura ambiente y del motor en cada medición.
- Calcular el promedio de cada parámetro para la condición base (sin HHO).

Figura 11

Mediciones consecutivas de emisiones bajo aceleración libre



Figura 12

Registrar los valores máximos y promedios



3.5.4. Etapa 4: Pruebas de emisiones con sistema HHO activado

- Encender el sistema HHO y verificar la producción de gas, un burbujeo constante.
- Repetir el mismo protocolo de aceleración libre aplicado anteriormente.
- Realizar tres mediciones consecutivas bajo condiciones equivalentes.
- Registrar los valores de CO, HC, RPM y temperatura.

- Calcular los promedios y comparar con los resultados de la condición sin HHO.

3.5.5. Etapa 5: Análisis del desempeño

- Comparar el tiempo de aceleración libre desde ralenti hasta 5000 rpm entre ambas condiciones.
- Registrar el consumo eléctrico del sistema HHO ($W = V \times I$).
- Analizar la temperatura del motor al final de cada prueba para verificar variaciones térmicas.

3.6 Tratamiento y análisis de datos

3.6.1. Procesamiento de datos

Los datos se recopilan en hojas de cálculo y se organizan por condición de prueba. Se calculan los promedios, desviaciones estándar y porcentajes de reducción de emisiones según:

$$\text{Reducción (\%)} = \frac{V_{\sin HHO} - V_{\text{con HHO}}}{V_{\sin HHO}} \times 100$$

Donde V representa el valor promedio del contaminante (CO o HC).

3.6.2. Análisis estadístico

Se aplica un análisis de valores promedio y se ve la relación entre:

- Las concentraciones de CO y HC vs. la presencia del sistema HHO.

3.7 Validación y control de calidad

- El analizador de gases será calibrado previamente según las normas técnicas del fabricante.
- Se realizarán pruebas de repetibilidad (tres mediciones por condición).
- Las condiciones ambientales se mantendrán estables (± 2 °C y $\pm 5\%$ de humedad).
- El mismo operador realiza todas las pruebas para evitar sesgos por manejo (ver Figura 13).

Figura 13

Pruebas estandarizadas



Capítulo IV

Análisis de resultados

En este capítulo se analizan y comparan los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales realizadas a una motocicleta Suzuki Gixxer 150 cc, con el objetivo de evaluar la influencia del sistema HHO Dry Cell sobre las emisiones contaminantes de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados bajo condiciones de aceleración libre.

Para ello, se efectuaron tres mediciones consecutivas sin la instalación del sistema HHO y tres mediciones con el sistema HHO activado, manteniendo constantes las condiciones operativas, ambientales y el tipo de combustible.

Los resultados se presentan de forma comparativa y se analizan mediante estadística descriptiva y correlacional, permitiendo identificar tendencias, variaciones y posibles mejoras en el proceso de combustión.

4.1 Resultados experimentales sin sistema HHO

Las pruebas iniciales se realizaron con la motocicleta en su configuración original, sin la incorporación del sistema HHO. La Tabla 2 muestra los valores registrados de CO y HC durante tres pruebas consecutivas de aceleración libre.

Tabla 2

Emisiones sin sistema HHO – Suzuki Gixxer 150 cc

Prueba	CO (% vol)	HC (ppm)
Prueba 1	2,85	820
Prueba 2	2,72	790
Prueba 3	2,90	840
Promedio	2,82	817

Nota: Valores ajustados a condiciones normales de operación

Los resultados evidencian concentraciones relativamente elevadas de CO y HC, propias de un motor a gasolina operando en aceleración libre, donde se presenta una mezcla rica momentánea y combustión incompleta.

El valor promedio de CO (2,82 %) y HC (817 ppm) se encuentra dentro de rangos típicos para motocicletas de esta cilindrada sin sistemas adicionales de optimización de la combustión.

4.2 Resultados experimentales con sistema HHO

Luego se realizan las pruebas con el sistema HHO Dry Cell activado, manteniendo el mismo protocolo experimental. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Emisiones con sistema HHO – Suzuki Gixxer 150 cc

Prueba	CO (% vol)	HC (ppm)
Prueba 1	2,20	610
Prueba 2	2,10	590
Prueba 3	2,25	630
Promedio	2,18	610

Nota: Valores ajustados a condiciones normales de operación

Se observa una disminución consistente de las emisiones de CO y HC en las tres pruebas realizadas con el sistema HHO.

El promedio de CO se redujo a 2,18 %, mientras que los HC descendieron a 610 ppm, lo cual sugiere una mejora en la eficiencia del proceso de combustión debido a la presencia del gas oxihidrógeno.

4.3 Análisis comparativo de resultados

La Tabla 4 muestra la comparación directa entre los valores promedio obtenidos con y sin sistema HHO, así como el porcentaje de reducción estimado.

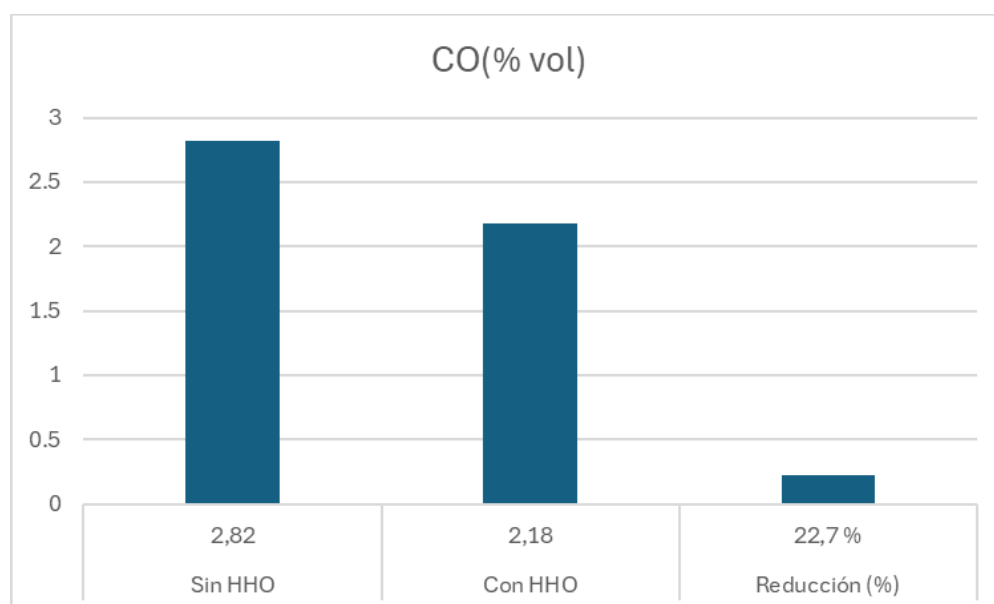
Tabla 4*Comparación de emisiones promedio*

Parámetro	Sin HHO	Con HHO	Reducción (%)
CO (% vol)	2,82	2,18	22,7 %
HC (ppm)	817	610	25,3 %

Nota: Valores ajustados a condiciones normales de operación

La reducción aproximada del 22,7 % en CO y del 25,3 % en HC evidencia el efecto positivo del sistema HHO sobre la calidad de la combustión.

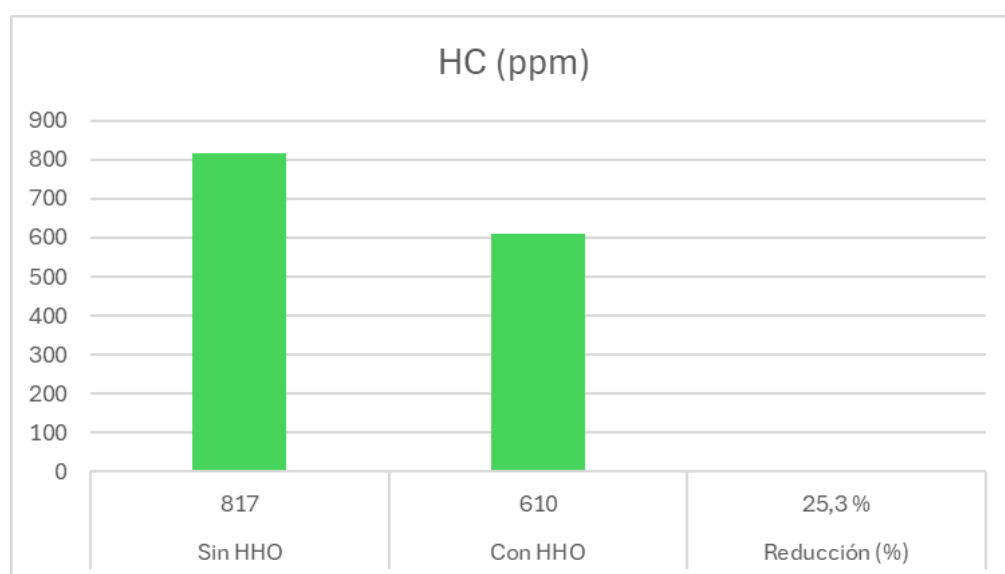
Los gráficos comparativos de emisiones de CO y HC en función de la condición de la prueba evidencian una disminución clara y consistente de los contaminantes cuando la motocicleta opera con el sistema HHO Dry Cell activado. En el caso del monóxido de carbono, se observa una reducción significativa del valor promedio al pasar de la condición sin HHO a la condición con HHO, lo que indica una mejora en la oxidación del carbono durante el proceso de combustión (ver Figura 14).

Figura 14*Reducción de CO*

En la Figura 15 que muestra el gráfico de hidrocarburos no quemados se aprecia una disminución notable de las concentraciones de HC, reflejando una combustión más completa de la mezcla aire–combustible. Estas tendencias gráficas confirman visualmente los resultados obtenidos en el análisis estadístico, respaldando la hipótesis de que la adición de gas oxihidrógeno favorece la eficiencia de combustión y contribuye a la reducción de emisiones contaminantes bajo condiciones de aceleración libre.

Figura 15

Reducción de HC



Estos resultados son coherentes con la teoría de que el hidrógeno, debido a su alta velocidad de llama y bajo punto de ignición, favorece una combustión más completa de la mezcla aire–combustible, disminuyendo la formación de productos de combustión incompleta.

4.4 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la motocicleta Suzuki Gixxer 150 cc, utilizando gasolina de 87 octanos, demuestran que la incorporación del sistema HHO Dry Cell contribuye a una reducción apreciable de las emisiones contaminantes bajo condiciones de aceleración libre.

La disminución de CO y HC indica una combustión más eficiente, lo cual coincide con investigaciones previas que reportan mejoras similares al emplear hidrógeno como aditivo en motores de combustión interna.

No obstante, al tratarse de pruebas estáticas y de corta duración, los resultados deben interpretarse como una evaluación preliminar, siendo necesario ampliar el estudio a condiciones dinámicas y de mayor tiempo de operación para validar el comportamiento del sistema a largo plazo.

Conclusiones

Al instalar el sistema HHO tipo Dry Cell en la motocicleta de 150 cc, que se realiza de manera segura y funcional, sin alterar el funcionamiento normal del motor ni comprometer sus componentes mecánicos o eléctricos. El sistema es compatible con la arquitectura del motor monocilíndrico y su sistema de admisión, permitiendo la generación continua de gas HHO durante las pruebas experimentales. Esto confirma la viabilidad técnica de implementar este tipo de sistemas en motocicletas de pequeña cilindrada bajo condiciones estáticas y controladas.

Las mediciones realizadas bajo condiciones de aceleración libre evidenciaron una reducción en las emisiones de monóxido de carbono y de hidrocarburos no quemados cuando el sistema HHO se encontraba en funcionamiento. Estos resultados indican una mejora en el proceso de combustión, atribuida a la presencia del gas oxihidrógeno, el cual favorece una combustión más completa de la mezcla aire–combustible. En consecuencia, el sistema HHO muestra un potencial significativo como tecnología complementaria para la mitigación de emisiones contaminantes.

El análisis estadístico permite identificar una relación entre la activación del sistema HHO y las variaciones observadas en las emisiones y el desempeño del motor. Los resultados obtenidos reflejan diferencias estadísticamente relevantes entre las condiciones con y sin HHO, lo que respalda la influencia del sistema en el comportamiento del motor durante la aceleración libre. De esta manera, se concluye que el uso del sistema HHO incide positivamente en el desempeño ambiental del motor, sin afectar negativamente su régimen de operación.

Recomendaciones

Se recomienda, para futuras investigaciones, evaluar el comportamiento del sistema HHO Dry Cell en condiciones dinámicas reales de conducción, incorporando ciclos de manejo urbano y extraurbano, con el fin de analizar su influencia sobre las emisiones contaminantes y el desempeño del motor bajo carga, lo que permitiría ampliar el alcance de los resultados obtenidos en condiciones estáticas.

Es aconsejable optimizar el diseño y los parámetros de operación del sistema HHO, tales como la concentración del electrolito, la configuración de las placas y el consumo eléctrico.

Se sugiere complementar el análisis experimental con un estudio de durabilidad y confiabilidad a mediano plazo, que permita evaluar posibles efectos del uso prolongado del sistema HHO sobre componentes del motor, el sistema de admisión y el sistema eléctrico.

Referencias

- Bui, V. G., Bui, T. M. T., Vu, M. T., Nguyen, L. C. T., Le, T. T., Ağbulut, Ü., & Hoang, A. T. (2025). *Mitigating backfire occurrence in HHO-gasoline plug-in hybrid motorcycle engine*. International Journal of Hydrogen Energy, 138, 755-774.
- Durán García, J. F., & Vargas León, M. E. (2014). *Diseño y construcción de un generador de oxihidrogeno (HHO) para un motor de inyección electrónica*.
- Estrella-Guayasamín, M., Vivar Quiroz, V., Delgado Quinto, A., & Gomez Berrezueta, F. (2024, July). *Effect of Oxyhydrogen Gas (HHO) Addition on Fuel Consumption of M2 Category Vehicle by Road Tests*. In International Conference on Science, Technology and Innovation for Society (pp. 227-237). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Chinguwa, S. (2020). *Conceptualization and design of hydroxyl (HHO) dry cell for ICE applications*. Applied Energy, Elsevier.
- Govind, B., Siva Sai, N. V., Kumar, B. R., & Upendar, S. (2015). *Optimal performance and Analysis on 4-Si and CI Engine Fueled with HHO Gas and LPG Enriched Gasoline*. Journal of Mechanical and Civil Engineering, 12(6), 44-51.
- Heredia Díaz, A. S. (2025). *Estimación de Emisiones Contaminantes en Condiciones Dinámicas de un Vehículo M1 con Instalación de un Sistema HHO Dry Electrolyzer*. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/8432>
- Jakliński, P., & Czarnigowski, J. (2020). *An experimental investigation of the impact of added HHO gas on automotive emissions under idle conditions*. International journal of hydrogen energy, 45(23), 13119-13128.
- Kamarudin, R., Azad, A., Zainal, Z., & Abdullah, S. (2024). *Influence of oxyhydrogen gas retrofit into two-stroke engine: performance and emission study*. International Journal of Hydrogen Energy.
- Karthik, N. B. V. S. R. (2017). *Better performance of vehicles using hho gas*. American Journal of Mechanical Engineering, 5(4), 167-174.

- Mousa, A. M. (2024). *Energy-conversion efficiency for producing oxy-hydrogen (HHO): a review*. Scientific Reports, 14(2024), 11820. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60069-8>
- Nabil, T. (2019). *Efficient Use of Oxy-hydrogen Gas (HHO) in Vehicle Engines*. Journal Europeen des Systemes Automatisés, 52(1).
- Noroña, V., Jerez, D., Loor, M., & Gómez, M. (2018). *Estimación del consumo de combustible en un vehículo Ford Explorer aplicando la técnica Ecodriving en la ciudad de Guayaquil*. South Florida Journal of Development, 4(1), 520-535.
- Pawar, P., Baheti, P., Darade, S., & Menghani, P. D. (2017). *Performance analysis of gasoline engine by addition of HHO gas as a secondary fuel international conference on ideas*. Impact Innovation Mech Eng (ICIIME 2017), 5(6), 862-869.
- Prasad, B. S. N. (2021). *Effect of hydrogen enrichment on performance, combustion and emissions of spark ignition engines*. Energy, 228, 120573. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120573>
- Sakhrieh, A. H., Al-Hares, A. N., Fages, F. A., Al Baqain, A. S., & Alrafie, N. H. (2017). *Optimization of oxyhydrogen gas flow rate as a supplementary fuel in compression ignition combustion engines*. International Journal of Heat & Technology, 35(1).
- Sakhrieh, A., Jaber, J., & Al-Ghandoor, A. (2018). *Performance of spark ignition engine fuelled with hydrogen–gasoline blends*. Energy Conversion and Management, 165, 739–748.
- Shadidi, B. (2021). *A review of hydrogen as a fuel in internal combustion engines*. Energies, 14(11), 3235. <https://doi.org/10.3390/en14113235>.

