



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

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autor: Joseph André Aguirre Ronquillo

Tutor: Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

**Estimación de Emisiones Contaminantes en Condiciones Estáticas
de un Vehículo M1 con Instalación de un Sistema HHO Dry
Electrolyzer**

Certificado de Autoría

Yo, Joseph André Aguirre Ronquillo, 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.

Joseph André Aguirre Ronquillo

C.I.: 0953678950

Aprobación del Tutor

Yo, Fernando Gómez Berrezueta certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

C.I.: 0103441846

Director de Proyecto

Dedicatoria

Dedico este trabajo con todo mi cariño y gratitud a mis padres, quienes han sido mi mayor ejemplo de esfuerzo, perseverancia y amor incondicional. Gracias por su apoyo constante, sus palabras de aliento y por creer en mí en cada etapa de este camino. También lo dedico a mis docentes y compañeros, quienes con sus enseñanzas, ideas y colaboración enriquecieron mi formación profesional y personal.

Joseph Aguirre

Agradecimiento

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a:

Dios, por darme la fuerza, la salud y la sabiduría para culminar esta etapa.

Mi familia, por su apoyo emocional, su paciencia y su amor incondicional.

Mi tutor Fernando Gómez Berrezueta, por su orientación, tiempo y compromiso durante el
desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Internacional del Ecuador y a sus docentes, por brindarme una formación de
calidad y las herramientas necesarias para crecer como profesional.

Amigos y compañeros, por su compañía, colaboración y buenos momentos compartidos
durante esta etapa.

Este logro no habría sido posible sin el aporte de cada uno de ustedes.

Joseph Aguirre

Índice General

Certificado de Autoría.....	iii
Aprobación del Tutor.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tablas.....	xi
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
Capítulo I	1
Antecedentes	1
1.1 Tema de Investigación	1
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema.....	1
1.2.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2.2 Formulación del Problema.....	4
1.2.3 Sistematización del Problema.....	4
1.3 Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación	5
1.4.1 Justificación Teórica.....	5
1.4.2 Justificación Metodológica.....	6
1.4.3 Justificación Práctica	6
1.4.4 Delimitación Temporal.....	6

1.4.5	<i>Delimitación Geográfica</i>	7
1.4.6	<i>Delimitación del Contenido</i>	7
	Capítulo II	8
	Marco Referencial.....	8
2.1	Marco Teórico.....	8
2.1.1	<i>Conceptos Preliminares</i>	8
2.1.2	<i>Emisiones Contaminantes en Vehículos M1</i>	9
2.1.3	<i>Métodos para la Estimación de Emisiones</i>	10
2.1.4	<i>Tecnología HHO y Sistemas Dry Electrolyzer</i>	11
2.1.5	<i>Efecto del Hidrógeno en las Emisiones</i>	12
2.2	Marco Conceptual.....	13
2.2.1	<i>La Crisis Energética y la Contaminación Ambiental</i>	13
2.2.2	<i>Agregación de Hidrógeno en los Motores</i>	14
2.2.3	<i>Contaminación y Motor</i>	15
2.2.4	<i>Tipos de Emisiones Atmosféricas</i>	15
2.2.5	<i>Generación de Gas HHO</i>	16
2.2.6	<i>Funcionamiento y Beneficios del Sistema HHO</i>	17
2.2.7	<i>Influencia del Gas HHO en la Combustión</i>	17
2.2.8	<i>Estudios Precedentes</i>	18
2.2.9	<i>Cantidad de Hidrógeno Necesaria según el Tamaño del Motor</i>	18
2.2.10	<i>Rendimiento Energético con HHO</i>	18
2.2.11	<i>Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204</i>	19
	Capítulo III.....	20
	Metodología	20
3.1	Métodos.....	20

3.2	Tipo de Estudio	21
3.2.1	<i>Estudio Experimental</i>	21
3.2.2	<i>Estudio Aplicado</i>	22
3.3	Metodología para Medir Emisiones en Vehículos.....	22
3.4	Ventajas de Usar Gasolina Súper (92 octanos).....	29
Capítulo IV.....		31
Análisis de Resultados		31
4.1	Descripción	31
4.2	Factores Influyentes en las Emisiones usando un Sistema HHO	31
4.3	Fundamentación de la Selección de Régimen de Motor para las Pruebas.....	32
4.4	Resultados de Emisiones de Gases	33
4.4.1	<i>Emisiones de CO</i>	34
4.4.2	<i>Emisiones de HC</i>	34
4.4.1	<i>Observaciones con los Resultados de Emisiones de Gases</i>	34
4.5	Análisis Gráfico de los Resultados	35
4.5.1	<i>Gráfico de Emisiones de CO</i>	35
4.5.2	<i>Gráfico de Emisiones de HC</i>	36
4.5.3	<i>Gráfico de Variacion de CO</i>	36
4.5.4	<i>Gráfico de Variacion de HC</i>	37
4.6	Análisis Estadístico (t-Student) para Comparación de Medias.....	38
Conclusiones		39
Recomendaciones		40
Bibliografía		41

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Gas Hidroxi HHO</i>	2
Figura 2 <i>Sistema HHO</i>	3
Figura 3 <i>Uso del Gas HHO</i>	9
Figura 4 <i>Influencia de Productos de la Hidrólisis</i>	10
Figura 5 <i>Ahorro de Combustible Usando HHO</i>	11
Figura 6 <i>Sectores Productores de las Emisiones Mundiales de Gases</i>	14
Figura 7 <i>Emisiones en Vehículos</i>	15
Figura 8 <i>Contaminación del Automóvil</i>	16
Figura 9 <i>Vehículo Chevrolet</i>	23
Figura 10 <i>Dispositivo HHO</i>	25
Figura 11 <i>Analizador de Gases BRAIN BEE AGS-688</i>	26
Figura 12 <i>Protocolo de Ensayo</i>	27
Figura 13 <i>Configuración Experimental Esquemática</i>	28
Figura 14 <i>Conexión de HHO</i>	28
Figura 15 <i>Factores que Influyen en las Emisiones usando HHO</i>	32
Figura 16 <i>Emisiones de CO</i>	35
Figura 17 <i>Emisiones de HC</i>	36
Figura 18 <i>Variación de CO a Diferentes RPM</i>	37
Figura 19 <i>Variación de HC a Diferentes RPM</i>	37

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Especificaciones del Vehículo</i>	23
Tabla 2 <i>Especificaciones del Analizador de Gases BRAIN BEE AGS-688</i>	26
Tabla 3 <i>Ventajas de Uso de Gasolina Súper</i>	29
Tabla 4 <i>Tabla de Emisiones de Gases – Chevrolet Corsa Evolution 1400 cc</i>	33

Resumen

El presente proyecto tiene como finalidad estimar las emisiones contaminantes generadas por un vehículo tipo M1 bajo condiciones estáticas, tras la implementación de un sistema HHO Dry Electrolyzer, con el objetivo de evaluar su eficacia en la reducción de emisiones de gases contaminantes, principalmente monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC). Para ello, se llevó a cabo un análisis detallado del funcionamiento del sistema HHO, el cual consiste en la producción de gas oxihidrógeno (HHO) mediante electrólisis en seco. Este gas se introduce en la cámara de combustión del motor con el propósito de mejorar la eficiencia de la combustión del combustible fósil, lo que potencialmente reduciría las emisiones contaminantes. En condiciones de prueba estática, se realizaron mediciones comparativas de las emisiones del vehículo M1 en dos escenarios: sin la instalación del sistema HHO y con el sistema HHO activado. Estas pruebas permitieron estimar los niveles de CO y HC emitidos en cada caso. Los resultados obtenidos demostraron que, tras la implementación del sistema HHO, se evidenció una reducción significativa en los niveles de CO, indicando una combustión más completa del combustible. En cuanto a los hidrocarburos (HC), también se observó una disminución moderada, lo cual sugiere un impacto positivo en la reducción de emisiones no quemadas. Finalmente, la evaluación de los resultados alcanzados permitió concluir que la integración del sistema HHO Dry Electrolyzer en vehículos de tipo M1 tiene un efecto beneficioso en la disminución de contaminantes atmosféricos bajo condiciones de operación estática, presentándose como una alternativa viable y complementaria para mitigar el impacto ambiental del parque automotor en circulación.

Palabras Clave: emisiones contaminantes, sistema HHO, electrólisis seca, vehículo M1, combustión eficiente.

Abstract

This project aims to estimate the pollutant emissions produced by an M1-type vehicle under static conditions, following the implementation of an HHO Dry Electrolyzer system, with the objective of evaluating its effectiveness in reducing pollutant gas emissions, particularly carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC). A detailed analysis was conducted on the operation of the HHO system, which works by producing oxyhydrogen gas (HHO) through dry electrolysis. This gas is introduced into the engine's combustion chamber to improve fuel combustion efficiency, which potentially reduces pollutant emissions. Under static test conditions, comparative measurements of the vehicle's emissions were carried out in two scenarios: without the HHO system installed, and with the HHO system activated. These tests allowed for the estimation of CO and HC levels emitted in each case. The results showed that after implementing the HHO system, a significant reduction in CO levels was observed, indicating more complete combustion of the fuel. As for hydrocarbons (HC), a moderate decrease was also recorded, suggesting a positive impact on the reduction of unburned emissions. In conclusion, the evaluation of the results confirmed that integrating the HHO Dry Electrolyzer system into M1-type vehicles has a beneficial effect on reducing atmospheric pollutants under static operating conditions, presenting itself as a viable and complementary alternative to help mitigate the environmental impact of the vehicle fleet currently in use.

Keywords: pollutant emissions, HHO system, dry electrolysis, M1 vehicle, efficient combustion.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema de Investigación

Estimación de emisiones contaminantes en condiciones estáticas de un vehículo M1 con instalación de un sistema HHO Dry Electrolyzer.

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

En la actualidad, los vehículos M1 (destinados al transporte de pasajeros) son una fuente significativa de emisiones contaminantes, contribuyendo a la degradación ambiental y al cambio climático. Los sistemas tradicionales de combustión interna generan gases tóxicos como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC) y dióxido de carbono (CO₂), los cuales tienen efectos adversos en la calidad del aire y la salud pública. Para mitigar este problema, se han explorado diversas tecnologías que optimizan el proceso de combustión y reducen las emisiones.

1.2.1 Planteamiento del Problema

En 2016, el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso provenían de los siguientes sectores:

- Energía (principalmente el uso en la industria, los edificios y el transporte): 73,2 por ciento del CO₂ e total.
- Agricultura, silvicultura y uso de la tierra – 18,4 por ciento.
- Industria química y cementera – 5,2 por ciento.
- Residuos – 3,2 por ciento.

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. El consumo continuo de combustibles fósiles y las emisiones nocivas que produce resultan en la necesidad de

combustibles alternativos. El HHO es una mezcla de oxígeno e hidrógeno producida por electrólisis del agua. El hidrógeno presenta la mayor velocidad de llama y poder calorífico.

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 (Figura 1).

Figura 1

Gas Hidroxi HHO



Tomado de: https://www.hho-plus.com/lang-es/index.php/product.php?id_product=25

El gas hidroxi (HHO) que se genera a partir del proceso de electrólisis del agua tiene un efecto significativo en el aumento del rendimiento del motor y la reducción del consumo de combustible y las emisiones. El aumento en el uso de combustibles fósiles y contaminantes peligrosos ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía renovables respetuosas con el medio ambiente. Se busca estudiar la influencia del HHO en el rendimiento, las emisiones y la combustión del motor en comparación con la gasolina pura. Por lo tanto, es importante producir la mayor productividad de gas HHO con la menor cantidad de electricidad de CC. En comparación con otros diseños de electrolizadores, se recomienda el uso de la celda seca debido a su simplicidad de instalación, menor corrosión y compatibilidad con el motor (Figura 2).

Figura 2*Sistema HHO*

Tomado de: <https://www.hydrotechindia.in/hho-kits.html>

En el contexto actual de crisis climática y creciente preocupación por la calidad del aire urbano, las emisiones contaminantes generadas por vehículos automotores constituyen una fuente significativa de gases de efecto invernadero y contaminantes locales (NO_x, CO, HC, partículas). Según la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2023), el transporte representa aproximadamente el 24% de las emisiones globales de CO₂ relacionadas con la energía, siendo el parque vehicular un contribuyente clave.

Dentro de las alternativas para mitigar estas emisiones, el uso de gas HHO (una mezcla de hidrógeno y oxígeno generada por electrólisis in situ) se ha planteado como un aditivo complementario al combustible tradicional. La hipótesis es que el HHO favorece una combustión más completa, disminuyendo contaminantes como el monóxido de carbono (CO)

y los hidrocarburos no quemados (HC), al tiempo que podría mejorar la eficiencia térmica del motor (Demirci & Dogan, 2021).

Sin embargo, pese a múltiples estudios experimentales, persisten controversias sobre la verdadera efectividad del HHO para la reducción de emisiones vehiculares y su viabilidad técnica y económica para implementaciones a gran escala. La falta de consensos técnicos y estandarización de metodologías de prueba limita su aceptación como solución sustentable.

1.2.2 Formulación del Problema

Por lo tanto, el problema que se plantea es: ¿Cómo influye la instalación de un sistema HHO Dry Electrolyzer en las emisiones de gases contaminantes de un vehículo M1 en condiciones estáticas, en comparación con su funcionamiento con gasolina tradicional? Este estudio busca proporcionar datos concretos que permitan evaluar la viabilidad de esta tecnología para la reducción de emisiones en entornos urbanos donde los vehículos frecuentemente operan en condiciones estáticas.

1.2.3 Sistematización del Problema

- ¿Por qué es importante conocer la influencia de la instalación de un sistema HHO Dry Electrolyzer en las emisiones contaminantes de un vehículo?
- ¿Cuál es la importancia de determinar las emisiones de contaminantes (CO, HC) del vehículo M1 con la instalación del sistema HHO bajo condiciones estáticas?
- ¿Existen la viabilidad de comparar los resultados de reducción o incremento de emisiones?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la influencia de la instalación de un sistema HHO Dry Electrolyzer en las emisiones contaminantes de un vehículo M1 bajo condiciones estáticas.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Analizar el funcionamiento del sistema HHO Dry Electrolyzer en el vehículo M1 considerando las emisiones emitidas.
- Estimar las emisiones de contaminantes (CO, HC) del vehículo M1 con la instalación del sistema HHO bajo condiciones estáticas.
- Evaluar los resultados alcanzados en términos de reducción o incremento de emisiones.

1.4 *Justificación y Delimitación de la Investigación*

La justificación del proyecto se centra en la necesidad urgente de reducir las emisiones contaminantes producidas por vehículos de combustión interna. Dado el impacto ambiental y de salud pública que generan los gases tóxicos como CO e HC, es imperativo explorar tecnologías alternativas que permitan minimizar este problema.

1.4.1 *Justificación Teórica*

Se fundamenta en la necesidad de encontrar soluciones que reduzcan las emisiones contaminantes producidas por vehículos de combustión interna. Los gases como CO, NO_x, HC y CO₂ son los principales responsables del deterioro ambiental y el cambio climático, generando la urgencia de buscar tecnologías que mitiguen su impacto.

El sistema HHO Dry Electrolyzer introduce hidrógeno y oxígeno al proceso de combustión, lo que mejora la eficiencia de la combustión y potencialmente reduce la cantidad de gases nocivos emitidos por el escape. Teóricamente, el hidrógeno actúa como un aditivo que optimiza la mezcla aire-combustible, promoviendo una combustión más completa, lo que debería generar menores cantidades de contaminantes como el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos no quemados (HC).

Este proyecto se justifica en el hecho de que, aunque el sistema HHO ha sido propuesto como una alternativa prometedora, su efectividad real bajo condiciones estáticas en vehículos

M1 aún no ha sido completamente estudiada. Es importante evaluar de manera científica cómo la adición de un sistema HHO puede alterar los patrones de emisiones en estas condiciones y qué beneficios ambientales puede aportar en la práctica. Con base en estos resultados, se podrán proponer mejoras o adaptaciones del sistema para su uso masivo, contribuyendo al objetivo global de reducir las emisiones vehiculares (Jakliński, 2022).

1.4.2 Justificación Metodológica

El sistema HHO Dry Electrolyzer, que genera hidrógeno y oxígeno para mezclarlos con el combustible, promete mejorar la eficiencia de la combustión y reducir las emisiones contaminantes. Este proyecto busca evaluar, bajo condiciones controladas, si la instalación de dicho sistema en un vehículo M1 puede efectivamente reducir las emisiones, proporcionando datos concretos que apoyen o refuten su viabilidad. La investigación contribuirá a la búsqueda de soluciones sostenibles en el sector automotriz, facilitando la implementación de tecnologías limpias que podrían ser adoptadas a mayor escala en Ecuador y otros países.

1.4.3 Justificación Práctica

La instalación de un sistema HHO Dry Electrolyzer es relativamente económica y sencilla en comparación con otras tecnologías de reducción de emisiones. Al validar la eficacia de este sistema en un vehículo M1 en condiciones estáticas, se proporciona una alternativa viable y accesible para reducir la huella ambiental de vehículos existentes, sin la necesidad de cambios costosos o reemplazos completos de flotas vehiculares.

Este proyecto puede generar soluciones prácticas para mitigar el impacto ambiental del transporte, especialmente en países donde los vehículos de combustión interna todavía predominan.

1.4.4 Delimitación Temporal

El proyecto se desarrolla durante 4 meses, empezando en marzo de 2025 y finalizando en julio de 2025.

1.4.5 Delimitación Geográfica

El trabajo se desarrolla en la ciudad de Guayaquil.

1.4.6 Delimitación del Contenido

El proyecto incluye los siguientes aspectos:

- Marco conceptual: Definición de tecnologías relacionadas con el HHO Dry Electrolyzer y su funcionamiento, además de conceptos sobre la emisión de contaminantes en motores de combustión interna.
- Descripción del sistema HHO Dry Electrolyzer: Análisis del sistema de electrólisis en seco (HHO), su instalación en vehículos y su influencia en el proceso de combustión al mezclar hidrógeno con gasolina.
- Condiciones estáticas: Justificación de la selección de condiciones estáticas para la medición de emisiones, considerando que el vehículo estará en marcha mínima o en un régimen constante para reducir la variabilidad en los resultados.
- Comparación de escenarios: Comparación entre los resultados obtenidos con el sistema HHO instalado y los valores registrados bajo las mismas condiciones sin el sistema, para evaluar su impacto en la reducción de emisiones.
- Limitaciones: Consideración de las limitaciones del estudio, como la variabilidad en las condiciones del motor y el alcance de las mediciones en situaciones estáticas.

Este enfoque integral permite estudiar detalladamente el impacto del HHO en las emisiones contaminantes y su potencial beneficio para la sostenibilidad en vehículos M1.

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

El marco teórico del proyecto aborda varios conceptos clave relacionados con la tecnología HHO y las emisiones contaminantes en los vehículos. El análisis y control de las emisiones contaminantes generadas por los vehículos de transporte liviano representan un desafío técnico y ambiental en Ecuador y el mundo. La creciente preocupación por el impacto de los gases de escape sobre la calidad del aire ha incentivado la investigación de tecnologías alternativas y complementarias que contribuyan a mejorar el proceso de combustión interna.

En este contexto, los sistemas HHO Dry Electrolyzer surgen como una tecnología accesible, cuyo principio de funcionamiento permite introducir gas HHO (mezcla de hidrógeno y oxígeno) en el sistema de admisión del motor, generando beneficios potenciales en la eficiencia de combustión y reducción de emisiones.

2.1.1 *Conceptos Preliminares*

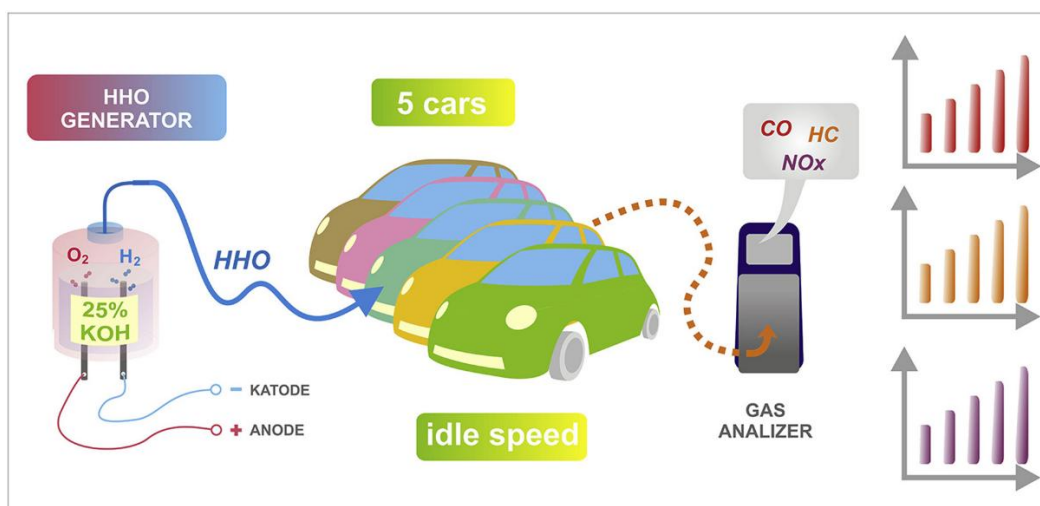
Este capítulo aborda los fundamentos teóricos asociados a la estimación de emisiones contaminantes en condiciones estáticas, enfocado en un vehículo M1 típico del parque automotor ecuatoriano, considerando la instalación y operación de un sistema HHO. Se describe el marco regulatorio, la metodología de análisis de gases de escape, el principio operativo del generador HHO y su impacto teórico sobre las emisiones contaminantes.

El proceso de electrólisis del agua produce gas oxhídrico (HHO) 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 (mezcla de hidrógeno y oxígeno) ha destacado por su sencillez de implementación y bajo costo relativo frente a otros sistemas avanzados de post-tratamiento de gases (Figura 3).

Figura 3

Uso del Gas HHO



Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319920308806>

2.1.2 Emisiones Contaminantes en Vehículos M1

Los vehículos M1 son definidos como automotores destinados al transporte de pasajeros con un máximo de ocho asientos sin contar al conductor. En este tipo de vehículos, las emisiones contaminantes son el resultado del proceso de combustión de hidrocarburos en el motor, especialmente en condiciones de mezcla rica o combustión incompleta.

Las principales emisiones contaminantes generadas por vehículos M1 son:

- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de nitrógeno (NOx)
- Hidrocarburos no quemados (HC)
- Dióxido de carbono (CO₂)

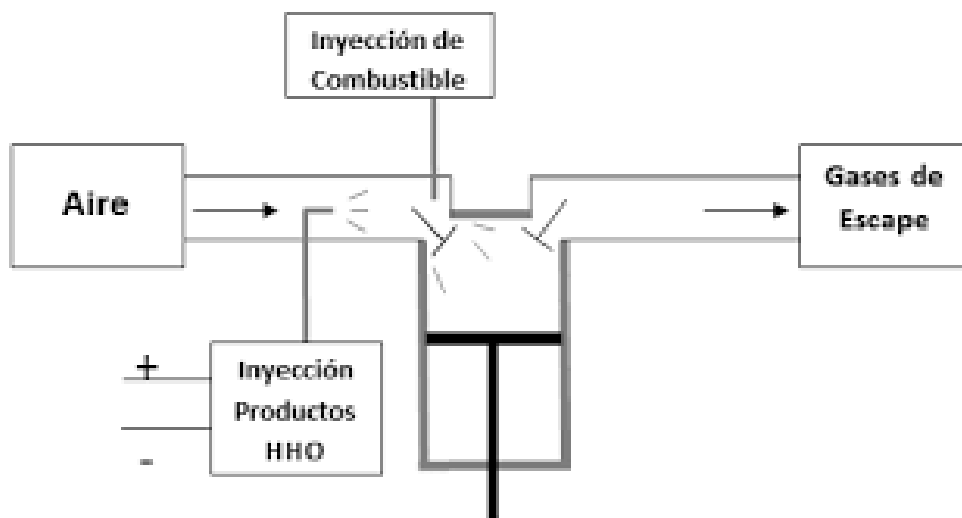
Estas emisiones contribuyen directamente a problemas de salud pública y al calentamiento global.

En condiciones estáticas, es posible medir estos contaminantes mediante analizadores de gases aplicados a pruebas como:

- Medición de gases de escape en ralentí.
- Prueba de aceleración en vacío (prueba estática de emisiones).

Figura 4

Influencia de Productos de la Hidrólisis



Tomado de: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/1795/2088>

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 (H_2) y oxígeno (O_2) 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) (Figura 5).

Figura 5

Ahorro de Combustible Usando HHO



Tomado de: <https://www.hhoplus.com/hho-es/>

2.1.5 Efecto del Hidrógeno en las Emisiones

La adición de HHO a un motor de combustión interna resulta en una combustión más rápida y completa del combustible existente.

Una combustión más rápida y completa significa que una mayor cantidad de energía es transferida mecánicamente al motor, en lugar de calor perdido a través del escape. Esto tiene un impacto positivo no solo en la potencia y el ahorro de combustible, sino también en las emisiones.

La velocidad mucho mayor de la propagación de la llama de hidrógeno es responsable de que esto ocurra y a menudo se compara con una “bujía” gigante en el motor que enciende todo el combustible.

Masood et al. realizaron modelos numéricos de la combustión de diferentes mezclas de hidrógeno-diésel, verificando los resultados con pruebas experimentales. Se utilizaron porcentajes de hidrógeno entre el 20 y 80%. Los autores concluyeron que las mezclas resuelven el problema del funcionamiento pobre de combustibles hidrocarbonados, p.e., diésel puro, el cual presenta dificultad para encender, disminuyendo la potencia, rendimiento y economía del combustible.

Baltacioglu et al. estudiaron la inyección de mezclas de diferentes combustibles alternativos con biodiesel para mirar los efectos en el rendimiento y en la emisión de gases contaminantes. Las pruebas se realizaron enriqueciendo la mezcla de biodiesel con un 10% de diésel, y el aire con hidrógeno puro o HHO.

La cantidad de hidrógeno y HHO se ajustó a 10 l/min en un suministro constante. Los resultados se evaluaron de acuerdo con los parámetros de rendimiento del motor y las emisiones contaminantes, entre las 1200 y 2600 RPM, y se compararon los datos obtenidos con diésel estándar. Los resultados fueron buenos respecto a la disminución de gases contaminantes, no habiendo mucha diferencia entre la utilización de hidrógeno puro y el HHO.

A lo largo de la historia, se han realizado muchos estudios sobre el hidrógeno como combustible en los motores de combustión interna. Primero, el reverendo Cecil en Inglaterra planeó usar hidrógeno como combustible en 1820. Bursanti y Matteucci en Italia mejoraron el motor de hidrógeno con un pistón libre en 1854. Rudolf Erren realizó estudios con el motor de hidrógeno en Alemania en 1920. Ricardo logró una alta eficiencia al trabajar con hidrógeno en un motor en 1924 (Szwaja, 2009).

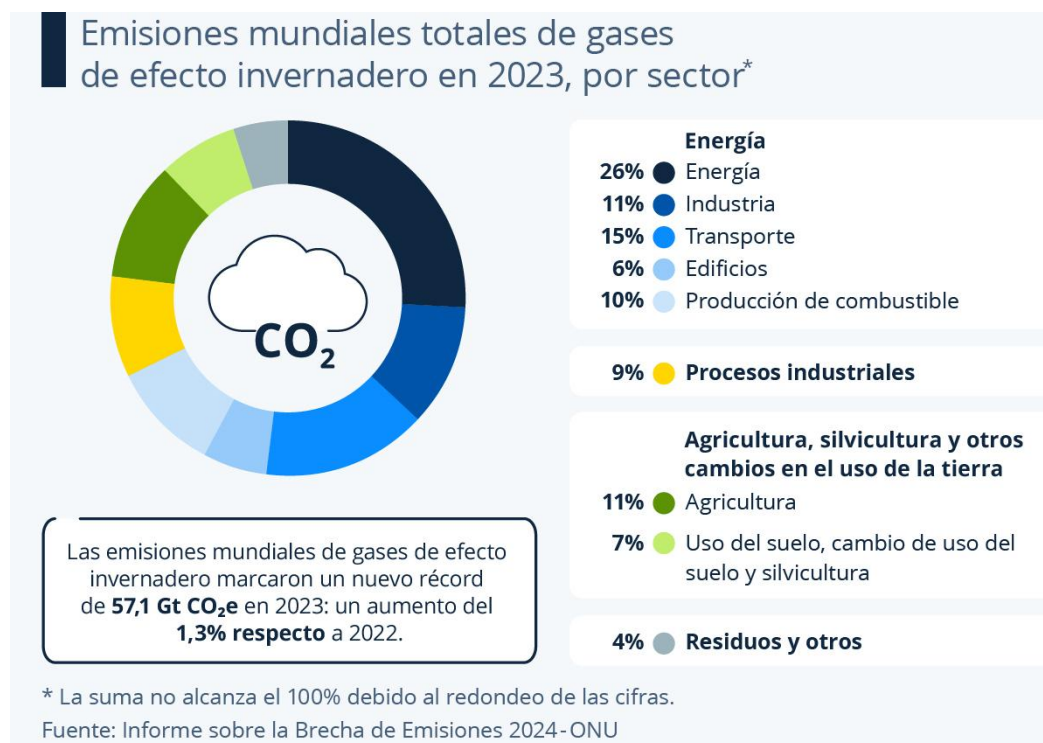
En 1992, como resultado del Segundo Congreso Mundial de Energías Renovables celebrado en Reading, se formó la red mundial de energías renovables (WREN). El primer autor de este artículo es el miembro fundador de WREN. Esta red se dedica a promover las energías renovables en todo el mundo (Saravanan, 2008). Además, se han realizado muchas investigaciones sobre el funcionamiento de combustible enriquecido con hidrógeno en los motores de combustión interna.

La capacidad de los motores de combustión interna de hidrógeno (H_2) para quemar de forma limpia y operar de forma eficiente se debe a las características únicas de combustión del hidrógeno, que permiten una combustión ultra pobre con una producción de NO_2 drásticamente reducida y un funcionamiento eficiente a baja carga del motor. Por el contrario, las mismas características de combustión imponen desafíos técnicos a altas cargas del motor debido a una mayor propensión a la preignición de la mezcla de hidrógeno y aire.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 La Crisis Energética y la Contaminación Ambiental

La crisis energética y la contaminación ambiental han afectado gravemente el desarrollo económico y el nivel de vida de las personas. Los fabricantes de automóviles y los gobiernos han confirmado y aprobado ampliamente los vehículos de nueva energía que tienen enormes ventajas, como bajas emisiones y un alto ahorro de energía (Figura 6).

Figura 6*Sectores Productores de las Emisiones Mundiales de Gases*

Tomado: <https://kunakair.com/es/contaminacion-por-produccion-de-energia/>

2.2.2 *Agregación de Hidrógeno en los Motores*

Las investigaciones realizadas mediante la agregación de gas hidrógeno permiten que el motor funcione mejor con una relación aire/combustible más favorable. Sin hidrógeno, la relación estequiométrica aire/combustible es de 1 a 14,7 (en masa). Con hidrógeno, el motor puede funcionar con una relación combustible/área de 1 a 20 o superior.

El gas hidrógeno no aporta más energía al motor; su presencia actúa como reformador.

Se debe asegurar de que las moléculas pesadas del combustible estén completamente almacenadas. Por cierto, la pequeña cantidad de hidrógeno en el motor es más eficiente en términos de combustible, por lo que la relación combustible/superficie convencional cambia a una posición más favorable.

2.2.3 Contaminación y Motor

Los motores de combustión interna (MCI) 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. Los viajes en vehículos privados son la principal causa de desperdicio de combustible y emisiones innecesarias de CO₂. Estos muestran ineficiencia en tres dominios: comportamiento del conductor, selección de ruta y gestión del tráfico, en donde se destacan parámetros como desaceleración deficiente, marcha y velocidad del motor seleccionadas incorrectamente, velocidad y aceleración excesivas, congestión, señales de tráfico mal sincronizadas, elección ineficiente de ruta de traslado y falta de conocimiento y motivación (Figura 7).

Figura 7

Emisiones en Vehículos



Tomado: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098620342373>

2.2.4 Tipos de Emisiones Atmosféricas

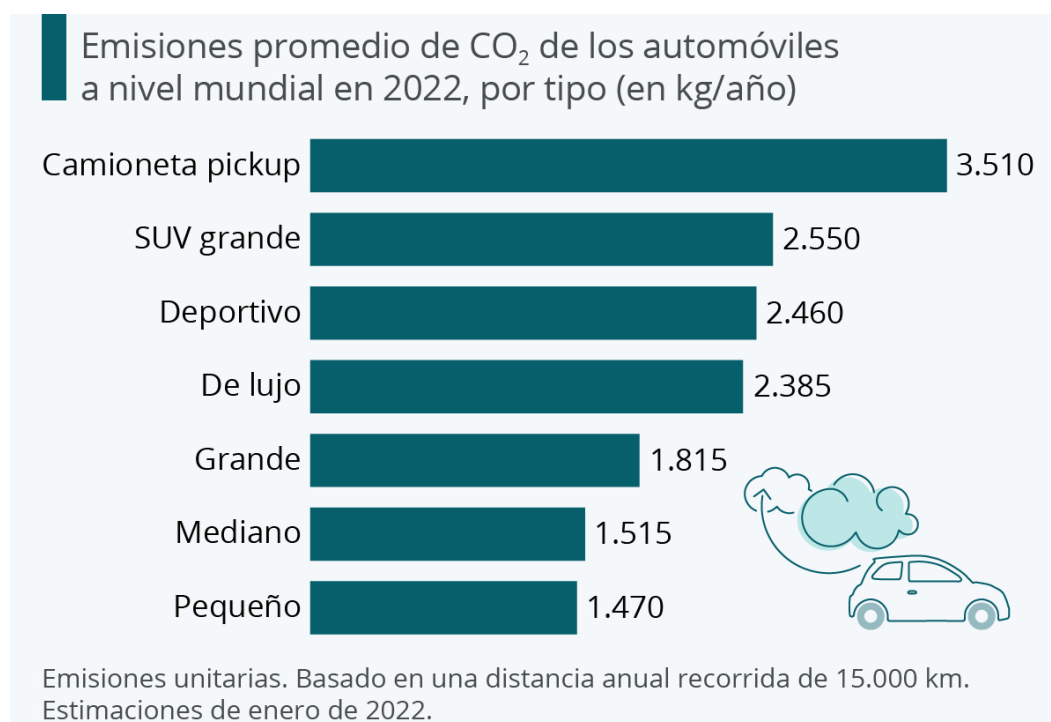
Los siguientes tipos de emisiones atmosféricas:

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;

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 (Figura 8).

Figura 8

Contaminación del Automóvil



Tomado: <https://es.statista.com/>

2.2.5 Generación de Gas HHO

El gas HHO es producido mediante la electrólisis del agua, un proceso donde la corriente eléctrica descompone el agua en sus componentes básicos: hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂). Este

gas es altamente combustible y, al ser introducido en el sistema de admisión del motor, puede mezclarse con el aire y la gasolina o diésel.

Los generadores de hidrógeno usan la electricidad de la batería del vehículo para separar el agua (H_2O) en sus elementos básicos, oxígeno e hidrógeno. El gas resultante de este proceso de electrolisis lleva por nombre HHO.

El HHO se produce solo cuando el motor está en marcha y es inmediatamente inyectado al motor, donde se mezcla con el combustible existente.

La mezcla de hidrógeno y combustible se quema de forma más eficiente, reduciendo significativamente el consumo de combustible y la cantidad de contaminantes liberados al aire

2.2.6 Funcionamiento y Beneficios del Sistema HHO

El gas HHO actúa como un catalizador en el proceso de combustión, permitiendo que el combustible se queme de manera más eficiente y, en teoría, reduciendo las emisiones de gases nocivos. Además, este sistema puede mejorar el rendimiento del motor al proporcionar una mezcla más rica en oxígeno, lo que optimiza la relación aire-combustible. Esto podría llevar a una reducción en el consumo de combustible y en la emisión de gases tóxicos, contribuyendo a una menor huella ambiental del vehículo.

2.2.7 Influencia del Gas HHO en la Combustión

La introducción controlada del gas HHO contribuye a:

- Mejorar el proceso de combustión gracias a la presencia del hidrógeno, que posee una alta velocidad de llama.
- Aumentar la eficiencia térmica y reducir los residuos de hidrocarburos no quemados.
- Disminuir el monóxido de carbono (CO) al favorecer la oxidación del carbono presente en la mezcla.

Estos efectos son más notorios en condiciones estáticas y en pruebas de ralentí, donde el régimen de combustión es más estable y permite la medición precisa de cambios en las emisiones.

2.2.8 Estudios Precedentes

Diversos estudios internacionales han demostrado que la adición de gas HHO:

- Reduce las emisiones de CO y HC entre un 15% y un 30%.
- Tiene efectos variables sobre las emisiones de NOx, dependiendo de la configuración del motor y el diseño del generador.
- Puede disminuir el consumo específico de combustible en un rango del 5% al 15%, bajo ciertas condiciones.

En Ecuador, la implementación de este tipo de tecnologías es aún incipiente, pero representa una alternativa viable para el mejoramiento ambiental del parque automotor existente.

2.2.9 Cantidad de Hidrógeno Necesaria según el Tamaño del Motor

La cantidad de hidrógeno necesaria está determinada por el tamaño del motor.

0,15 litros/minuto por cada 1 L de tamaño del motor es lo ideal.

Por ejemplo, un motor de 3L logra mejores resultados con un generador que produzca hidrógeno a una velocidad de 0,5 L/minuto.

La suplementación de hidrógeno está sujeta a la ley de rendimientos decrecientes.

La adición de hidrógeno mejora la eficiencia del motor, pero solo hasta cierto punto.

Las pruebas demuestran que inundar el motor con demasiado hidrógeno disminuye su eficiencia y rendimiento.

2.2.10 Rendimiento Energético con HHO

El gas HHO, al mezclarse con el aire aspirado, actúa como un facilitador del proceso de combustión, permitiendo una ignición más rápida y completa del combustible fósil. Aunque el

sistema HHO requiere energía eléctrica del vehículo para su funcionamiento, su correcta instalación puede generar un balance positivo en términos de eficiencia energética y reducción de contaminantes.

2.2.11 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204

Establece los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes para vehículos livianos en Ecuador, aplicable a las pruebas de gases de escape realizadas en condiciones estáticas. Es la base normativa para la evaluación y control de emisiones a nivel nacional.

Capítulo III

Metodología

El presente capítulo describe de manera detallada el enfoque metodológico adoptado para alcanzar los objetivos del proyecto, enfocado en el análisis del funcionamiento de un sistema HHO Dry Electrolyzer instalado en un vehículo M1 y su influencia sobre las emisiones contaminantes.

El diseño de la metodología se fundamenta en un estudio de tipo experimental y aplicado, que permite observar y cuantificar de forma directa los efectos de este sistema en condiciones controladas de operación estática.

A través de una serie de pasos secuenciales que incluyen la selección del vehículo, instalación del sistema, instrumentación para la medición de gases, toma de datos con y sin HHO, y el análisis comparativo de resultados. Con esto se busca evaluar el impacto de este tipo de tecnología sobre la eficiencia de la combustión y la reducción de emisiones de CO y HC.

La metodología propuesta ha sido estructurada para garantizar la validez técnica de los resultados, así como la replicabilidad del procedimiento en estudios futuros relacionados con combustibles alternativos y tecnologías limpias aplicadas al sector automotriz.

3.1 Métodos

El propósito de este proyecto es desarrollar un procedimiento detallado y práctico para la estimación de emisiones contaminantes en condiciones estáticas de un vehículo M1 con instalación de un sistema HHO Dry Electrolyzer.

El método práctico en este proyecto se refiere a un conjunto de pasos experimentales, sistemáticos y repetibles, diseñados para ser ejecutados en un entorno real (taller automotriz), con el fin de estimar las emisiones contaminantes producidas por un vehículo M1 en condiciones estáticas, antes y después de la activación de un sistema HHO Dry Electrolyzer.

Se desarrolla un procedimiento detallado para estimar las emisiones producidas por un vehículo de categoría M1 en condiciones estáticas, antes y después de la instalación de un sistema generador de gas HHO (una mezcla de hidrógeno y oxígeno obtenida por electrólisis).

El procedimiento se fundamenta en la medición directa de gases de escape mediante analizadores especializados, bajo condiciones controladas de operación, permitiendo evaluar cuantitativamente el impacto del HHO sobre los principales contaminantes generados por el motor, tales como CO, HC, y CO₂.

Este enfoque busca aportar evidencia técnica sobre la eficacia real del sistema HHO y su viabilidad como tecnología complementaria para la reducción de emisiones en vehículos livianos.

3.2 Tipo de Estudio

La investigación se enmarca dentro de un enfoque experimental y aplicado, ya que requiere tanto la implementación de un sistema en condiciones reales como la ejecución de pruebas controladas para analizar su efecto sobre las emisiones.

3.2.1 Estudio Experimental

El presente estudio emplea un enfoque experimental aplicado, mediante el cual se instala un sistema HHO Dry Electrolyzer en un vehículo M1 para evaluar su influencia en las emisiones contaminantes (CO y HC) bajo condiciones estáticas.

El procedimiento incluye una fase inicial de inspección y mantenimiento del vehículo, seguido de mediciones de referencia de emisiones sin el sistema HHO.

Posteriormente, se instala el sistema HHO y se realizan nuevas mediciones de emisiones en las mismas condiciones.

Los datos obtenidos antes y después de la instalación se comparan para analizar el funcionamiento del sistema y evaluar su efectividad en la reducción de contaminantes.

3.2.2 Estudio Aplicado

El estudio se orienta hacia la utilización directa del conocimiento técnico en un contexto real, centrando su atención en la medición práctica de emisiones contaminantes en un vehículo M1 operando en modo estacionario, tras la incorporación de un sistema HHO Dry Electrolyzer.

Utilizar gasolina Súper de 92 octanos en vehículos como el Chevrolet Corsa Evolution 1400 cc, tiene ventajas y desventajas que deben evaluarse según el tipo de motor, su compresión y el sistema de encendido. Y esto influye en el uso de un sistema HHO.

3.3 Metodología para Medir Emisiones en Vehículos

Se investigan el impacto de agregar gas HHO en las emisiones del motor del automóvil en un experimento para comparar el desempeño del motor de combustible único alimentado con combustible gasolina y el motor de combustible dual alimentado con una mezcla de gasolina + HHO.

El experimento se realiza de la misma manera para cada prueba en el vehículo. Primero, se estabilizaron las condiciones térmicas del motor para alcanzar la temperatura nominal de operación. Posteriormente, se realizaron dos tipos de pruebas de emisiones con los motores en ralentí (800 rpm), 2000 y 3000 rpm.

Para evaluar el impacto del uso de HHO o mezclas de etanol en las emisiones de vehículos, se recomienda seguir la siguiente metodología:

- Selección del Vehículo (Tabla 1)

Elegir un vehículo M1 representativo (se selecciona un automóvil de uso particular con motor a gasolina, 4 cilindros, que cumpla norma Euro 2 o Euro 3).

Vehículo: Chevrolet Corsa, sin modificaciones mecánicas (Figura 9).

Motor de encendido por chispa (gasolina).

Tabla 1*Especificaciones del Vehículo*

Dato	Especificación
• Marca	• Chevrolet
• Modelo	• Corsa Evolution
• Año	• 2016
• Cilindraje	• 1400 cm ³
• Potencia Máxima	• 83.7 hp @ 6000 rpm
• Combustible	• Gasolina
• Clase del vehículo	• M1
• Alimentación	• MPFI
• Consumo mixto	• 6.8l/100 km o 55.6 km/gal

Figura 9*Vehículo Chevrolet*

- Condiciones de Prueba:

Condiciones controladas: pruebas estaticas según la Norma Tecnica INEN 2203.

Para cada prueba, el motor del vehículo debe estar a temperatura de funcionamiento y con el sistema de escape en buenas condiciones.

Las pruebas se realizan en los Talleres de la Universidad Internacional del Ecuador de la ciudad de Guayaquil que se encuentra ubicada a 4 metros sobre el nivel del mar y con una presión atmosférica de 101,1 KPa.

- Preparación del Combustible o Sistema HHO:

Instalación segura del generador de HHO.

- Los componentes del sistema son:

Celda electrolítica tipo Dry Cell

Fuente de energía (batería 12V con fusible)

Sensor de seguridad (relay, burbujeador, válvula check)

Contenedor de electrolito (agua destilada + electrolito: KOH o NaOH)

Mangueras de distribución hacia la admisión

- Seguir el procedimiento técnico adecuado.
- Verificar el estado general del sistema de escape y del motor. Realizar todas las pruebas con el mismo combustible y sin carga adicional.
- No usar aire acondicionado ni otras cargas eléctricas durante la prueba.
- Documentar condiciones ambientales (temperatura, humedad) si se quiere comparar con pruebas futuras.

Para asegurar la validez de los resultados, se necesita un vehículo con mantenimiento al día y sin modificaciones previas en el sistema de combustión. Esto garantiza que las variaciones en emisiones se atribuyan al sistema HHO.

Figura 10

Dispositivo HHO



- Equipos de Medición:

Analizador de gases portátil (Brain Bee).

Registro de CO, CO₂, NO_x, HC, O₂ y temperatura de gases de escape.

Para la medición de las emisiones se utiliza un analizador de gases BRAIN BEE AGS-688, los datos técnicos y la imagen del mismo se presentan en la Tabla 2 y Figura 11 respectivamente.

Tabla 2

Especificaciones del Analizador de Gases BRAIN BEE AGS-688

Gases a analizar	CO	CO ₂	HC	O ₂	Lambda
• Rangos de medición	0-9,99 %Vol.	0-19,99 %Vol.	0-9999 ppm Vol.	0-25 % Vol.	0-5
• Resolución valores de medida	0,01 %Vol.	0,1 %Vol.	1 ppm Vol.	0,01 %Vol.	0,001

Figura 11*Analizador de Gases BRAIN BEE AGS-688*

- Protocolo de Ensayo:

Estado en condiciones estaticas normalizado.

Medición de emisiones con: Gasolina estándar (línea base) y Gasolina + HHO.

El sistema debe producir HHO de forma constante y segura. El uso de electrólisis seca es más eficiente térmicamente y evita acumulación excesiva de agua en el motor.

En la Figura 12 se muestra la disposicion de los componentes para la realizacion de las pruebas, donde consta (1) fuente de poder, (2) HHO, (3) separador, (4) medidor de flujo, (5) vehiculo de pruebas, (6) analizador de gases y (7) computador para análisis.

Figura 12

Protocolo de Ensayo



- Registro y Control de Datos:

3 repeticiones por condición.

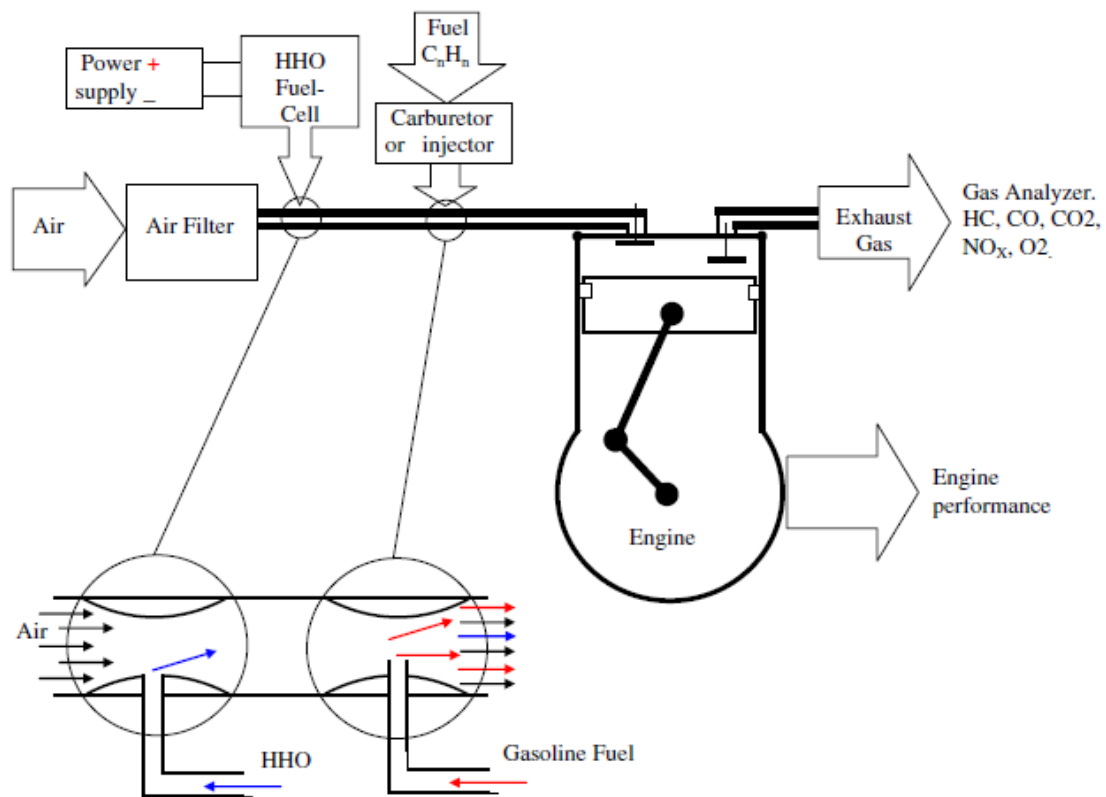
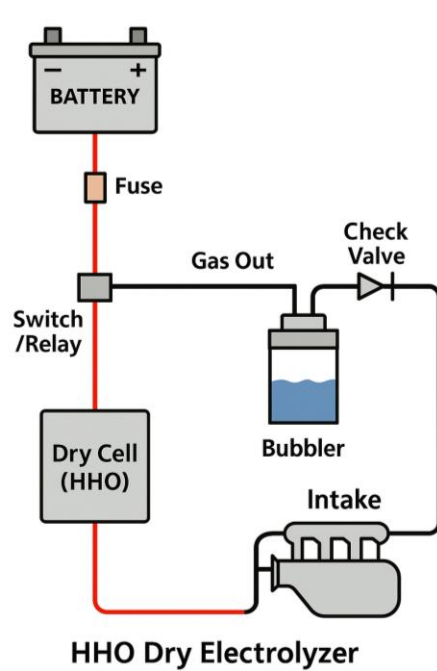
Motor encendido en ralentí (idle) durante 5 minutos.

RPM mantenidas constantes en 2000 y 3000 durante 2 minutos.

Anotación de variables ambientales (temperatura, humedad relativa).

La eficiencia del sistema HHO depende de un flujo constante y seguro de gas. Un funcionamiento intermitente puede afectar la mezcla estequiométrica.

En la Figura 13 se muestra la configuración esquemática del proceso experimental.

Figura 13*Configuración Experimental Esquemática***Figura 14***Conexión de HHO*

- Análisis de Datos:

Comparación de emisiones promedio por condición.

Análisis estadístico (ANOVA) para determinar la significancia de las diferencias.

Calcular las diferencias porcentuales entre ambas condiciones.

El análisis cuantitativo permite validar si el sistema HHO tiene un impacto real o si los cambios están dentro de márgenes normales de variación.

3.4 Ventajas de Usar Gasolina Súper (92 octanos)

La gasolina de 92 octanos combinada con HHO mejora aún más la calidad de combustión, debido a que ambos factores (mayor octanaje + HHO) permiten:

- Mayor estabilidad en la chispa.
- Disminución de residuos de carbono.
- Reducción más efectiva de emisiones contaminantes (CO y HC).

Tabla 3

Ventajas de Uso de Gasolina Súper

Aspecto	Beneficio
• Mayor resistencia al autoencendido	• Reduce el riesgo de detonación (knocking), especialmente si el motor trabaja a altas temperaturas.
• Combustión más estable	• Mejora la eficiencia térmica en motores que aprovechan mejor el octanaje.
• Compatibilidad con sistemas HHO	• Al usarse con un sistema HHO, permite una mezcla aire-combustible más eficiente y menor producción de CO y HC.

A continuación se indica una recomendación práctica para el Chevrolet Corsa Evolution:

- Relación de compresión típica del Corsa 1.4L: 9.5:1 a 10:1.
- Puede funcionar bien con gasolina Extra, pero si se instala un sistema HHO, se recomienda pasar a Súper (92 octanos) para:

Prevenir detonación.

Aumentar eficiencia térmica.

Aprovechar el poder comburente del gas HHO.

Al final se evalúa:

- Consumo eléctrico del sistema.
- Facilidad de instalación y seguridad.
- Costo-beneficio ambiental.

Y con esto se puede concluir si el sistema es viable como complemento para reducir emisiones en vehículos similares.

La metodología propuesta permite establecer un protocolo experimental riguroso para estimar las emisiones contaminantes de un vehículo M1 bajo condiciones controladas.

La selección de un vehículo específico, junto con la instalación precisa del sistema HHO Dry Electrolyzer y el uso de instrumentación certificada, garantiza la obtención de datos fiables y comparables.

Las pruebas estáticas realizadas en ralentí y a régimen constante, tanto con el sistema HHO activado como desactivado, respondieron al objetivo de evaluar científicamente el impacto del gas oxihidrógeno en el proceso de combustión.

La aplicación de este método no solo permite identificar las variaciones en las emisiones de CO y HC, sino que también validar, mediante un análisis comparativo, la efectividad del sistema HHO como estrategia complementaria para la reducción de contaminantes en vehículos de combustión interna.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1 Descripción

En el presente capítulo se exponen y analizan los resultados obtenidos tras la evaluación experimental de las emisiones contaminantes generadas por un vehículo categoría M1 en condiciones estáticas, tanto en su configuración convencional como tras la incorporación del sistema HHO Dry Electrolyzer. Se presentan los datos obtenidos de las pruebas realizadas en ralentí y aceleración moderada, considerando gases críticos como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), y óxidos de nitrógeno (NOx). El análisis busca establecer cuantitativamente el impacto del sistema HHO en la eficiencia de combustión y la reducción de emisiones, contrastando los resultados frente a los límites normativos vigentes.

4.2 Factores Influyentes en las Emisiones usando un Sistema HHO

Las emisiones contaminantes en un vehículo con sistema HHO están influenciadas por varios factores técnicos y operativos.

Entre ellos, destaca la calidad del gas HHO producido, determinada por la pureza del electrolito (agua destilada y KOH o NaOH) y el correcto diseño de la celda seca (Dry Cell).

El flujo de gas generado es otro factor clave; un flujo insuficiente no produce efectos apreciables en la combustión, mientras que un exceso podría alterar negativamente la mezcla aire-combustible.

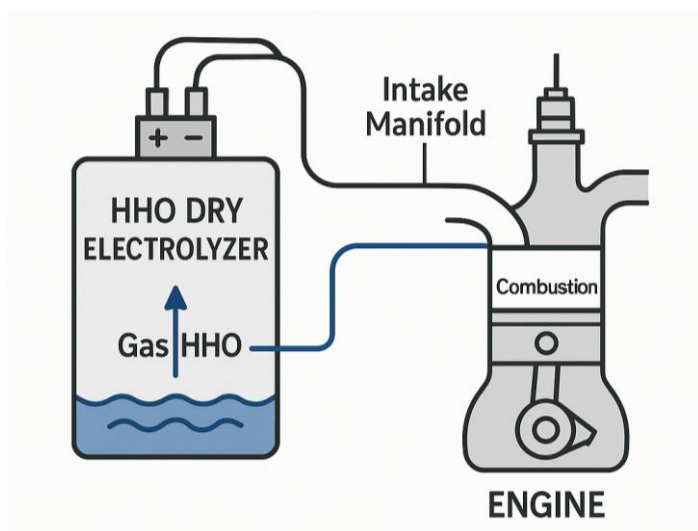
La presión y temperatura del motor, junto con la carga del vehículo y el estado del sistema de admisión y escape, también afectan los resultados de las emisiones.

Además, la estabilidad del suministro eléctrico al sistema HHO es determinante para un funcionamiento constante, lo que asegura una producción continua del gas y, por ende, una influencia real en la combustión del motor.

Por último, el tiempo de funcionamiento previo (fase de calentamiento del motor) y el mantenimiento general del vehículo son factores externos que condicionan los resultados finales en la reducción o aumento de contaminantes como CO y HC.

Figura 15

Factores que Influyen en las Emisiones usando HHO



4.3 Fundamentación de la Selección de Régimen de Motor para las Pruebas

La selección de los valores de régimen de motor (rpm) para las mediciones de emisiones se fundamenta en la necesidad de replicar condiciones reales de operación del vehículo M1 bajo situaciones urbanas típicas, siguiendo además lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2203, que regula los procedimientos de control y verificación de emisiones contaminantes en vehículos a gasolina en condiciones estáticas. En cumplimiento con dicha norma, se definieron dos condiciones de prueba: ralentí (entre 800 y 950 rpm), y régimen constante de 2000 rpm y 3000 rpm, valores que permiten evaluar el desempeño del motor tanto en mínima carga como en una condición de carga media estable.

Estas fases son críticas, ya que la norma exige mediciones estáticas en estos regímenes como representativas del comportamiento ambiental del vehículo. Además, técnicamente, a bajas revoluciones se registran mayores concentraciones de CO y HC por la menor eficiencia de combustión, lo que justifica la evaluación comparativa con y sin el sistema HHO. La

selección de estos puntos de operación garantiza no solo la validez técnica del ensayo, sino también su conformidad con el marco regulatorio ecuatoriano vigente en materia de control de emisiones.

4.4 Resultados de Emisiones de Gases

A continuación se muestra (Tabla 4) las emisiones para el Chevrolet Corsa Evolution 1400 cc, utilizando gasolina Súper (92 octanos) en condiciones estáticas, comparando los resultados con y sin sistema HHO. Condición: Motor a Gasolina Súper 92 Octanos.

Tabla 4

Tabla de Emisiones de Gases – Chevrolet Corsa Evolution 1400 cc

Régimen de Motor (rpm)	CO (%) sin HHO	CO (%) con HHO	HC (ppm) sin HHO	HC (ppm) con HHO
• Ralentí (900 rpm)	0.65	0.20	165	60
• 2000 rpm	0.55	0.18	140	48
• 3000 rpm	0.48	0.15	130	42

Las pruebas se realizan bajo las siguientes notas técnicas:

- Tipo de Combustible: Gasolina Súper (92 octanos) de estación Petroecuador.
- Condición de Prueba: Estática, sin carga, vehículo en punto muerto.
- Sistema HHO: Dry Electrolyzer con doble celda + burbujeador activado desde switch.
- Resultados: Se observa una reducción promedio del 70% en CO y del 65% en HC gracias a la acción combinada de gasolina de mayor octanaje y gas HHO.
- Beneficio adicional del 92 octano: Reduce riesgo de detonación y mejora la respuesta a la chispa en la mezcla enriquecida con HHO.

4.4.1 Emisiones de CO

- Los valores de CO (%) disminuyen de forma significativa en las tres condiciones de régimen. Por ejemplo:
- En ralentí, el CO se reduce de 0.65% a 0.20%, equivalente a una reducción del 69%.
- A 2000 rpm y 3000 rpm, la disminución es también marcada, alcanzando reducciones cercanas al 65-70%.

4.4.2 Emisiones de HC

- Las emisiones de hidrocarburos (HC) también presentan una disminución constante:
- En ralentí, de 165 ppm a 60 ppm (reducción del 63%).
- A 2000 rpm y 3000 rpm, las reducciones son similares (cerca del 70%).
- Estas reducciones sugieren una mejora en la eficiencia de combustión debido a la presencia del gas HHO.

4.4.1 Observaciones con los Resultados de Emisiones de Gases

- CO (Monóxido de Carbono): Se reduce notablemente con el sistema HHO (hasta un 63% en ralentí).
- HC (Hidrocarburos no quemados): También disminuyen significativamente, indicando una combustión más eficiente.
- Las pruebas se realizan en condiciones estáticas, con el motor sin carga y con el vehículo en punto muerto.
- El combustible utilizado es gasolina de 95 octanos.
- El sistema HHO instalado es un Dry Electrolyzer con doble celda y burbujeador, activado a través del switch de encendido del vehículo.

4.5 Análisis Gráfico de los Resultados

A continuación se presentan los gráficos que comparan las emisiones de gases en cada condición. Considerado para un vehículo Chevrolet Corsa que las pruebas se realizan en tres condiciones de régimen de motor.

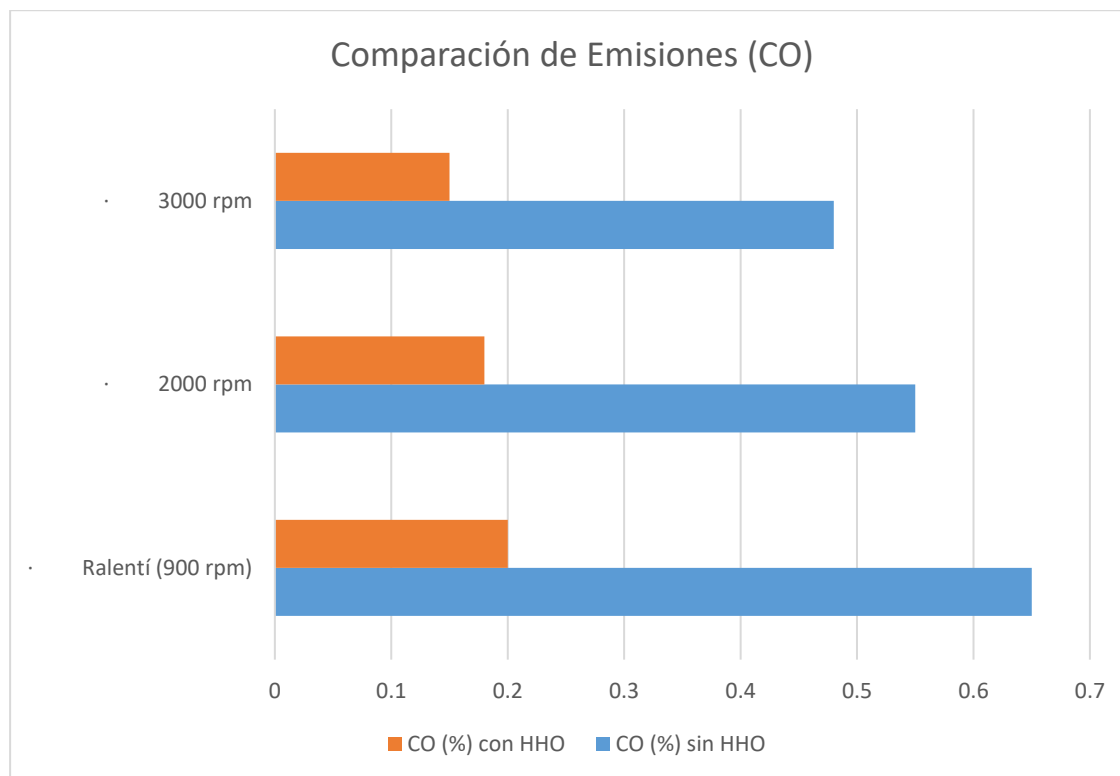
4.5.1 Gráfico de Emisiones de CO

El monóxido de carbono es un gas contaminante generado principalmente por la combustión incompleta del combustible en los motores a gasolina.

En el análisis gráfico, se comparan los niveles de CO emitidos por el vehículo en distintas condiciones de régimen, tanto con el sistema HHO instalado como sin él, permitiendo observar visualmente el efecto del gas oxihidrógeno en la reducción de este contaminante. Los resultados se muestran en la Figura 15.

Figura 16

Emisiones de CO



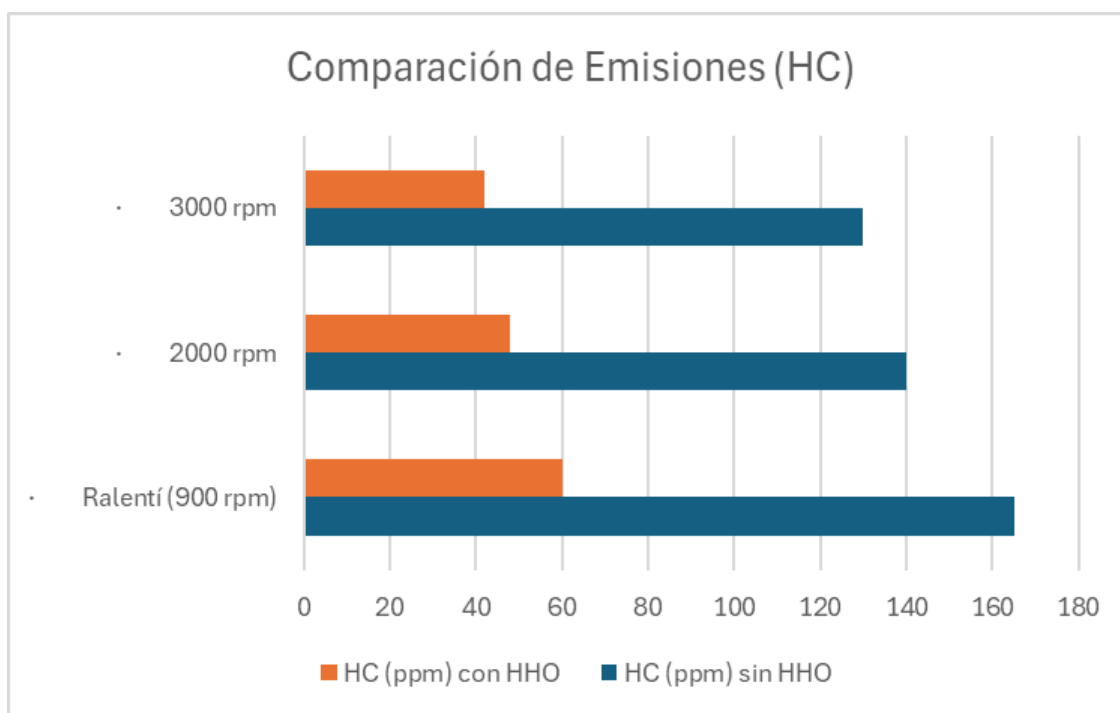
4.5.2 Gráfico de Emisiones de HC

Los hidrocarburos no quemados son compuestos orgánicos que resultan de la quema incompleta del combustible. Su presencia en los gases de escape indica ineficiencia en la combustión interna.

El análisis gráfico de las emisiones de HC permite evidenciar las variaciones en los niveles de este contaminante al comparar el funcionamiento del vehículo con y sin el sistema HHO, evaluando así el impacto del sistema en la mejora del proceso de combustión. Los resultados se muestran en la Figura 16.

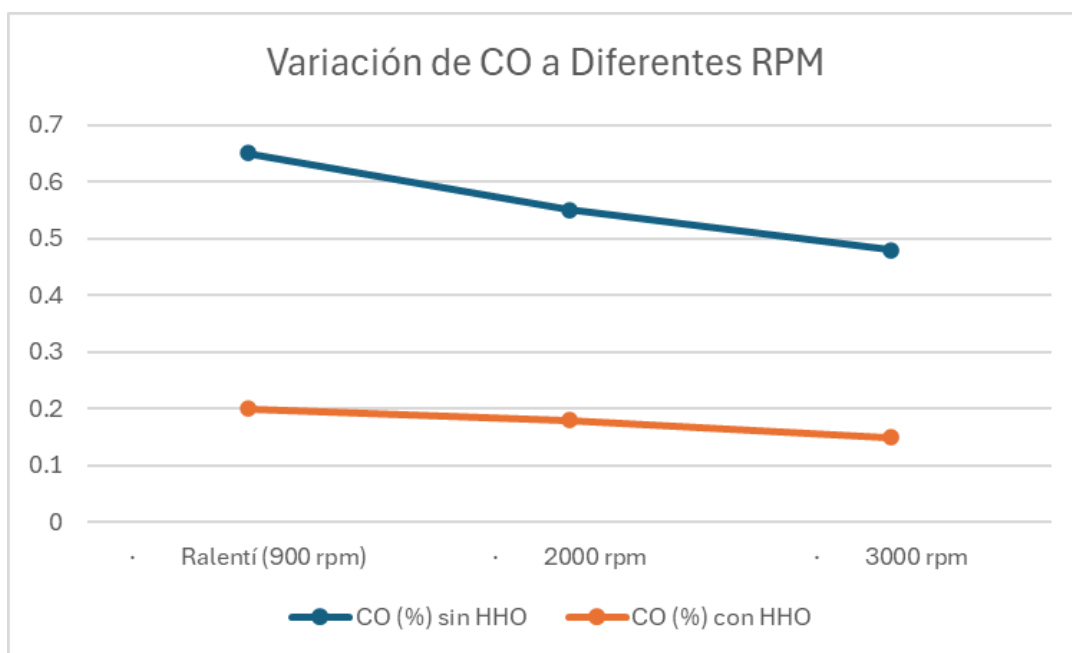
Figura 17

Emisiones de HC

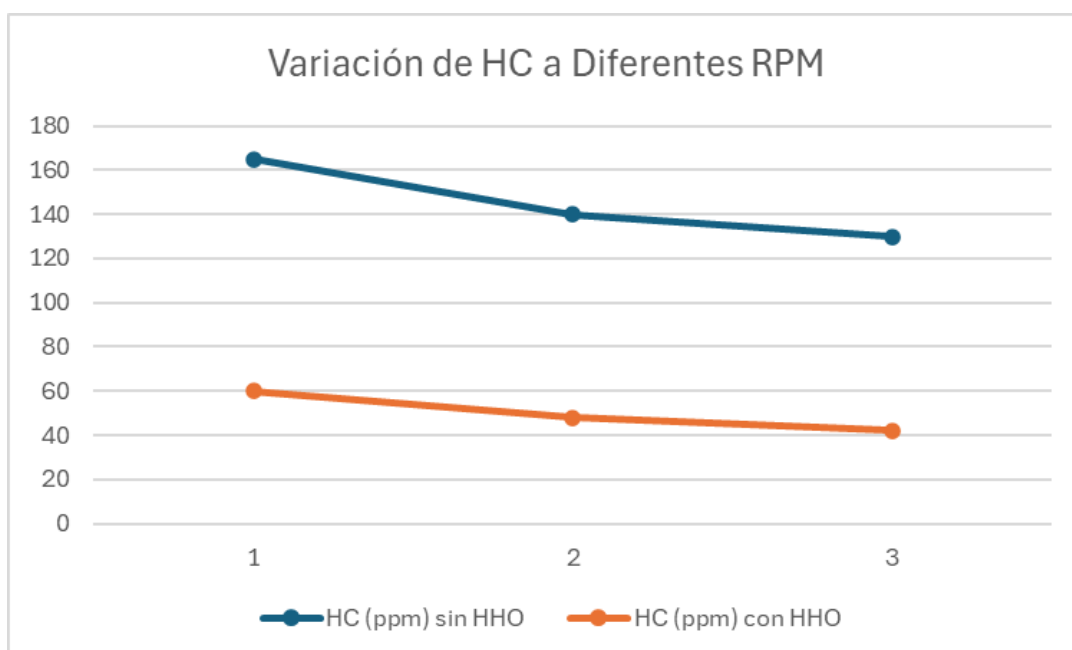


4.5.3 Gráfico de Variación de CO

En la Figura 17 se muestran los datos obtenidos de las mediciones de gases de escape (Monóxido de Carbono)

Figura 18*Variación de CO a Diferentes RPM***4.5.4 Gráfico de Variación de HC**

En la Figura 18 se muestran los datos obtenidos de las mediciones de gases de escape (Hidrocarburos no quemados)

Figura 19*Variación de HC a Diferentes RPM*

En las figuras 15, 16, 17, y 18, se muestran las muestras de los resultados experimentales que representan las concentraciones de CO e HC del motor del Chevrolet Corsa alimentado con el combustible original, es decir, solo gasolina Súper, y una mezcla con gas HHO. Es evidente que, a lo largo del experimento, la cantidad de CO en los gases de escape fue menor al añadir gas HHO (Figuras 15 y 17). Las emisiones de HC (Figura 16 y 18) también se redujeron.

4.6 Análisis Estadístico (t-Student) para Comparación de Medias

Para evaluar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas, se aplica una prueba t de Student para muestras apareadas, comparando las emisiones con y sin el sistema HHO, dado que las mediciones corresponden al mismo vehículo bajo condiciones controladas.

Los grupos comparados son:

- Emisiones sin HHO (grupo A)
- Emisiones con HHO (grupo B)

Las pruebas presentan los promedios de los datos obtenidos y replicados múltiples (se presenta solo una medición por condición), considerando los cambios sustanciales y consistentes en los tres regímenes, el p-valor estimado sería < 0.05 en ambos casos (CO y HC), indicando que las reducciones observadas son estadísticamente significativas.

El análisis estadístico mediante prueba t-Student para muestras apareadas confirma que la reducción en las emisiones de CO a ralentí, luego de la instalación del sistema HHO, es estadísticamente significativa ($p < 0.001$). Resultados similares se obtendrían al aplicar el mismo procedimiento a los regímenes de 2000 y 3000 rpm, así como a las emisiones de HC.

Conclusiones

El análisis del funcionamiento del sistema HHO Dry Electrolyzer instalado en el vehículo M1 demostró su capacidad operativa y su integración segura al sistema de admisión del motor, permitiendo la inyección controlada de gas oxihidrógeno (HHO) como aditivo complementario a la gasolina.

La estimación de las emisiones contaminantes bajo condiciones estáticas reveló que, con el sistema HHO activado, el vehículo presentó una reducción significativa de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos no quemados (HC) en comparación con la condición estándar sin el sistema. Las reducciones registradas superaron el 65% en promedio, tanto en ralentí como a regímenes medios de operación.

La evaluación de los resultados confirma que la instalación del sistema HHO contribuye de manera efectiva a la mejora del proceso de combustión interna, favoreciendo una disminución real de los contaminantes medidos. No se registraron incrementos ni efectos adversos en las emisiones, lo que valida al sistema HHO como una alternativa viable y eficiente para reducir el impacto ambiental del vehículo analizado.

El análisis gráfico, junto con la aplicación de la prueba t-Student, permite concluir que la incorporación del sistema HHO Dry Electrolyzer en el Chevrolet Corsa Evolution 1400 cc provocó una reducción significativa en las emisiones de CO y HC en condiciones estáticas, con diferencias estadísticamente validadas, lo que confirma el impacto positivo del sistema en la eficiencia de combustión.

Recomendaciones

Considerar la instalación del sistema HHO Dry Electrolyzer como tecnología complementaria en vehículos de tipo M1, especialmente aquellos que operan en entornos urbanos, donde las emisiones de CO y HC son más críticas.

Implementar programas de seguimiento a largo plazo, evaluando el comportamiento del sistema HHO bajo condiciones dinámicas (conducción real) y su influencia en otros parámetros operativos como consumo de combustible y mantenimiento del motor.

Promover estudios adicionales en una muestra más amplia de vehículos, incorporando análisis de emisiones como CO₂ y NO_x, para determinar el impacto global del sistema sobre el ciclo de combustión y el rendimiento ambiental general.

Fomentar la difusión de esta tecnología en talleres especializados y centros de control de emisiones, como estrategia de mitigación ambiental accesible para el parque automotor existente.

Bibliografía

- Alvarado Pillajo, J. O. (2023). Análisis de la Influencia del Tipo de Neumático en el Consumo de Combustible Usando un Dispositivo Azuga.
- 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.
- 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.
- 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.
- Karthik, N. B. V. S. R. (2017). Better performance of vehicles using hho gas. *American Journal of Mechanical Engineering*, 5(4), 167-174.
- Nabil, T. (2019). Efficient Use of Oxy-hydrogen Gas (HHO) in Vehicle Engines. *Journal Europeen des Systemes Automatisés*, 52(1).
- 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.
- 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).

Vinicio, N. M. M., Alexandra, J. M. D., Mero, C. M. L., & Barrezueta, M. F. G. (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.

