



INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Proyecto previo a la Obtención del Título de Ingeniero en
Mecánica Automotriz**

Autores: Luis Carlos Galvan Correa

Ricky Ismael Vega Quinde

Tutor: Ing. Darwin Chele Sancan

**Implementación de un Sistema Generador de Hidrógeno como
Alternativa de Combustible para un Vehículo Ford 100**

Certificado de Autoría

Yo, Luis Carlos Galvan Correa, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la universidad Internacional del Ecuador, para que sea público y divulgado en internet, según lo establecido en la ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Luis Carlos Galvan Correa

CI: 1105593063

Certificado de Autoría

Yo, Ricky Ismael Vega Quinde, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la universidad Internacional del Ecuador, para que sea público y divulgado en internet, según lo establecido en la ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Ricky Ismael Vega Quinde

CI: 0942766742

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a:

A Dios por brindarme salud y sabiduría en todo este transcurso de mi vida, y darme una hermosa familia.

A mis padres por haberme compartido valores y han sido mi pilar fundamental para seguir adelante.

Luis Carlos Galvan Correa

Agradecimiento

Este agradecimiento va dirigido a:

Quiero empezar agradeciendo a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome salud y sabiduría para culminar con éxito las metas que hasta ahora me he propuesto.

A mis padres y familia, por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron durante mi preparación académica

Agradezco de manera especial a mi director de tesis Ingeniero Darwin Chele quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en el desarrollo de la investigación.

Agradezco a todos los docentes que, con su sabiduría, intelecto y apoyo, impulsaron a mi desarrollo como persona y profesional en la Universidad Internacional del Ecuador.

Luis Carlos Galvan Correa.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado:

A Dios por brindarme salud y ser mi guía en el transcurso de mi vida, y por haberme
permitido tener la hermosa familia que poseo.

A mis abuelos y a mi madre los cuales me han dado el apoyo y las ganas de cumplir esta meta
en mi vida.

Ricky Ismael Vega Quinde

Agradecimiento

Este agradecimiento va dirigido a:

En primer lugar, a Dios por brindarme salud, vida y sabiduría para seguir adelante y concluir
una meta más en mi vida.

A mi familia que me ha ido acompañando en el transcurso de mi vida y me han aportado
valores y cosas positivas para mejorar como persona.

A mis abuelos quienes con sus esfuerzos y sacrificios me han dado la voluntad de seguir y ser
un hombre de bien.

A mi madre por su amor incondicional y la atención que nos ha ofrecido a mí y a mis
hermanos a lo largo de nuestra vida.

A mis hermanos por darme la oportunidad de ser un ejemplo y pilar para el transcurso de su
vida.

A mis tíos que además de las adversidades siempre me han estado dando ánimos para cumplir
mis objetivos.

A mi tutor quien gracias a su paciencia y dedicación me ayudo a lograr este paso más en mi
vida profesional.

A mis docentes quienes desde el comienzo nos compartieron ideas y experiencias que me
sirvieron de mucha ayuda para cumplir esta gran meta académica.

Ricky Ismael vega Quinde.

Resumen

El hidrógeno es el elemento químico más abundante en el universo, se ha convertido en un actor clave en la búsqueda de fuentes de energía sostenible. Su versatilidad como combustible limpio y su capacidad para ser producido a partir de diversas fuentes lo convierten en una alternativa prometedora. El objetivo de este proyecto fue la implementación de un sistema generador de hidrógeno como alternativa de combustible para un vehículo Ford 100 que se realizó en la ciudad de Guayaquil sede UIDE. Para llevar a cabo este estudio se empleó la normativa NTE INEN ISO 22734, que establece las especificaciones y componentes necesarios para la instalación de estos sistemas, junto con la normativa IEC 62540, que explica el proceso químico de electrólisis que ocurre al activar el generador. Mediante el uso de un dinamómetro, se evaluó la potencia y el torque del motor haciendo una comparación con la gasolina. Durante las pruebas, se observó que, al utilizar hidrógeno como combustible, el motor alcanzó una potencia de 83.8 HP y un torque de 185.6 ft/lbs, por lo que representa un incremento significativo en comparación con la prueba realizada con gasolina, donde se obtuvo una potencia de 41.1 HP y un torque de 119.0 ft/lbs. Los resultados obtenidos indican que el sistema generador de hidrógeno aporta mejoras notables en el rendimiento del motor del vehículo. Se observó una capacidad de aceleración mejorada, un mayor rendimiento y una mayor capacidad de carga. En conclusión, la implementación de este sistema ofrece prestaciones superiores al motor, lo que demuestra el potencial del hidrógeno como alternativa de combustible.

Palabras Clave: Implementación, hidrógeno, electrólisis, potencia, torque.

Abstract

Hydrogen is the most abundant chemical element in our universe, it has become in a key for the search of sustainable energy sources. Its versatility as clean fuel and its capacity to be produced by different sources make it in a promising alternative. The objective of this project was the implementation of a Hydrogen generator system as an alternative of fuel for a Ford 100 vehicle which was done on Guayaquil city, Uide's campus. To carry out this research NTE INEN ISO 22734 normative was implemented, which stablish the specifications and necessary components for the correct setting of these systems, with IEC 62540 normative, which explains the chemical process of electrolysis when the generator is on. Through the use of a dynamometer, the power and torque of the engine were evaluated making a comparison with gasoline. During the tests, we realize that hydrogen as fuel, the engine reaches a power of 83.3 HP and 185.6 ft/lbs. of torque, showing a significant increase in comparison with gasoline as fuel where the results obtained were 41.1 HP of power and 119.0 ft/lbs. of torque. The acquired results suggest that the Hydrogen generator system give remarkable improvements on the engine performance. It was observed of a better acceleration, more efficiency and higher charge capacity. In conclusion, the implementation of this system offers improvements to the engine, proving the potential of hydrogen as an alternative for fuel.

Keywords: Implementation, Hydrogen, electrolysis, power, torque

Índice de Contenido

Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Dedicatoria	vii
Agradecimiento	viii
Resumen	ix
Abstract	x
Introducción	xv
Capítulo I.....	1
Antecedentes	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Formulación del Problema.....	2
1.3 Sistematización del Problema.....	2
1.4 Ubicación del Problema.....	3
1.5 Delimitación del Contenido	3
1.6 Justificación e Importancia de la Investigación.....	3
1.7 Objetivo General.....	4
1.8 Objetivos Específicos	4
1.9 Alcance	4
Capitulo II	5
Marco Teórico.....	5
2.1 Contaminación del Aire por Vehículos	5
2.2 Gases Contaminantes.....	5
2.3 Norma INEN 2204:2002 Límites Permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Móviles Terrestres de Gasolina	7

2.4	Alternativas de Combustible.....	7
2.4.1	<i>Carbón Líquido</i>	7
2.4.2	<i>Pilas de Combustible</i>	8
2.4.3	<i>Vehículos Híbridos</i>	9
2.4.4	<i>Vehículos Electrónicos</i>	10
2.5	Hidrógeno como Alternativa de Combustible	11
2.5.1	<i>¿Qué es el Hidrógeno?</i>	11
2.5.2	<i>¿Por qué el Hidrógeno?</i>	11
2.5.3	<i>Hidrógeno como Combustible</i>	11
2.5.4	<i>Obtención del Hidrógeno</i>	12
2.5.5	<i>Electrólisis del Agua</i>	13
2.5.6	<i>Descomposición de Gas Natural por Arco de Plasma</i>	14
2.5.7	<i>Termólisis</i>	15
2.5.8	<i>Número de Octano</i>	15
2.5.9	<i>Compuestos Principales del Hidrógeno</i>	16
2.5.10	<i>Propiedades Físicas y sus Características del Hidrógeno</i>	16
2.6	Funcionamiento del Sistema Generador de Hidrógeno	17
2.7	Sistema Eléctrico	18
2.8	Norma NTE INEN ISO 22734 Generadores de Hidrógeno Utilizando el Proceso de la Electrólisis del Agua	18
2.8.1	<i>Implementación</i>	18
2.8.2	<i>Mantenimiento</i>	19
2.9	Normativa IEC 62540 Tecnología de Electrólisis de Agua.....	20
2.10	Tipos de Generadores de Hidrógeno	21
2.10.1	<i>Sistema Generador de Hidrógeno (Celdas Húmedas)</i>	21

2.10.2	<i>Sistema Generador de Hidrógeno (Celdas Secas)</i>	22
2.11	Dinamómetro	23
2.12	Tipos de Dinamómetros.....	23
2.12.1	<i>Dinamómetro de Chasis</i>	23
2.12.2	<i>Dinamómetro de Motor</i>	24
2.13	<i>Dinamómetro a Utilizar</i>	24
Capítulo III.....		26
Selección e Implementación de un Sistema Generador de Hidrogenó en un Vehículo Ford		
F100		26
3.1	Métodos	26
3.2	Tipo de Estudio.....	26
3.2.1	<i>Investigación de Campo</i>	26
3.2.2	<i>Investigación Exploratoria</i>	26
3.2.3	<i>Instrumentos de Investigación</i>	27
3.3	Selección del Sistema Generador de Hidrógeno	27
3.3.1	<i>Generador de Hidrógeno de Celdas Secas</i>	27
3.3.2	<i>Generador de Hidrógeno de Celdas Húmedas</i>	30
3.3.3	<i>¿Por qué este Sistema?</i>	31
3.4	Vehículo al que se le va a Implementar el Sistema	32
3.5	Implementación del Sistema Generador de Hidrógeno	33
3.5.1	<i>Montaje</i>	33
Capítulo IV.....		39
Análisis de Resultados		39
4.1	Protocolo.....	39
4.2	Normas de Seguridad del Dinamómetro.....	39

4.3	Procesos	40
4.4	Datos Obtenidos.....	42
4.4.1	<i>Prueba 1</i>	42
4.4.2	<i>Prueba 2</i>	43
4.5	Análisis de Resultados.....	44
	Conclusiones	45
	Recomendaciones.....	46
	Bibliografía	47

Índice de Figuras

Figura 1	<i>Ubicación Universidad Internacional del Ecuador</i>	3
Figura 2	<i>Componentes de Gases de Escape</i>	6
Figura 3	<i>Representación de la Electrolisis del Agua</i>	14
Figura 4	<i>Sistema Generador de Hidrógeno Mantenimiento</i>	20
Figura 5	<i>Tipos de Generadores de Hidrógeno</i>	21
Figura 6	<i>Celda Húmedas</i>	22
Figura 7	<i>Sistema de Hidrógeno de Celdas Secas</i>	22
Figura 8	<i>Bancada del Dinamómetro de Chasis</i>	24
Figura 9	<i>Dinamómetro de Motores</i>	24
Figura 10	<i>Celdas Ensambladas</i>	27
Figura 11	<i>Deposito del Sistema con Celdas Húmedas</i>	29
Figura 12	<i>Mangueras para la Circulación del Hidrógeno</i>	29
Figura 13	<i>Regulador de Potencia</i>	30
Figura 14	<i>Deposito con Placas Sumergidas</i>	31
Figura 15	<i>Diseño de las Celdas Secas para el Sistema Generador de Hidrógeno</i>	32
Figura 16	<i>Vehículo Ford F-100</i>	32
Figura 17	<i>Estado del Vehículo Ford F-100</i>	33
Figura 18	<i>Ubicación del Sistema de Hidrógeno</i>	34
Figura 19	<i>Posición del Sistema de Hidrógeno 1</i>	34
Figura 20	<i>Posición del sistema de Hidrógeno 2</i>	35
Figura 21	<i>Posición del sistema de Hidrógeno 3</i>	35
Figura 22	<i>Conexión del Regulador de Potencia</i>	36
Figura 23	<i>Alimentación para los Sistemas</i>	36
Figura 24	<i>Punto de Llenado para los Sistemas</i>	37

Figura 25	<i>Forma de Llenado para los Sistemas</i>	37
Figura 26	<i>Carburador Punto de Vacío</i>	38
Figura 27	<i>Preparación del Vehículo en el Dinamómetro</i>	40
Figura 28	<i>Colocación del Correas de Seguridad al Vehículo</i>	40
Figura 29	<i>Calibración de la Consola del Dinamómetro</i>	41
Figura 30	<i>Ubicación del Sensor Infrarrojo para Medir los rpm del Motor</i>	41
Figura 31	<i>Grafica de Torque y Potencia de la Prueba 1 Haciendo Uso de Gasolina</i>	42
Figura 32	<i>Grafica de Torque y Potencia de la Prueba 2 con el Sistema de Hidrógeno</i> <i>Activado</i>	43

Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Límites Máximos de Emisiones Permitidos para Motores CI</i>	7
Tabla 2	<i>Grado de Octanaje de Diferentes Combustibles</i>	16
Tabla 3	<i>Propiedades Físicas del Hidrógeno</i>	17
Tabla 4	<i>Especificaciones del Dinamómetro</i>	25

Introducción

La evolución constante de las tecnologías relacionadas con los vehículos se enfoca en mejorar su diseño, seguridad y la eficiencia de los motores de combustión interna (MCI). El objetivo principal de estos avances es lograr un mayor rendimiento y potencia sin aumentar el consumo de combustibles fósiles.

Los generadores de Hidrogeno (H) mediante electrólisis han ganado popularidad debido a su capacidad para producir energía limpia e innovadora. Esta técnica química permite separar el H y el oxígeno del agua (O), ofreciendo así una fuente de combustible renovable para vehículos y maquinarias pesadas, representando una alternativa viable y eficiente para la movilidad sostenible.

En esta investigación, se ha identificado la necesidad de evaluar el potencial de los generadores de H por electrolisis. Se expondrán los resultados de las pruebas que se realizaron en el vehículo Ford 100 al que se le implemento el sistema antes mencionado. El proceso de investigación se desarrolló en dos fases que permitieron establecer un análisis comparativo del combustible y el H con el objetivo de explorar el potencial de esta tecnología en la mejora del desempeño de los motores de combustión interna.

A partir de los datos obtenidos se puede inferir que la implementación del sistema generador en un motor de combustión interna aporta mejoras significativas en términos de torque y potencia. Por lo que se deja constancia de la relevancia de continuar con investigaciones en esta línea de tal manera que se promueva el uso de esta tecnología para impulsar la eficiencia y sostenibilidad en el sector automotriz.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Planteamiento del Problema

A lo largo de los años, los seres humanos han descubierto diversas fuentes de energía para satisfacer sus necesidades. En este sentido, el desarrollo de los países se encuentra estrechamente vinculado a estos recursos energéticos. En la actualidad, el petróleo y sus derivados se han convertido en la principal fuente de energía para los vehículos, pero su disponibilidad es limitada. Los científicos, a través de sus investigaciones, han estimado que existe una fecha aproximada en la cual el petróleo dejará de existir, lo que significa que para el año 2072 no se podrá seguir produciendo esta fuente de energía.

Hoy en día, el consumo de combustible fósiles, derivados del petróleo, ha alcanzado niveles alarmantes, contribuyendo de manera significativa a la generación de contaminantes que representan una amenaza para la salud humana y el medio ambiente. Por consiguiente, es imprescindible explorar y desarrollar alternativas energéticas que logren una drástica reducción de la contaminación ambiental (Segundo, 2019).

En la actualidad el parque automotor ha experimentado un notable aumento en comparación con años anteriores. Se ha observado que este incremento ha generado una preocupante contaminación ambiental, con un impacto estimado del 70% en el calentamiento global. Es importante destacar que el tipo de vehículo, su año de fabricación y sus características son determinantes en la generación de partículas contaminantes, como las partículas por millón (PM), el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno, así como otros gases perjudiciales para el medio ambiente y la salud de las personas (Zambrano, 2018).

Según el departamento de control ambiental de la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil, la combustión de hidrocarburos en el sector automotriz e industrial son la causa principal de la producción de dióxido de nitrógeno (N) y oxígeno (O). Un estudio realizado por

el Ministerio de Ambiente revela que las concentraciones promedio de (NO_2) alcanza las 0,27 partículas por millón (PPM), mientras que la norma establece un límite permitido de 0,08 PPM.

En el centro de Guayaquil se encuentran los lugares más contaminados por dióxido de azufre (SO_2), superando el estándar de 0,13 partículas por millón ppm en un periodo de 24 horas. La concentración promedio en estos lugares es de 1,09 PPM, y en algunos casos llega hasta 2,3 PPM. De acuerdo a datos expuestos por el Ministerio de Ambiente (2018) revelo que el 9,86% de los 700 automóviles evaluados eran modelos existentes con sistemas de inyección, y únicamente el 45,71 % cumplía con la normalidad ambiental establecida.

La Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil y Petroecuador realizaron un estudio para evaluar la calidad del aire en la ciudad. Se observó que el flujo vehicular en diferentes zonas urbanas provoca la acumulación de sustancias nocivas que generan gases de efectos invernadores que afectan a la salud de las personas. Estos efectos incluyen inflamación en los ojos y de las vías respiratorias, deshidratación en las membranas mucosas, además del daño causado al ecosistema (Diario El Comercio, 2013).

1.2 Formulación del Problema

¿La implementación del sistema generador de hidrógeno ayudará a mejorar la potencia de los vehículos a combustión interna?

1.3 Sistematización del Problema

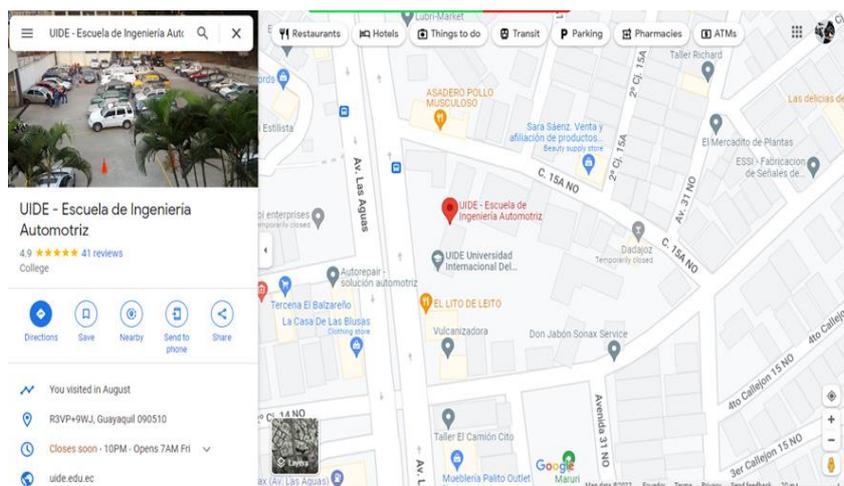
- ¿Cuál sería la diferencia en el motor antes y después de la implementación del sistema generador de Hidrógeno?
- ¿Cómo se seleccionará un sistema generador de Hidrógeno teniendo en cuenta los elementos adecuados para su implementación?
- ¿Cómo se analizarán los resultados de la implementación del sistema generador de Hidrógeno?

1.4 Ubicación del Problema

Las pruebas se las realizarán en el campus de la Universidad Internacional del Ecuador sede Guayaquil, ya que cuenta con el equipo de pruebas necesario (dinamómetro) para realizar las pruebas de potencia correspondientes al tema.

Figura 1

Ubicación Universidad Internacional del Ecuador



Fuente: (Google Maps,2016)

1.5 Delimitación del Contenido

En este apartado se expondrán las principales bases teóricas que sustentan a las variables objeto de estudio, se desarrollará el proceso de investigación para obtener los datos comparativos del uso de gasolina versus H por medio de la adaptación del sistema al vehículo FORD 100.

1.6 Justificación e Importancia de la Investigación

El avance tecnológico en la industria automotriz se está produciendo a un ritmo acelerado, con un enfoque constante en la fabricación de vehículos que sean más respetuosos con el medio ambiente y, al mismo tiempo, logren una mayor eficiencia en términos de consumo de combustible. Esta situación ha despertado un gran interés en investigar el potencial

del agua como fuente de energía en la implementación de sistemas generadores de hidrógeno como combustible alternativo.

1.7 Objetivo General

Implementar un sistema generador de Hidrógeno como alternativa de combustible para un vehículo Ford F100.

1.8 Objetivos Específicos

- Conocer las normativas en función a los principios del uso de estos sistemas generadores de Hidrógeno.
- Seleccionar un sistema generador de Hidrógeno teniendo en cuenta los elementos adecuados para su implementación.
- Analizar la potencia del motor luego de la implementación del sistema generador de Hidrógeno en el vehículo Ford F100 haciendo uso del dinamómetro.

1.9 Alcance

Este proyecto tiene como objetivo proporcionar el conocimiento necesario a jóvenes, técnicos e ingenieros automotrices, para que puedan comprender y aprovechar los beneficios que ofrece el sistema generador de hidrógeno como una alternativa de combustible en los vehículos a gasolina.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Contaminación del Aire por Vehículos

La contaminación es un problema que se remonta a la era industria y que ha ido en aumento hasta nuestros días. La contaminación ambiental se produce cuando uno o varios tipos de contaminantes exceden los límites máximos de tolerancia establecidos en las normas. Este desequilibrio en el sistema ecológico resulta en daños a la salud y bienestar de los seres vivos, generando así un impacto negativo en el medio ambientes.

En general, los vehículos equipados con motores de combustión interna (MCI) emiten una diversidad de gases y partículas que pueden tener un impacto negativo en la salud humana. Entre los gases emitidos en mayor cantidad se encuentran los óxidos nitrosos (NO_x), el monóxido de carbono y el dióxido de carbono (CO₂), así como los compuestos orgánicos volátiles. Estos contaminantes representan un riesgo significativo para la calidad del aire y la salud de las personas (Suárez, 2018).

Para la Organización Mundial de la Salud (2021) “es muy importante reducir el porcentaje de partículas contaminantes que salen del tubo de escape de los vehículos, debido a que la salud de las personas es de suma importancia contar con un aire limpio”.

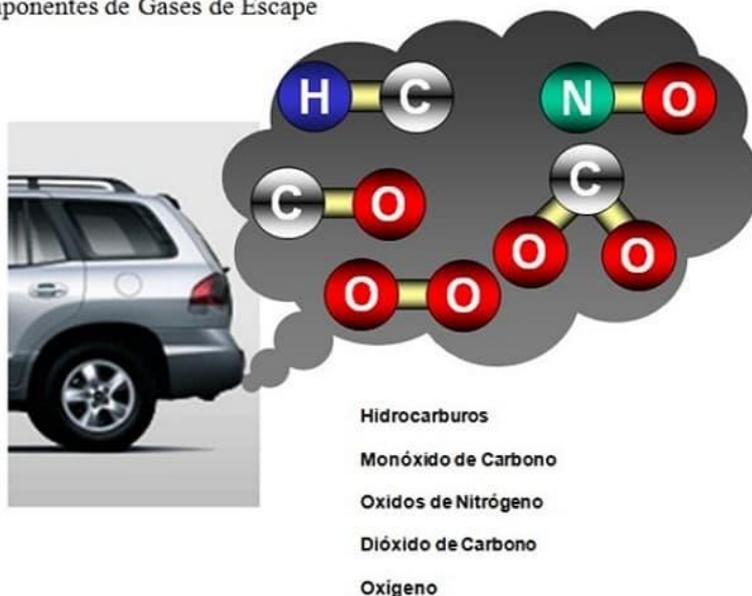
2.2 Gases Contaminantes

En el MCI se produce la quema de combustible, que consiste en una mezcla de hidrocarburos compuestos principales por carbono e hidrógeno, junto con un oxidante, que es el oxígeno presente en el aire. Para lograr una combustión completa o estequiométrica, se requiere 1 gramo de combustible por cada 14,7 gramos de aire, como se muestra en la Figura 2. Durante este proceso, el (C) se combina con el (O) atmosférico para formar (CO₂), mientras que el H se combina con el O para formar agua (H₂O) además, se produce nitrógeno (N₂), aunque la relación ideal entre el aire y el combustible no siempre se logra:

Figura 2

Componentes de Gases de Escape

- Componentes de Gases de Escape



Fuente: (Paredes Acurio, 2016)

Entre los gases contaminantes producidos por la combustión del vehículo Chele (2017) menciona los siguientes:

- El CO, compuesto conocido como, inodoro, incoloro y tóxico que en contacto con el aire del ambiente se une con el oxígeno para formar el dióxido de carbono (CO_2). Es altamente tóxico y puede llegar a ser mortal, bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. Se produce por una combustión incompleta de combustible con carbono.
- El CO_2 es un gas decolorado, inodoro y en principio no tóxico, un aumento inmoderado puede causar variaciones climáticas a gran nivel.
- Los HC no quemados, son producidos por un exceso de combustible en la mezcla o por una combustión incompleta y la consiguiente vaporización del combustible. Estos tienen un olor penetrante y un color azulado.

- Los NOx surge como resultado de la combustión del nitrógeno presente en el aire. Cuando se produce una alta temperatura en la combustión, y en un contexto de exceso de oxígeno, se generan óxidos de nitrógeno que, además de ser perjudiciales para el medio ambiente, disminuye la cantidad de oxígeno necesaria para concretar la combustión (pág. 5).

2.3 Norma INEN 2204:2002 Límites Permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Móviles Terrestres de Gasolina

Esta norma indica los niveles máximos de emisiones contaminantes provocadas por los vehículos de combustión interna. Para que los vehículos puedan salir a la venta es de suma obligación que este cuente con la certificación de emisiones expedida por la casa del fabricante y avalada por la autoridad competente del país de origen (INEN, 2017).

Tabla 1

Límites Máximos de Emisiones Permitidos para Motores CI

Año modelo	% COa		Ppm HCb	
	0 - 1500	1500 - 3000	0 - 1500	1500 - 3000
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	1000	1200

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

Nota: En esta tabla se puede observar el rango máximo de las emisiones que deben de cumplir todos los vehículos de combustión interna. Tomado de (Murillo Aldaz, 2016).

2.4 Alternativas de Combustible

Se conoce como alternativa de combustible a otras fuentes diferentes del petróleo, entre ella se obtiene las siguientes:

2.4.1 Carbón Líquido

Es una sustancia compuesta principalmente de carbono, pero también contiene cantidades variables de otros elementos como H, S, O y N. Se forma a partir de la

descomposición de materia vegetal muerta en turba, que luego experimenta un proceso de carbonización debido a la presión y al enterramiento producido a lo largo de millones de años.

La existencia de vastos depósitos de carbón está relacionada con antiguos humedales conocidos como bosques de carbón, que cubrieron una gran parte de las áreas terrestres tropicales durante el periodo carbonífero tardío, una época crucial para la formación natural de este material (Thurber, 2019).

Debido al alto costo del petróleo se hace menos rentable su uso, por lo que en Sudáfrica aplican esta alternativa donde se fabrica “gasoil” a través del proceso de gasificación y licuado del carbón para así usarlo en los vehículos.

2.4.2 Pilas de Combustible

En términos generales es un dispositivo electroquímico que utiliza un combustible y un agente oxidante para producir electricidad mediante un par de reacciones redox.

A diferencia de la mayoría de las baterías, las celdas de combustible requieren una fuente constante de combustible y oxígeno para mantener la reacción química. En contraste, en una batería, la energía química ya está presente en la sustancia almacenada en su interior. Por lo tanto, las celdas de combustible tienen la capacidad de generar electricidad de manera continua mientras se suministre el combustible y el oxígeno necesario para mantener la reacción química (Thurber, 2019).

Existen numerosos tipos de células de combustible, pero todas comparten una estructura básica que se compone de un ánodo, un cátodo y un electrolito que posibilita a los iones de Hidrógeno se carguen positivamente y se desplacen entre ambos lados de la célula. En el ánodo, un catalizador provoca la oxidación del combustible, lo que da lugar a la formación de iones y electrones. Los iones se transportan del ánodo al cátodo a través del electrolito, mientras que los electrones fluyen del ánodo al cátodo mediante el circuito externo, originando una corriente eléctrica de tipo continuo (Jaramillo, 2020).

En el cátodo, se emplea otro catalizador para que los iones, electrones y oxígeno reaccionen y formen agua, junto con otros posibles productos. Las celdas de combustible se clasifican según el tipo de electrolito que utilizan y la diferencia en el tiempo de arranque, que puede variar desde 1 segundo en el caso de las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones hasta 10 minutos en las celdas de combustible de óxido sólido (Holgado, 2017).

2.4.3 Vehículos Híbridos

Es aquel que aprovecha dos tipos distintos de energía, como los submarinos que emplean diésel cuando están en la superficie y baterías cuando están sumergidos.

Los sistemas de propulsión híbridos en los trenes están diseñados para alternar entre dos fuentes de energía con el objetivo de maximizar tanto la eficiencia del combustible como la eficiencia energética. Estos vehículos cuentan con un motor de combustión interna y un motor eléctrico que trabajan de formas sincronizadas para impulsar las ruedas. La idea principal es utilizar la fuente de energía más eficiente en cada momento específico, mejorando así el rendimiento y reduciendo en el consumo de combustible. La batería se recarga tanto mediante el movimiento de un generador conectado al motor de combustión como a través del frenado regenerativo (Fabre, 2017).

En los vehículos eléctricos híbridos, el motor eléctrico y el motor de combustión trabajan en conjunto para proporcionar un rendimiento óptimo en diversas situaciones de conducción. En términos de eficiencia, el motor eléctrico es ideal para generar un alto torque y potencia al arrancar el vehículo y a bajas velocidades, mientras que el motor de combustión es más adecuado para mantener altas velocidades y recorrer largas distancias con una sola carga de combustible. Esta combinación de motores permite que los vehículos híbridos logren una mayor eficiencia energética y reduzcan las emisiones de gases contaminantes. Además, la tecnología de los vehículos híbridos está en constante evolución, y se espera que los avances

en las baterías y los motores eléctricos permitan que estos vehículos sean aún más eficientes en el futuro (Muñoz, 2020).

2.4.4 Vehículos Electrónicos

De acuerdo con Méndez (2020) el vehículo eléctrico “Es el que utiliza uno o más motores eléctricos para su propulsión. Pueden ser alimentados por un sistema colector, con electricidad de fuentes extra vehiculares, o puede ser alimentados de forma autónoma por una batería.”

Un vehículo eléctrico es aquel que emplea la energía almacenada en baterías químicas para alimentar un motor que a su vez convierte la energía eléctrica en energía mecánica para impulsar las ruedas del vehículo y permitir su movimiento. Asimismo, el sistema regenerativo puede recuperar la energía cinética de las ruedas en movimiento para recargar las baterías. En caso de no ser posible, se puede recargar el vehículo en su totalidad mediante la conexión a una red eléctrica adecuada (Méndez, 2020).

En la actualidad, se puede encontrar una variedad de vehículos, como camiones y embarcaciones submarinas, que utilizan electricidad como fuente de energía para su funcionamiento. Aunque estos vehículos parecen innovadores en el contexto actual, si se retrocede en el tiempo, se encuentra que el primer vehículo propulsado por un motor eléctrico fue diseñado en el año 1828 por Ányos Jedlik.

Importantes marcas de vehículos y fabricantes alrededor del mundo actualmente están comercializando este tipo de vehículos eléctricos. La electricidad utilizada por estos vehículos es considerada una fuente de energía renovable, siempre y cuando se obtenga de fuentes naturales prácticamente inagotables, como la energía solar, eólica y geotérmica (Pacheco, 2022).

El vehículo eléctrico está siendo fabricado en algunas marcas conocidas en todo el mundo, sin embargo, solo algunas han sido introducidas en nuestro país, como en vehículos de uso público (taxis, buses) y particulares (bicicletas, motos, carros).

2.5 Hidrógeno como Alternativa de Combustible

2.5.1 *¿Qué es el Hidrógeno?*

Conocido por ser el primer elemento químico de la tabla periódica, el Hidrógeno es considerado uno de los elementos más ligeros incluso que el mismo aire debido a su estructura química, consta de un protón y un electrón, normalmente se lo encuentra en estado gaseoso, y por su naturalidad es incoloro, inodoro e insípido (Centro Nacional del Hidrógeno, 2021).

2.5.2 *¿Por qué el Hidrógeno?*

El H es ampliamente reconocido como un excelente combustible, ya que es capaz de proporcionar más energía por unidad de masa que cualquier otro combustible existente. Una de las principales ventajas del H es que, cuando se quema, produce energía y vapor de agua, lo que resulta en una menor emisión de CO₂ en comparación con otros combustibles. Esta característica lo convierte en una opción muy atractiva desde el punto de vista ambiental. (Américo & Visitin, 2017).

El H presenta múltiples ventajas ambientales y se considera un vector energético prometedor para proyectos sostenibles. Aunque no es una fuente de energía en sí misma, puede obtenerse a partir de diversas fuentes renovables y no renovables. Al quemarse con aire, produce emisiones no contaminantes, lo que lo convierte en un combustible limpio. Además, se están desarrollando una tecnología de pilas de combustible que convierta su energía química en electricidad y vapor de agua (Morales, Pérez, Pérez, & León, 2017).

2.5.3 *Hidrógeno como Combustible*

Cuando se considera el H como fuente de energía, es fundamental comprender que no es una fuente primaria de energía en sí mismo, sino más bien un portador de energía, al igual

que otros combustibles como la nafta, el kerosén o el carbón. Por lo tanto, es importante reconocer que el uso del H como fuente de energía implica la generación de energía a partir de otra fuente primaria, como la solar o eólica, y luego su almacenamiento y transporte a través del H. Actúa como un intermediario que permite aprovechar y utilizar la energía generada de manera más eficiente y versátil en diferentes aplicaciones (Ramírez, 2015).

Todas estas sustancias mencionadas anteriormente contienen energía química acumulada la cuales se pueden liberar a través de un proceso conocido como la combustión (Américo & Visitin, 2017).

Ramírez (2015) indica que “si realizamos una comparación entre el H con los demás combustibles tradicionales, la principal diferencia es que el H sólo deja como subproducto de su combustión vapor de agua, a diferencia que los otros producen dióxido y monóxido de carbono” (pág. 6).

“Otra característica importante que se diferencia del H es que para obtenerlo se puede a partir del agua mediante el efecto de electrolisis utilizando electricidad excitando las placas de platino o acero inoxidable” (Américo & Visitin, 2017).

2.5.4 Obtención del Hidrógeno

Actualmente el H se ha convertido en uno de los principales temas de estudio como energía alternativa de combustible, debido a esto se han realizado un sinnúmero de investigaciones tratando de obtener el H en la forma más adecuada.

En nuestro planeta es muy abundante, compone aproximadamente el 75% de la materia del Universo, solo que se encuentra mezclado con diferentes elementos químicos tales como el agua, carbono entre otros. Debido a esto no es un combustible que se pueda tomarse directamente de la naturaleza, si no que a través de un vector energético (Martínez & Nilve, 2014).

Existen diferentes maneras de obtener el H, entre ellas:

- Energía eléctrica:
 - Electrólisis
 - Descomposición de gas natural por arco de plasma
- Energía térmica:
 - Termólisis
 - Termo catálisis
 - Procesos termoquímicos
- Energía bioquímica:
 - Biomasa (fermentación oscura)
 - Enzimática

2.5.5 *Electrólisis del Agua*

La electrolisis se compone de dos palabras “electro” que significa electricidad y “lisis” que significa división, estos cambios químicos y con la aplicación del electrolito hace que sus componentes se dividan dentro de la celda eléctrica o generador de HHO (Murillo, 2016).

Según este autor se afirma que:

Este efecto se lleva gracias a una fuente de energía eléctrica conectada a dos electrodos diseñados con elementos de Acero inoxidable o Platino las cuales van a representar el ánodo y el cátodo. Estos polos se agregan en agua donde el polo positivo será el encargado de extraer el oxígeno, mientras que el polo negativo extrae el Hidrógeno, de este modo se produce la descomposición de la molécula (Guardia, 2009).

Otros autores indican que:

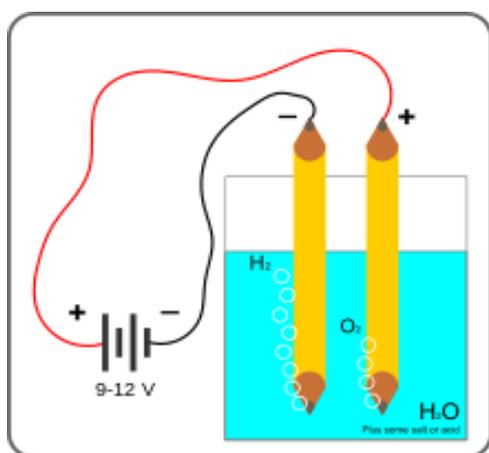
Se emplea un dispositivo conocido como celda electrolítica para llevar a cabo este proceso. Esta celda consta de dos placas hechas de metales inertes como Platino o Paladio, que actúan como electrodos. Estos electrodos están conectados a una fuente de alimentación eléctrica, y las sustancias que se van a disociar en iones cierran el circuito

eléctrico. En algunos casos, los electrodos se colocan en recipientes separados por un separador, y se utiliza un puente salino para conectarlos. Este puente salino es un tubo en forma de U que contiene una sustancia iónica, como una sal, que permite que las cargas fluyan de manera constante (Martínez & Nilve, 2014).

Las reacciones químicas que se dan en la electrólisis, son lo mismo a reacciones redox. Al electrodo negativo se le conoce como cátodo, allí es donde ocurre la reducción y en el polo positivo o conocido como ánodo se viene a producir la oxidación.

Figura 3

Representación de la Electrólisis del Agua.



Fuente: (Guardia, 2009)

2.5.6 Descomposición de Gas Natural por Arco de Plasma

La obtención de H mediante este método involucra el uso de un reactor que contiene tres electrodos y plasma por inyección. El plasma utilizado en este proceso se encuentra en un estado ionizado. Para generar una descarga de corriente eléctrica, los electrones del reactor deben estar en un estado excitado, lo que resulta en la generación de un alto voltaje.

En este proceso, se utiliza gas natural como materia prima para obtener H. Dado que la composición principal del gas natural es metano, se hace pasar el metano a través de un arco de plasma ionizado. Debido a la agitación de los electrones, el metano se descompone en

partículas de H y C. El carbono negro se solidifica y se convierte en hollín, mientras que el H se mantiene en este caso gaseoso.

Es importante destacar que este método específico se utiliza como una de las posibles técnicas para obtener H a partir del gas natural, pero existen otros procesos y tecnologías utilizadas en la producción en H a partir de diferentes fuentes (Holgado, 2017).

2.5.7 Termólisis

El objetivo de este proceso es la extracción de moléculas de H mediante la aplicación de calor y altas temperaturas. Estos procesos se clasifican como químicos o termolíticos según la fuente empleada. En un proceso químico, se utiliza calor para extraer la materia prima a través de la combustión. Por otro lado, en un proceso de termólisis, se utiliza una fuente de calor externa, como la energía solar concentrada (Holgado, 2017).

2.5.8 Número de Octano

La capacidad de un combustible para resistir la detonación en un MCI se determina mediante su índice de octano. Las detonaciones pueden ocurrir cuando el combustible se enciende y el calor se acumula en la cámara de combustión. Si la temperatura en un punto específico de la cámara de combustión supera la temperatura de autoignición del combustible, puede producirse una detonación. En resumen, el número de octano de un combustible es una medida de su capacidad para prevenir la detonación en un MCI, lo que garantiza un funcionamiento más suave y confiable del motor. Un combustible con un alto número de octano tiene una mayor resistencia a la detonación y es preferible para motores de alta compresión y alto rendimiento. Por otro lado, un combustible con un bajo número de octanos es más propenso a la detonación y puede causar daños en el motor. Por tanto, elegir el combustible adecuado según su número de octano es crucial para garantizar un rendimiento óptimo y una vida útil prolongada del motor (Murillo, 2016).

Los siguientes autores indican lo siguiente:

El octano se utiliza como un medidor de resistencia a la detonación y se le asigna el valor de 100. Los combustibles con un octanaje superior a este valor muestran una mayor firmeza a la auto ignición que el propio octano. El hidrógeno tiene un octanaje muy alto siendo muy resistente a la detonación (Aguado, Castelerio, Jove, Zayas, 2021).

Tabla 2

Grado de Octanaje de Diferentes Combustibles

Combustible	Número de Octano
Hidrógeno	130
Metano	125
Propano	105
Octano	100
Gasolina	87
Diesel	30

Nota: En la siguiente tabla se observa los grados de diferentes combustibles principales. Tomado de: (Murillo Aldaz, 2016).

2.5.9 Compuestos Principales del Hidrógeno

El H se caracteriza por formar compuesto que contienen diversos elementos, como ácidos, agua, bases, compuestos orgánicos y varios minerales. Los compuestos que interactúan con H o solo con otro elemento se conocen comúnmente como hidruros. Estas son sustancias que se forman mediante la unión del H con otro elemento, y pueden tener propiedades y aplicaciones específicas según la naturaleza del dicho elemento (Murillo, 2016).

2.5.10 Propiedades Físicas y sus Características del Hidrógeno

Como lo dicho anteriormente el H es uno de los elementos químicos más ligeros conocido en la actualidad. No tiene sabor ni color por lo que no es toxico, pero si volátil. Su

proporción en el aire es de 0.01% en la tabla 3 observa las propiedades (Centro Nacional del Hidrógeno, 2021).

Tabla 3

Propiedades Físicas del Hidrógeno.

Hidrógeno	
Formula Química	H_2
Peso molecular	2,016
Presión crítica	13,1 bar
Temperatura de ebullición (1,013 bar)	-252,76 °C
Peso específico (aire=1)	0,0695
Auto - ignición en el aire	571,2 °C

Nota: Esta tabla muestra las propiedades físicas del hidrógeno.

2.6 Funcionamiento del Sistema Generador de Hidrógeno

Este sistema funciona mediante el uso de un generador que aprovecha las propiedades volátiles y diminutas de los átomos de H. Esto permite que se mezcle de manera efectiva con la combinación de aire y gasolina dentro del cilindro del motor, lo que mejora el proceso de combustión (Martínez & Nilve, 2014).

El siguiente autor indica que:

Al momento de instalar este sistema, entra directamente al cilindro ocupando prontamente todos los espacios disponibles. Con la chispa de la bujía se enciende la mezcla, y gracias a el hidrógeno introducido se da una explosión mucho más rápida en fracciones de milisegundos. Gracias también a la existencia de este elemento hace que la flama se dilate uniformemente y mucho más rápido dentro del cilindro, dando como resultado una buena combustión.

Al ser comprimido al mismo tiempo el aire con el combustible se refresca la mezcla, teniendo el control de la temperatura que da la compresión de combustión. Al ser controlada la temperatura de compresión se elimina la contrapresión que se presenta por el fenómeno de explosión del combustible, antes de que el pistón llegue al punto muerto superior (PMS) (Martínez & Nilve, 2014).

2.7 Sistema Eléctrico

La alimentación eléctrica de este sistema generador se obtendrá de la batería del vehículo. Antes de llegar al sistema, la corriente eléctrica pasará a través de un fusible que garantizará la seguridad del sistema. Además, se incluirá un regulador de potencia para asegurar que cada componente reciba la alimentación adecuada de 5v. para activar el sistema, el conductor contará con un interruptor de encendido ubicado cerca del volante, lo que facilitará su uso y acceso rápido. Este diseño se ha implementado para asegurar un suministro eléctrico confiable y seguro para el sistema generador. (Martínez & Nilve, 2014).

2.8 Norma NTE INEN ISO 22734 Generadores de Hidrógeno Utilizando el Proceso de la Electrolisis del Agua

La siguiente norma es una traducción del ISO 22734-1:2008, “Hydrogen generators using water electrolysis process” donde el responsable es el Comité Interno del INEN.

Por lo general esta normativa trata sobre las especificaciones y partes del sistema así mismo trata sobre temas importantes como la electrolisis, el correcto uso del sistema generador de Hidrógeno (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002).

2.8.1 Implementación

Para la correcta implementación de estos sistemas generadores se deben de tener en cuenta los siguientes puntos (Norma Técnica Ecuatoriana, 2014):

- Procurar trabajar con el motor frío para evitar quemaduras.
- Verificar que la posición de la llave este en apagado.

- Al abrir el compartimiento del motor, se debe de encontrar la mejor ubicación para los componentes del sistema, tomando en cuenta sus requerimientos y asegurándose de evitar el contacto directo con fuentes de calor o partes móviles cercanas. Es importante tener precaución en la selección del lugar para la instalación del sistema.
- Procurar que los tapones de los sistemas queden visibles para tener un fácil acceso al momento de realizar el mantenimiento y el llenado del sistema.

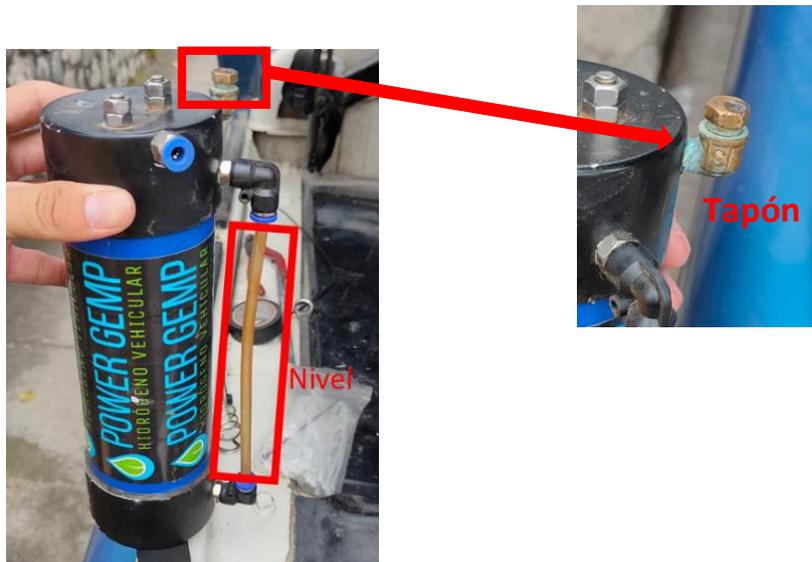
2.8.2 *Mantenimiento*

La sencillez de este tipo de sistemas generadores evita que este sea susceptible a cualquier deterioro y a su vez facilita su mantenimiento (Norma Técnica Ecuatoriana, 2014):

- Cada 7.000 a 10.000 kilómetros el nivel del sistema cambiara a un color de oxido como se observa en la figura 4, esto se da debido al proceso químico que sucede en el interior del sistema, para esto se recomienda desinstalar el sistema y hacer un drenado para luego agitarlo con agua unas 3 veces hasta que se elimine este color.
- Instalar el sistema para luego llenarlo con una cantidad de 780 ml de agua y 5 g de carbonato de sodio.
- Cada 1.000 kilómetros se recomienda completar el nivel del agua, para esto retirar el tapón que se muestra en la figura 4.
- Apretar correctamente el tapón para evitar problemas de fuga.

Figura 4

Sistema Generador de Hidrógeno Mantenimiento



2.9 Normativa IEC 62540 Tecnología de Electrólisis de Agua

Esta normativa principalmente trata sobre las características de seguridad de los sistemas de electrólisis de agua, se establecen una serie de directrices y requisitos relacionados con la seguridad del mismo. Esta norma se enfoca en garantizar que estos sistemas sean seguros para su operación y protección contra riesgos potenciales (Normativa IEC , 2019).

En los siguientes puntos se abordan los aspectos claves de esta normativa:

- **Prevención de fugas:** Se establecen requisitos para prevenir fugas de H teniendo en cuenta la ubicación y diseño adecuados del sistema a seleccionar.
- **Seguridad eléctrica:** Esto incluye la protección contra descargas eléctricas, cortocircuitos, puesta a tierra adecuada, reguladores de potencia y conexiones confiables.
- **Requisitos de diseño y construcción:** Este punto es en caso de crear un sistema propio donde establecen directrices sobre el diseño y la construcción de los sistemas de electrólisis de agua, asegurando la robustez y la confiabilidad del sistema.

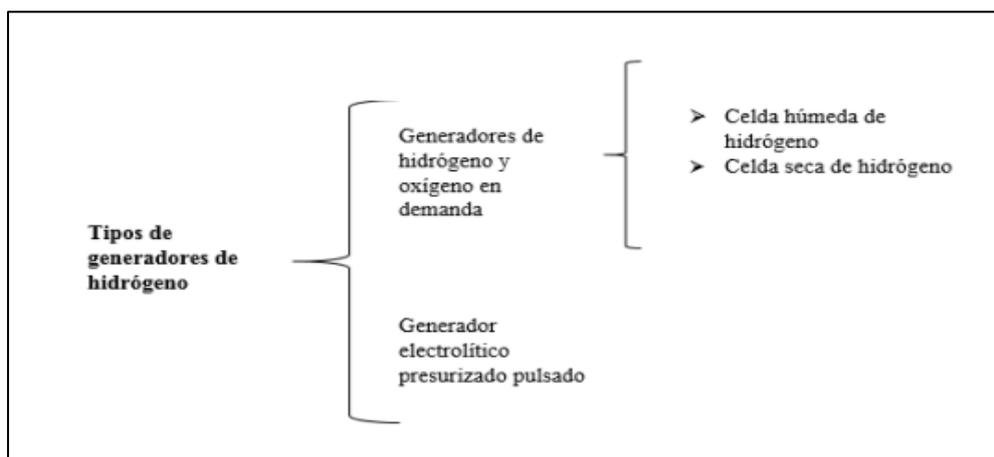
- Instrucciones de operación y mantenimiento: esta normativa proporciona pautas del uso adecuado de dichos sistemas con la finalidad de alargar su vida útil y este opere de una manera confiable y segura.

2.10 Tipos de Generadores de Hidrógeno

Un generador de H es un dispositivo que se basa en el funcionamiento de las celdas electrolíticas. Estas celdas están compuestas por bloques metálicos, ya sea sumergidos en una solución electrolítica húmeda o en un recipiente que contiene la solución electrolítica, lo que se conoce como generador de H (Martínez & Nilve, 2014).

Figura 5

Tipos de Generadores de Hidrógeno



Fuente: (Centro Nacional del Hidrógeno, 2021)

2.10.1 Sistema Generador de Hidrógeno (Celdas Húmedas)

Las celdas electrolíticas, también conocidas como celdas húmedas, se caracterizan por tener las placas de platino o acero inoxidable sumergidas en agua durante todo el proceso. Estas celdas utilizan un método llamado “electrolisis” para separar las partículas de H, donde este se acumula en el polo negativo (cátodo) y el O se libera en el polo positivo (ánodo). Es importante destacar que la cantidad de H generado es el doble que la del O, y ambas cantidades son proporcionales durante la carga del sistema (Holgado, 2017).

Figura 6

Celda Húmedas



Fuente: (Holgado Secas , 2017)

2.10.2 Sistema Generador de Hidrógeno (Celdas Secas)

Este tipo de sistemas sus celdas no contienen agua a diferencias de las celdas húmedas este sistema contiene celdas diferentes, tiene los mismos principios de funcionamiento electrolytico, la diferencia es que en el sistema de celdas secas el agua se acumula en pequeñas cantidades dentro de su propio generador (Betterfuel, 2020).

Figura 7

Sistema de Hidrógeno de Celdas Secas



Fuente: (Betterfuel, 2020)

2.11 Dinamómetro

El dinamómetro es una herramienta de gran utilidad para medir de manera precisa la potencia y el par de torsión en diferentes tipos de máquinas que tienen ruedas, incluyendo los vehículos. En el contexto específico de este proyecto, se empleará el dinamómetro para realizar pruebas tanto antes como después de la instalación del sistema generador. Esto permitirá evaluar y comparar el rendimiento del vehículo en ambas situaciones, obteniendo datos cuantitativos sobre la eficacia y los beneficios del sistema generador. La utilización del dinamómetro como una herramienta confiable y precisa de medición asegura llevar a cabo una evaluación exhaustiva de las mejoras alcanzadas mediante la implementación del sistema (Murillo, 2016).

2.12 Tipos de Dinamómetros

En la actualidad se cuenta con dos principales tipos de dinamómetros, los cuales se suelen usar con mayor frecuencia en la industria automotriz y procesos industriales para los diferentes tipos de pruebas, entre ellos está el dinamómetro de chasis y el de motor (Saenz, 2020).

2.12.1 Dinamómetro de Chasis

Este tipo sirve para determinar la rotación de las ruedas del automóvil recogiendo los datos, haciendo uso de un software de computadora para así poder determinar el par del motor y también su potencia (Saenz, 2020).

Entre las partes principales de este tipo de dinamómetro están:

- Los rodillos.
- El chasis.
- El software.
- Sistema de inercia.
- La unidad de absorción de potencia.

Figura 8

Bancada del Dinamómetro de Chasis



Fuente: (Taller UIDE).

2.12.2 Dinamómetro de Motor

A diferencia del dinamómetro del chasis, este va aplicado directamente al motor, ofrecen datos precisos los cuales son importantes en las diferentes pruebas que se le realizan al motor, debido a esto es muy popular su uso en los diferentes tipos de reconstrucción de motores y en los productores de autos de carrera (Saenz, 2020).

Figura 9

Dinamómetro de Motores



Fuente: (Saenz, 2020).

2.13 Dinamómetro a Utilizar

Para la realización de las pruebas se utilizará un dinamómetro de la marca Dynocom de origen estadounidense, entre sus principales características se tiene que es un dinamómetro de la serie X2WD con la capacidad de llegar a una velocidad de hasta 240.000 km/h y 800 CV,

gracias a su diseño se pueden realizar pruebas a diferentes tipos de vehículos ya sea con tracción delantera o posterior, vehículos deportivos, camionetas diésel y motos.

Tabla 4

Especificaciones del Dinamómetro

Especificaciones del Dinamómetro	
Max eje peso	6500 lb
Max potencia:	800 CV
Velocidad máx.:	240.000 km/h
Distancia entre ejes máx.	86 pulgadas
Max Steady estado de torque	1.800 pies libras por retardador
Requisitos de alimentación	220/240 VAC @ 25AMPs

Nota: En esta tabla se puede encontrar las especificaciones del dinamómetro en el cual se realizaron las pruebas. Tomada de: (Holgado, 2017).

Capítulo III

Selección e Implementación de un Sistema Generador de Hidrógeno en un Vehículo

Ford F100

3.1 Métodos

Principalmente se empezará por la recopilación de información sobre los tipos de sistemas existentes de generador de hidrógeno, y así tener una idea clara y óptima sobre lo que se va a realizar.

Para la obtención de buenos resultados en el presente trabajo se pretende utilizar una metodología que permita la aplicación de técnicas, con la finalidad de llevar a cabo la respectiva implementación del sistema generador en un vehículo de combustión interna.

3.2 Tipo de Estudio

El anteproyecto se realizará mediante una metodología o investigación de campo y exploratoria, que ayuda a tener datos estadísticos sobre la potencia y el torque de dicho vehículo en la ciudad de Guayaquil, para así observar el impacto que tendrá la implementación de este sistema generador de H.

3.2.1 Investigación de Campo

Se aplica la investigación de campo con la cual se obtendrán resultados reales que luego servirán de ayuda para realizar la respectiva comparación y análisis de un vehículo antes y después de haber implementado el sistema generador.

3.2.2 Investigación Exploratoria

Se utiliza esta investigación porque ayuda a tener un propósito principal para así poder lograr obtener resultados y caracterizar las variables del problema a investigar, donde se aplicará el sistema generador de H para un vehículo Ford F100.

3.2.3 Instrumentos de Investigación

Los instrumentos de investigación que se utilizarán en el presente proyecto son de: observación, de análisis documental y experimental.

3.3 Selección del Sistema Generador de Hidrógeno

Para la realización del presente proyecto se realiza una comparación para la elección del sistema generador de H teniendo en cuenta que son dos sistemas los más conocidos por su fiabilidad y no son muy complejos en su aplicación a continuación, se detallaran las partes de cada sistema:

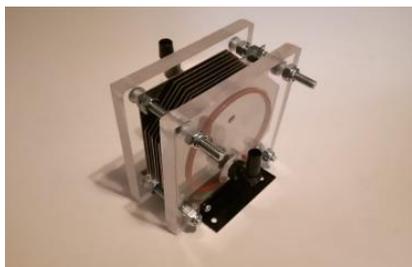
3.3.1 Generador de Hidrógeno de Celdas Secas

Como inicio al proyecto se toma en cuenta este sistema generador de H de celdas secas para realizar una comparación con el otro sistema a seleccionar.

El generador o celda de H es un aparato que se utiliza para mejorar el desempeño de motores de combustión interna que funciona con gas, gasolina, Diésel o biodiésel. Estos generadores usan agua y una fuente de alimentación de 12 voltios como materia prima. A través del proceso de electrólisis, el generador separa el agua en H y O. Estos gases altamente inflamables se envían a la entrada del aire del motor para mezclarse con el combustible. Gracias al generador se tiene una mejora en la combustión, lo que proporciona mayor potencia, una reducción del consumo de combustible (Martínez & Nilve, 2014).

Figura 10

Celdas Ensambladas



Fuente: (Martínez & Nilve, 2014)

3.3.1.1 Depósito y Burbujeador

En esta parte es donde se almacenará el líquido o gases. Para que tenga una vida de trabajo larga el depósito debe de soportar altas temperaturas y el material así mismo la humedad, corrosión y las vibraciones a la que estará expuesto (Martínez & Nilve, 2014).

Murillo (2016) indica lo siguiente:

El burbujeador tiene una doble función. En primer lugar, ayuda a limpiar el gas oxihidrógeno (HHO) y sirve como barrera de seguridad. Cuando el gas HHO se produce en el generador o pila seca, se produce vapor de agua. Este vapor de agua puede contener pequeñas partículas de electrolitos que pueden causar corrosión perjudicial en el equipo o entra en contacto con la cámara de combustión en la parte superior del motor. El burbujeador ayuda a prevenir esto al atrapar las partículas de electrolitos y permitir que el vapor de agua escape de manera segura a través de su sistema de ventilación.

Las burbujas de gas HHO ascienden por la columna de agua del burbujeador y se filtran para retener cualquiera partícula de electrolitos que se hayan adherido al vapor de agua. Como resultado, el gas Hidrógeno que se produce es mucho más limpio. La función de bloqueo de seguridad del burbujeador ayuda a prevenir cualquiera fuga de gas Hidrógeno no deseada en el motor o en el equipo. Se produjera una llamarada, la columna de agua evitara que el HHO sea afectado por la celda seca porque la llama no puede saltar de la burbuja a burbuja (pág. 30).

Figura 11*Deposito del Sistema con Celdas Húmedas*

3.3.1.2 Mangueras

Una manguera conocida como tubo hueco es diseñado con la finalidad de trasportar fluidos de un lugar a otro, también se les suele llamar tubos, pero estos son rígidos a diferencia de una manguera que es flexible. Estas mangueras deben de ser capaces de resistir la corrosión, absorber vibraciones, provee una adecuada flexibilidad y fácil aplicación, cabe recalcar que para una buena instalación de estas mangueras primero se recomienda tomar las medidas de cada sesión donde estas irán instaladas (Súarez, 2017).

Figura 12*Mangueras para la Circulación del Hidrógeno*

Fuente: (Martínez & Nilve, 2014)

3.3.1.3 Racores Rápidos y Conectores de Plásticos (PVC)

Se los utiliza de modo industrial que viene de muchas formas y tamaños los cuales se pegan a tubos o cañerías para fortalecer la unión.

3.3.1.4 Regulador de potencia

Los reguladores de potencia resuelven el problema de caída de voltaje y mantienen el voltaje adecuado en los límites requeridos para que cada sistema soporte el funcionamiento adecuado (Eaton, 2020).

Figura 13

Regulador de Potencia



3.3.2 Generador de Hidrógeno de Celdas Húmedas

La función de este sistema es la misma a la del anterior mencionado, la diferencia resalta en que en este sistema siempre va a tener las placas sumergidas para realizar el proceso de electrolisis y así obtener el H el cual luego será parte de la mezcla aire/combustible para ser combustionado.

En la siguiente figura 14 se puede observar de lado izquierdo la parte interna del sistema, como son las placas y a mano derecha se observa el sistema ya sellado.

Figura 14

Deposito con Placas Sumergidas.



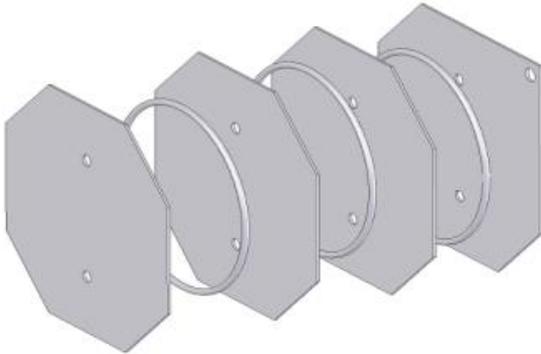
Fuente: (Centro Nacional del Hidrógeno, 2021)

3.3.3 ¿Por qué este Sistema?

Se seleccionó el sistema generador de H de celdas húmedas debido a las ventajas que este tiene sobre el sistema de celdas secas, gracias a que su diseño es más compacto, no ocupa mucho espacio al ser instalado en el vehículo y adicional el mantenimiento no es tan frecuente como otros sistemas.

No se hizo la selección del sistema generador de celdas secas debido a comentarios y las desventajas que dicho sistema genera, al momento de realizar la instalación este ocupa más espacio debido a que lleva por separado los elementos principales los cuales son el burbujeador, las celdas, el depósito de agua, el mantenimiento debe ser con frecuencia y en cada vez que se realice se deberá remplazar los sellos de las juntas de las celdas.

Al momento de ser diseñadas las celdas se debe de tener muy en cuenta las dimensiones, así como también la alineación de los agujeros, todo esto para poder obtener la mejor eficiencia al momento de darle uso al sistema, su producción es más costosa a diferencia del sistema de celdas húmedas.

Figura 15*Diseño de las Celdas Secas para el Sistema Generador de Hidrógeno*

Fuente: (Betterfuel, 2020)

3.4 Vehículo al que se le va a Implementar el Sistema

Figura 16*Vehículo Ford F-100*

La Ford F-100 es un vehículo de tipo camioneta (pick-up) diseñada y fabricada por la compañía Ford Motor Company la cual ha vendido este modelo de vehículos desde el año 1948 en los E.E.U.U y realizando exportaciones hacia los demás países, gracias a esto en su tiempo que estuvo en el mercado fue uno de los vehículos más vendidos y reconocidos a nivel mundial.

Este vehículo cuenta con un motor V8 de 4 tiempos a carburador, ofrece una potencia (HP SAE) de 180 a 4000 revoluciones por minutos, un par motor (kgm) de 37,3 a 2000 r.p.m., consta con una transmisión sincrónica y con una cilindrada aproximadamente a los 4800 cm^3 .

Figura 17

Estado del Vehículo Ford F-100



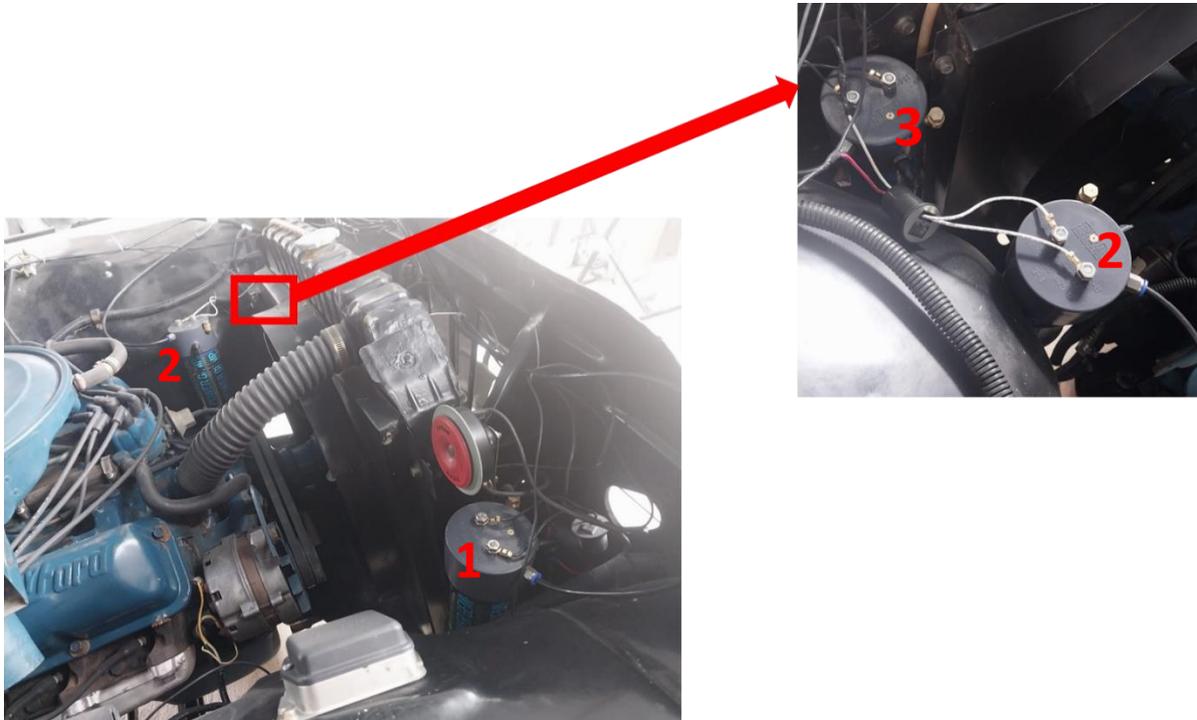
3.5 Implementación del Sistema Generador de Hidrógeno

3.5.1 Montaje

Para realizar el proceso de montaje de los sistemas generador se tuvo que tener en cuenta una ubicación adecuada donde no intervenga con los sistemas del motor, esto para evitar problemas ya sea con la banda u otro elemento que se encuentre en movimiento, así mismo realizar un montaje adecuado esperando el momento que el vehículo este en movimiento ninguno de estos se suelte o se caiga de su ubicación.

Figura 18

Ubicación del Sistema de Hidrógeno.



Una vez determinado el lugar donde van ubicados los sistemas se comienza con la implementación de cada uno, en este caso se usaron 3 equipos debido a la cilindrada del motor, con la finalidad de tener mejores resultados y una mayor capacidad o cantidad de este tipo de combustible que abastezca al motor en las pruebas.

Figura 19

Posición del Sistema de Hidrógeno 1



Figura 20

Posición del sistema de Hidrógeno 2

**Figura 21**

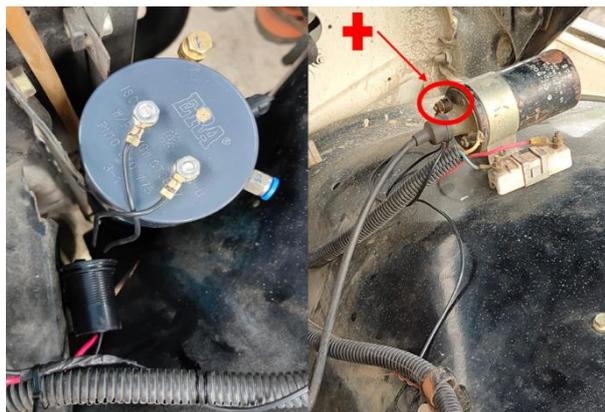
Posición del sistema de Hidrógeno 3



En esta instancia se instaló los reguladores de potencia en cada uno de los equipos como se logra observar en la figura 22, estos sirven para seguridad en caso de que haya una caída de voltaje en la instalación eléctrica, la función de estos reguladores de potencia en el sistema es de mantener el voltaje requerido en cada generador 5 voltios para cada uno.

Figura 22*Conexión del Regulador de Potencia*

Para tener una alimentación a los sistemas se toma del positivo de la bobina, no es recomendable de la batería debido a que después los sistemas se mantienen encendidos en todo momento y el cable a masa (tierra) en este caso se tomó el de la bobina, pero puede ser de cualquier masa (tierra) que se encuentre en el compartimiento del motor.

Figura 23*Alimentación para los Sistemas*

Asimismo, se procede a retirar el tapón de cobre que lleva el sistema para llenarlos con una cantidad de 780 ml de agua mezclada con 5 g de bicarbonato de sodio recomendable el de uso doméstico y el agua puede ser la que normalmente se utiliza en los domicilios. En la figura 24 se observa el puno de llenado (1) y el nivel adecuado de agua de cada sistema (2) se tomó

como referencia una botella con la medida adecuada para no exceder el límite de agua, finalmente se procede a cerrar el tapón.

Figura 24

Punto de Llenado para los Sistemas

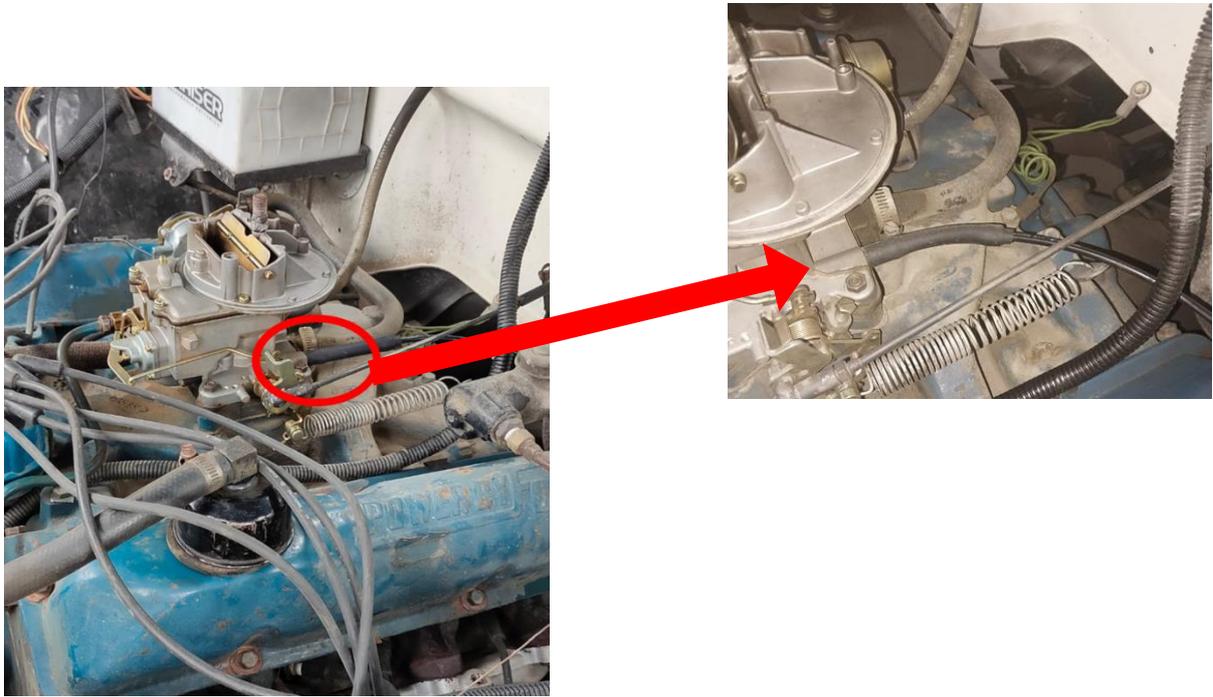


Figura 25

Forma de Llenado para los Sistemas



En esta instancia se realizó la instalación de las mangueras donde se transportará el hidrogeno hacia la admisión del motor, al ser un vehículo a carburador se hizo la conexión hacia un vacío del mismo, se necesitó que el motor absorba el H que se genera en cada sistema.

Figura 26*Carburador Punto de Vacío*

Capítulo IV

Análisis de Resultados

En este capítulo, se ha realizado la toma de resultados necesaria para el análisis de la eficiencia con relación a la potencia una vez instalado el sistema generador de Hidrógeno en el vehículo.

4.1 Protocolo

Para garantizar un uso adecuado del dinamómetro se siguieron ciertos protocolos y medidas de seguridad tanto para el dinamómetro como para el vehículo en el que se realizaron las pruebas. También se tomaron medidas de seguridad adicionales para el elevador utilizado. Estas medidas aseguraron que se pueda usar el dinamómetro de manera segura para recopilar datos precisos sobre la potencia y la velocidad de rotación (RPM) del vehículo durante las pruebas.

4.2 Normas de Seguridad del Dinamómetro

Proceso de seguridad para la correcta utilización del dinamómetro:

- Bloquear los rodillos del dinamómetro
- Colocar el vehículo en el elevador, tener en cuenta si la tracción es delantera o trasera.
- Con el vehículo en el dinamómetro, agregar las correas de seguridad con la finalidad de que el vehículo no se mueva al momento de realizar las pruebas.
- Nunca maniobrar el volante al momento de estar realizando pruebas en el dinamómetro.
- El dinamómetro debe ser operado por personal que tenga conocimiento del mismo.

4.3 Procesos

Se procede a ubicar el vehículo en el elevador, al ser una camioneta se tuvo que ubicar las ruedas posteriores en los rodillos debido a que esta cuenta con tracción posterior como se logra observar en la figura 27.

Figura 27

Preparación del Vehículo en el Dinamómetro



A continuación, se procede a asegurar el vehículo con la ayuda de las correas de seguridad, para esto se observa puntos que no intervengan en mecanismos móviles y con el escape del vehículo, se tomó como punto fijo los postes del elevador para fijar el vehículo, antes de realizar las pruebas observar que estas correas de seguridad se encuentren bien instaladas y templadas para mantener fijo al vehículo.

Figura 28

Colocación del Correas de Seguridad al Vehículo



Con el vehículo asegurado correctamente en el dinamómetro, se procede a calibrar la consola donde se obtendrán los resultados de las pruebas que se realizarán en el mismo, en esta parte agregan los datos principales del motor como su cilindrada, número de pistones, el año, marca del vehículo, entre otros datos.

Figura 29

Calibración de la Consola del Dinamómetro



Como último paso antes de las pruebas, se instala una cinta reflectiva en la polea del cigüeñal con la finalidad de que un láser infrarrojo tome las revoluciones por minuto (RPM) del motor, tener en cuenta que el elemento infrarrojo debe estar fijo siempre apuntando a la cinta reflectiva como muestra la figura 30.

Figura 30

Ubicación del Sensor Infrarrojo para Medir los rpm del Motor



4.4 Datos Obtenidos

En esta parte se realizó dos pruebas, una con el sistema generador de H desactivado y la segunda ya con el sistema activado, para así observar si existe alguna diferencia en la potencia del motor.

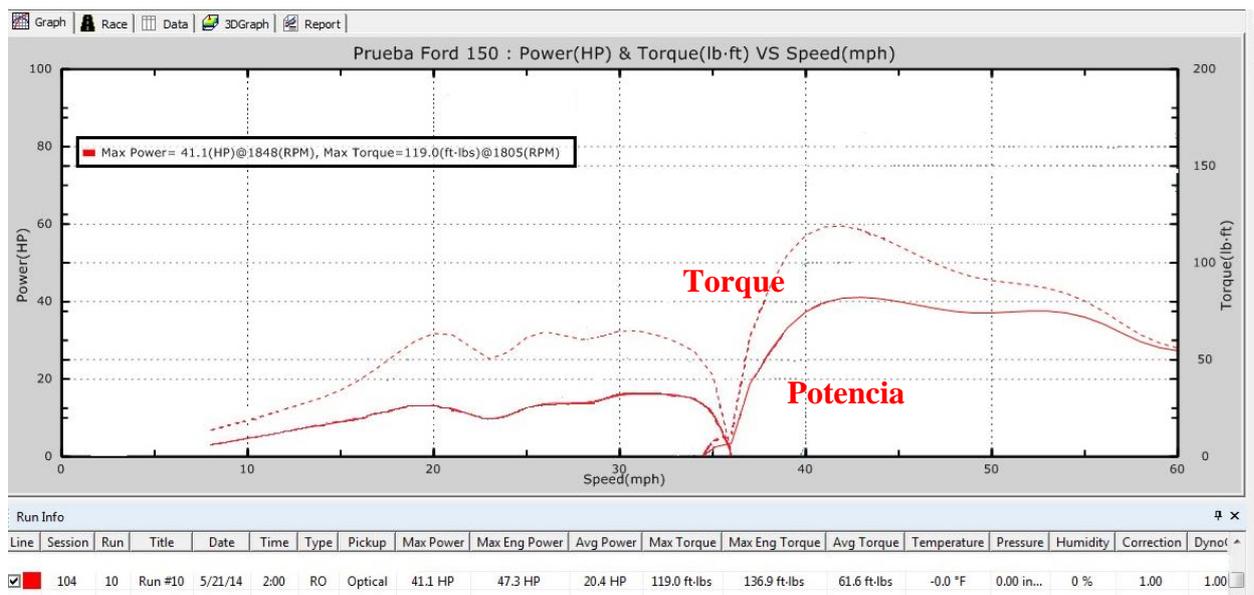
4.4.1 Prueba 1

En esta prueba se configuro la consola del dinamómetro con los datos del vehículo, se dio un límite máximo de 2500 rpm, la finalidad de este límite es que a bajas revoluciones el motor genera un buen vacío lo que es primordial para esta prueba, recordar que el vacío del motor va disminuyendo a nivel que aumentan sus revoluciones por minuto, si se llega a este punto el sistema dejara de enviar H porque no cuenta con el vacío requerido en la admisión.

En la figura 31 se tiene dos representaciones donde la curva de línea continua representa la potencia del motor y la curva con línea entrecortada hace referencia al torque, en esta prueba solo se hizo uso la gasolina.

Figura 31

Grafica de Torque y Potencia de la Prueba 1 Haciendo Uso de Gasolina



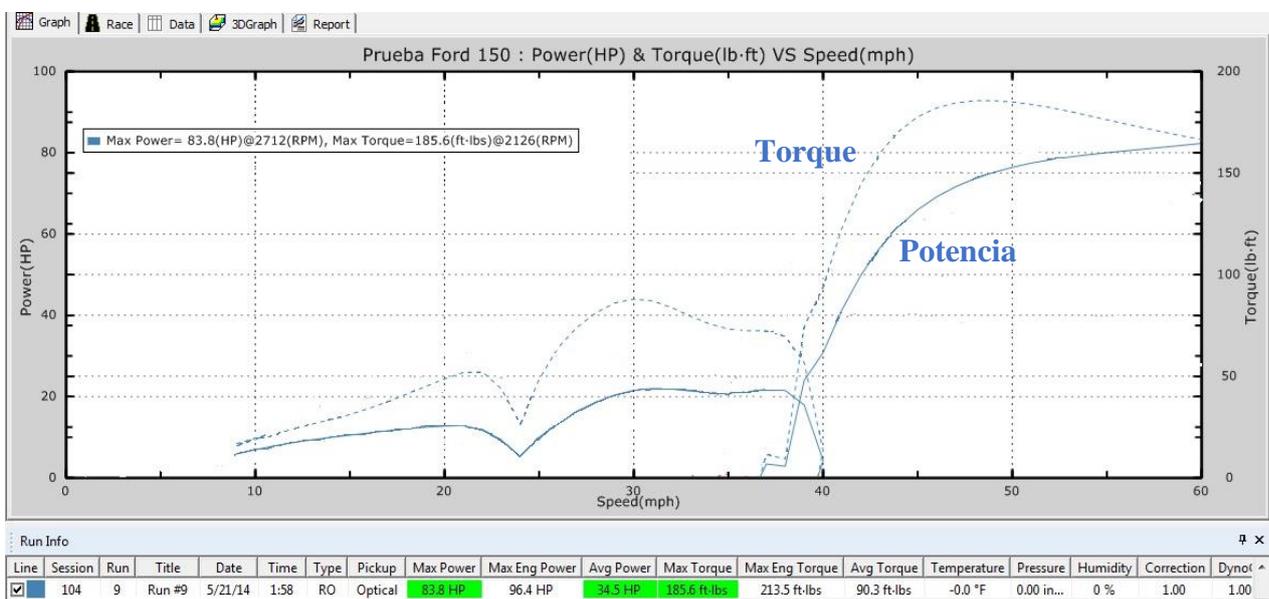
Se comienza con una velocidad aceptable de 1000 rpm a unos 20 s o hasta que los rodillos del dinamómetro tengan la inercia adecuada con las ruedas traseras, una vez después de esto se aceleró hasta llegar a 2500 rpm, en esta prueba 1 se obtuvieron datos sin el uso del sistema del H y se determina lo siguiente, una potencia máxima (línea continua) de 41.1 HP a 1848 rpm, con un torque (línea entrecortada) de 119.0 ft*lbs a 1805 rpm.

4.4.2 Prueba 2

Se activo el sistema generador de H, los límites fueron los mismos 2500 rpm, se empezó con una baja aceleración, durante 20 s hasta romper la inercia de los rodillos para tener los datos más exactos referente a la potencia y el torque, se tuvo en cuenta que las pruebas se empezaron en 4ta marcha esto debido a que así se obtiene la relación directa del motor.

Figura 32

Grafica de Torque y Potencia de la Prueba 2 con el Sistema de Hidrógeno Activado



En la prueba 2 se realizó el mismo procedimiento usando los datos de la prueba anterior, la diferencia fue que se activó el sistema generador de H mediante un interruptor, los resultados que se obtuvo fueron, potencia máxima (línea continua) de 83.8 HP a 2712 rpm, un torque máximo (línea entrecortada) de 185.6 ft*lbs a 2126 rpm.

4.5 Análisis de Resultados

El análisis se realiza comparando las pruebas tomadas del dinamómetro, utilizando gasolina y el sistema generador:

En la prueba 1 que se puede observar en la figura 27 se obtuvo una potencia de 41.1 HP y de torque 119.0 ft*lbs haciendo funcionar el motor con gasolina.

En la prueba 2 se nota una gran diferencia en la figura 28 donde el dinamómetro dio una potencia de 83.8 HP y de torque 185.6 ft*lbs haciendo funcionar el motor con hidrógeno.

Por lo tanto, en la prueba 2 se puede observar que se tiene un incremento de la potencia y el torque del motor en relación a la prueba 1. Esto significa que el vehículo con la ayuda del H₂ como combustible proporciona una mayor potencia y torque.

Finalmente, gracias a esta prueba se comprobó que el uso del H₂ como combustible puede proporcionar una mejora significativa en la potencia y el torque del motor. Estos resultados son relevantes porque surgen que el uso del H₂ como combustible podría tener un impacto positivo en la eficiencia y el rendimiento de los vehículos, lo que es importante en el contexto de la lucha contra el cambio climático y la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

Conclusiones

Para la implementación del sistema generador de hidrógeno se tomaron en cuenta las siguientes normativas como es la NTE INEN ISO 22734 que regulan su uso y comercialización en diferentes países regiones y la normativa IEC 62540 que trata sobre la característica de seguridad de los sistemas de electrólisis de agua.

Se seleccionó el sistema generador de H de celdas húmedas debido a que este ofrece mejores ventajas y prestaciones en comparación al sistema de celdas secas.

Se concluye que al realizar el análisis se notó la potencia en la prueba 2, utilizando H como combustible, se registró una potencia de 83.8 HP, lo cual representa un aumento significativo en comparación con los 41.1 HP obtenidos en la prueba 1 con gasolina. Esto indica que el motor puede generar más potencia al funcionar con H, lo que puede traducirse en un mejor rendimiento y mayor capacidad de aceleración.

El torque también mostró una mejora sustancial en la prueba 2. Con el uso de este sistema, se registró un valor de 185.6 ftlbs, en comparación con los 119.0 ftlbs obtenidos con gasolina en la prueba 1. El aumento en el torque proporciona una mayor capacidad de empuje y respuesta del motor, lo que puede resultar en una conducción más dinámica y una mejor capacidad de carga.

Recomendaciones

Se recomienda hacer uso de las normativas que rigen en el país con referencia a los sistemas generadores de Hidrógeno, por lo que se debe de tomar en cuenta todo relacionado con estos sistemas con la finalidad de tener una operación segura y eficiente.

Se debe de tener en consideración que, al momento de la selección del sistema generador de Hidrógeno conocer los elementos que lo componen, al realizar la instalación lo recomendable es buscar puntos adecuados donde no intervengan con mecanismos móviles del motor.

Se recomienda al momento de realizar las pruebas anclar el vehículo con las correas de seguridad en los puntos adecuados para que el vehículo se mantenga fijo en el dinamómetro.

Bibliografía

- AcademiaLab. (2020). *Celda de combustible*. Obtenido de <https://academia-lab.com/enciclopedia/celda-de-combustible/>
- Aguado, R., Casteleiro, J., Jove, E., Zayas, F., Quintián, H., & Calvo, L. (2021). *Hidrógeno y su almacenamiento: el futuro de la energía eléctrica*.
- Américo Peretti, H., & Visitin, A. (2017). *Hidrógeno, combustible del futuro: ¿por qué, cómo y dónde?* Comisión Nacional de Energía Atómica.
- Areatecnologia. (2019). *Relé*. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/rele.html>
- Betterfuel. (2020). *Datos sobre el Hidrógeno*. Obtenido de <https://www.hho-1.com/datos-hidrogeno-hho/?lang=es#:~:text=Los%20generadores%20de%20HHO%20usan,es%20muy%20r%C3%A1pido%3A%200.007%20segundos.>
- Centro Nacional del Hidrógeno. (2021). *El hidrogeno*. Obtenido de [¿Qué es el hidrógeno?:
https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20es%20el%20primer,es%20ins%C3%ADpido%2C%20inoloro%20e%20inodoro.](https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20es%20el%20primer,es%20ins%C3%ADpido%2C%20inoloro%20e%20inodoro.)
- Centro Nacional del Hidrógeno. (2021). *Hidrógeno*. Obtenido de <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>
- Chele Sancan, D. G. (2017). Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustion interna. *INNOVA Research Journal*, 4-5.

Diario El Comercio. (2013). *Contaminación del aire*. Obtenido de http://airepablogordillo.blogspot.com/2013_09_01_archive.html

EATON. (2020). *Reguladores de Voltaje*. Obtenido de <https://www.eaton.com/ar/es-mx/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/voltage-regulators/voltage-regulators--fundamentals-of-voltage-regulators.html#:~:text=Los%20reguladores%20de%20voltaje%20resuelven,de%20lucos%2C%20aparatos%20y%20mo>

El Comercio. (2017). Contaminación por parte del parque automotor en Ecuador. *Diario El Comercio*, págs. 4-5.

Emitología y Geología. (2017). *Carbón*. Obtenido de <https://hmong.es/wiki/Coal>

Escudero, S., González, J., Rivas, J., & Suárez, A. (2016). *Motores*. Macmillan.

Fabre Morán, L. (2017). *Diseño de un plan para la implementación de estaciones de recarga semi-rápida para vehículos eléctricos en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: Repositorio UIDE.

Gámez, D. (2010). *El Hidrógeno y sus Aplicaciones Energéticas*.

Guardia, M. (2009). *Química 2 Bachillerato*. Santillana.

Herrera Murillo, J., Rodríguez Román, S., & Rojas Marín, J. (2017). *Determinación de las emisiones de contaminantes del aire generadas por fuentes móviles*. Obtenido de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/176/174

Holgado Secas, H. (2017). *Diseño y construcción de un generador de hidrógeno por electrólisis*. UPCommons.

- INEN. (2017). Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres .
NTE INEN 2204. doi:13.040.50
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). *Gestión ambiental, aire, vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina*. INEN.
- MANITEC. (2020). *Coches híbridos ¿que són?* Obtenido de <https://manitec.es/coches-hibridos/coches-hibridos-que-son/>
- Martínez Muños , O., & Nilve Balseca, A. (2014). *Sistema generador de hidrógeno*. ESPOCH.
- Méndez Torres, P. (2020). Análisis de la viabilidad para la implementación de vehículo eléctrico que preste servicio de taxi en la ciudad de Cuenca. *INNOVA RESEARCH JOURNAL*, 2.
- Ministerio del Ambiente. (2018). Estudio de análisis de los gases contaminantes del vehículo. *El Universo*, págs. 15-16.
- Morales Ramos, A., Pérez Figueroa, M., Pérez Gallardo, J., & León, S. (2017). Energías renovables y el Hidrógeno en un par prometedor en la transición energética de México. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 4.
- Murillo Aldaz, J. (2016). *Generadores de Hidrógeno*. Ediciones Olgin .
- Norma Técnica Ecuatoriana. (2014). *Generador de Hidrógeno utilizando el proceso de la electrolisis del agua*.
- Normativa IEC . (2019). *Normativa IEC 62540n "Tecnología de electrolisis de agua"*.

- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Nuevas directrices mundiales sobre la calidad del aire*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
- Pacheco Rodríguez, C. (2022). *Análisis de autonomía de vehículos eléctricos en función del ciclo de conducción*. Guayaquil: Repositorio UIDE.
- Paredes Acurio, D. I. (2016). *Diseño, construcción y pruebas de una celda de hidrógeno para el vehículo Honda Civic 1977, como alternativa de energía renovable*. Quito: Repositorio UIDE.
- Ramírez Nava, R. (2015). *Diseño analítico de una celda de combustible tipo PEM para la aplicación automotriz*. México.
- Rovira de Antonio , A. J., & Muñoz, M. (2015). *Motores de combustión interna*. UNED.
- SAENZ. (2020). *Dinamómetros de motores* . Obtenido de Banco de prueba de motores: <https://www.saenzdynos.com.ar/bco-pruebas-motores-ds.php?lang=es>
- Santander, J. R. (2003). *Técnico en mecánica y electrónica automotriz, Tomo 1*. Cámara Ecuatoriana del Libro.
- Segundo Felizandro, A. M. (2019). *Diseño de un generador de hidrógeno para rendimiento de un motor de combustión interna* . Escuela profesional de ingeniería mecánica.
- Suárez Benavides , W. (2018). *Generador de Hidrógeno como reductor de gases, contaminantes para motores Kia*.
- Suárez Benavides, O. (2017). *Generador de hidrógeno como reductor de gases, contaminantes para*. Facultad de Filosofía.

