

TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO

VIDA NUEVA

SEDE MATRIZ



TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

TEMA

INVESTIGAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS GASES CONTAMINANTES AL
IMPLEMENTAR INYECCIÓN DE HIDRÓGENO EN UN MOTOR A GASOLINA PARA
OPTIMIZAR EL PROCESO DE COMBUSTIÓN

PRESENTADO POR

MORQUECHO MORQUECHO IVAN MAURICIO

TUTOR

ING. JARA MARTÍNEZ JHON DANIEL

FECHA

ENERO 2022

QUITO – ECUADOR

Certificación del Tutor

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Aplicación Práctica con el tema: “Investigar el comportamiento de los gases contaminantes al implementar inyección de hidrógeno en un motor a gasolina para optimizar el proceso de combustión”, presentado por el ciudadano Morquecho Morquecho Ivan Mauricio, para optar por el título de Tecnólogo Superior en Mecánica Automotriz, certifico que dicho proyecto ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, del mes de enero de 2022.

Tutor: Ing. Jara Martínez Jhon Daniel

C.I.: 1722265418

Aprobación del Tribunal

Los miembros del tribunal aprueban el Proyecto de Aplicación Práctica, con el tema: “Investigar el comportamiento de los gases contaminantes al implementar inyección de hidrógeno en un motor a gasolina para optimizar el proceso de combustión”, presentado por el ciudadano Morquecho Morquecho Ivan Mauricio, facultado en la carrera Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Para constancia firman:

Ing.

C.I.:

DOCENTE TUVN

Cesión de Derechos de Autor

Yo, Morquecho Morquecho Ivan Mauricio portador de la cédula de ciudadanía 1721077509, facultado en la carrera Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, autor de esta obra, certifico y proveo al Tecnológico Universitario Vida Nueva usar plenamente el contenido de este Proyecto de Aplicación Práctica con el tema “Investigar el comportamiento de los gases contaminantes al implementar inyección de hidrógeno en un motor a gasolina para optimizar el proceso de combustión”, con el objeto de aportar y promover la cultura investigativa, autorizando la publicación de mi proyecto en la colección digital del repositorio institucional, bajo la licencia Creative Commons: Atribución-NoComercial-SinDerivadas.

En la ciudad de Quito, del mes de enero de 2022.

Morquecho Morquecho Ivan Mauricio

C.I.: 1721077509

Dedicatoria

Gracias a todas las personas que he tenido la dicha de conocer, compartir y que me han brindado su apoyo abnegado, con sus consejos, ánimos y acciones que han contribuido en mi formación profesional y que se ve reflejado en este proyecto.

Agradecimiento

El más sincero agradecimiento a mis padres y hermanos que siempre me apoyaron para llegar a cumplir este sueño, que es de ser un hombre de bien y con una profesión, y por supuesto también a mis compañeros que de una u otra manera siempre estaban en los momentos difíciles de mi vida estudiantil. Además, agradezco a los ingenieros que me brindaron sus conocimientos y sus consejos para ser un profesional de éxito.

Tabla de Contenido

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
Antecedentes	16
Justificación	23
Objetivos	26
Objetivo General	26
Objetivos Específicos	26
Marco Teórico	27
Motores a Combustión Interna	27
Rendimientos de un Motor	27
Partes de un Motor de Combustión Interna	29
Combustión y Combustible	32
Características del Combustible	33
Propiedades de la Gasolina	33
Número de Octanos	33
Sistemas de un Motor de Combustión Interna	34
Ciclos de un Motor de Combustión Interna	36
Funcionamiento de un Motor de Combustión Interna	36
Gases Contaminantes	37
Componentes de los Gases Contaminantes	38
Hidrógeno	40

	8
Electrólisis	42
Generador de Hidrógeno	42
Partes y Componentes del Sistema Generador de Hidrógeno	43
Depósito de Electrolito	43
Burbujeador o Trampa de Agua	44
Filtro	45
Mangueras	46
Cable eléctrico	46
Relé	47
El hidrógeno como Combustible	48
Electrolito	48
Preparación del Electrolito	49
Hidróxido de Sodio (Sosa cáustica)	50
Boroscopio Industrial Automotriz	51
Partes de un Boroscopio	51
Ventajas de Utilizar el Boroscopio Automotriz	52
Diagnóstico Mediante el Boroscopio Automotriz	52
Control de Descarbonización a la Cabeza del Pistón y Bujías	52
Leyes de Faraday	53
Primera ley de Faraday	53
Segunda Ley de Faraday	53
Norma INEN 2204	54
Metodología y Desarrollo del Proyecto	56

	9
Instalación del Sistema Generador de Hidrógeno	56
Seguridad y Precaución Previo a la Instalación del Sistema Generador de Hidrógeno	57
Herramientas a utilizar para la Implementación del Sistema Generador de Hidrógeno	58
Verificación de los Elementos y del Sistema Generador de Hidrógeno	59
Instalación de los Componentes del Sistema Generador de Hidrógeno	59
Circuito Eléctrico	67
Comprobación y Verificación del Funcionamiento del Sistema Generador de Hidrógeno	71
Pruebas de los Gases Contaminantes	73
Especificaciones Técnicas del Vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5l	73
Máquina Analizadora de Gases Contaminantes AGS-688	74
Procedimiento de la Toma de los Datos de Medición de los de Gases Contaminantes	75
Descarbonización a la Cabeza del Pistón y Bujías	80
Cómo Funciona la Descarbonización de la Cabeza del Pistón en un Motor	80
Verificación de Descarbonización a la Cabeza del Pistón	81
Procedimiento de Verificación del Hollín en la Cámara de Combustión	81
Propuesta	88
Estructura de la Propuesta	88
Desarrollo de la Propuesta	88
Cálculo de la Producción de Hidrógeno	89
Resultados de la Medición de los Gases Contaminantes	96
Medición de las Pruebas de Gases Contaminantes Sin el Sistema Generador de Hidrógeno	96
Medición de las Pruebas de Gases Contaminantes con el Sistema Generador de Hidrógeno	97

Comparación de los Gases Contaminantes Sin y Ccon la Instalación del Sistema Generador de Hidrógeno	99
Medición de las Pruebas de los Gases Contaminantes en Proporciones al 50% y 100% de Hidrógeno	109
Comparación de Gases Contaminantes Sin Hidrogeno y en Proporciones al 50% y 100% de Hidrógeno	111
Mantenimiento del Sistema Generador de Hidrógeno	114
Conclusiones	116
Recomendaciones	118
Referencias	119
Anexos	126

Resumen

En el presente trabajo de investigación se analizó el comportamiento de los gases contaminantes al implementar hidrógeno en el motor a gasolina del auto aveo family 1.5, el sistema generador de hidrógeno opera mediante el principio químico de la electrolisis, el cual es un proceso que se encarga de separar las moléculas del agua en oxígeno e hidrógeno, esto se lo consigue con la ayuda del electrolito hidróxido de potasio (también llamada sosa cáustica) con el apoyo de la corriente eléctrica suministrada por la batería del auto. Mediante el uso de un regulador de voltaje dc 5a que controla la corriente eléctrica del sistema generador de hidrógeno se alcanzó proporciones de hidrógeno del 50% y 100% del total de la capacidad producida por el generador, con estas proporciones obtenidas se realizó la inyección de hidrógeno en el motor de combustión interna.

En el desarrollo de la propuesta, se realizó la práctica de la implementación del sistema generador de hidrógeno en el auto aveo family, se realizó la medición de los gases contaminantes únicamente con gasolina extra, aplicando hidrógeno al 50% y 100% debido a las propiedades del hidrógeno.

El porcentaje de inyección de hidrógeno al 50% y 100% se vio mejorado ya que redujo en una gran cantidad los Hidrocarburos no Combustionados (HC ppm) obteniendo un resultado promedio entre altas y bajas revoluciones al 50% obteniendo como resultado 160(ppm) y al 100% 96 (ppm), representando una alternativa viable para la combustión de estos motores.

Palabras Clave: GASES CONTAMINANTES, GENERADOR DE HIDROGENO, ELECTROLISIS, CORRIENTE ELÉCTRICA, MOTOR A GASOLINA.

Abstract

In this research work, the behavior of pollutant gasses was analyzed by implementing hydrogen in the gasoline engine of the Aveo Family 1.5 car. The hydrogen generator system operates through the chemical principle of electrolysis, which is a process that separates water molecules into oxygen and hydrogen. This is achieved with the help of potassium hydroxide electrolyte (also known as caustic soda) and the support of the electric current supplied by the car's battery. Using a 5A DC voltage regulator that controls the electric current of the hydrogen generator system, hydrogen proportions of 50% and 100% of the total capacity produced by the generator were reached. With these obtained proportions, hydrogen was injected into the internal combustion engine.

In the development of the proposal, the practice of implementing the hydrogen generator system in the Aveo Family car was carried out, and the measurement of pollutant gasses was performed using only extra gasoline, applying hydrogen at 50% and 100% due to the properties of hydrogen.

The hydrogen injection percentage at 50% and 100% was improved as it significantly reduced Unburned Hydrocarbons (HC ppm), obtaining an average result between high and low revolutions of 160 ppm at 50% and 96 ppm at 100%, representing a viable alternative for the combustion of these engines.

Keywords: POLLUTANT GASSES, HYDROGEN GENERATOR, ELECTROLYSIS, ELECTRIC CURRENT, GASOLINE ENGINE.

Introducción

Actualmente el sector automotriz ha aumentado y como consecuencia aumenta considerablemente el consumo de combustibles fósiles cada año, por lo que cada vez son mayores las emisiones de gases contaminantes enviadas al medio ambiente. Se considera que un problema principal en la contaminación del medio ambiente en el país son los vehículos, de cualquier tipo y especificaciones, así como sistemas de alimentación de combustible.

La contaminación del aire se considera como un principal riesgo ambiental. Según la organización panamericana de la salud (2016) “La inhalación de altos niveles de gases contaminantes del aire puede causar una variedad de resultados adversos para la salud: aumenta el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, derrames cerebrales y cáncer de pulmón las cuales afectan en mayor número de población vulnerable, niños, adultos mayores y mujeres” (p. 1)

El presente trabajo de investigación propone la instalación de un generador de hidrógeno vehicular y aborda el estudio del comportamiento de los gases contaminantes con la intención de aportar con una alternativa ecológica muy eficiente para lograr menos contaminación y un mejor rendimiento en la potencia de los motores de combustión interna.

Cabe mencionar que con el paso del tiempo la industria automotriz constantemente se somete a procesos de renovación, tanto en diseño como en construcción de motores de combustión interna, con el objetivo de conseguir un elevado rendimiento en cuanto a la potencia lo que conlleva a un alto consumo de combustible dando lugar a la producción de mayores emisiones de gases contaminantes que provienen de la circulación vehicular y que atentan contra la salud y el medio ambiente.

Se considera que la revisión técnica vehicular es uno de los instrumentos fundamentales para reducir las emisiones contaminantes de conformidad con la ley orgánica de tránsito y transporte terrestre.

En esta investigación lo que se hizo es mediante un sistema generador de hidrógeno que produce 1 litro por minuto (aproximadamente) de hidrógeno inyectar al 50% y 100% de la capacidad del generador mediante un regulador de corriente, este regulador permite realizar la medición de gases en diferentes proporciones.

También se realizó las pruebas de descarbonización a la cabeza del pistón con una cámara llamada boroscopio automotriz, ya que con el funcionamiento del auto en los pistones se tiende a formar un hollín dentro de la cámara de combustión, por lo que al inyectar el hidrógeno hace que tenga una mejor explosión y ese hollín se vaya desprendiendo de la cabeza del pistón, es decir que se generará una limpieza progresiva del pistón.

Los resultados que se obtuvieron en la investigación son la disminución de los gases contaminantes que se detallan a continuación: monóxido de carbono (CO) una disminución de 1.45% que es el valor promedio entre altas y bajas revoluciones, hidrocarburos no combustionados (HC ppm) una disminución de 148ppm valor promedio entre altas y bajas revoluciones, dióxido de carbono (CO₂) un incremento de 2.90% valor promedio entre altas y bajas revoluciones, oxígeno (O₂) un incremento de 2.53% valor promedio entre altas y bajas revoluciones y lambda una disminución de 0.07 valor promedio entre altas y bajas revoluciones. Con estos resultados se determinó que el uso del hidrógeno presenta un aspecto positivo en la disminución de los gases contaminantes.

Para controlar la corriente eléctrica del sistema generador de hidrógeno se instaló un regulador de voltaje dc 5a que permite alcanzar proporciones del 50% y 100% del total de la

capacidad producida por el generador, obteniendo los siguientes resultados: al 50% de inyección de hidrógeno el valor promedio de (CO%) es 0.48% entre altas y bajas revoluciones, el valor promedio de (HC ppm) es 160.00ppm entre altas y bajas revoluciones, el valor promedio de (CO₂%) es 14.86% entre altas y bajas revoluciones, valor promedio de (O₂%) es 2.87% entre altas y bajas revoluciones, el valor promedio de (lambda) es 1.60 entre altas y bajas revoluciones y al 100% de inyección de hidrógeno el valor promedio de (CO%) es 0.48% entre altas y bajas revoluciones, el valor promedio de (HC ppm) es 96.00ppm entre altas y bajas revoluciones, el valor promedio de (CO₂%) es 15.65% entre altas y bajas revoluciones, el valor promedio de (O₂%) es 2.79% entre altas y bajas revoluciones, el valor promedio de (lambda) es 1.00 entre altas y bajas revoluciones, con estos resultados se puede determinar que al inyectar al 100% de hidrógeno al motor tiene un mejor desempeño.

El presente proyecto de investigación se encuentra organizado de la siguiente manera: tenemos la introducción, antecedentes, justificación, así como también se define los objetivos, objetivo general y objetivos específicos. Luego se desarrollan los conceptos del marco teórico referente a la implementación del sistema generador de hidrógeno y de gases contaminantes. Seguido se detalla la metodología y desarrollo del proyecto de investigación en donde se desarrolla el procedimiento a seguir para la instalación del sistema generador de hidrógeno y las herramientas a ser utilizadas.

Seguido se desarrolla la propuesta, es decir los resultados de la investigación realizada sobre la inyección de hidrógeno y los gases contaminantes. En la parte final de este proyecto se definen las conclusiones y recomendaciones obtenidas con el desarrollo de la práctica.

Antecedentes

En la actualidad se ha incrementado la compra de vehículos a gasolina por lo que el consumo de combustible es muy alto, llevando consigo la mayor parte de contaminantes que se producen en el planeta, los cuales resultan nocivos para el medio ambiente y las personas, por lo que es necesario una investigación de las diferentes formas de energías alternativas que disminuyan de forma considerable la contaminación ambiental.

Es importante mencionar que para el sector de la industria automotriz del país es beneficioso aportar con ideas aplicables en la búsqueda de alternativas que contribuyan a reducir la contaminación ambiental por lo que una alternativa viable es la inyección de hidrógeno al motor.

Por lo que se realizó la investigación de varios proyectos relacionados a la inyección de hidrógeno en vehículos y se obtuvo diferentes conclusiones de los autores, las cuales se detallan a continuación:

En el proyecto implementación de un generador e inyector de hidrógeno en motor de vehículo mazda bt-50 2.2 L, para reducir emisiones de gases contaminantes, los autores afirman que:

La implementación del sistema generador e inyector de hidrógeno en el vehículo fue realizada con éxito, obteniendo la disminución de gases contaminantes, para llegar a esta conclusión los autores indicaron que:

Se instaló el dispositivo generador de hidrógeno en el motor del vehículo sin dificultad alguna, con el uso de herramientas y equipo adecuado. Los materiales que se han utilizado para la implementación del sistema son fáciles de conseguir con lo que es un ahorro favorable de tiempo.

El consumo de combustible luego de instalado el sistema de generación de hidrógeno ha disminuido en un promedio de 8,91% esto implica una disminución considerable de contaminación. (Duque y Masaquiza, 2013, p. 111)

Los autores se basaron en los siguientes argumentos para llegar a concluir la eficiencia de la implementación del sistema generador e inyector de hidrógeno:

El monóxido de carbono (CO) generado luego de implementar el sistema generador disminuye en un promedio de 55,5 %, lo que es favorable para el medio ambiente. Los hidrocarburos no combustionados HC (ppm), son sustancias nocivas y dañinas para la salud y el aire, se han reducido a un promedio de 6 partes por millón lo que indica una disminución de 15,25%.

El dióxido de carbono aumenta en promedio de 1,75 % lo que indica una buena combustión, puesto que no hay mucha variación en las dos pruebas la mezcla sigue siendo estequiométrica; es decir, que la relación aire/combustible se mantiene dentro de los parámetros normales para su máximo rendimiento, o sea que por 1 kilogramo de combustible hay 14,7 kilogramos de aire, entonces la relación sería de 14,7 a 1.

Los óxidos de nitrógeno generados tienen una disminución promedio de 20,5 partes por millón, que significa 52.29 % esto es favorable puesto que es un gas muy contaminante y principal causante de la lluvia ácida. Esta reducción se explica por la disminución de la temperatura dentro de la cámara y menor mezcla de aire/combustible.

El aumento del porcentaje de oxígeno (O₂) es ventajoso para la mezcla y una completa combustión. (Duque y Masaquiza, 2013, p. 112)

Al finalizar el proyecto alimentación de un motor monocilíndrico con hidrógeno obtenido a través de la electrólisis del agua, el autor concluye que:

Se construyó un prototipo en donde se alojó el sistema completo de generación, el sistema de almacenamiento, el sistema de alimentación del motor, el sistema eléctrico y el sistema de seguridad obteniendo de esta manera un sistema autónomo el cual posteriormente sirvió para la realización del análisis de gases de escape, durante la configuración normal del motor con el sistema de alimentación con gasolina y con la configuración realizada del sistema de gas hidrógeno dándonos como resultados contundentes de una reducción extraordinaria de emisiones de los gases contaminantes. (López, 2018, p. 127)

En el proyecto implementación de un generador de hidrógeno de celda seca en un vehículo chevrolet esteem 1.6l los autores concluyen que:

Al adicionar gas hidrógeno a la combustión no produjo ningún efecto al funcionamiento del motor, sino que por el contrario la combustión se realizó de una forma más eficiente dando como resultado menor producción de contaminantes.

Los mejores resultados se obtuvieron en la reducción de hidrocarburos como en el caso del kia sportage que hubo una disminución de 24 ppm a 5 ppm. (Quezada y Torres, 2014, p. 133)

Como conclusión del proyecto evaluación del rendimiento de un motor de cuatro tiempos, usando hidrógeno como combustible, se menciona:

Los resultados revelaron que el combustible con mayor eficiencia fue el hidrógeno, puesto que los resultados de temperatura y ruido del motor presentaron valores de eficiencia superiores a los mostrados por el uso de gasolina, sin embargo, el uso de gasolina como combustible tuvo menor consumo.

Esto se traduce en que, según los resultados previamente mostrados, la eficiencia del motor usando hidrógeno como combustible es 10,13 % más eficiente que al usar gasolina. (Ortiz y Pardo, 2019, p. 47)

En el proyecto diseño de un generador de hidrógeno para mejorar el rendimiento de un motor de combustión interna de 1468 cc - promae ves – Lima, el autor indicó sobre el sistema generador de hidrógeno lo siguiente:

Es un producto innovador, realmente ahorrador y ecológico que contribuye a incrementar el ahorro y mejorar enormemente la calidad del aire del medio ambiente ya que, tras su instalación, el motor expulsará mayormente vapor de agua a la atmósfera.

Se trata de un producto asequible al alcance de todos. De modo que, en este trabajo se logró un bajo consumo de combustible hasta en 35% en motor a gasolina con sistema de alimentación por carburador, se logró reducir los gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y dióxido de carbono (CO₂). (Acosta, 2019, p. 81)

En el proyecto implementación y análisis sistema de alimentación de hidrógeno para un motor de combustión interna, el autor afirma que:

En base al sistema de alimentación de hidrógeno diseñado provee una manera muy fácil, económica y eficaz de alimentar un motor de combustión interna con hidrógeno a baja presión.

Por lo cual, concluye que el motor alimentado por el sistema estudiado tuvo mucho éxito ya que la operación del mismo fue indefinida (solamente limitada por la cantidad de hidrógeno disponible) y se logró administrar la potencia mediante el control de la presión de entrada del hidrógeno. (Moreno, 2007, p. 48)

En el trabajo de investigación titulado Implementación de un sistema generador de hidrógeno de celda seca al motor de un automóvil a gasolina para mejorar la performance energética ambiental, el autor indica que:

Se implementó de manera exitosa el sistema generador de hidrógeno de celda seca de 6 celdas, con caudal de 0.6 L/min., comprobando que la adición de hidrógeno a la combustión reduce las emisiones contaminantes de forma significativa, así como también esta implementación ayuda en el ahorro del combustible en un 23.44 %. (Cabanillas, 2022, p. 52)

Adicionalmente, Cabanillas (2022) menciona que “con la implementación del generador, se reducen considerablemente las emisiones contaminantes de gases del motor. Es importante señalar que los gases tóxicos emitidos por el motor son el CO y HC” (p. 52).

Finalmente, concluye que:

Se evidencia que gracias a la implementación del generador hay un rendimiento apreciable en cuanto al consumo de combustible.

Ya que, al recorrer 10 km, con la adición de hidrógeno a la gasolina se ahorra un 23.44% de combustible, esto se traduce también en un ahorro económico a mediano plazo para el propietario del vehículo. (Cabanillas, 2022, p. 52)

En el proyecto estudio del comportamiento de los motores ciclo otto con el uso del hidrógeno como combustible de aporte, los autores mencionan:

Los resultados de las emisiones contaminantes de las pruebas en ralentí del motor a carburador indican que, con la utilización del hidrógeno como combustible de aporte, disminuyen los contaminantes de CO₂, HC y aumentan los gases contaminantes CO y O₂.

Del resultado de las emisiones contaminantes de la prueba en ralentí del motor a inyección con el uso de hidrógeno como combustible de aporte, se concluye que los contaminantes CO, HC y O₂, disminuyen notablemente, mientras que el CO₂, aumentan ligeramente. (Ochoa y Pullay, 2012, p. 140)

De manera que, Ochoa y Pullay (2012) afirman que “el uso del hidrógeno, puede ser la solución de la reducción de emisiones de las zonas urbanas, por lo que se recomienda la implementación de la aplicación del hidrógeno como combustible en el transporte público” (p. 141).

Adicionalmente, mencionan que:

La mayoría de las pruebas del presente trabajo, muestran la reducción de las emisiones de CO₂, lo cual es beneficioso y contribuye a la mitigación del impacto ambiental, y al no verse afectados el torque, potencia y consumo de combustible, sería una solución aplicable con el propósito de reducir el calentamiento global. (Ochoa y Pullay, 2012, p. 141)

En la investigación titulada diseño de un generador de hidrógeno para optimizar la combustión de un motor volkswagen 1.5l en la ciudad de Huancayo, el autor menciona lo siguiente:

El hidrógeno tiene un efecto positivo con los gases quemados, haciendo esto una reducción de los gases contaminantes.

Por lo cual, concluye que, mediante el analizador de gases jevol se pudo comprobar el efecto que causó el hidrógeno en la combustión del motor volkswagen en ralentí y acelerado, el cual arrojó un 11% menos de ppm comparado con el uso de la gasolina. Gracias a la previa investigación se analizó y determinó que el proyecto motor generador de hidrógeno tiene como resultado mejorar el estado del medio ambiente ya

que se logrará reducir gran parte de la emisión de HC el cual ayudará a combatir y prevenir algunas enfermedades que se van procreando a base de la contaminación y a la vez elaborar un producto económico. (Baltazar, 2020, p. 151)

En el proyecto instalación de un generador de hidrógeno en un motor de combustión interna para reducir la contaminación, el autor concluye lo siguiente:

La implementación del sistema generador de hidrógeno produjo una carga adicional de oxígeno (O₂), lo cual es favorable para una mejor combustión.

Por tanto, se concluye que, con el generador de hidrógeno instalado, se demostró la disminución en el consumo de combustible y se redujo la emisión de gases contaminantes, los cuales fueron verificados con un analizador de gases de combustión, dando a conocer los siguientes resultados con el vehículo en ralentí aproximadamente se redujo de un 5 a 10 % y con el vehículo en plena carga se obtuvo una disminución de 50 a 60% en las emisiones de los principales gases contaminantes. (Caiza, 2015, p. 119)

Para el desarrollo de la presente investigación se realizará la inyección de hidrógeno en el vehículo aveo family a gasolina, con este trabajo se busca aplicar una mejora directa en el motor del vehículo.

La finalidad del presente trabajo es minimizar los gases contaminantes que emite el vehículo objeto de estudio.

Justificación

El ministerio coordinador de sectores estratégicos (2020), de la república del Ecuador en su balance energético nacional emitido en el 2020 menciona que el 86% de la utilización del combustible es terrestre del cual el 38% es de vehículos livianos, y en relación al parque automotor que utiliza el combustible extra-carga liviana, por ende, es una categoría considerable para realizar el estudio de la influencia del hidrógeno en la autoinflamación con extra.

Actualmente la tecnología de los autos está en constante renovación, en la fabricación y construcción de motores de combustión interna, con lo que se ha conseguido elevar el incremento de potencia, pero sin reducir el consumo elevado de combustible, por lo que se considera que a mayor consumo de combustible es mayor la producción de emisiones de gases contaminantes, los cuales son emanados a la atmósfera.

Se considera que en los motores de combustión interna que funcionan a gasolina es positiva la presencia de hidrógeno como combustible auxiliar, con lo que lograría elevar su poder energético y de esta manera llegar a unas mejores prestaciones mecánicas y térmicas del motor.

Con el propósito de aportar con una investigación y sobre todo con el desarrollo de una alternativa tecnológica que sea eficiente para la disminución de emisiones contaminantes y con esto obtener un mayor rendimiento en la potencia de los motores de combustión interna, se ha realizado la instalación del sistema generador de hidrógeno mediante un sistema de generación e inyección en el motor.

Cabe recalcar que los problemas derivados de la actual política energética son los que están relacionados con la contaminación, ya que los contaminantes generados en la combustión de los hidrocarburos son señalados como los responsables de numerosas enfermedades respiratorias, mientras que el monóxido de carbono en altas concentraciones, incrementan la

probabilidad de sufrir un infarto, por lo que estos contaminantes están afectando directamente al ser humano.

Al inyectar hidrógeno en el vehículo disminuirá la emisión de sustancias nocivas y esto contribuirá al cuidado del medio ambiente y a minimizar los altos niveles de contaminación.

Según la AEADE (2019) (asociación de empresas automotrices del Ecuador) la marca Chevrolet se ubica en el tercer lugar de vehículos más vendidos en los últimos cinco años, para el año 2019 su participación a nivel nacional es del 56.2% para el mismo año sus porcentajes de participación según su tipo de vehículos son: camionetas (16.7%), SUV's (1.3%) y automóviles (56.2%), este último indica una influencia significativa de este tipo de vehículos en el parque automotriz. El modelo Aveo Family 1.5l ocupa el tercer lugar de vehículos más vendidos en el 2019 con 3.350 unidades, modelo en el cual se realizó la implementación e investigación mencionada.

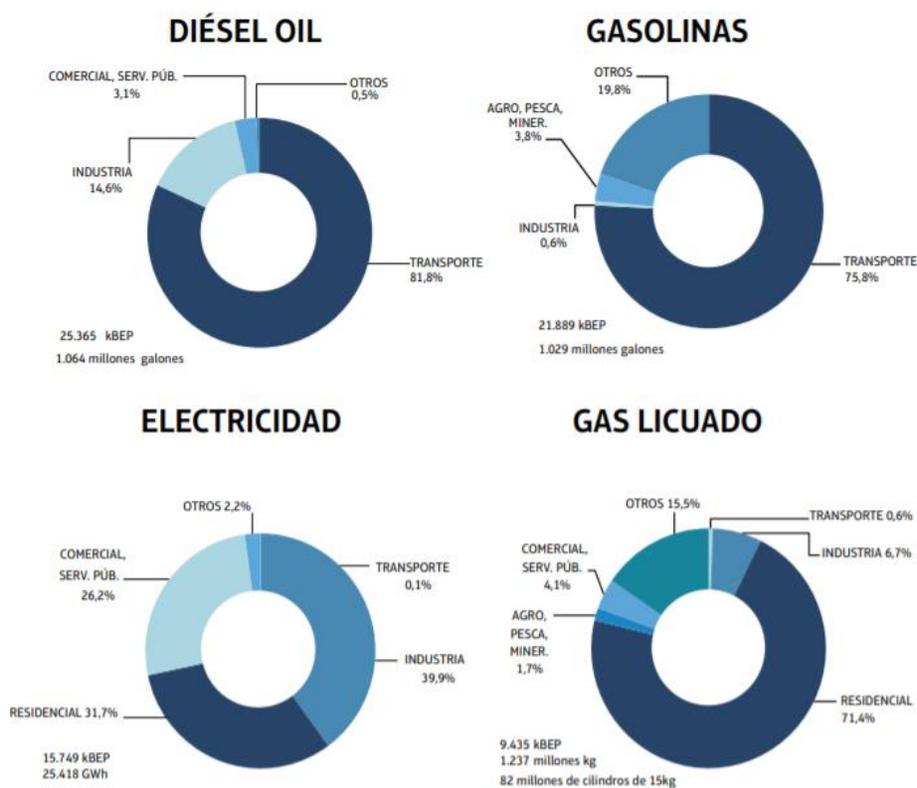
También es importante mencionar que el alto porcentaje de adquisición de automóviles se debe a que tienen un precio económico en el mercado y sobre todo los de marca Chevrolet, ya que se considera la marca más económica en referencia a las demás marcas de vehículos, por lo que resulta beneficioso para los usuarios el adaptar un sistema generador de hidrógeno al vehículo ya que no solo estamos reduciendo emisiones contaminantes, sino también contribuyendo a mejorar el medio ambiente.

En la siguiente figura, se muestran las energías y combustibles de mayor demanda en el país durante el año 2020, desagregados por sector de consumo. El 81,8% del diésel consumido en 2020 fue destinado al transporte, sector que también consumió 75,8% del total de gasolina. Por otra parte, los principales sectores consumidores de electricidad fueron el industrial y

residencial, que cubren 71,6% del total de energía eléctrica consumida. Por último, glp con 71.4% del total consumido.

Figura 1

Energéticos de mayor demanda en el país



Nota. En esta figura se muestra el porcentaje (%) de energéticos de mayor demanda en el país.

Reproducido de la página de Toyota, www.toyota.com.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el comportamiento térmico de un motor de combustión interna mediante la implementación de inyección de hidrógeno para mejorar la calidad de combustión.

Objetivos Específicos

- Estudiar y analizar mediante investigaciones, tesis, libros y normas en detalle todo lo referente a la implementación del generador de hidrógeno.
- Analizar el generador de hidrógeno determinando características importantes para la adaptación en un vehículo aveo family 1.5l.
- Implementar el dispositivo generador de hidrógeno en el vehículo determinando la ubicación, espacio y disposición eléctrica para obtener su óptimo funcionamiento.
- Realizar la medición de los gases contaminantes en las diferentes proporciones de adición de hidrógeno con gasolina bajo la norma INEN 2204.
- Comparar los resultados de los gases contaminantes obtenidos en el vehículo con su combustible original y con la adición de hidrógeno para verificar su impacto en la combustión.

Marco Teórico

Motores a Combustión Interna

Se considera que los motores de combustión interna son de gran importancia ya que se encuentran presentes en la mayoría de los dispositivos que generan potencia por lo que es necesario el estudio de su comportamiento.

Un motor de combustión interna según Córdova (2013):

Un motor de combustión interna es básicamente una máquina que mezcla oxígeno con combustible gasificado. Una vez mezclados íntimamente y confinados en un espacio denominado cámara de combustión, los gases son encendidos para quemarse (combustión).

Debido a su diseño, el motor utiliza el calor generado por la combustión, como energía para producir el movimiento giratorio. (p. 8)

Rendimientos de un Motor

Miranda (2020), menciona los siguientes rendimientos de un motor:

Expansión: la combustión es un proceso que toma milisegundos en el cual podemos asumir que todo el calor es empleado en elevar la temperatura y, por consiguiente, la presión de los gases.

El pistón es empujado hasta su punto muerto inferior (pmi) permitiendo que los gases se dilatan, pero en este lapso existe un intercambio de temperatura entre los gases cuya temperatura se encuentra alrededor de los 2000 °c y las paredes de los cilindros superior a los 100 °c. (p. 5)

Escape: Instantes antes de finalizar esta carrera las válvulas de escape son abiertas y los gases escapan hacia el medio ambiente, al principio de este tiempo los gases poseen una

temperatura elevada ya que solo han cedido calor por expansión y por convección hacia las paredes del cilindro, el sobrante de esta energía es desperdiciada en el transcurso de esta carrera. Para disminuir esta pérdida en lo mínimo posible se procura enfriar los gases tanto sea posible, y esto se lograría incrementando su carrera de expansión para que no se desperdicie a la atmósfera.

El escape influye en el rendimiento ya que se pierde energía cinética del émbolo al retroceder este en su carrera, ha de vencer la contrapresión que se produce en el cilindro y en el tubo de escape, de donde se deduce que es necesario reducir dicha contrapresión. (p. 6)

Admisión: al igual que en el escape la energía cinética en el émbolo también disminuye ya que debe vencer la depresión existente en el cilindro y de la misma forma que en el escape debemos disminuirlo al máximo posible y poner en contacto los gases con las paredes calientes del cilindro por lo cual, debe favorecerse dicho calentamiento prolongando lo máximo posible.

Al no haber la idea de incrementar la carrera de aspiración y tampoco es conveniente enfriar demasiado las paredes del cilindro lo óptimo es calentar los gases en la admisión hacia el cilindro. (p. 6)

Compresión: para elevar el rendimiento no es necesario la disminución de la compresión sino al contrario debido a que por una parte del gas se calienta al ser comprimido y dicha energía aparece en el período útil del ciclo y por otra parte debido a que al final de la compresión lo que se busca es obtener una presión tan elevada como sea posible y esto se lo obtiene cuanto mayor sea la cantidad de combustible quemado en un perímetro dado.

Con lo cual debemos adoptar una compresión elevada para concentrar sobre el émbolo una gran masa de gases explosivos. (p. 6)

Encendido: y finalmente para llegar a una combustión instantánea con el fin de lograr una presión elevada debemos implementar un encendido intenso, para ello debe tener las siguientes condiciones. (p. 7):

Mantener los cilindros a elevada temperatura.

Reducir en lo posible la duración de la expansión.

Disminuir la superficie de las paredes.

Aumentar la carrera de la expansión.

Reducir al máximo la contrapresión en el tiempo de escape.

Reducir al máximo la depresión en el tiempo de aspiración.

Calentar el gas antes de introducirlo en el cilindro.

Adoptar una compresión elevada.

Emplear un encendido intenso.

Partes de un Motor de Combustión Interna

Las partes de un motor de combustión interna se clasifican en elementos fijos y elementos móviles. Los elementos fijos se detallan a continuación según Córdova (2013):

La Culata: constituye una pieza de hierro fundido (o de aluminio en algunos motores), que va colocada encima del bloque del motor. Su función es sellar la parte superior de los cilindros para evitar pérdidas de compresión y salida inapropiada de los gases de escape.

En la culata se encuentran situadas las válvulas de admisión y de escape, así como las bujías. Posee, además, dos conductos internos: uno conectado al múltiple de admisión (para permitir que la mezcla aire-combustible penetre en la cámara de combustión del

cilindro) y otro conectado al múltiple de escape (para permitir que los gases producidos por la combustión sean expulsados al medio ambiente). Posee, además, otros conductos que permiten la circulación de agua para su refrigeración. (p. 27)

El bloque: en el bloque están ubicados los cilindros con sus respectivas camisas, que son barrenos o cavidades practicadas en el mismo, por cuyo espacio se desplazan los pistones. Estos últimos se consideran el corazón del motor. El bloque del motor debe poseer rigidez, poco peso y poca dimensión, de acuerdo con la potencia que desarrolle.

Las disposiciones más frecuentes que podemos encontrar de los cilindros en los bloques de los motores de combustión interna son: en línea, en v y en planos con los cilindros opuestos. Los bloques en línea pueden contener 3, 4, 5 ó 6 cilindros. Los motores con bloques en V tienen los cilindros dispuestos en doble hilera en forma de “v”. Los más comunes que se pueden encontrar son: v-6, v-8, v-10, y v-12.

Los bloques planos son poco utilizados en los motores de encendido por chispa, aunque se pueden encontrar de 4, 6 y hasta de 12 cilindros en unas pocas marcas de coches. (p. 28)

El Cárter: es el lugar donde se deposita el aceite del lubricante que permite lubricar el cigüeñal, los pistones, el árbol de levas y otros mecanismos móviles del motor.

Durante el tiempo de funcionamiento del motor una bomba de aceite extrae el lubricante del cárter y lo envía a los mecanismos que requieren lubricación.

Existen también algunos tipos de motores que en lugar de una bomba de aceite emplean el propio cigüeñal, sumergido parcialmente dentro del aceite del cárter, para lubricar “por salpicadura” el mismo cigüeñal, los pistones y el árbol de levas. (p. 28)

Los elementos móviles se detallan a continuación según Córdova (2013):

Pistón: el pistón constituye una especie de cubo invertido, de aluminio fundido en la mayoría de los casos, vaciado interiormente. En su parte externa posee tres ranuras donde se insertan los aros de compresión y el aro rascador de aceite.

Más abajo de la zona donde se colocan los aros existen dos agujeros enfrentados uno contra el otro, que sirven para atravesar y fijar el bulón que articula el pistón con la biela. (p. 29)

El Bulón: “es una pieza de acero que articula la biela con el pistón. Es la pieza que más esfuerzo tiene que soportar dentro del motor” (p. 30).

Biela: una pieza metálica de forma alargada que une el pistón con el cigüeñal para convertir el movimiento lineal y alternativo del primero en movimiento giratorio en el segundo.

La biela tiene en cada uno de sus extremos un punto de rotación: uno para soportar el bulón que la une con el pistón y otro para los cojinetes que la articula con el cigüeñal.

Las bielas pueden tener un conducto interno que sirve para hacer llegar a presión el aceite lubricante al pistón. (p. 30)

Cigüeñal: constituye un eje con manivelas, con dos o más puntos que se apoyan en una bancada integrada en la parte superior del cárter y que queda cubierto después por el propio bloque del motor, lo que le permite poder girar con suavidad.

La manivela o las manivelas (cuando existe más de un cilindro) que posee el cigüeñal, giran de forma excéntrica con respecto al eje.

En cada una de las manivelas se fijan los cojinetes de las bielas que le transmiten al cigüeñal la fuerza que desarrollan los pistones durante el tiempo de explosión. (p. 30)

Volante: “es una rueda metálica dentada, situada al final del eje del cigüeñal, que absorbe o acumula parte de la energía cinética que se produce durante el tiempo de explosión y la devuelve después al cigüeñal para mantenerlo girando” (p. 31).

Combustión y Combustible

La combustión es un tipo de reacción química y el combustible un material que, por sus propiedades, arde con facilidad. Córdova (2013) menciona lo siguiente:

Combustión: la combustión es una reacción química que consiste en la oxidación violenta de un elemento con desprendimiento de calor y, generalmente, llamas. Intervienen en la misma el combustible y el oxígeno como comburente. En un motor de encendido por chispa, la misma se genera en la cabeza del cilindro cuando la mezcla aire-gasolina se encuentra fuertemente comprimida y caliente, iniciándose en ese instante la combustión de esta. Alrededor de la chispa se forma el foco inicial de encendido de la mezcla, propagando la combustión a toda ella formando un frente de llama que progresa a gran velocidad, por cuya causa a esta combustión se le da el nombre de explosión.

En un motor de autoencendido el cual difiere del motor de encendido por chispa en cuanto al proceso de combustión, esencialmente debido a que el encendido del diésel, en el interior del cilindro se produce sin la intervención de una chispa, sino gracias a la gran presión existente eleva la temperatura del aire para provocar un autoencendido de la mezcla. (p. 20)

Combustible: cualquier material que puede quemarse para liberar energía recibe el nombre de combustible, los cuales se encuentran formados por carbono e hidrógeno a los que se denomina combustibles hidrocarburos existen en todas las fases, y algunos son el carbón, la gasolina y el gas natural.

Los combustibles son sustancias que al combinarse con el oxígeno producen un gran desprendimiento de calor.

En otras palabras, se puede decir que los combustibles son sustancias que al reaccionar con el oxígeno dan lugar a reacciones exotérmicas. (p. 21)

Características del Combustible

A continuación, se mencionan las características del combustible según Córdova (2013) “La gasolina: el combustible empleado en los motores de encendido por chispa es la gasolina; combustible líquido formado por una mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo mediante destilación” (p. 23).

Propiedades de la Gasolina

Densidad: de 0.71 a 0.75(es más ligera que el agua).

Poder calorífico: de 10500 a 11000kcal/kg.

Punto de inflamación: entre 45 y 93°C.

Punto de combustión: un poco superior al punto de inflamación.

Para su combustión completa, 1 kg de gasolina necesita unos 15.5 kg de aire.

Número de Octanos

Es una medida de la resistencia del combustible al golpeteo de la máquina causada por la combustión prematura. Según Córdova (2013):

Este índice se establece con una mezcla de referencia (patrón), que está formada por hidrocarburos: heptano e isoctano. El isoctano posee índice 100 octanos. Para establecer el patrón de 80 octanos, se mezcla 80% de isoctano con 20% de heptano. El proceso de refinación de petróleo, que se emplea en la fabricación de bencina comercial, permite obtener un índice natural de 40 a 70 octanos.

Para alcanzar mayor índice de octanos se agregan químicos (aditivos), que mejoran la resistencia a la detonación. (p. 24)

Sistemas de un Motor de Combustión Interna

Los sistemas de un motor de combustión interna según Córdova (2013) son los siguientes:

Cámara de Combustión: la cámara de combustión es un cilindro, por lo general fijo, cerrado en un extremo y dentro del cual se desliza un pistón muy ajustado al cilindro.

La posición hacia dentro y hacia fuera del pistón modifica el volumen que existe entre la cara interior del pistón y las paredes de la cámara. La cara exterior del pistón está unida por una biela al cigüeñal, que convierte en movimiento rotatorio el movimiento lineal del pistón. (p. 31)

Sistema de Alimentación: el sistema de alimentación de combustible de un motor de encendido por chispa consta de un depósito, una bomba de combustible y un dispositivo dosificador de combustible que vaporiza o atomiza el combustible desde el estado líquido, en las proporciones correctas para poder ser quemado. Actualmente se utiliza el sistema de inyección en los motores (mech). En los motores de autoencendido se dosifica el combustible gasoil de manera no proporcional al aire que entra, sino en función del mando de aceleración y el régimen motor (mecanismo de regulación) mediante una bomba inyectora de combustible. (p. 31)

Sistema de distribución: cada cilindro toma el combustible y expulsa los gases a través de válvulas de cabezal o válvulas deslizantes.

Un muelle mantiene cerradas las válvulas hasta que se abren en el momento adecuado, al actuar las levas de un árbol de levas rotatorio movido por el cigüeñal, estando el conjunto coordinado mediante la cadena o la correa de distribución. (p. 32)

Sistema de encendido: los motores necesitan una forma de iniciar la ignición del combustible dentro del cilindro.

En los motores de encendido por chispa, el sistema de ignición consiste en un componente llamado bobina de encendido.

El dispositivo que produce la ignición es la bujía que, fijada en cada cilindro, dispone de dos electrodos separados unos milímetros, entre los cuales el impulso eléctrico produce una chispa, que inflama el combustible. (p. 32)

Sistema de refrigeración: dado que la combustión produce calor, todos los motores deben disponer de algún tipo de sistema de refrigeración. Algunos motores estacionarios de automóviles y de aviones y los motores fuera de borda se refrigeran con aire.

En otros motores se utiliza refrigeración por agua, lo que implica que los cilindros se encuentran dentro de una carcasa llena de agua que en los automóviles se hace circular mediante una bomba. El agua se refrigera al pasar por las láminas de un radiador.

Es importante que el líquido que se usa para enfriar el motor no sea agua común y corriente porque los motores de combustión trabajan regularmente a temperaturas más altas que la temperatura de ebullición del agua. (p. 32)

Sistema de arranque: al contrario que los motores y las turbinas de vapor, los motores de combustión interna no producen un par de fuerzas cuando arrancan, lo que implica que debe provocarse el movimiento del cigüeñal para que se pueda iniciar el ciclo.

Los motores de automoción utilizan un motor eléctrico (el motor de arranque) conectado al cigüeñal por un embrague automático que se desacopla en cuanto arranca el motor. Por otro lado, algunos motores pequeños se arrancan a mano girando el cigüeñal con una cadena o tirando de una cuerda que se enrolla alrededor del volante del cigüeñal.

Otros sistemas de encendido de motores son los iniciadores de inercia, que aceleran el volante manualmente o con un motor eléctrico hasta que tiene la velocidad suficiente como para mover el cigüeñal. (p. 33)

Ciclos de un Motor de Combustión Interna

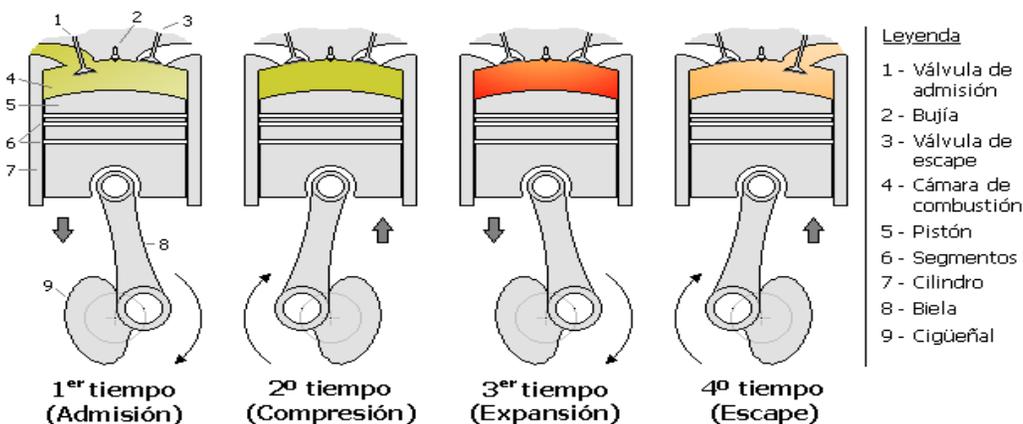
“El ciclo de combustión de un motor de cuatro tiempos tiene cuatro fases y necesita dos vueltas completas del cigüeñal para que se produzca, a diferencia de un motor de dos tiempos que solo necesita una vuelta” (Hello Auto, s.f).

Funcionamiento de un Motor de Combustión Interna

La mayor parte de motores de combustión interna funciona con cuatro etapas o tiempos:

Figura 2

Los 4 tiempos del motor



Nota. Adaptado de los 4 tiempos, por Hellmut Gerschler, 1985, 20va Edición.

“La admisión: las válvulas de admisión introducen la mezcla de combustible gracias al vacío generado por los pistones, durante su recorrido mientras bajan” (Hello Auto, s.f)

“La compresión: las válvulas se cierran y el pistón vuelve a subir, comprimiendo la mezcla de aire y de combustible” (Hello Auto, s.f)

“La explosión: etapa que se produce gracias a la chispa de la bujía, en motores gasolina, o por auto detonación, en el diésel, provocando la detonación” (Hello Auto, s.f)

“El escape: última etapa en la que las válvulas de escape se abren y se expulsan los gases producidos tras la detonación” (Hello Auto, s.f)

“Gases de escape: los residuos de la combustión” (Hello Auto, s.f)

“La combustión de gasolina y oxígeno deja como productos residuales varios gases que pasan por el circuito de escape, los principales de los cuales son” (CanalMOTOR, 2022):

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Vapor de agua
- Oxígeno
- Nitrógeno
- Monóxido de carbono
- Hidrocarburos no quemados (HC)
- Óxidos de nitrógeno (NOX)

Según CanalMOTOR (2022) “indica que las emisiones de los vehículos simbolizan aproximadamente un 15% del total de CO₂ en el planeta, además de que los fabricantes y gobiernos son los que laboran por disminuir esta medida de emisión, lo cual se espera realizar con proyectos similares a estos”

Gases Contaminantes

Según Sánchez y Zúñiga (2018) mencionan “estos gases ocasionan problemas en la salud y efectos dañinos en el medio ambiente” (p. 15).

Componentes de los Gases Contaminantes

En una combustión real nos podemos encontrar varios compuestos:

“Innofensivas: nitrógeno, oxígeno, CO₂, hidrógeno y vapor de agua” (Library, 2018, pp.72-76).

“Nocivas: monóxido de carbono CO, hidrocarburos HC, óxidos de nitrógeno, plomo y compuestos de plomo Pb, dióxidos de azufre SO₂, hollín, etc” (Library, 2018, pp.72-76).

A continuación, se define aquellos gases contaminantes de los cuales se realizaron las pruebas para esta investigación:

Según Sánchez y Zúñiga (2018) “el monóxido de carbono CO se produce con motivo de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico. Es uno de los principales gases contaminantes que emiten los motores de combustión interna” (p. 15).

Seguido se muestra la definición del monóxido de carbono. Según Núñez (2018).

Monóxido de carbono CO: se considera un gas altamente contaminante debido a que en concentraciones altas y tiempos de exposición largos puede generar en la sangre transformaciones irreversibles de hemoglobina, la cual es encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a las células. En concentraciones superiores a 0.3% en volumen resultan mortales. (p. 4)

Sánchez y Zúñiga (2018) mencionan que los hidrocarburos HC “son el resultado de la unión del hidrógeno y carbono, son combustibles no quemados o quemados parcialmente, emitidos por el tubo de escape” (p. 15).

Núñez (2018) menciona que los hidrocarburos no combustionados HC: “presentan efectos nocivos debido a sus contenidos de benceno, el cual causa cáncer, irritaciones de piel,

ojos, afectaciones a los conductos respiratorios, su estructura molecular es incombustionable por lo cual también producen Aldehídos y Fenoles” (p. 12).

Para Sánchez y Zúñiga (2018) el dióxido de carbono CO_2 “es producido al quemarse combustibles que contienen carbono como es la gasolina. Es un componente natural que se encuentra en la atmósfera en niveles aproximados de 0.035 por ciento” (p. 14).

Seguido se muestra la definición del dióxido de carbono. Según Núñez (2018).

Dióxido de carbono CO_2 “no es un gas tóxico sin embargo puede causar asfixia por desplazamiento del oxígeno. Es incoloro, inodoro e insaboro utilizado comúnmente extinguidores y bebidas gaseosas, además es uno de los productos de la combustión de la materia orgánica debido al proceso de respiración” (p. 4).

Sánchez y Zúñiga (2018) mencionan que:

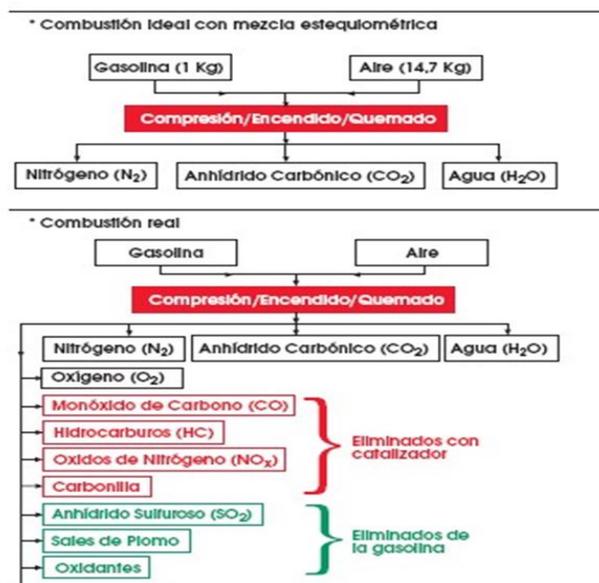
El oxígeno O_2 es un gas incoloro, inodoro e insípido. Este componente es el más importante ya que representa el 21% del aire que respiramos.

Es indispensable para el proceso de combustión, con una mezcla ideal, el consumo de combustible debería ser ideal, en caso de haber combustión incompleta, el oxígeno restante se expulsará por el tubo de escape. (p. 15)

Seguido se muestra la definición del oxígeno. Según Núñez (2018).

Oxígeno O_2 “es esencial para la combustión además que se encuentra en el aire en una concentración de 21%. Depende si la mezcla es rica o pobre para que el oxígeno pueda oxidar los enlaces de hidrocarburos y es expulsado con el resto de los gases al exterior” (p. 11).

También vamos a definir la sonda lambda que, aunque no es un gas contaminante es un sensor que mide la concentración del oxígeno y el valor se obtiene en la realización de pruebas de gases contaminantes.

Figura 3*Componentes de los gases contaminantes*

Nota. Adaptado de componentes de los gases contaminantes, reproducido de Doc Player, 2016.

Hidrógeno

El hidrógeno definido por Paredes (2016):

El hidrógeno se revela como una fuente de energía cuya emisión de sustancias contaminantes es equivalente a cero, el mismo se usa en celdas electroquímicas o en la combustión de motores internos, siendo en la actualidad ampliamente utilizada en naves espaciales, y de una forma más discreta en vehículos y aeronaves.

La necesidad de sustituir los carburantes derivados de recursos naturales no renovables como el petróleo y el gas de petróleo constituyen uno de los principales retos para el desarrollo de la humanidad, perfilándose el hidrógeno como la fuente de energía limpia más efectiva si se toma en cuenta que la misma es la más abundante en el universo.

Es de destacar que a partir del calor producido en la combustión interna el hidrógeno puede conjugarse con el mismo y actuar como un potente combustible, es decir el hidrógeno se

revela como un vector energético capaz de almacenar energía que al ser liberada de forma controlada se transforma en energía mecánica.

Debe señalarse que el hidrógeno es un combustible limpio siendo obtenido en la actualidad en un 95% a partir de combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural, mientras que el 5% se obtiene a partir del proceso de electrólisis en el cual se separan los elementos de un compuesto a través de la electricidad, es decir es el proceso en el cual se aplica una corriente eléctrica continua a través de dos electrodos conectados a una fuente de alimentación eléctrica y sumergidos en la disolución.

El hidrógeno es ampliamente utilizado como combustible para cohetes, es decir el mismo es considerado un combustible alternativo que en la actualidad es la principal fuente energética de vehículos de hidrógeno cuyo único subproducto consumido es el agua, situación que hace del mismo un elemento no contaminante.

Cabe señalar que los motores con sistemas de hidrógeno poseen una eficiencia del alternador de hasta un 80%, lo cual se traduce en una dispersión de un 20% de energía mecánica provista al motor, destacándose que la electrólisis rinde normalmente el 50%, disipándose generalmente la mitad de la energía invertida.

El hidrógeno en la actualidad está siendo investigado por numerosas empresas aeronáuticas espaciales, así como la industria automotriz, las que han reconocido el potencial y ventajas de dicho elemento, así como la posibilidad que el mismo sustituya en las últimas décadas sino total parcialmente los combustibles derivados del petróleo y del mismo modo la energía nuclear, los cuales se destacan por sus elevados niveles de contaminación. (p. 14)

Electrólisis

En base a la electrólisis se analizan procesos en que la energía eléctrica provoca transformaciones químicas en compuestos iónicos fundidos elevados al estado líquido, o en soluciones o mezclas homogéneas de electrolitos.

De manera que, en este proceso, la corriente eléctrica es capaz de disgregar sustancias iónicas o soluciones con sustancias eléctricas disueltas. (Duque y Masaquiza, 2013, p. 16)

El proceso de electrólisis es efectuado en la celda eléctrica, lo cual consiste en un envase donde se ubica el elemento que se va a electrolizar; de tal forma que, dentro de esta misma sustancia se colocan dos conductores eléctricos llamados electrodos, elaborados por materiales inertes que se conectan en una fuente de corriente directa. (Duque y Masaquiza, 2013, p. 16)

Generador de Hidrógeno

Un generador de hidrógeno es un instrumento que separa el hidrógeno y el oxígeno del agua, de modo que, el gas de hidrógeno se puede utilizar en los motores a combustión interna, debido a que contribuye con la reducción de gases contaminantes que provienen del proceso químico-mecánico.

De manera que, este generador usa el agua, voltaje, amperaje por medio de un proceso de electrólisis proporcionando por separado el hidrógeno y oxígeno, los cuales son enviados a la entrada del motor donde se mezclan con el combustible utilizado. (Holgado, 2012)

Básicamente, está compuesto por varias placas de acero en donde se comunican con el electrolito que es suministrado por un orificio previo al armado del generador de hidrógeno, de tal forma que, al momento de aplicar el voltaje, la corriente que pasa por el electrolito hace que se separen del agua los gases mencionados anteriormente. Para ello se utiliza energía eléctrica en condiciones controladas (Duque et al., 2013, p. 18).

Partes y Componentes del Sistema Generador de Hidrógeno

A continuación, se detallan las partes y componentes del sistema generador de hidrógeno:

Figura 4

Reactor o pila generadora de hidrógeno



Nota. En esta figura se puede observar el reactor donde se genera el hidrógeno.

Depósito de Electrolito

Los depósitos de electrolitos son depósitos de líquido refrigerante utilizados para almacenar agua y gases.

En el campo automotriz, estos depósitos están diseñados para resistir elevadas temperaturas, grandes presiones, también absorben las vibraciones que provoca el automotor sin distorsionarse, adicionalmente estos deben de ser capaz de tolerar la humedad y la corrosión.

En su interior cuentan con una válvula que se abre a cierta presión con la finalidad de evitar que el depósito explote debido a la elevación de presión en el sistema de refrigeración, además, tiene una tapa de silicona que cierra totalmente una abertura, es decir, es hermética. (Telenchana, 2018)

Figura 5*Depósito de electrolito*

Nota. En esta figura se muestra el depósito del electrolito utilizado en la instalación del vehículo.

Burbujeador o Trampa de Agua

El burbujeador es un dispositivo que se adapta a través de un filtro de agua purificador, para lo cual se realizan orificios para adecuar y cerciorarse de que existan flujos de gases en el agua que contiene.

De manera que, este elemento es fuerte, además tolera presiones medias, la corrosión y la temperatura.

Adicionalmente, actúa como una válvula check, es decir, se encarga de que el gas circule en una sola dirección sin retorno. (Quezada y Torres, 2014)

Figura 6*Burbujeador o trampa de agua*

Nota. En esta figura se muestra la trampa de agua la cual es utilizada para retener los vapores de agua

Filtro

El filtro de combustible de un sistema de filtrado sirve para proteger el sistema de inyección frente a partículas contaminantes u otras sustancias que estén presentes en el combustible, estas pueden ser agua, polvo, humedad, etc. De modo que, su función consiste en permitir flujos y atrapar las impurezas. (Conserva tu coche, s.f)

Figura 7*Filtro*

Nota. En esta figura se observa el filtro que se va a utilizar.

Mangueras

“Las mangueras de goma son conductos flexibles utilizados para conducir sustancias sólidas, líquidas o gaseosas. Poseen la capacidad de resistir multiplicidad de fluidos corrosivos absorber vibraciones, provee una adecuada flexibilidad y fácil aplicación” (López, 2018).

Figura 8

Mangueras



Nota. En esta figura se muestran las mangueras que son utilizadas para el recorrido del hidrógeno.

Cable eléctrico

“Los cables eléctricos, en mayor proporción son de cobre, debido a que este material favorece la conducción eléctrica y son cubiertos por un material aislante, el grosor elegido dependerá de la tensión con la que trabajará el conductor y del uso para el que está destinado. De modo que son usados en la instalación de circuitos automotrices” (López, 2018).

Figura 9*Cable eléctrico*

Nota. En esta figura se muestra el cable eléctrico que es utilizado para realizar la conexión eléctrica del sistema generador de hidrógeno.

Relé

“El relé es un conector electromecánico, cumple con la labor de un interruptor, de manera que es manejado con un circuito eléctrico, en donde, esta energía alimenta una bobina interna que posee este instrumento accionando unos contactos con el fin de cerrar o abrir los circuitos eléctricos independientes” (Vargas, 2010).

Figura 10*Relé*

Nota. En esta figura se aprecia el relé el cual es utilizado en el circuito eléctrico.

El hidrógeno como Combustible

El hidrógeno se ha dado a llamar el “combustible del futuro” debido a sus muchas virtudes: entra a combustión a muy altas temperaturas, contiene mucha más energía que una cantidad de petróleo de igual peso, produce mucha menos polución atmosférica pues condensando el vapor se transforma en un líquido que puede beberse, ya que combinado con el oxígeno de la atmósfera produce agua.

No existe sobre la tierra hidrógeno libre (no combinado) y solo se puede encontrar en la atmósfera y en muy escasa proporción. Pero en cambio no hay escasez de la materia prima necesaria para producirlo.

Todo lo que hace falta es agua y alguna otra forma de energía (Duque et al., 2013, p. 14)

“La energía del hidrógeno mejora la combustión, proporciona mayor potencia, reduce el consumo de combustible y al quemarse mejor disminuye las emisiones contaminantes” (Duque y Masaquiza, 2013, p. 18).

Electrolito

Un electrolito es un componente que al diluirse en agua ocasiona la formación de iones.

Estos electrolitos pueden ser débiles o fuertes, dependiendo si se encuentran parcial o totalmente ionizados o disociados en medio acuoso.

Un electrolito fuerte es toda sustancia que, al momento de disgregarse en agua, suscita exclusivamente la formación de iones con una reacción de disolución prácticamente irreversible.

El objetivo que comprende es el de mantener el equilibrio de los fluidos en las células con la finalidad de que éstas funcionen de forma adecuada. (Ciquime, 2014, p. 150)

Los principales ingredientes del electrolito son:

- Agua 1 galón
- Hidróxido de sodio (Sosa cáustica) 20g
- Bicarbonato de sodio 20g
- Concentrado de refrigerante 30ml

Preparación del Electrolito

En el galón de agua mezclamos 20g de sosa caustica, 20g de bicarbonato de sodio y por último añadimos el concentrado de refrigerante, cabe mencionar que este último cumple la función de ayudarnos a verificar que el líquido esté circulando y funcionando en todo el sistema.

Figura 11

Componentes del electrolito



Nota. En esta figura se identifican los componentes para la mezcla del electrolito.

Hidróxido de Sodio (Sosa cáustica)

El hidróxido de sodio también denominado sosa cáustica es una sustancia incolora y es capaz de absorber humedad del medio, generalmente se la comercializa en forma de hojuelas, granos, barras, etc. Se disuelve en agua con fuerte desprendimiento de calor, de manera que la disolución acuosa obtenida es llamada lejía de sosa.

En el agua, esta sustancia se disocia en cationes de sodio (átomos de sodio carga positiva) y el anión hidróxido (átomos de hidrógeno y oxígeno con carga negativa), lo cual provoca que la acidez del agua se reduzca. (Ujeda, 2014)

Figura 12

Sosa caustica



Nota. En esta figura se muestra la presentación en granos de la sosa cáustica.

Figura 13

Envase sosa cáustica



Nota. En esta figura se muestra la presentación del envase de la sosa cáustica.

Boroscopio Industrial Automotriz

Maldonado y Encalada (2021) mencionan que:

“El boroscopio industrial es una herramienta de inspección visual que permite acceder a áreas de difícil o imposible acceso para el ojo humano mediante una inspección visual remota o a distancia, el término boroscopio es utilizado para describir una serie de herramientas que permiten realizar inspecciones internas mediante imágenes o videos” (p. 15).

Figura 14

Herramienta boroscopio



Nota. En esta figura se observa la herramienta boroscopio y sus piezas a utilizar para obtener las imágenes de los cilindros.

Partes de un Boroscopio

Lente de objetivo: Ubicado en el flexible del instrumento, es quien recibe la primera visualización del elemento a observar.

Sistema de retransmisión: Es el sistema general que se ocupa de que esta imagen del lente llegue al ocular. Dependiendo del modelo, será la calidad de imagen que llegará desde esta pieza al ojo humano.

Ocular: Es la sección en la que se puede visibilizar la imagen retransmitida a través de los lentes del boroscopio.

Ventajas de Utilizar el Boroscopio Automotriz

Según Maldonado y Encalada (2021) el boroscopio automotriz posee varias ventajas para el diagnóstico a continuación se detallarán las más importantes:

Compacto, flexible y fácil de transportar, el tubo de inserción es de tamaño muy reducido para llegar a lugares de difícil acceso. Intuitivo y fácil de manejar por lo que facilita el proceso de diagnóstico.

La movilidad del instrumento puede mejorar la eficiencia y tiempo de diagnóstico. Se reducen los costos de reparación y daños ocasionados por el desmontaje excesivo de los elementos. (p. 19)

Diagnóstico Mediante el Boroscopio Automotriz

Maldonado y Encalada (2021) mencionan que “el uso del boroscopio como herramienta de diagnóstico en automóviles se ha ido incrementando para el diagnóstico y detección de fallas mediante inspección visual a continuación detallaremos algunas de las pruebas que se pueden realizar mediante el boroscopio” (p. 19).

Control de Descarbonización a la Cabeza del Pistón y Bujías

Según Maldonado y Encalada (2021) mencionan:

“Para realizar un control de los niveles de carbón en la cabeza del pistón y bujías, el proceso se lo realizaba por medio del desmontaje de todos los elementos del motor, con el uso

del boroscopio se puede reducir el preso desmontando las bujías para luego introducir la cámara y realizar la evaluación de las condiciones” (p. 19).

Leyes de Faraday

Las investigaciones efectuadas referente a la electrólisis, afirman las relaciones cuantitativas fundamentadas en los estudios electroquímicos realizados por Michael Faraday en 1834.

Primera ley de Faraday

“Plantea que, para una solución electrolítica asignada, la cantidad de material ya sea depositado o liberado sobre los electrodos es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que traspasa la solución. De modo que, la cantidad de reacción química y la cantidad de electricidad que pasa por la solución electrolítica son directamente proporcionales” (Brown y Theodore, 1991, p. 1159).

Segunda Ley de Faraday

Se instauró que, al traspasar una cantidad igual de electricidad por diferentes celdas electrolíticas que abarcan distintos electrolitos, en los electrodos se colocan cantidades de sustancia proporcionalmente al peso equivalente del elemento químico.

Es decir, el peso equivalente de la sustancia es directamente proporcional al peso de una sustancia que es depositada durante la electrólisis.

De modo que, cuando en el mismo tiempo transita una misma corriente, las cantidades de sustancias colocadas dependen de su peso equivalente (Brown y Theodore, 1991).

Fórmula de la ley de Faraday:

$$m = \frac{I * t * M}{F * n}$$

Ecuación 1: Fórmula de la ley de Faraday

Fuente: (Brown y Theodore, 1991)

Donde:

m : Masa de la sustancia originada en el electrodo (gramos)

n : Número de valencia de la sustancia ion en la solución (electrones por ion)

F : Constante de Faraday ($96500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$)

M : Masa molar de la sustancia (gramos por mol)

I : Corriente eléctrica (amperios)

t : Tiempo (segundos)

Norma INEN 2204

Según la norma INEN 2204 (2017) “establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) que emplean gasolina” (p. 1).

En la norma INEN 2204 (2017) se define el siguiente requisito aplicable:

“Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática)” (p. 3).

En el requisito antes mencionado de la Norma INEN 2204 (2017) menciona que:

“Toda fuente móvil con motor de gasolina, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y a temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la siguiente tabla” (p. 3).

Tabla 1

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina, marcha mínima o ralentí (prueba estática)

Año modelo	% COa		ppm HCa	
	0-1500b	1500-3000b	0-1500b	1500-3000b
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1.000	1.200

a Volumen

b Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm)

Nota. En esta tabla se identifican los límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor a gasolina.

Metodología y Desarrollo del Proyecto

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se ha realizado un estudio de enfoque cuantitativo y el tipo de estudio será descriptivo, ya que se pretende medir los gases contaminantes y obtener datos reales con la adición de hidrógeno en el motor.

Hernández, Fernández y Baptista establecen que “La investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice” (p. 119).

Se considera que el diseño de la investigación es experimental ya que se realizará la adición de hidrógeno en la cámara de combustión y una correcta adaptación de un sistema generador de hidrógeno utilizando las herramientas necesarias.

Adicionalmente se aplica el método comparativo para establecer variaciones de los parámetros característicos de los gases contaminantes. El análisis de datos se aplicará una estadística descriptiva con mediciones sin y con la aplicación de la adición de hidrógeno.

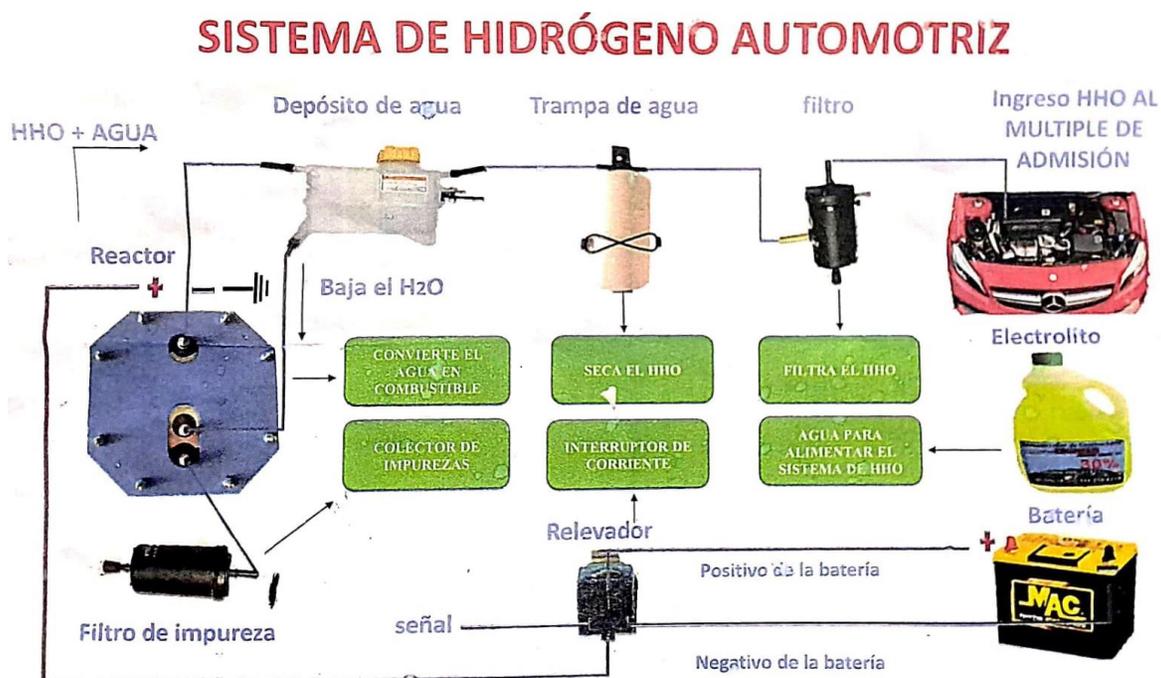
El proyecto pretende medir los valores de gases contaminantes de manera precisa, fiable y continua una vez realizada la inyección de hidrógeno, para garantizar la optimización del proceso de combustión del motor del vehículo.

Instalación del Sistema Generador de Hidrógeno

Para empezar la instalación de los componentes del sistema generador de hidrógeno se muestra el diagrama del sistema de hidrógeno automotriz proporcionado por el proveedor, en el cual se visualiza los componentes a instalar.

Figura 15

Sistema de hidrógeno automotriz



Nota. En esta figura se muestra el sistema de hidrógeno automotriz, reproducido de la información enviada por el proveedor del sistema de hidrógeno y la conexión instalada en el auto.

Seguridad y Precaución Previo a la Instalación del Sistema Generador de Hidrógeno

Para la seguridad en la instalación del sistema generador de hidrógeno se debe tomar en cuenta ciertos métodos, al igual que determinadas precauciones con el fin de evitar accidentes, de manera que, a continuación, se mencionan algunos procedimientos a ejecutar para evitar percances.

Supervisar el estado de los terminales eléctricos para evitar cortocircuitos, chequear que los componentes del sistema generador de hidrógeno no contengan daños, verificar que las mangueras, acoples y racores se encuentren en buena condición, es decir, que no existan fugas que ocasionan pérdidas en el sistema.

Tener en cuenta que las celdas que integran el sistema generador de hidrógeno y el electrolito deben ubicarse de forma perpendicular al suelo.

Efectuar mantenimientos del motor antes de la instalación del sistema, además, realizar el trabajo con el motor en frío con el fin de evitar quemaduras.

Ejecutar la instalación del mecanismo en un ambiente ventilado.

Utilizar un equipo de seguridad adecuado que integre gafas de seguridad, zapatos de seguridad, guantes de goma, overol y herramientas apropiadas.

Herramientas a utilizar para la Implementación del Sistema Generador de Hidrógeno

Para iniciar la instalación del dispositivo en el auto aveo family 1.5l y obtener un óptimo y adecuado rendimiento de la generación de hidrógeno, es necesario tener todos los elementos del sistema listos para que su instalación sea efectiva y no exista retraso en el proceso.

A continuación, detallaremos las herramientas que se utilizan para la instalación del sistema generador de hidrógeno.

- Taladro
- Suelda eléctrica
- Juego de desarmadores
- Guantes de goma
- Juego de rachas
- Mandil del instituto
- Alicates
- Pinza
- Multímetro

Verificación de los Elementos y del Sistema Generador de Hidrógeno

Para obtener éxito en la instalación se debe realizar la revisión de cada uno de los elementos, esto con el fin de garantizar el buen estado de los componentes para asegurar su correcto funcionamiento y de esta forma evitar que ocurran fisuras o golpes, en el caso del sistema generador de hidrógeno ya instalado se verifica que no exista continuidad en sus contactos positivo y negativo, adicional se comprueba que no haya obstrucción en los conductos del generador de hidrógeno, esto se realizó con un soplete.

Instalación de los Componentes del Sistema Generador de Hidrógeno

La instalación del sistema generador de hidrógeno se realizó en el motor del vehículo aveo family 1.5l.

Lugar de instalación del reactor de hidrógeno, para instalar el reactor de hidrógeno hay que examinar cómo se comporta el motor y ubicarlo en un lugar idóneo, de modo que, en el vehículo aveo family, el sitio más adecuado fue en la parte delantera del motor, al frente del radiador entre la mascarilla frontal del vehículo.

Figura 16

Lugar de instalación del reactor de hidrógeno



Nota. En esta figura se muestra el lugar del vehículo en donde se va a realizar la instalación del reactor de hidrógeno.

Instalación del reactor de hidrógeno, para poder ingresar al lugar de instalación del reactor de hidrógeno, se tiene que quitar la persiana frontal, donde esta cuenta con dos seguros de plásticos los cuales deben ser despojados, al igual que un perno de sujeción que se encuentra por debajo del emblema. De modo que, al retirar los seguros mencionados y al desbloquear las dos vinchas de los costados con las manos, se consigue apartar la mascarilla.

Una vez retirada la persiana se ingresa al sitio de instalación, seguidamente se sitúa el reactor de hidrógeno en el lugar anteriormente mencionado, tras tomar como base el parante lateral o soporte del guardachoque y con unas platinas de hierro se refuerza el reactor en esta área.

Conexión, el reactor está conectado mediante mangueras de 8 mm de diámetro, la primera salida conecta hacia la entrada izquierda el depósito de hidrógeno, la segunda es la entrada del electrolito desde el depósito de electrolito, en la tercera entrada va conectado un filtro en la que recoge toda la impureza o residuos de la electrólisis, así como también tiene el circuito positivo y negativo para que el reactor haga la electrólisis, el cable positivo va conectado al relé terminal 86 y el cable negativo va conectado al terminal negativo de la batería.

Función, es realizar la electrólisis con la ayuda de la corriente suministrada por la batería del auto.

Figura 17

Conexión del reactor en el vehículo aveo family



Nota. En esta figura se muestra la parte delantera del radiador del vehículo en donde se realiza la conexión del reactor de hidrógeno.

Lugar de instalación del depósito del hidrógeno, el lugar asignado para el depósito de hidrógeno es detrás del electroventilador al frente del múltiple escape, el lugar escogido es ideal para que se mantenga siempre frío el depósito de hidrógeno considerando un sitio en el cual se facilite la revisión y el llenado del depósito con el electrolito.

Figura 18

Lugar de instalación del depósito de hidrógeno



Nota. En esta figura se muestra el lugar del vehículo en donde se va a realizar la instalación del depósito de hidrógeno.

Instalación del depósito del generador de hidrógeno, este depósito está instalado con platinas en forma de u, las cuales están sujetas al perno de la carcasa del electroventilador y otro perno al múltiple de escape.

Conexión, la salida de la parte izquierda del depósito de hidrógeno va conectada hacia la segunda entrada del reactor de hidrógeno el cual llena de electrolito al reactor de hidrógeno, como segundo paso tenemos la entrada superior izquierda del depósito que va conectada en la tercera entrada del reactor de hidrógeno y es la que traslada el hidrógeno generado en el reactor y envía hacia el depósito de hidrógeno. Finalmente, en la salida derecha del depósito de hidrógeno que conecta hacia la trampa de agua se envía el hidrógeno generado.

Función, el depósito de hidrógeno tiene como doble función de suministrar de electrolito al reactor y de dar paso al hidrógeno enviado por el reactor.

Figura 19

Conexión del depósito de hidrógeno



Nota. En esta figura se muestra el lugar donde se va a instalar el depósito de hidrógeno.

Lugar de instalación de la trampa de agua, se muestra el lugar del vehículo en donde se va a realizar la instalación de la trampa de agua, el lugar idóneo es detrás del electroventilador a lado del depósito del aceite hidráulico.

Figura 20

Lugar de instalación de la trampa de agua



Nota. En esta figura se muestra el lugar del vehículo en donde se va a realizar la instalación de la trampa de agua.

Instalación de la trampa de agua, este depósito está instalado por 1 platina en forma de L la cual está sujeta al perno del depósito del líquido hidráulico.

Conexión, esta trampa de agua está conectada con una manguera de 8mm de diámetro que traslada el hidrógeno desde el depósito de hidrógeno hacia la trampa de agua y hacia el filtro.

Función, en este depósito entra todo el hidrógeno producido por el circuito, la trampa de agua no permite el paso de vapores de agua generados en el depósito del electrolito, en el caso que entrara con vapor de agua esta trampa actúa dejando el agua en el fondo del depósito y dando paso al hidrógeno.

Figura 21*Conexión de la trampa de agua*

Nota. En esta figura se muestra la trampa de agua instalada en el vehículo detrás del electroventilador.

Lugar de instalación del filtro, se muestra el lugar del vehículo en donde se va a realizar la instalación del filtro, la ubicación adecuada es el lado izquierdo de la batería del auto ya que tiene un soporte ideal para sujetar el filtro.

Figura 22*Lugar de instalación del filtro*

Nota. En esta figura se muestra el lugar en donde se va a realizar la instalación del filtro.

Instalación del filtro, el filtro está instalado al lado izquierdo de la batería del auto en donde se encuentra un soporte en el que se sujeta el filtro con tairas conocidas comúnmente como amarras.

Conexión, de la trampa de agua viene una manguera hacia la entrada del filtro, desde el filtro sale otra manguera que va conectada al cuerpo de aceleración (vacío del motor) donde finalmente se realiza la inyección del hidrógeno, permitiendo así una mejor explosión en la cámara de combustión.

Función, La función primordial del filtro es neutralizar los contaminantes emanados por el depósito de hidrógeno y de la trampa de agua y que no ingrese humedad o impurezas al cuerpo de aceleración.

Figura 23

Filtro del hidrógeno



Nota. En esta figura se observa el filtro instalado al lado izquierdo de la batería del vehículo.

Acople en forma de t, finalmente, la última conexión al cuerpo de aceleración del motor es un acople en forma de “t” que debe ser introducido en la manguera de aspiración hacia el

vacío del motor “cuerpo de aceleración”, esto hace que el hidrógeno circule hacia los diferentes cilindros del motor lo que permite conseguir una mejor explosión en la cámara de combustión.

Figura 24

Acople en forma de t



Nota. La figura muestra un acople en forma de “t”, que se conecta hacia el vacío del motor.

Mangueras, las mangueras utilizadas son de caucho de 8mm de diámetro, son conductos flexibles y de fácil manipulación en el momento de instalar el sistema generador de hidrógeno, estas mangueras son la vía de circulación del electrolito y del hidrógeno para todo el sistema.

Figura 25

Mangueras



Nota. En la figura se muestran las mangueras que van a ser utilizadas en todo el sistema generador de hidrógeno.

Circuito Eléctrico

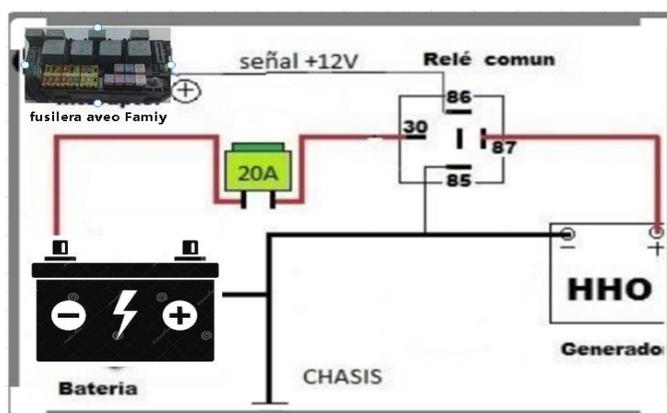
Una vez instalados los principales elementos, se puede continuar con la parte eléctrica mediante los siguientes pasos:

Se debe dibujar un plano con todos los sistemas eléctricos que conforman el circuito.

Para ello utilizamos un programa llamado lucidspark.

Figura 26

Circuito eléctrico



Nota. En esta figura se observa el diagrama del circuito eléctrico del sistema generador de hidrógeno.

Lugar de instalación del relé, el lugar asignado para la instalación del relé es cerca de la caja de fusibles por la facilidad de instalación y mejor acceso, ya sea para colocar cables o sustituir el propio relé del generador.

Instalación del relé, con una platina se atornilla el relé cerca de la tapa del amortiguador, este lugar de instalación debe ser muy seco.

Figura 27*Lugar de instalación del relé*

Nota. Esta figura muestra el lugar del vehículo en donde se va a realizar la instalación del relé.

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes, como este tenemos algunos en la caja de fusibles.

Conexión eléctrica del circuito generador de hidrógeno hacia el relé de la bomba de combustible, se detallan los siguientes pasos:

Todo el circuito eléctrico debe actuar en “koer” (key on engine rum) (es decir que solo funcione cuando el auto esté en marcha).

Retirar la tapa protectora de la caja de fusibles en donde se encuentra el relé de la bomba de combustible que está ubicada detrás de la batería junto al depósito del líquido de freno.

Figura 28*Caja de fusibles o fusilera*

Nota. En esta figura se puede observar la caja de fusibles o también llamada fusilera.

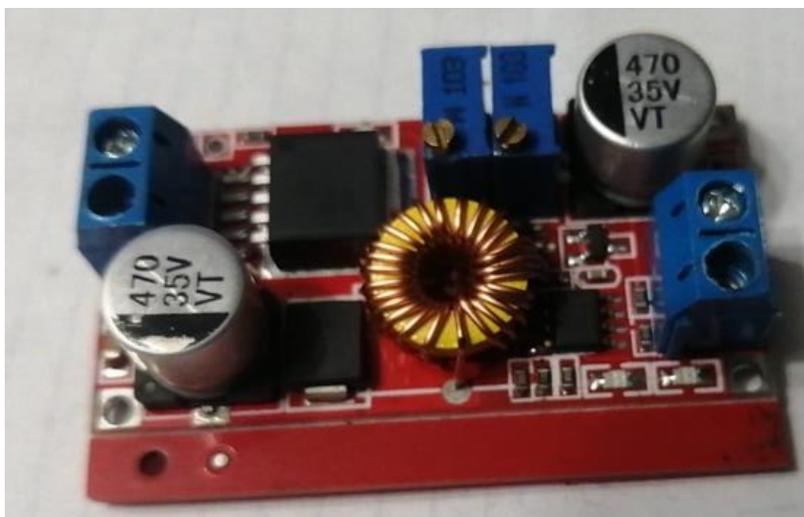
Se utiliza un cable eléctrico que lleve 12 voltios, el cual está conectado del relé de la bomba de combustible que está dentro de la caja de fusibles hacia el relé terminal 86 del circuito, se debe considerar que solo hay corriente si el motor está encendido.

Una vez el motor en marcha el cable será el que alimente y accione el relé que a su vez alimenta el generador de hidrógeno y tiene como finalidad alimentarlo solo cuando esté en marcha a fin de evitar una acumulación de H₂O en el circuito y la consiguiente descarga de la batería.

Se alimenta el circuito eléctrico con la ayuda de un módulo de regulador de voltaje corriente dc 5a a la fuente de 12v, que es suministrada por la batería del auto, este es un dispositivo de protección eléctrica el cual se encarga de regular el voltaje del circuito eléctrico generador de hidrógeno.

Figura 29

Módulo de regulador de voltaje corriente de 12v



Nota. En esta figura se observa el módulo de regulador de voltaje corriente dc 5a a la fuente de 12v.

Cabe mencionar que uno de los componentes principales y más importantes para un buen sistema generador de hidrógeno es el regulador de corriente. Este pequeño circuito electrónico regula los amperios a utilizarse en el sistema generador de hidrógeno que circula a través del reactor regulando el flujo de amperios de modo que se produzca el hidrógeno de forma más eficiente. Con este se tendrá el control de la intensidad de amperaje de entrada en el reactor, también mantiene el reactor funcionando a temperaturas bajas prolongando su vida útil, mientras que se logra un aumento de la producción de hidrógeno.

Desde el terminal positivo del reactor se conecta con un cable rojo al terminal 87 del relé.

Desde el terminal 30 del relé sale un cable rojo que va conectado al terminal positivo de la batería.

Se conecta al negativo el relé, es decir el terminal 85 se une al chasis del vehículo o se conecta a tierra.

Figura 30*Instalación del relé en el vehículo*

Nota. En esta figura se observa el relé instalado al lado derecho de la caja de fusibles.

Comprobación y Verificación del Funcionamiento del Sistema Generador de Hidrógeno**Comprobación:**

Para realizar la comprobación se debe encender el motor del vehículo, esperar que alcance su temperatura normal de funcionamiento (80-90 °c).

En el momento de encender el motor se inicia el encendido y funcionamiento del generador de hidrógeno, al encender el generador observar burbujas que recorren todo el sistema a través de las mangueras, esto es una buena señal de funcionamiento

Retirar la manguera de la entrada de hidrógeno al motor, ponerla en el fondo de un recipiente pequeño lleno de agua con deja.

Sobre la superficie del líquido encender una llama, para verificar si las burbujas son de hidrógeno o de oxígeno, tomar en cuenta que cuando hay presencia de oxígeno en una combustión este altera la llama, es decir la llama aumenta y cuando existe hidrógeno se produce

una explosión instantánea. Hay explosiones continuas e instantáneas como una chispa, lo que nos indica la presencia de hidrógeno. Esta comprobación se realiza para observar si hay burbujas.

Verificación:

En caso de que el dispositivo no esté produciendo hidrógeno puede ser el caso que la mezcla del electrolito no esté bien realizada o se debe revisar si hay fugas o no se ha conectado correctamente las mangueras, es muy común equivocarse en posiciones de entrada y salida en el depósito, burbujeador o generador.

Si el hidrógeno producido no está llegando al motor, puede ser una fuga por las mangueras y el hidrógeno se va fuera del motor, para verificar esto, rociar todas sus mangueras y conexiones con agua jabonosa para encontrar las fugas, cuando hay fugas esta empieza a burbujear.

Debe asegurarse que todos los pasos mencionados estén revisados, las causas que se detallan a continuación pueden ser menos probables, pero si requieren atención, además de ser problemas relacionados con el motor y no tienen nada que ver con la instalación del dispositivo, es decir son ajustes que debería resolver de cualquier manera.

Un filtro de aire sucio puede arruinar un buen kilometraje por litro por lo que es necesario reemplazarlo en cada cambio de aceite.

Si el motor no funciona correctamente, añadiendo un sistema de H₂O no corregirá el problema, por lo que se recomienda previamente hacer una afinación de motor que consiste en cambio de bujías, cable de bujías, limpieza de inyectores, limpieza de cuerpo de aceleración, es decir se recomienda arreglar todo antes de instalar el dispositivo. Hay que considerar que un aspecto muy común es tener la luz de diagnóstico encendida (check engine) y seguir circulando.

Pruebas de los Gases Contaminantes

Se instala el sistema generador de hidrógeno en el vehículo aveo family 1.5l. con la finalidad de reducir los gases contaminantes y obtener resultados favorecedores para el campo automotor y consecuentemente proteger el medio ambiente.

Con la implementación del sistema generador de hidrógeno en el vehículo se realizaron las pruebas de emisiones de gases contaminantes con la máquina analizadora de gases, para obtener los valores en revoluciones altas y bajas, cabe mencionar que la medición de gases contaminantes se realizó sin y con la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Especificaciones Técnicas del Vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5l

Para la realización de las pruebas se utilizó el vehículo particular chevrolet aveo family 1.5L que presenta las siguientes especificaciones.

Figura 31

Especificaciones técnicas del vehículo chevrolet aveo family 1.5l



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Motor	1.5 L SOHC
Válvulas	8
Número de cilindros	4
Potencia (HP@rpm)	83 @ 5.600
Torque (Nm@rpm)	128 @ 3.000
Relación de compresión	9,5
Relación final	3,944
Suspensión delantera	Independiente Mcpherson
Suspensión posterior	Eje de torsión
Frenos delanteros	Disco ventilado
Frenos posteriores	Tambor
Llantas	185 / 60 R14
Rines	Acero 14"

Nota. En esta figura se aprecia el vehículo objeto de estudio y la ficha técnica generada por la marca Chevrolet.

Máquina Analizadora de Gases Contaminantes AGS-688

Para ejecutar los análisis de los diferentes gases contenidos en el escape se hace uso de la máquina analizadora de gases automotriz AGS688 (BRAIN BEE), el cual es un analizador de gases capaz de medir las distintas concentraciones de gases en altas y bajas revoluciones de los vehículos con motor de combustión interna como CO, HC, CO₂, O₂ y Lambda, es decir, emiten en porcentajes los compuestos químicos emitidos por el escape de un motor de combustión interna, de modo que, este aparato cuenta con 6 unidades lcd retroiluminadas, que muestran las lecturas de las pruebas realizadas, en donde, al finalizar el usuario puede imprimir los resultados de dichas pruebas.

Cabe mencionar que las pruebas de gases se realizaron en función automática de calibración bajo cero.

Figura 32

Maquina analizadora de gases contaminantes



Nota. En esta figura se muestra la máquina analizadora de gases AGS-688 la cual fue utilizada para obtener los datos de medición.

Características de la máquina analizadora de gases contaminantes AGS-688

A continuación, se detallan las principales características:

Función automática de calibración a cero.

Tiempo de calentamiento menor a 10 minutos.

Sistema de filtrado reforzado y con trampa de agua.

Pruebas automáticas para residuos de HC y vacío.

Auto prueba y auto diagnóstico.

Compensador de altura.

Medición inalámbrica vía radio de rpm y temperatura de aceite con el accesorio mgt-300/r (opcional).

Pantalla lcd con iluminación de fondo.

Software para pc de múltiples aplicaciones.

Conexión a pc vía cable usb opcionalmente vía bluetooth.

Impresora térmica de alta velocidad.

Mide: HC, CO, CO₂, O₂.

Cálculo de lambda y CO corregido.

Habilitado para medición de NO_x con sensor opcional.

Procedimiento de la Toma de los Datos de Medición de los de Gases Contaminantes

El análisis de gases contaminantes es un diagnóstico que permite evaluar la cantidad de emisiones que está produciendo un vehículo. El motor lleva a cabo un proceso de combustión del que se obtienen diversos gases, como el monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, dióxido de carbono, nitrógeno y oxígeno, entre otros.

En este sentido, el análisis establece la proporción de cada gas, así como su concentración, dando lugar a una evaluación precisa sobre el desempeño del motor.

Este procedimiento se lleva a cabo con un analizador de gases, el cual sirve para detectar gases inflamables o tóxicos.

Existen modelos con lectura y almacenamiento de datos, alarmas sonoras, portátiles, entre otros. En conclusión, permiten medir y controlar gases peligrosos para la prevención de fallas automotrices.

Las pruebas dinámicas de emisiones de gases contaminantes para el vehículo a gasolina vienen dadas bajo condiciones de prueba del vehículo en la máquina AGS-688, en la cual se realizó dichas pruebas al 50% y al 100%.

Tiene como finalidad identificar vehículos con problemas en el sistema de control de emisiones mediante la medición de CO, CO₂, O₂, lambda y HC.

A continuación, se detalla el procedimiento de medición de gases contaminantes del vehículo:

Se conecta la máquina analizadora de gases a la fuente de 110v mediante un regulador de voltaje y se conecta al enchufe de la pared. Se enciende el equipo AGS-688.

Figura 33

Máquina analizadora de gases AGS-688

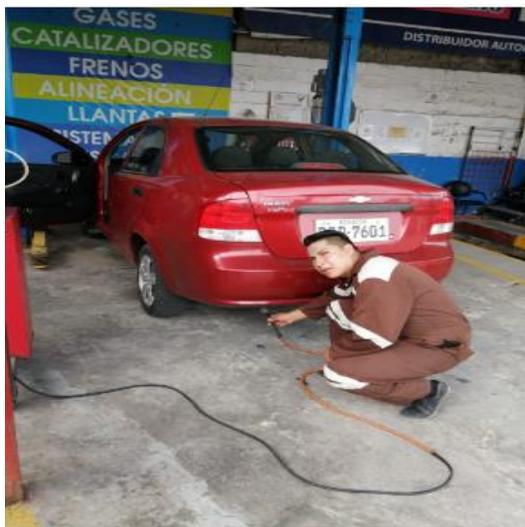


Nota. En esta figura se muestra la máquina encendida y calibrada para la impresión de las mediciones de los gases contaminantes.

Se conecta la manguera que mide el gas contaminante al tubo de escape.

Figura 34

Conexión de la manguera al tubo de escape



Nota. En esta figura se muestra conexión de la manguera al tubo de escape.

Se mantiene por lo menos por 15 segundos en el valor de revoluciones de cada prueba para imprimir los datos de medición de los gases contaminantes.

Figura 35

Datos de medición obtenidos en la máquina analizadora de gases



Nota. En esta figura se aprecia la máquina analizadora de gases con la que se tomó las pruebas de gases y sus primeros valores.

Tabla 2*Datos de medición del análisis de gases sin hidrógeno*

Test de Emisión		
Resultado	Medición 1	Medición 2
Hora	13:46:57	13:47:26
CO % vol.	2.23	1.62
CO ₂ % vol.	12.4	13.1
HC ppm vol.	235	253
O ₂ % vol.	3.07	2.51
LAMBDA	1.07	1.06
CO corr % vol.	2.29	1.65
RPM (V/min)	0	0
Temp. °C	--	--

Nota. En esta tabla se observan los datos obtenidos con la máquina analizadora de gases sin instalación del sistema generador de hidrógeno. La medición 1 es en altas y la medición 2 es en bajas revoluciones.

Tabla 3*Datos de medición del análisis de gases con hidrógeno*

Test de Emisión		
Resultado	Medición 1	Medición 2
Hora	15:41:31	15:41:39
CO % vol.	0.58	0.37
CO ₂ % vol.	15.6	15.7
HC ppm vol.	109	83
O ₂ % vol.	0.22	0.30
LAMBDA	0.99	1.00
COcorr. % vol.	0.58	0.37
RPM (V/min)	0	0
Temp. °C	--	--

Nota. En esta tabla se observan los datos obtenidos con la máquina analizadora de gases con instalación del sistema generador de hidrógeno. La medición 1 es en altas y la medición 2 es en bajas revoluciones.

Una vez instalado el sistema generador de hidrógeno también ayuda a descarbonizar progresivamente toda la cámara de combustión que abarca la cabeza del pistón y bujías, por lo que a continuación se detalla este proceso.

Descarbonización a la Cabeza del Pistón y Bujías

Cómo Funciona la Descarbonización de la Cabeza del Pistón en un Motor

La descarbonización de la cabeza del pistón del motor se encarga de la limpieza de la cámara de combustión y de todas las piezas que intervienen en el proceso de combustión y evacuación.

Cuando atraviesa los tubos y las piezas que están antes de la cámara de combustión, se efectúa es nulo, pues su eficiencia comienza al ser combustión, es por lo tanto dentro de la cámara de combustión donde el gas eleva la temperatura, concentrando todo el calor hacia el interior, lo que haría que se quemara los residuos existentes en dicha cámara, incluyendo válvulas, cabezas de inyectores, bujías, cabeza de pistón etc.

Posteriormente todo el calor generado por el gas, junto con el vapor de agua que produce la reacción, pasan a formar los gases de escape que descarbonizarán el motor gracias a la combustión de la temperatura, el vapor de agua y la afinidad del gas HHO. Poco a poco irán limpiando todo el conducto por donde vayan pasando, la válvula EGR, el tubo de escape, el catalizador.

Cómo se origina la carbonilla, durante el quemado del combustible no todo se quema tanto la gasolina como el diésel (este en mayor medida), dejan residuos, y se genera lo que se conoce como carbonilla, hollín y dicha carbonilla es como el colesterol de los seres humanos. Instruyen las “venas”, y el corazón de nuestro vehículo no rinde al máximo, lo que hace necesario descarbonizar el motor.

Este residuo se genera porque el azufre y los metales generan un desecho muy resistente que se adhiere con muchísima facilidad a todo tipo de superficie, obstruyendo todo a su paso, especialmente los conductos y la cámara de combustión, será más o menos abundante en función

del tipo de combustible, los aditivos de este y, como no, la calidad del refinado y de si esta contiene mucho azufre o vanadio.

Verificación de Descarbonización a la Cabeza del Pistón

Es importante realizar la verificación de descarbonización antes de la instalación del sistema generador de hidrógeno ya que con el funcionamiento del auto en los pistones se tiende a formar un hollín dentro de la cámara de combustión, por lo que al inyectar el hidrógeno hace que tenga una mejor explosión y ese hollín se vaya desprendiendo de la cabeza del pistón, es decir que se generará una limpieza progresiva del pistón.

Procedimiento de Verificación del Hollín en la Cámara de Combustión

Para realizar la verificación del hollín en la cabeza del pistón se procede a realizar los siguientes pasos:

Como primer paso procedemos a poner el auto en un lugar plano y arrancarlo para inmovilizarlo.

Figura 36

Auto inmovilizado



Nota. En esta figura se observa el auto estacionado e inmovilizado.

En el segundo paso alistamos la herramienta llamada boroscopio automotriz, revisamos que se encuentre en óptimas condiciones y funcionando correctamente, para realizar la verificación de descarbonización a la cabeza del pistón y bujías.

Figura 37

Herramienta boroscopio

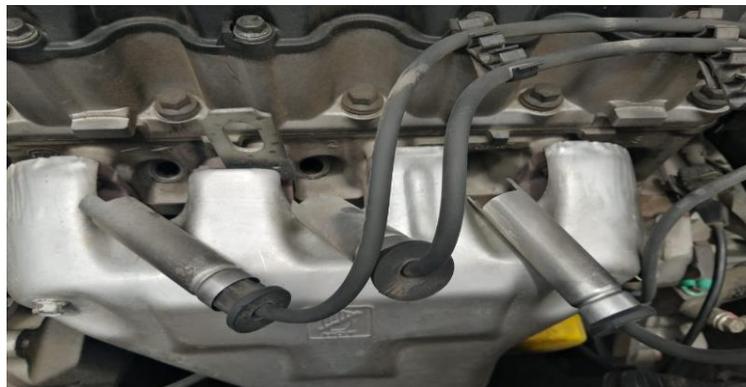


Nota. En esta figura se observa la herramienta boroscopio y sus piezas a utilizar para obtener las imágenes de los cilindros.

Como tercer paso procedemos a sacar los cables de bujías y con la copa # 16 y racha procedemos a sacar las bujías.

Figura 38

Cables de bujías



Nota. En esta figura se observa sacando los cables de bujías.

Como cuarto punto colocamos una gata hidráulica en la llanta delantera derecha y alzamos la llanta, luego ponemos en la marcha 5 que es la marcha más suave para poder girar la llanta y los pistones se puedan mover y así poder colocar en el punto muerto superior.

Figura 39

Gata hidráulica en llanta delantera



Nota. En esta figura se observa la gata hidráulica en la llanta delantera del auto.

Como quinto paso procedemos a introducir el mango del boroscopio con la cámara en funcionamiento, una vez colocada la cámara dentro de la cámara de combustión y el pistón en el (pms) se procede a tomar fotos y videos de cada uno de los cilindros.

A continuación, se muestran imágenes de la cabeza del pistón de los 4 cilindros del motor de cómo se ven sin y con instalar el sistema generador de hidrógeno, en las imágenes del antes se muestran como en la cámara de combustión se encuentra con hollín, el que es generado por residuos no combustionados correctamente y en las imágenes del después se puede verificar una continua limpieza de cada cilindro.

La descarbonización de la cabeza del pistón se centra en evidenciar cómo será la mejora continua en la limpieza de la cabeza del pistón una vez que esté en funcionamiento el sistema generador de hidrógeno.

Figura 40

Cabeza del pistón del cilindro 1 sin la instalación del sistema generador de hidrógeno



Nota. En esta figura se puede observar la cabeza del pistón del cilindro 1 sin la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 41

Cabeza del pistón del cilindro 1 con la instalación del sistema generador de hidrógeno



Nota. En esta figura se puede observar la cabeza del pistón del cilindro 1 con la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 42

Cabeza del pistón del cilindro 2 sin la instalación del sistema generador de hidrógeno



Nota. En esta figura se puede observar la cabeza del pistón del cilindro 2 sin la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 43

Cabeza del pistón del cilindro 2 con la instalación del sistema generador de hidrógeno



Nota. En esta figura se puede observar la cabeza del pistón del cilindro 2 con la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 44

Cabeza del pistón del cilindro 3 sin la instalación del sistema generador de hidrógeno



Nota. En esta figura se puede observar la cabeza del pistón del cilindro 3 sin la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 45

Cabeza del pistón del cilindro 3 con la instalación del sistema generador de hidrógeno



Nota. En esta figura se puede observar la cabeza del pistón del cilindro 3 con la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 46

Cabeza del pistón del cilindro 4 sin la instalación del sistema generador de hidrógeno



Nota. En esta figura se puede observar la cabeza del pistón del cilindro 4 sin la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 47

Cabeza del pistón del cilindro 4 con la instalación del sistema generador de hidrógeno



Nota. En esta figura se puede observar la cabeza del pistón del cilindro 4 con la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Propuesta

Estructura de la Propuesta

La propuesta esta direccionada al uso de hidrógeno como combustible complementario en varias proporciones para obtener una mejor combustión, esto se conseguirá a partir de la generación del electrolito, que resulta de la mezcla de agua, bicarbonato de sodio y sosa cáustica, lo que ayudará a reducir el consumo de combustible y minimizar la contaminación del medio ambiente.

La propuesta se trata de investigar el comportamiento de los gases contaminantes al implementar inyección de hidrógeno en un motor a gasolina para optimizar el proceso de combustión, con esta implementación se evidenciará mediante resultados las mejoras y el beneficio de instalar un dispositivo generador de hidrógeno en el campo automotriz y protección del medio ambiente.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del presente proyecto se obtuvo información necesaria de cómo realizar la instalación del sistema de generador de hidrógeno, con lo que se pudo evidenciar que el sistema generador de hidrógeno no posee un mecanismo inyector de hidrógeno, ya que el ingreso de este al motor del vehículo se realiza por el vacío que produce el mismo.

Desarrollo de la Propuesta

Para el desarrollo de la propuesta se requiere del talento humano ya que es quien realizará la instalación y adaptación de los materiales del dispositivo generador de hidrógeno en el vehículo aveo family, para la adquisición de materiales se utilizó recursos financieros, estos recursos son los que muestran el costo del sistema generador de hidrógeno instalado. El costo aproximado de la investigación tendría un valor de \$945.00, este valor corresponde

específicamente a la adquisición de materiales e instalación en el vehículo, no está contemplado el recurso humano.

Cálculo de la Producción de Hidrógeno

Datos iniciales del reactor de hidrógeno para la aplicación de fórmulas y obtención de resultados

Es necesario identificar los datos iniciales del reactor de hidrógeno, los cuales son descritos a continuación y fueron obtenidos del sistema generador de hidrógeno adquirido.

Tabla 4

Datos iniciales del reactor de hidrógeno

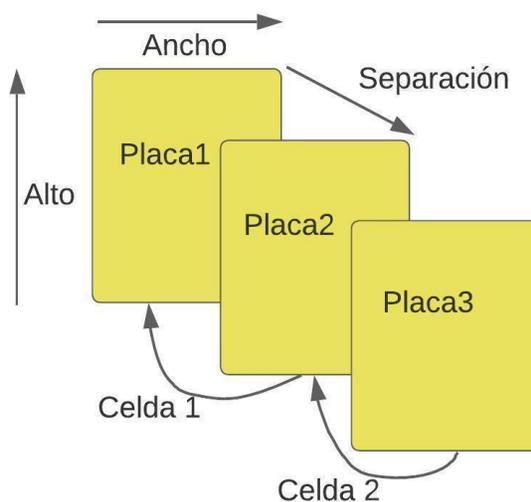
Datos	Cantidad necesaria	
Caudal (litro/min)	Q=1	
Amperaje (amperios)	$8 = a \leq 15$	
Voltaje (voltaje)	V=12	
Número de placas de acero inoxidable 36L	4	
Placas ánodo-cátodo	4	
Placas neutras	2	
Dimensión de las placas	Ancho= 12,7 cm	
	Placas ánodo-cátodo	Largo= 12,7 cm
		Espesor= 0,195 cm
	Placas neutras	Ancho – largo= 12,7 cm
	Espesor= 0,195 cm	

Nota. En esta tabla se identifican los datos iniciales del reactor de hidrógeno.

De la tabla de datos iniciales del reactor de hidrógeno, se toma la información de la dimensión de las placas instaladas en el reactor de hidrógeno para aplicar las fórmulas y también se menciona el número de celdas a utilizar.

Figura 48

Placas



	Ancho (x)= 12,7 cm
	Alto (h)= 12.7 cm
Dimensión de las placas	Espesor (e)= 0,195 cm
	Número de celdas (n)= 6

Nota. De la tabla datos iniciales del reactor de hidrógeno, se toman los datos para realizar la aplicación de la propuesta.

Cálculo del área de la placa

$$A = x * h$$

$$A = 12,7 * 12,7$$

$$A = 161,29 \text{ cm}^2$$

Cálculo del volumen de celda

$$Vc = x * h * e$$

$$Vc = 12,7 * 12,7 * 0,195$$

$$Vc = 31,451 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen total de las celdas

$$VTc = (x * h * e) * n$$

$$VTc = (12,7 * 12,7 * 0,195) * 6$$

$$VTc = 188,71 \text{ cm}^3$$

Cálculo del área total de las celdas

$$At = (x * h) * n$$

$$At = (12,7 * 12,7) * 2 + (12,7 * 1,7) * 4$$

$$At = 967,74 \text{ cm}^2$$

Cálculo de la conductividad del electrolito

En base a las medidas obtenidas de las placas empleadas en el reactor de hidrógeno el cual se muestra en la tabla anterior se realiza el cálculo de la conductividad del electrolito.

$$At = (12,7 * 12,7) * 2 + (12,7 * 1,7) * 4$$

$$At = 967,74 \text{ cm}^2$$

$$C = \frac{Ie * e}{V * At}$$

$$C = \frac{15A * 0,195e}{12V * 967,74}$$

$$C = 2.518 * 10^{-4} \text{ Siemens/cm}$$

Cálculo de la constante

$$K = \frac{I * 60 * t}{96500}$$

$$K = \frac{15 * 60 * 1}{96500}$$

$$K = 0,0093264$$

Cálculo del peso del hidrógeno y oxígeno

$$PH = PaH * K$$

$$PO = PaO * K$$

$$PH = 1,00794 * 0,0093264$$

$$PO = 15,9994 * 0,0093264$$

$$PH = 0,00940 \text{ g}$$

$$PO = 0,14922 \text{ g}$$

Cálculo del volumen de hidrógeno y oxígeno que se desprende en las celdas

$$VH = \frac{PH}{De * n}$$

$$VO = \frac{PO}{De * n}$$

$$VH = \frac{0,00940}{0,0000838 * 6}$$

$$VO = \frac{0,14922}{0,0000793 * 6}$$

$$VH = 18,7 \text{ cm}^3 = 0,0187 \frac{L}{min}$$

$$VO = 313,62 \text{ cm}^3 = 0,31362 \frac{L}{min}$$

Volumen total de H₂O desprendido en forma de gas en la celda

$$V_{H_2O} = VH + VO$$

$$V_{H_2O} = 0,0187 + 0,31362$$

$$V_{H_2O} = 0,33232 \frac{L}{min}$$

Tabla 5*Descripción de los amperajes calculados*

Letra	Significado	Unidad
“x”	Ancho de la placa	Centímetros (cm)
“h”	Alto de la placa	Centímetros (cm)
“e”	Espesor	Centímetros (cm)
“n”	Número de celdas	---
“V _c ”	Volumen de celda	(cm ³)
“V _{Tc} ”	Volumen total de las celdas	(cm ³)
“A”	Área de la placa	(cm ²)
“A _t ”	Área total de las celdas	(cm ²)
“C”	Conductividad del electrolito	(Siemens/cm)
“V”	Voltaje de la batería	Voltios (V)
“I _e ”	Amperaje consumido por el electrolito	Amperios (A)
“K”	Constante	---
“I”	Amperios consumidos por el generador	Amperios (A)
“t”	Tiempo que dura el paso de la corriente	Minutos (min)
“PH”	Peso del hidrógeno	Gramos (g)
“PO”	Peso del oxígeno	Gramos (g)
“D _h ”	Densidad hidrógeno gas	(g/ cm ³)
“D _o ”	Densidad oxígeno gas	(g/ cm ³)
“Pa _H ”	Peso atómico del hidrógeno	Gramos (g)

Letra	Significado	Unidad
“PaO”	Peso atómico del oxígeno	Gramos (g)
“VO”	Volumen de Oxígeno producido	(L/min)
“VH”	Volumen de hidrógeno producido	(L/min)
“V H ₂ O”	Volumen total de H ₂ O	(L/min)

Nota. Descripción de los parámetros de la ley de Faraday

A continuación, se realiza el cálculo de la masa de la sustancia producida de hidrógeno en porcentajes del 100 y 50% de la capacidad total del generador de hidrógeno.

$$\text{Masa de la sustancia} = \text{Volumen total de H}_2\text{O} * \# \text{celdas}$$

$$\text{Masa de la sustancia} = 0,33 * 5$$

$$\text{Masa de la sustancia} = 1,65$$

Tabla 6

Descripción de la masa de la sustancia calculada

Detalle	Cálculo de hidrógeno	Cálculo aproximado de hidrógeno
Hidrógeno total producido al “100%” del reactor de hidrógeno	1.650 lt/min	1.65 lt/min
Hidrógeno total producido al “50%” del reactor de hidrógeno	0,892 lt/min	0,89 lt/min

Nota. En esta tabla se identifican los porcentajes de la masa de la sustancia de hidrógeno producido.

Para conocer cuánto se produce de hidrógeno lt/min en el reactor, se realiza el cálculo de la masa de la sustancia de hidrógeno en porcentajes del 50% y 100% de la capacidad total del desempeño del reactor de hidrógeno. De modo que, en la siguiente tabla se describe la producción de hidrógeno de acuerdo con el amperaje consumido en los porcentajes mencionados.

Para el cálculo de la masa de la sustancia producida en el electrodo se la efectúa mediante la ley de Faraday (masa obtenida en una placa de acero inoxidable).

$$m = \frac{I * t * M}{F * n}$$

$$m = \frac{18A * 60s * 1.00794g/mol}{96500Cmol - 1 * 1}$$

$$K = 0.011280g$$

La tabla descrita a continuación nos detalla los parámetros para efectuar los cálculos mediante la ley de Faraday y las unidades que se deben emplear.

Tabla 7

Descripción de los parámetros de la ley de Faraday

Letra	Significado	Unidad
“m”	Es la masa de la sustancia en el electrodo	Centímetros (cm)
“I”	Amperaje consumido por el generador de hidrógeno	Centímetros (cm)
“n”	Número de valencia de la sustancia como ion en la solución	Centímetros (cm)
“t”	Tiempo transcurrido	---
“M”	Masa molar de la sustancia	(cm3)
“F”	Constante de Faraday	(cm3)

Nota. Descripción de los parámetros de la ley de Faraday.

Tabla 8*Descripción de los amperajes calculados*

Detalle	Amperaje Calculado	Amperaje aproximado
Caudal producido del generador de hidrógeno “100%”	15 amperios	15 amperios
Caudal producido del generador de hidrógeno “50%”	7,25 amperios	7.25 amperios

Nota. En esta tabla se muestran los amperajes utilizados para los porcentajes de hidrógeno producido al 100% y al 50%.

Resultados de la Medición de los Gases Contaminantes

Medición de las Pruebas de Gases Contaminantes Sin el Sistema Generador de Hidrógeno

Para la obtención de resultados y el desarrollo de las comparaciones necesarias para el análisis de las pruebas se realizó pruebas sin y con la implementación del sistema generador de hidrógeno, en este caso se realiza pruebas de emisiones contaminantes del motor del vehículo sin la instalación del sistema generador de hidrógeno y se procede a tabular los datos obtenidos de la máquina analizadora de gases.

Gases contaminantes

Tabla 9

Datos de las pruebas de emisiones de gases contaminantes sin el sistema generador de hidrógeno

Contaminante	bajas altas	
	[rpm]	[rpm]
Monóxido de carbono CO (%)	1,62	2,23
Hidrocarburos no combustionados HC (ppm)	253	235
Dióxido de carbono CO ₂ (%)	13,1	12,4
Oxígeno O ₂ (%)	0,30	0,22
Lambda	1,06	1,07

Nota. En esta tabla se muestran los datos obtenidos de las pruebas de gases contaminantes sin instalar el sistema generador de hidrógeno.

Medición de las Pruebas de Gases Contaminantes con el Sistema Generador de Hidrógeno

Para las pruebas con el sistema generador de hidrógeno ya implementado, se procede a encender el motor del auto y procedemos a realizar las mediciones de la misma manera que se hizo sin el sistema generador de hidrógeno para el análisis de los gases contaminantes y se procede a tabular los datos obtenidos de la máquina analizadora de gases.

Gases contaminantes

Tabla 10

Datos de las pruebas de emisiones de gases contaminantes con el sistema generador de hidrógeno

Contaminante	bajas altas	
	[rpm]	[rpm]
Monóxido de carbono CO (%)	0,37	0,58
Hidrocarburos no combustionados HC (ppm)	83	109
Dióxido de carbono CO ₂ (%)	15,7	15,6
Oxígeno O ₂ (%)	2,51	3,07
Lambda	1	0,99

Nota. En esta tabla se muestran los datos obtenidos de las pruebas de gases contaminantes instalados en el sistema generador de hidrógeno.

Comparación de los Gases Contaminantes Sin y Con la Instalación del Sistema Generador de Hidrógeno

Monóxido de carbono

Tabla 11

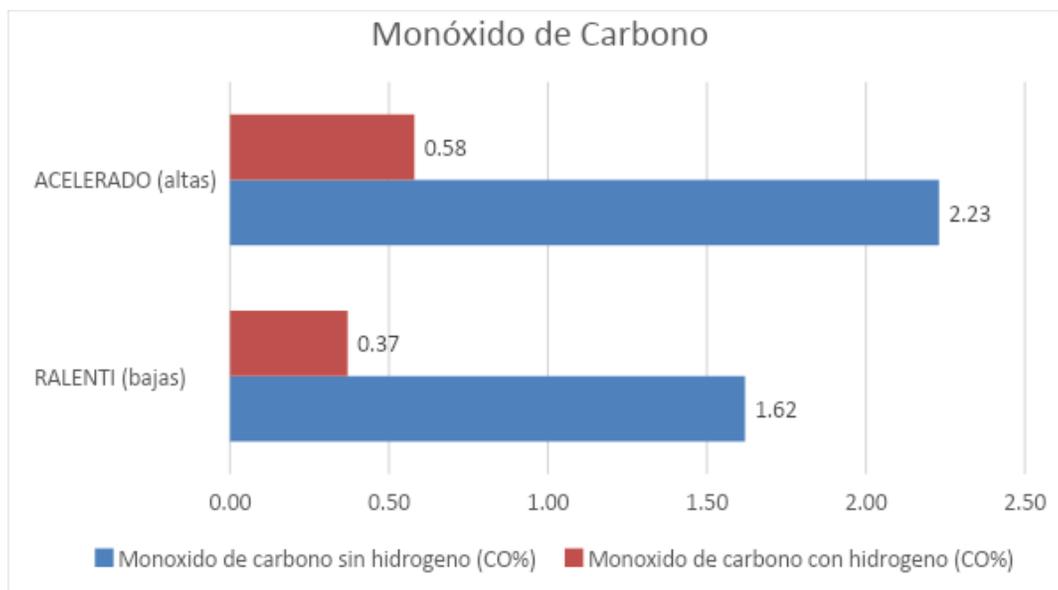
Comparación de emisiones de monóxido de carbono (CO%)

Monóxido de Carbono			
	Sin hidrógeno	Con hidrógeno	Diferencia
Tipo de prueba	(CO%)	(CO%)	(CO%)
Rpm	0 60 km/h		
Ralentí (bajas)	1,62	0,37	-1,25
Acelerado (altas)	2,23	0,58	-1,65
Promedio			-1,45

Nota. En esta tabla se muestra la comparación del CO% sin y con la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 49

Gráfica de comparación de emisiones de monóxido de carbono (CO%)



Nota. En esta figura se muestra la gráfica de comparación del CO% sin y con la instalación del sistema generador de hidrógeno, en ralentí y acelerado.

El monóxido de carbono (CO%) encontrado en la combustión en valores altos, indica que la combustión es incompleta o una mezcla rica, con la instalación del sistema generador de hidrógeno se ha logrado disminuir significativamente la cantidad de CO% provenientes del motor del vehículo utilizado en las pruebas en este proyecto.

En la gráfica de comparación se puede observar que el CO% obtiene una disminución total promedio de 1.45% ya que en mediciones bajas (ralentí) disminuye de 1.62% a 0.37% y en mediciones altas (acelerado) disminuyó de 2.23% a 0.58% obteniendo una mejora en la cámara de combustión del motor.

Hidrocarburos no combustionados

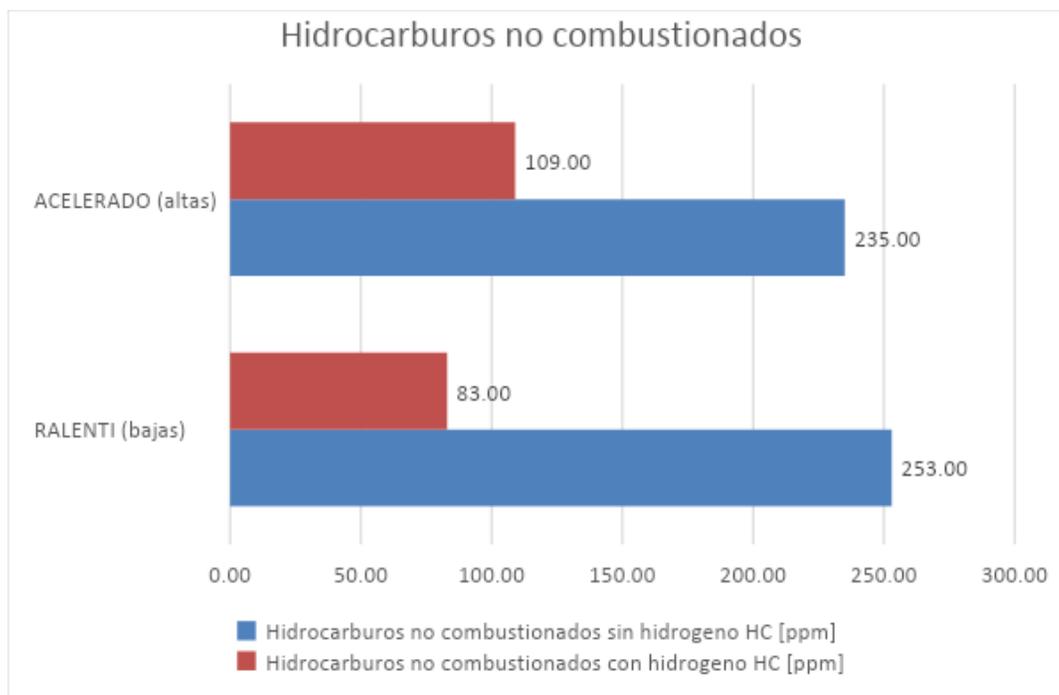
Tabla 12*Comparación de emisiones de hidrocarburos no combustionados (HC)*

Hidrocarburos no Combustionados			
	Sin hidrógeno	Con hidrógeno	Diferencia
Tipo de prueba	HC [ppm]	HC [ppm]	HC [ppm]
Rpm	0 60 km/h		
Ralentí (bajas)	253,00	83,00	-170,00
Acelerado (altas)	235,00	109,00	-126,00
	Promedio		-148,00

Nota. En esta tabla se muestra la comparación de los HC sin y con la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 50

Gráfica de comparación de hidrocarburos no combustionados (HC)



Nota. En esta figura se muestra la gráfica de comparación de los HC sin y con la instalación del sistema generador de hidrógeno, en ralentí y acelerado.

En la gráfica de comparación de HC ya implementado el sistema generador de hidrógeno ha disminuido en una cantidad considerable, total promedio de 148 ppm, ya que en mediciones bajas (ralentí) disminuye de 253ppm a 83ppm y en mediciones altas (acelerado) disminuyó de 235ppm a 109ppm, pero se encuentran dentro de los límites normales de emisiones.

La disminución indica que la combustión y la mezcla de aire, gasolina e hidrógeno son buenas, lo que hace más eficiente el rendimiento del vehículo.

Dióxido de carbono

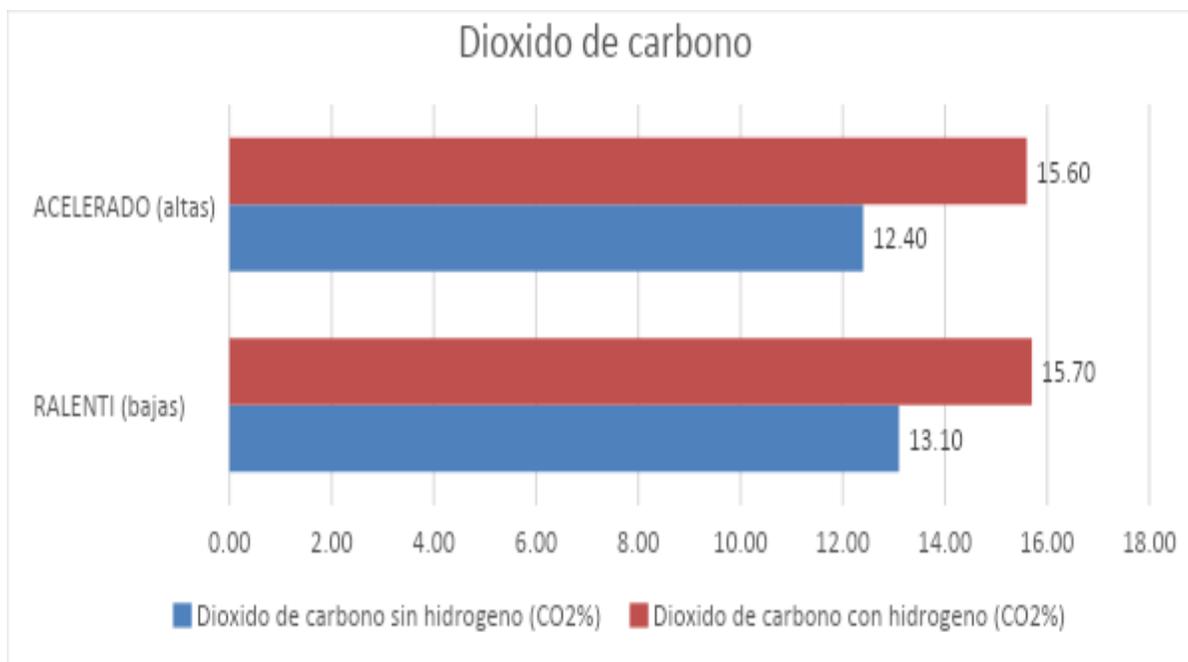
Tabla 13*Comparación de emisiones de dióxido de carbono (CO2%)*

Dióxido de Carbono			
	Sin hidrógeno	Con hidrógeno	Diferencia
Tipo de prueba	(CO2%)	(CO2%)	(CO2%)
Rpm		0 60 km/h	
Ralentí (bajas)	13,10	15,70	2,60
Acelerado (altas)	12,40	15,60	3,20
			2,90
		Promedio	

Nota. Muestra la comparación del CO2% sin y con la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 51

Gráfica de comparación de dióxido de carbono (CO₂%)



Nota. En esta figura se muestra la gráfica de comparación de (CO₂%) sin y con la instalación del sistema generador de hidrógeno, en ralenti y acelerado.

El dióxido de carbono es también el resultado del proceso de combustión, cabe mencionar que no es tóxico a bajos niveles.

El motor funciona correctamente cuando el CO₂% está a su nivel más alto, de las mediciones realizadas este valor porcentual se ubica entre el 1 al 16 %, pero si consideramos el valor promedio de las 4 pruebas realizadas tendríamos como resultado 14,20 % valor que estaría dentro de un rango permitido para que la mezcla sea estequiométrica, ya que el incremento del CO₂% que se obtuvo una vez instalado el sistema generador de hidrógeno es un total promedio de 2.90%.

En el caso de resultados bajos son muestra de un proceso de combustión malo, que representa una mala mezcla o un encendido defectuoso, en la gráfica de comparación se observa

que el porcentaje de CO₂% para las dos pruebas es mayor, pero se mantiene dentro de los límites permisibles de contaminación.

Oxigeno

Tabla 14

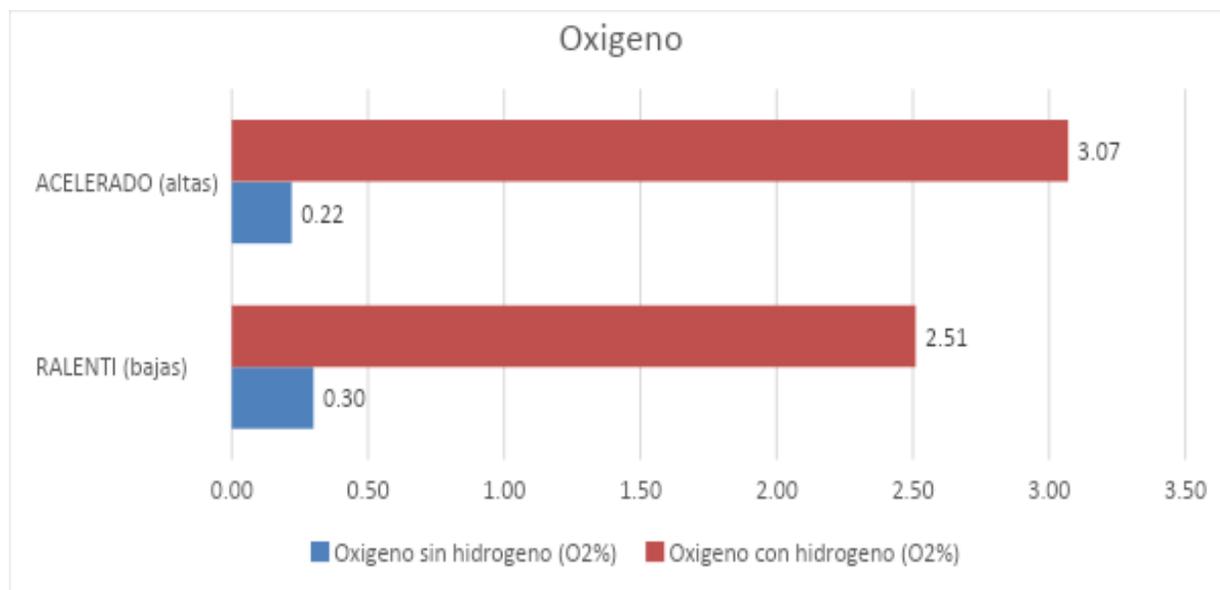
Comparación de emisiones de oxígeno (O₂%)

Oxigeno			
	Sin hidrógeno	Con hidrógeno	Diferencia
Tipo de prueba	(O ₂ %)	(O ₂ %)	(O ₂ %)
RPM		0 60 km/h	
RALENTÍ (bajas)	0,30	2,51	2,21
ACELERADO (altas)	0,22	3,07	2,85
	Promedio		2,53

Nota. En esta tabla se muestra la comparación de O₂% sin y con la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 52

Gráfica de comparación de oxígeno (O₂%)



Nota. En esta figura se muestra la gráfica de comparación de O₂% sin y con la instalación del sistema generador de hidrógeno, en ralentí y acelerado.

Este compuesto es el oxígeno del aire que sobra del proceso de combustión en el vehículo. Un valor de 0% significa que se ha agotado todo el oxígeno, normalmente el oxígeno debe ubicarse debajo del 2 %, sin embargo, en la prueba ralentí se obtiene el 2,51% ya que el vehículo no se encontraba en movimiento y se realizó la prueba con el motor en ralentí.

Se visualiza que en la gráfica de comparación hay un aumento de oxígeno, la razón para que esto suceda es que por causa del dispositivo de hidrógeno el CO₂% aumenta, entonces como estrategia del computador del vehículo cuando detecta una mezcla rica y debe mantenerse estequiométrica por lo que reduce la cantidad de pulsos eléctricos enviados a los inyectores y por lo tanto hay más oxígeno en la combustión.

La cantidad de oxígeno en los gases contaminantes es detectada por la sonda lambda, esta información es enviada al computador del vehículo para aumentar o disminuir los pulsos eléctricos para la apertura de los inyectores de combustible y conseguir una mejor combustión.

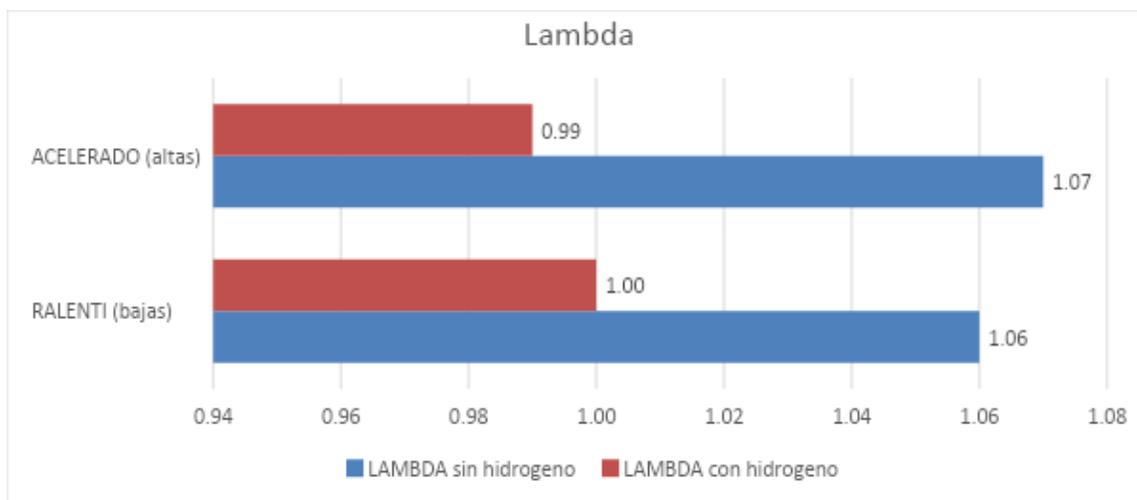
Lambda

Tabla 15

Comparación de emisiones de lambda

Lambda			
Tipo de prueba	Sin hidrógeno	Con hidrógeno	Diferencia
	Lambda	Lambda	Lambda
Rpm		0 60 km/h	
Ralentí (bajas)	1,06	1,00	-0,06
Acelerado (altas)	1,07	0,99	-0,08
	Promedio		-0,07

Nota. Muestra la comparación de lambda sin y con la instalación del sistema generador de hidrógeno.

Figura 53*Gráfica de comparación de lambda*

Nota. En esta figura se muestra la gráfica de comparación de lambda sin y con la instalación del sistema generador de hidrógeno, en ralenti y acelerado.

La sonda lambda muestra el contenido de oxígeno residual de los gases contaminantes y transmite a la unidad de control del motor una señal eléctrica para regular la composición de la mezcla.

En la gráfica de comparación se puede observar la lambda obtiene una disminución total promedio de 0.07 ya que en mediciones bajas (ralenti) disminuye de 1.06 a 1 y en mediciones altas (acelerado) disminuyó de 1.07 a 0.99 obteniendo una mejora en la composición de la mezcla.

En las tablas de comparación de medición de gases contaminantes de monóxido de carbono, hidrocarburos no combustionados, dióxido de carbono, oxígeno y lambda se obtuvo como resultado un promedio total de los porcentajes en cada régimen y estado de carga, en donde se muestra una mejora en la combustión del motor, esto permite que la potencia promedio tenga una mejora con el sistema generador de hidrógeno en funcionamiento.

Medición de las Pruebas de los Gases Contaminantes en Proporciones al 50% y 100% de Hidrógeno

Una vez obtenido los datos de los gases contaminantes con el sistema generador de hidrógeno instalado, se realiza también la medición en proporciones al 50% y al 100% en revoluciones en ralentí y acelerado, cuyos resultados fueron promediados en cada uno de los gases analizados.

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos con la proporción del 50% de la capacidad total de generación de hidrógeno al motor, a las mismas revoluciones de prueba, considerando que para cada medición se debe mantener por lo menos 15 segundos en ese rango para que los valores se estabilicen y sean válidos.

Tabla 16

Datos obtenidos de las pruebas de emisiones de gases contaminantes al 50% de hidrógeno

RPM	Medición	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Lambda
800	RALENTÍ (bajas)	0,37	138,33	14,65	2,54	0
2800	ACELERADO (altas)	0,58	181,67	15,06	3,19	3,19
	Promedio	0,48	160,00	14,86	2,87	1,60

Nota. En esta tabla se muestran los datos obtenidos de las pruebas de gases contaminantes al 50% en ralentí y acelerado.

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos con la proporción del 100% de la capacidad total de generación de hidrógeno al motor, a las mismas revoluciones de prueba, considerando que para cada medición se debe mantener por lo menos 15 segundos en ese rango para que los valores se estabilicen y sean válidos.

Tabla 17

Datos obtenidos de las pruebas de emisiones de gases contaminantes al 100% de hidrógeno

RPM	Medición	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Lambda
800	RALENTÍ (bajas)	0,37	83	15,7	2,51	1
2800	ACELERADO (altas)	0,58	109	15,6	3,07	0,99
	Promedio	0,48	96,00	15,65	2,79	1,00

Nota. En esta tabla se muestran los datos obtenidos de las pruebas de gases contaminantes al 100% de hidrógeno en ralentí y acelerado.

Comparación de Gases Contaminantes Sin Hidrogeno y en Proporciones al 50% y 100% de Hidrógeno

A continuación, se muestra la comparación de los valores por cada gas contaminantes en mediciones ralentí y acelerado

Tabla 18

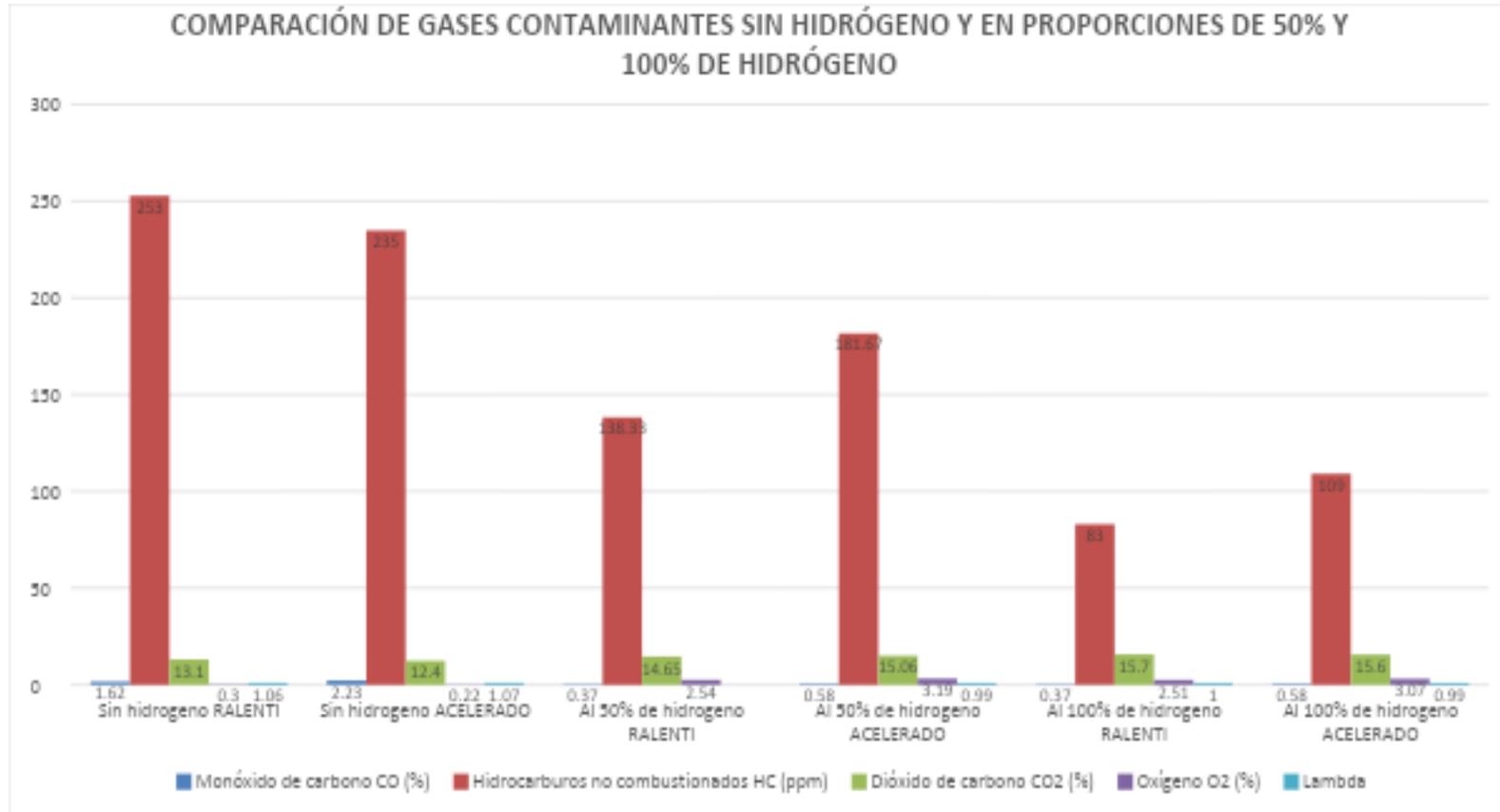
Tabla comparativa de los gases contaminantes sin hidrógeno y en proporciones al 50% y 100% de hidrógeno

Contaminante	Sin hidrógeno		Al 50% de hidrógeno		Al 100% de hidrógeno	
	Ralentí	Acelerado	Ralentí	Acelerado	Ralentí	Acelerado
	(bajas)	(altas)	(bajas)	(altas)	(bajas)	(altas)
	[rpm]	[rpm]	[rpm]	[rpm]	[rpm]	[rpm]
Monóxido de carbono CO (%)	1,62	2,23	0,37	0,58	0,37	0,58
Hidrocarburos no combustionados HC (ppm)	253	235	138,33	181,67	83	109
Dióxido de carbono CO ₂ (%)	13,1	12,4	14,65	15,06	15,7	15,6
Oxígeno O ₂ (%)	0,3	0,22	2,54	3,19	2,51	3,07
Lambda	1,06	1,07	0,0	0,99	1	0,99

Nota. En esta tabla se muestra la comparación de los gases contaminantes sin hidrógeno y en proporciones al 50% y 100% de hidrógeno en ralentí y acelerado.

Figura 54

Gráfica comparativa de los gases contaminantes sin hidrógeno y en proporciones al 50% y 100% de hidrógeno



Nota. En esta figura se muestra el gráfico comparativo de los gases contaminantes sin hidrógeno y en proporciones al 50% y 100% de hidrógeno en ralentí y acelerado.

Análisis de los datos obtenidos del monóxido de carbono (CO%)

En el gráfico comparativo del CO% se muestra que la medición sin hidrógeno es de 1.62 rpm en ralentí y 2.23 rpm en acelerado y en las mediciones al 50% y 100% de hidrógeno en revoluciones ralentí (bajas) disminuye a 0.37 y en acelerado (altas) a 0.58 con estos resultados se muestra la misma disminución de monóxido de carbono tanto al 50% como al 100% de hidrógeno.

Análisis de los datos obtenidos de hidrocarburos no combustionados (HC ppm)

En el gráfico comparativo del HC ppm se muestra que la medición sin hidrógeno es de 253 rpm en ralentí y 235 rpm en acelerado, en las mediciones al 50% es 138.33 rpm en ralentí y 181.67 rpm en acelerado y las mediciones al 100% de hidrógeno disminuye a 83 rpm en ralentí y en acelerado a 109 rpm, con estos resultados se muestra que la disminución los hidrocarburos no combustionados es favorable al 100%.

Análisis de los datos obtenidos de dióxido de carbono (CO₂%)

En el gráfico comparativo del CO₂% se muestra que la medición sin hidrógeno es de 13.10 rpm en ralentí y 12.4 rpm en acelerado, en las mediciones al 50% es 14.65 rpm en ralentí y 15.06 rpm en acelerado y las mediciones al 100% de hidrógeno incrementa a 15.70 rpm en ralentí y en acelerado a 15.6 rpm, con estos resultados se muestra que el incremento de dióxido de carbono es favorable al 100%.

Análisis de los datos obtenidos de oxígeno (O₂%)

En el gráfico comparativo del O₂% se muestra que la medición sin hidrógeno es de 0.3 rpm en ralentí y 0.22 rpm en acelerado, en las mediciones al 50% es 2.54 rpm en ralentí y 3.19 rpm en acelerado y las mediciones al 100% de hidrógeno incrementa a 2.51 rpm en ralentí y en

acelerado a 3.07 rpm, con estos resultados se muestra que el incremento de oxígeno es favorable al 50%.

Análisis de los datos obtenidos de lambda

En el gráfico comparativo de la lambda se muestra que la medición sin hidrógeno es de 1.06 rpm en ralentí y 1.07 rpm en acelerado, en las mediciones al 50% es 0.0 rpm en ralentí y 0.99 rpm en acelerado y las mediciones al 100% de hidrógeno disminuye a 1 rpm en ralentí y en acelerado a 0.99 rpm, con estos resultados se muestra que la disminución de lambda es favorable al 100%.

Mantenimiento del Sistema Generador de Hidrógeno

Para el buen funcionamiento del sistema generador de hidrógeno en el motor se debe realizar el mantenimiento. Una vez instalado todo correctamente, se tienen los beneficios del uso de hidrógeno en el motor. No se debe olvidar dar mantenimiento al sistema de hidrógeno.

Tabla 19

Plan de mantenimiento del sistema generador de hidrógeno

Actividad	Frecuencia en kilómetros (km)									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Comprobar el nivel del electrolito con cierta frecuencia y de ser necesario completar con agua, el agua se agrega con el motor y el generador apagado			X			X			X	
Actividad	Frecuencia en kilómetros (km)									

	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Llenar el depósito con electrolito y controlar que se encuentre a la mitad del depósito para que trabaje al máximo en frío lo cual hará mejor calidad al hidrógeno		X		X		X		X		X
Realizar comprobaciones periódicamente que no haya fugas en mangueras, depósitos, filtros y hacer una inspección minuciosa de tornillos, platinas y abrazaderas para ajustar			X			X			X	
Revisar de forma periódica el sistema eléctrico, cables, relé y generador para verificar que todo esté en perfecto estado			X			X			X	
Una vez realizada la limpieza del sistema de hidrógeno se procede a llenar nuevamente hasta la mitad el depósito con electrolito y se inicia su funcionamiento					X					X

Nota. En esta tabla se observa el plan de mantenimiento que se debe aplicar al generador de hidrógeno por kilometraje.

Conclusiones

La instalación del sistema generador de hidrógeno en el vehículo aveo family fue realizado exitosamente, con el uso de herramientas adecuadas y adquiriendo una significativa disminución de gases contaminantes hacia el medio ambiente.

La aplicación del sistema generador de hidrógeno se realizó de forma eficiente y sin dificultad alguna, lo que permitió realizar el análisis de gases de forma correcta, ya que los materiales que se utilizaron fueron estudiados previo a ser adquiridos.

Los materiales que se utilizaron en la instalación del sistema generador de hidrógeno son económicos y accesibles, por lo que no generan un gasto muy alto.

El tipo de generador utilizado en el vehículo a gasolina es la pila de hidrógeno que produce 1 litro por minuto y un regulador de amperaje para regular la producción de hidrógeno que permita incrementar la eficiencia del motor.

El monóxido de carbono (CO) obtenido una vez implementado el sistema generador de hidrógeno disminuye en un promedio de 1.45 %, este resultado ayuda a mejorar el medio ambiente.

Los hidrocarburos no combustionados HC (ppm), son sustancias tóxicas, con la instalación del sistema generador de hidrógeno se han reducido a un promedio de 148 partes por millón esto indica una disminución significativa.

El dióxido de carbono tiene un incremento en promedio de 2.90 % lo que indica una buena combustión, a pesar de la variación que existe en las dos pruebas la mezcla sigue siendo estequiométrica; quiere decir, que la relación aire/combustible se mantiene dentro de los parámetros normales para un mejor rendimiento, o sea que por 1 kilogramo de combustible hay 12,3 kilogramos de aire, entonces la relación sería de 14.20 a 1.

El oxígeno (O₂) generado tienen un incremento en promedio de 2.53%, esto se genera una vez que se instala el sistema generador de hidrógeno, es decir aumenta el oxígeno y permite una completa combustión.

Recomendaciones

Una vez ya en funcionamiento el sistema generador de hidrógeno se recomienda mantener el uso del hidrógeno como combustible auxiliar no contaminante y a su vez se debe realizar el mantenimiento del sistema generador de hidrógeno de forma regular.

Cuando se realice la instalación del sistema eléctrico se debe evitar dejar cables sueltos y cubrirlos con manguera aislante.

Se recomienda que el sistema generador de hidrógeno esté instalado en una zona ventilada y alejada de material inflamable.

Una recomendación importante es realizar de forma periódica la revisión de cañerías y tuberías para evitar fugas de hidrógeno.

Tomando como base el recorrido del auto se debe revisar la carga de electrolitos en el depósito cada 300 kilómetros, para evitar que el depósito quede vacío.

Se recomienda realizar el cambio de aceite según el tiempo que indique el fabricante ya que el uso del sistema generador de hidrógeno hace que la cámara de combustión incrementa la explosión por la mezcla de combustible con hidrógeno, lo que genera un mayor desgaste de las piezas móviles; pistón, biela, bulón y cigüeñal.

Implementar prácticas para el manejo y manipulación del sistema generador de hidrógeno como un mecanismo del motor de combustión interna.

Referencias

- Acosta, S. (2019). *Diseño De Un Generador De Hidrogeno Para Mejorar El Rendimiento De Un Motor De Combustión Interna De 1468 Cc - Promae Ves - Lima*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]: Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur
<http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/454>
- Baltazar, P. (2020). *Diseño de un generador de hidrógeno para optimizar la combustión de un motor Volkswagen 1.5 L en la ciudad de Huancayo*. [Tesis de grado, Universidad Continental]: Repositorio Institucional de la Universidad Continental
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8444>
- Borja, D. y Jara, J. (2017). *Investigación del comportamiento mecánico y térmico del motor diésel al implementar un sistema generador de hidrógeno para optimizar el proceso de combustión*. [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas]
[file:///C:/Users/User/Downloads/T-ESPEL-MAI-0590%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/T-ESPEL-MAI-0590%20(1).pdf)
- Cabanillas, J. (2022). *Implementación de un generador de hidrógeno de celda seca al motor de un automóvil a gasolina para mejorar la performance energética ambiental*. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú]: Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica del Perú
<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6575>
- Caiza, L. (2015). *Instalación De Un Generador De Hidrógeno En Un Motor De Combustión Interna Para Reducir La Contaminación*. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Equinoccial]: Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica Equinoccial
<https://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/14045>

CanalMOTOR. (29 de noviembre de 2022). *Gases de escape: todo lo que debes saber*. Motor Blogs Mapfre.

[https://www.motor.mapfre.es/coches/noticias-coches/lo-que-debes-saber-sobre-los-gases-del-tubo-de-escape/#:~:text=Gases%20de%20escape%3A%20los%20residuos%20de%20la%20combusti%C3%B3n&text=Di%C3%B3xido%20de%20carbono%20\(CO2\),Nitr%C3%B3geno](https://www.motor.mapfre.es/coches/noticias-coches/lo-que-debes-saber-sobre-los-gases-del-tubo-de-escape/#:~:text=Gases%20de%20escape%3A%20los%20residuos%20de%20la%20combusti%C3%B3n&text=Di%C3%B3xido%20de%20carbono%20(CO2),Nitr%C3%B3geno)

Ciquime, (2014). *Propiedades físicas y químicas*. Diseño y construcción de un analizador de electrolitos en bebidas hidratantes y fluidos corporales.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17137/1/2014AJIEE-18.pdf>

Conserva tu coche, (s.f). *Filtro Combustible del Motor, Qué es yCuál es su función*.

<https://www.conservatucoche.com/es/motor/que-es-el-filtro-combustible-29.html>

Córdova, E. (2013). *Estudio de un motor de combustión interna para determinar sus parámetros de funcionamiento y su factibilidad de aplicación en los laboratorios de la facultad de ingeniería civil y mecánica*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]:

Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/4338/1/Tesis%20I.%20M.%20170%20-%20C%C3%B3rdova%20Morales%20Edison%20Iv%C3%A1n.pdf>

Doc Player, (2016). *Composición de los gases. Curva típica, emisión gases en función de Lambda para un motor genérico antes del Catalizador*.

<https://docplayer.es/873367-Composicion-de-los-gases-curva-tipica-emision-gases-en-funcion-de-lambda-para-un-motor-generico-antes-del-catalizador.html>

Duque, E., y Masaquiza, J. (2013). *Implementación de un generador e inyector de hidrógeno en un motor de vehículo Mazda bt-50 2.2l, para reducir emisiones de gases contaminantes.*

[Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riobamba]

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2608/1/65T00067.pdf>

Gerschler, y Hellmut, G. T. (1985). *Tecnología del Automóvil*. Tomo 2. Alemania: 20va Edición.

Hello Auto. (s.f), (2022). *Motor de cuatro tiempos*. En Glosario Hello Auto: Recuperado el 20 de noviembre, 2022, de <https://helloauto.com/glosario/motor-de-cuatro-tiempos>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2003). *Capítulo 3: Metodología de la Investigación.*

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lad/blanco_s_nl/capitulo3.pdf

Holgado, H. (24 de marzo de 2012). *Estudio, diseño y construcción de un generador de hidrógeno por electrólisis*. [Trabajo final de carrera, Universidad Politécnica de Catalunya]

<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/15994>

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2204, (2017). *Gestión ambiental, aire, vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina.*

file:///C:/Users/User/OneDrive/Escritorio/nte_inen_2204-2%20NORMAS%20INEN.pdf

Organización Panamericana de la Salud, (2016). *Calidad del aire. Impactos de contaminación del aire en la salud en 2016.*

<https://www.paho.org/es/temas/calidad->

[aire#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20a%20altos%20niveles,vulnerable%2C%20ni%C3%B1os%20adultos%20mayores%20y](https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20a%20altos%20niveles,vulnerable%2C%20ni%C3%B1os%20adultos%20mayores%20y)

Library, (2018). *Análisis de gases combustión. Estudio de los gases contaminantes modificando la relación de compresión en un vehículo (P. 72-76).*

<https://1library.co/article/an%C3%A1lisis-de-gases-combusti%C3%B3n-relaci%C3%B3n-lambda.yd7g1egy>

Maldonado, K. y Encalada, A. (2021). *Estudio de los elementos internos de un motor ciclo otto y caja de velocidad manual del tren motriz mediante el uso de un boroscopio como herramienta de diagnóstico.* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]: Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

<http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/15464/1/65T00382.pdf>

Miranda, K. (2020). *Análisis de pérdidas energéticas en un motor de combustión interna a gasolina (mech) de 1600 **cm³** en un vehículo de uso particular para determinar su rendimiento térmico.* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]: Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31427/1/Tesis%20I.%20M.%20599%20-%20Miranda%20Pilatu%C3%B1a%20Kevin%20Alexander.pdf>

Monje, C. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica.*

[Programa de comunicación social, Universidad Surcolombiana]

<https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>

- Moreno, A. (2007). *Implementación y análisis sistema de alimentación de hidrógeno para un motor de combustión interna*. [Tesis de grado, Universidad de los Andes]: Repositorio Institucional de la Universidad de los Andes
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/25833/u281773.pdf?sequence=1>
- Ochoa, R., y Pullay, P. (2012). *Estudio Del Comportamiento De Los Motores Ciclo Otto Con El Uso Del Hidrógeno Como Combustible De Aporte*. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]: Repositorio Institucional de la Escuela Politécnica Nacional
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7709>
- Ortiz, D., y Pardo, M. (2019). *Evaluación Del Rendimiento De Un Motor De Cuatro Tiempos, Usando Hidrógeno Como Combustible*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí]: Repositorio institucional de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí
<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1005/1/TTMA51.pdf>
- Paredes, D. (2016). *Diseño, construcción y pruebas de una celda de hidrógeno para el vehículo Honda Civic 1977, como alternativa de energía renovable*. [Tesis de grado, Universidad Internacional del Ecuador]: Repositorio Institucional de la Universidad Internacional del Ecuador
<file:///C:/Users/User/OneDrive/Escritorio/TESIS/T-UIDE-1142%2022%20mayo%2023.pdf>
- Quezada, E., y Torres, D. (diciembre de 2014). *Depósito de electrolito y Burbujeador. Implementación de un generador de hidrógeno de celda seca en un vehículo chevrolet steem 1.6L, (p.31)*. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Salesiana de Cuenca]:

Repositorio Institucional de la Escuela Politécnica Salesiana de Cuenca

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7354/1/UPS-CT004305.pdf>

Sánchez, L. y Zúñiga, A. (2018). *Análisis de la contaminación de gases de vehículos tipo I1 y I3 mediante el muestreo de emisiones para la determinación de niveles de contaminación en la ciudad de Loja*. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Salesiana de Cuenca]: Repositorio Institucional de la Escuela Politécnica Salesiana de Cuenca

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15315/4/UPS-CT007535.pdf>

Schwarz, Z. y. (07 de enero de 2020). *¿Qué es el hidrógeno?* <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-es-el-hidrogeno-5-cosas-que-no-sabias-de-este-elemento-quimico/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20fue%20descubierto%20por,de%20que%20existiera%20el%20fuego.>

Suarez, W. (2018). *Generador de hidrógeno como reductor de gases, contaminantes para los motores Kia, en el 3ero de bachillerato del institución educativo particular “LATINOAMERICANO” en el sector de Lumbisi, año lectivo 2017-2018*. [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17319/1/T-UCE-0010-FIL-234.pdf>

Telenchana, E. (2018). *Depósito de Electrolito. Diseño y construcción de un reactor de obtener hidrógeno para utilizarlo como combustible en un motor de combustión interna Suzuki de 75cm³, (p.42)*. [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas de Latacunga]:

Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas de Latacunga

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14155/1/T-ESPEL-MAI-0629.pdf>

Ujeda, A. (2014). *Características* (También conocido como soda cáustica o sosa). (p. s/n).

Vargas, G. (mayo de 2010). *Relé*. *GonzoElectronics*. Citar y describir algunos de los componentes básicos de la Electrónica

<http://gonzoelectronics.blogspot.com/2010/05/>

Anexos

Anexo 1

Auto aveo family sin conectar el sistema de hidrógeno



Nota. En esta figura se observa el vehículo aveo family sin la instalación del generador de hidrógeno.

Anexo 2

Limpieza del cuerpo de aceleración antes de conectar el sistema de hidrógeno



Nota. En esta figura se observa el cuerpo de aceleración antes de la instalación del sistema de hidrógeno.

Anexo 3

Limpieza de inyectores antes de la implementación del sistema de hidrógeno



Nota. En esta figura se observan los inyectores limpios antes de la instalación del generador de hidrógeno.

Anexo 4

Cambio de bujías antes de la implementación del sistema hidrógeno



Nota. En esta figura se muestran las bujías antiguas extraídas antes de la instalación del generador de hidrógeno.

Anexo 5

Cambio de líquidos antes de la implementación del sistema de hidrógeno

- *Refrigerante*
- *Líquido de frenos*
- *Hidráulico*



Nota. En esta figura se observa el cambio de líquidos en el auto antes de la instalación del generador de hidrógeno.

Anexo 6

Auto aveo family ya implementado el sistema generador de hidrógeno



Nota. En esta figura se aprecia el sistema generador de hidrógeno instalado en el auto aveo family.

Anexo 7*Conexiones de los componentes del sistema generador de hidrógeno*

Nota. En esta figura se muestra la instalación de los componentes del sistema generador de hidrógeno.

Anexo 8

Herramienta boroscopio



Nota. En esta figura se muestra la herramienta boroscopio utilizada en el proceso de instalación del sistema generador de hidrógeno.

Anexo 9

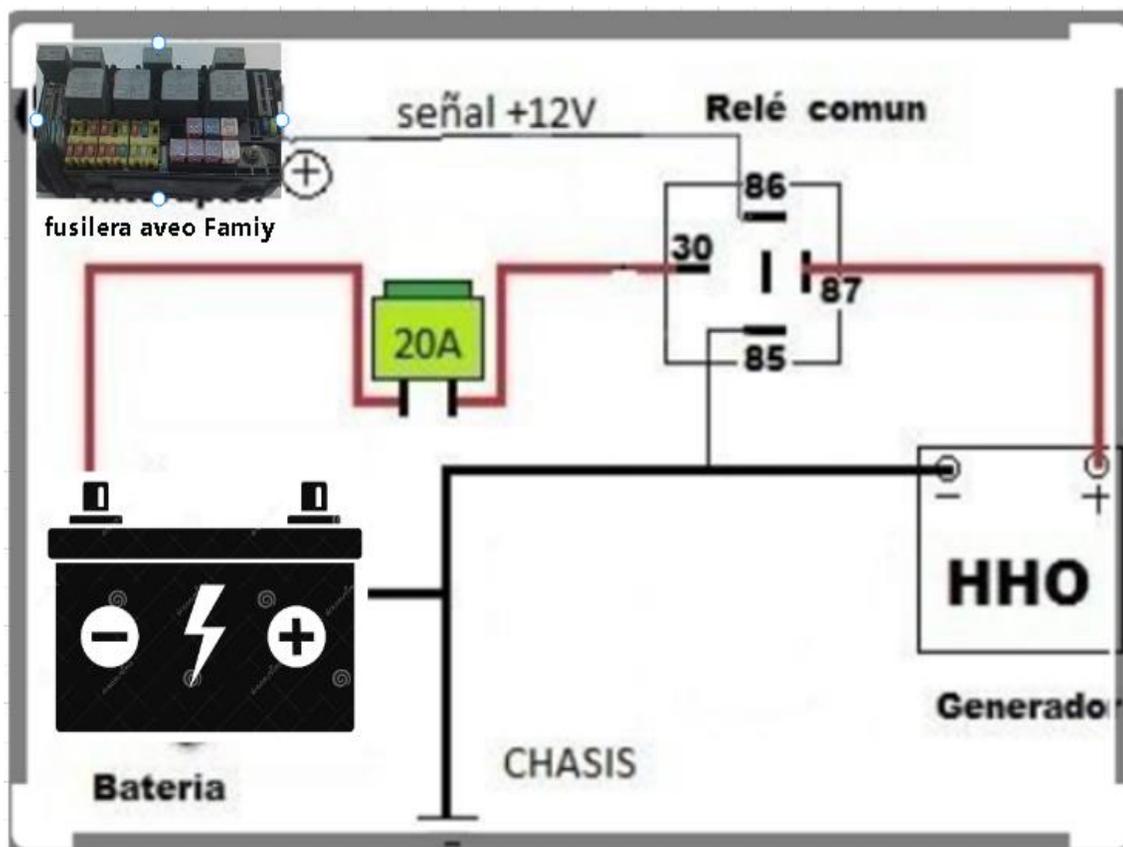
Sistema de generador de hidrógeno en funcionamiento



Nota. En esta figura se observa el sistema generador de hidrógeno en funcionamiento en el auto aveo family.

Anexo 10*Reloj amperímetro*

Nota. En esta figura se observa el reloj amperímetro que mide en que amperaje está trabajando el sistema generador de hidrógeno.

Anexo 11*Sistema eléctrico del generador de hidrógeno*

Nota. En esta figura se observa el sistema eléctrico una vez instalado el sistema generador de hidrógeno.

Anexo 12

Realizando la prueba de gases en el auto



Nota. En esta figura se muestra que se está realizando la prueba de gases en el auto aveo family.

Anexo 13

Datos de medición del análisis de gases sin hidrógeno

Test de emisión

 número de serie:11211

Resultado	Medici. 1	Medici. 2
Hora	13:46:57	13:47:26
CO % vol.	2.23	1.62
CO2 % vol.	12.4	13.1
HC ppm vol.	235	253
O2 % vol.	3.07	2.51
LAMBDA	1.07	1.06
COcorr.%vol.	2.29	1.65
RPM(V/min)	0	0
Temp. °C	---	---

Nota. En esta figura se muestran los datos obtenidos con la máquina analizadora de gases.

Anexo 14

Datos de medición del análisis de gases con hidrógeno

Test de emisión

 número de serie:11211

Resultado	Medici. 1	Medici. 2
Hora	15:41:31	15:41:39
CO % vol.	0.58	0.37
CO2 % vol.	15.6	15.7
HC ppm vol.	109	83
O2 % vol.	0.22	0.30
LAMBDA	0.99	1.00
COcorr.%vol.	0.58	0.37
RPM(V/min)	0	0
Temp. °C	---	---

Nota. En esta figura se muestran los datos obtenidos con la máquina analizadora de gases.