



INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

Autor: Galy Emanuel Giler Giler
Steven José Pincay Quiñónez

Tutor: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc.

**Implementación de un Sistema a Hidrógeno en un Motor de 4
Tiempo sobre la Estructura de un Kart Homologado**

Certificación de Autoría

Nosotros, Galy Emanuel Giler Giler, con CI: 0951233337 y Steven José Pincay Quiñónez, con CI: 0929116846, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad intelectual, reglamento y leyes.

Galy Emanuel Giler Giler

C.I:0951233337

Steven José Pincay Quiñónez

C.I: 0929116846

Aprobación del Tutor

Yo, Edgar Gustavo Vera Puebla certifico que conozco a los autores del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su seguridad y autenticidad, como de su contenido

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc

Director del Proyecto

Dedicatoria

Este logro se la dedico a mis padres y a mi hermana, que son quienes siempre han estado para ayudarme y darme todo su apoyo en todo el transcurso no solo de mi carrera, si no de mi vida, se lo dedico a mi esposa y a mi hija quienes han sido un pilar fundamental en esta última parte de mi carrera, se la dedico a cada uno de los docentes que han podido brindarme un poco de su conocimiento en para que esto sea posible.

Steven José Pincay Quiñonez

Se la dedico a mis padres quien son los que me han dado su apoyo a lo largo de mi vida, me han ayudado a llegar hasta donde me encuentro, se la dedico a mis hermanos quienes me han dado palabras y consejos los cuales me han ayudado a seguir adelante y no estancarme, a todos mis profesores que han tenido paciencia y darnos su conocimiento a lo largo de esta carrera.

Galy Emanuel Giler Giler

Agradecimientos

Agradezco a Dios por su infinita misericordia y por darme la posibilidad de escalar un peldaño más en esta vida.

A mis padres que son los que han estado para mí en los momentos buenos y malos, quienes siempre confiaron en mí y han sido uno de los pilares fundamentales en mi vida.

A mi esposa e hija que han estado en la parte final de mi carrera, son las que me han dado su amor y comprensión, han sido otro de mis pilares fundamentales.

Agradezco a cada uno de los docentes que han podido brindar un poco de su conocimiento en el transcurso de la carrera, y un agradecimiento especial al Ingeniero Edgar Vera, gracias por brindar su conocimiento, su ayuda, y en especial a la paciencia que ha tenido para que este proyecto sea realizado de la mejor manera.

Steven José Pincay Quiñonez

En primer lugar agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida, que fueron llenos de muchos retos y permitieron ayudarme a crecer en todos estos años en el ámbito personal, por darme las oportunidades que se me presentaron a lo largo de mi carrera, por guiarme en cada paso que di en mi vida, agradezco a mis padres por el apoyo en todo este proceso largo de la carrera y de mi vida personal, donde tuve muchas altas y bajas pero estuvieron ahí para apoyarme en todo momento, agradezco a la universidad por haberme permitido ser parte de esta prestigiosa institución, gracias por todo este proceso, por acogerme en sus aulas donde pude aprender muchas cosas nuevas, que me ayudaron al desarrollo de este proyecto, gracias a cada uno de los profesores a nuestra directora académica la Ing. Daniela Jerez por todas las enseñanzas en cada una de las materias dictadas por ellos, también agradezco a sus concejos que siempre fueron para bien, doy gracias también al Ing. Edgar Vera nuestro tutor de tesis por sus aportaciones, su conocimiento, sus directrices, y por guiarnos paso a paso al desarrollo de este proyecto innovador, esperando que esta tesis dure dentro de los conocimientos y desarrollo de nuevos temas investigativos.

Finalmente agradezco a quienes leen este apartado y más de mi tesis, por permitir aportar con mis conocimientos, experiencias, investigaciones, a todas muchas gracias.

Galy Emanuel Giler Giler

Índice General

Dedicatoria	v
Agradecimientos	vii
Índice General	ix
Índice de Figuras	xiii
Índice de Ecuaciones.....	xv
Índice de Tablas	xvi
Resumen.....	xvii
Abstract.....	xviii
Capítulo I	1
Problema de la Investigación	1
1.1. Tema de Investigación	1
1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema	1
1.2.1. Planteamiento del Problema	1
1.2.2. Formulación del Problema.....	2
1.3. Sistematización del Problema	2
1.4. Objetivos de la Investigación	2
1.4.1. Objetivo General.....	2
1.4.2. Objetivos Específicos	3
1.5. Justificación e Importancia de la Investigación	3
1.5.1. Justificación Teórica.....	3
1.5.2. Justificación Metodológica.....	5
1.5.3. Justificación Práctica	5

1.5.4.	Delimitación Temporal.....	5
1.5.5.	Delimitación Geográfica.....	6
1.5.6.	Delimitación del Contenido.....	6
1.6.	Alcance.....	6
Capítulo II.....		8
2.	Marco de Referencia.....	8
2.1.	El Motor de Combustión Interna Aplicado al Karting.....	8
2.2.	Competencias de Karting de Pila de Combustible a Hidrógeno	8
2.2.1.	Formula Zero	10
2.3.	Incursión de los Motores en las Competencias Automovilísticas.....	11
2.4.	Hidrógeno en el Sector Automotriz por Primera Ocasión	12
2.5.	Funcionamiento del Hidrógeno en la Combustión de los Motores.....	13
2.5.1.	Motor de Hidrógeno de Combustión Interna.....	14
2.5.2.	Funcionamiento del Motor de Hidrógeno de Combustión Interna.....	15
2.5.3.	Funcionamiento de un Motor de Hidrógeno de Pila de Combustible	16
2.6.	Aparición del Vehículo con Motor con Pila de Hidrógeno.....	17
2.7.	El Hidrógeno	20
2.8.	Electrólisis.....	20
2.8.1.	Electrólisis en Agua.....	21
2.9.	Electrolito.....	22
2.10.	Hidróxido de Sodio.....	22
2.11.	Agua Destilada	23
2.12.	Celdas de Hidrógeno	23

2.13.	Celdas Húmedas	23
2.14.	Celdas Secas	24
2.15.	Autonomía de un Vehículo de Hidrógeno.....	25
2.16.	El Motor de Combustión Interna	25
2.17.	Principios Físicos y Componentes del Motor de Combustión Interna	25
2.18.	Gases del Sistema del Escape.....	26
2.19.	El Kart.....	27
2.19.1.	Características de un Kart	29
2.19.2.	Karts Impulsados por Hidrógeno	29
2.19.3.	Fórmula Zero	30
Capítulo III.....		33
3.	Metodología	33
3.1.	Selección de Chasis de Kart Homologado	33
3.2.	Materiales y Componentes Necesarios	34
3.2.1.	Generador de Hidrógeno	34
3.2.2.	Cálculo de Producción Máxima de Hidrógeno.....	37
3.2.3.	Tanque de Almacenamiento de Hidrógeno	41
3.2.4.	Celdas de Combustible	42
3.2.5.	Adaptaciones en el Motor sobre Chasis de Kart Homologado.....	43
3.2.6.	Adaptación de Acumulador de Energía.....	52
3.2.7.	Embellecimiento de Molduras Plásticas.....	53
3.2.8.	Sistema de Gestión del Motor	54
3.2.9.	Instalación Sistema de Generación de Hidrógeno sobre Estructura de Kart.....	55

3.2.10.	Pruebas de Funcionamiento	63
Capítulo IV	66
4.	Análisis de Resultados	66
4.1.	Análisis del Funcionamiento del Sistema de Hidrógeno sobre el Motor de Kart	66
4.1.1.	Eficiencia Energética	66
4.1.2.	Proceso de Generación	66
4.1.3.	Almacenamiento y Suministro	66
4.1.4.	Calibración o Ajustes del Motor del Kart.....	67
4.1.5.	Control y Monitoreo de la Alimentación del Hidrógeno en el Motor	67
4.1.6.	Análisis del Impacto en el Rendimiento del Kart.....	68
4.1.7.	Análisis de la Seguridad y Regulaciones.....	68
Conclusiones	69
Recomendaciones	71
Bibliografía	72

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Modalidad Karting Formula Zero</i>	9
Figura 2 <i>Primer Vehículo Experimental de Hidrógeno</i>	13
Figura 3 <i>Motor de Combustión Interna con Alimentación de Hidrógeno</i>	14
Figura 4 <i>Sistema de Almacenamiento de Hidrógeno en un Vehículo</i>	16
Figura 5 <i>GM Electrován Año 1966</i>	18
Figura 6 <i>Molécula de Hidrógeno</i>	20
Figura 7 <i>Celda Húmeda</i>	24
Figura 8 <i>Celdas Secas</i>	24
Figura 9 <i>Kart Participante en Formula Zero</i>	31
Figura 10 <i>Tonny Kart</i>	33
Figura 11 <i>Vehículo con Sistema de Generación y Almacenamiento de Hidrógeno</i>	35
Figura 12 <i>Sistema de Alimentación de Hidrógeno en Motor</i>	36
Figura 13 <i>Sistema de Hidrógeno Vehicular de Celdas Húmedas</i>	41
Figura 14 <i>Partes de la Celda de Hidrógeno Húmeda</i>	43
Figura 15 <i>Desmontaje de Componentes de Carrocería de Kart Homologado</i>	44
Figura 16 <i>Estructura de Kart sin Componentes Plásticos</i>	44
Figura 17 <i>Reparación de Plásticos</i>	45
Figura 18 <i>Desmontaje de Motor de Kart</i>	45
Figura 19 <i>Desmontaje de Neumáticos y Eje de Kart</i>	46
Figura 20 <i>Toma de Medidas de Flecha de Motor</i>	46
Figura 21 <i>Embrague Centrífugo para Kart</i>	47
Figura 22 <i>Dimensiones de Catalina</i>	48

Figura 23 <i>Trabajo de Adaptación de Catalina en Torno</i>	48
Figura 24 <i>Trabajo de Perforación y Sujeción de Catalina</i>	49
Figura 25 <i>Colocación de Eje Posterior sobre Chasis de Kart</i>	49
Figura 26 <i>Adaptación de Base para Motor sobre Chasis de Kart</i>	50
Figura 27 <i>Orificios para Sujeción de Motor sobre Base</i>	51
Figura 28 <i>Colocación y Alineación de Motor</i>	51
Figura 29 <i>Adaptación de Acumulador sobre Chasis de Kart</i>	53
Figura 30 <i>Adhesivos para Embellecimiento de Molduras Plásticas de Kart</i>	54
Figura 31 <i>Adhesivos Colocados en Molduras Plásticas de Kart</i>	54
Figura 32 <i>Inicio de Proceso de Instalación de Sistema a Hidrógeno sobre Motor</i>	56
Figura 33 <i>Esquema del Proceso de Instalación de Sistema a Hidrógeno sobre Motor</i>	57
Figura 34 <i>Burbujeador y sus Componentes</i>	58
Figura 35 <i>Reactor y sus Componentes</i>	60
Figura 36 <i>Cañerías Utilizadas en la Adaptación</i>	61
Figura 37 <i>Solución para Electrólisis</i>	61
Figura 38 <i>Sujeción de Componentes del Sistema</i>	62
Figura 39 <i>Elementos de Salida de Gases Combustionados</i>	63
Figura 40 <i>Armado del Proyecto de Kart a Hidrógeno y Pruebas de Funcionamiento</i>	64
Figura 41 <i>Finalización del Proyecto de Kart a Hidrógeno</i>	65

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Carga de Corriente	38
Ecuación 2 Consumo de Electricidad de Generadores de Hidrógeno	40

Índice de Tablas

Tabla 1 Cantidad de Hidrógeno Permitido según Tamaño de Motor	39
Tabla 2 Consumo de Electricidad de Generadores de Hidrógeno	40
Tabla 3 Especificaciones Técnicas del Embrague Centrífugo para Kart.....	47
Tabla 4 Ficha Técnica del Acumulador	52

Resumen

La implementación de un sistema de hidrógeno en un motor de gasolina destinado a propulsar un kart de competición automovilística representa un enfoque vanguardista para mejorar el rendimiento y reducir las emisiones. Este sistema implica la integración de un generador de hidrógeno mediante electrólisis, que separa el agua en sus componentes elementales, con un tanque de almacenamiento de hidrógeno seguro y eficiente. La adaptación del motor de gasolina para aceptar una mezcla de hidrógeno y combustible convencional exige ajustes en la relación aire-combustible y la inyección de hidrógeno, junto con la incorporación de sensores y controladores para monitorear y regular el proceso. La implementación de estas modificaciones requiere una comprensión profunda de la mecánica y la ingeniería automotriz, así como estricta adherencia a las regulaciones de seguridad y normativas específicas. Además, se necesitan pruebas y ajustes exhaustivos para optimizar la eficiencia y el rendimiento del kart, asegurando un equilibrio entre potencia y fiabilidad. Esta innovadora implementación no solo refuerza la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en el mundo de las carreras automovilísticas, sino que también destaca el potencial del hidrógeno como una alternativa viable y prometedora en el campo de la propulsión de vehículos de alto rendimiento.

Palabras Clave: Kart, hidrógeno, motor, energía alternativa, termodinámica.

Abstract

The implementation of a hydrogen system in a gasoline engine intended to power a racing kart represents a cutting-edge approach to improving performance and reducing emissions. This system involves the integration of a hydrogen generator through electrolysis, which separates water into its elemental components, with a safe and efficient hydrogen storage tank. Adapting the gasoline engine to accept a mixture of hydrogen and conventional fuel requires adjustments to the air-fuel ratio and hydrogen injection, along with the incorporation of sensors and controllers to monitor and regulate the process. Implementing these modifications requires a deep understanding of automotive mechanics and engineering, as well as strict adherence to specific safety regulations and standards. Additionally, extensive testing and adjustments are needed to optimize the efficiency and performance of the kart, ensuring a balance between power and reliability. This innovative implementation not only reinforces sustainability and environmental responsibility in the world of motor racing, but also highlights the potential of hydrogen as a viable and promising alternative in the field of high-performance vehicle propulsion.

Keywords: Kart, hydrogen, engine, alternative energy, thermodynamics.

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1. Tema de Investigación

Implementación de un sistema a hidrógeno en un motor de 4 tiempos sobre la estructura de un kart homologado.

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

Durante los últimos años se proponen o plantean nuevos desafíos en lo concerniente a la transformación de energía con aplicación en motores de combustión interna deslindando a los combustibles de origen fósil, sobre todo en motores que se los aplica en ciertas modalidades de competencias automovilísticas como lo son en el karting en el que normalmente se utiliza gasolina.

1.2.1. Planteamiento del Problema

Los karts a nivel mundial y en sus diferentes categorías usan un motor de 2 tiempo, de aproximadamente 125 cm³, los cuales también son monocilindros, estos tampoco tienen caja de cambios, aquellos motores son refrigerados de diferentes maneras como por agua o por aire.

Cada categoría del karting tiene sus propias especificaciones para competir, sus diferentes modificaciones que son permitidas por los diferentes organismos reguladores de esta disciplina.

El kart es un vehículo terrestre monoplaza o multiplaza usado a en todo el mundo, como vehículos de competencia automovilística, el karting como se le denomina a esta competencia, estos se desplazan por circuitos los cuales se le denomina kartódromos, los cuales tienen entre 600 y 1.700 metros de longitud y consta de un ancho que redondea los 8 y 15 metros, son competencias de alto rendimiento, las cuales se la denomina como la cuna de todas las competencias automovilísticas.

Las velocidades que llegan alcanzar los karts van a depender de la categoría de competición, existen velocidades de hasta 80 a 120 Km/H.

Cabe aclarar que lo expuesto este tipo lo alcanzado a través de los motores de combustión interna los cuales son alimentados de combustibles que tienen procedencia de elementos fósiles como lo es la gasolina lo que genera un grave problema a nivel global el uso de este tipo de combustible por lo que se pretende con el presente trabajo investigativo experimentar su funcionamiento con uno de los combustibles alternativos como lo es en este caso el hidrógeno.

1.2.2. Formulación del Problema

¿Cuáles serían los componentes para sustituir en la implementación de un sistema de alimentación de combustible a hidrógeno en un motor de 4 tiempos sobre la estructura de un kart de competición con estructura homologada?

1.3. Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son los componentes que se deben modificar en el kart para la implementación de un motor de 4 tiempos a hidrógeno?
- ¿Cuáles son las mejoras que brinda la implementación de un motor de 4 tiempos a hidrógeno en relación con el motor de 2 tiempos con alimentación de combustible a gasolina?
- ¿Qué beneficios propone la implementación de un sistema de alimentación de combustible a hidrógeno sobre un motor de cuatro tiempos con aplicación en un kart de competencia con estructura homologada?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Implementar sistema a hidrogeno en un motor de 4 tiempos sobre la estructura de un kart homologado.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Conocer el funcionamiento del sistema de hidrógeno y sus diferentes componentes para la implementación en el motor de 4 tiempos.
- Determinar la metodología correcta que permita la adaptación del motor con sistema a hidrógeno sobre la estructura de un kart homologado.
- Evaluar el funcionamiento de la implementación de un motor a hidrógeno sobre la estructura de un kart homologado.

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

El presente estudio referente a la adaptación de un sistema a hidrógeno en un motor de cuatro tiempos que normalmente es alimentado a gasolina, para de esta manera poder determinar su desempeño con el uso de este tipo de combustible alternativo en el ámbito de las competencias automovilísticas como lo es el karting.

A continuación, se presentan las distintas justificaciones que influyen en el desarrollo de este estudio investigativo:

1.5.1. Justificación Teórica

El cambio climático influye de manera directa por lo que el presente estudio de investigación se enfoca en brindar una posible solución a este problema que nos involucra a todo el planeta por este motivo que de manera tradicional en competencias automovilísticas se hace uso de motores de combustión interna los mismos que son alimentados con combustibles de origen fósil como lo es la gasolina, por lo cual se pretende realizar una implementación de un sistema a hidrógeno sobre un motor de combustión interna y así poder determinar su desempeño en este tipo de competencias, esperando que el mismo sea más amigable con el medio ambiente.

La forma de realizar una justificación teórica para el desarrollo del presente trabajo de investigación se da a través de la búsqueda de fuentes bibliográficas como lo son artículos técnicos, videografía, encuestas, artículos científicos y estudios previos como los siguientes:

Según (Duque & Masaquiza, 2013) establece que “la implementación de un generador e inyector de hidrógeno en un motor Mazda su rendimiento se encuentra aumentado en un 5.65 % de potencia y reducción del 8.91 % para emisiones generados por parte de la cámara de combustión”.

En otra investigación realizada por (León, 2019) dice que “los beneficios de la instalación de un sistema de hidrógeno sobre un motor a gasolina carburado presentan beneficios como lo es la eficiencia, económicas y aspectos ambientales como lo es el caso de reducción de gases de efecto invernadero”.

En lo concerniente de aspecto de aplicaciones energéticas y de automoción (Sáinz, 2014) llega a concluir que “dentro de las pruebas realizadas a motores de combustión interna con combustible dual (hidrógeno y gasolina), en el campo de la automoción se desempeña de manera óptima y que el mismo hasta puede ser una ayuda en vehículos híbridos”.

Uno de los artículos que más impacto presenta con el presente trabajo investigativo lo presenta (Suarez, Rodríguez, & Solorza, 2008) en el que dice “que un kart híbrido presenta muchas ventajas ya que al ser sometido a cargas internas y externas de 120 kg, la potencia que este posee es de 20 V y 5 A (100 W) se desempeña de forma óptima” y sobre todo se presenta de manera considerable la disminución de elementos o gases contaminantes que ayudan de forma directa al medioambiente.

Con la presentación de estos antecedentes permiten encaminar cada una de las fases del desarrollo del presente trabajo investigativo para de esta manera lograr los objetivos planteados en lo concerniente a la sección teórica o de conceptualización de principios aplicados en su desarrollo.

1.5.2. Justificación Metodológica

En la parte metodológica el presente trabajo investigativo referente a la Implementación de un sistema a hidrógeno en un motor de 4 tiempos sobre la estructura de un kart homologado, se fundamenta a través de un método científico y experimental el cual cumple cada una de sus fases como lo son inicialmente la búsqueda de información, clasificación de parámetros de desarrollo y análisis de criterios técnicos para proceder a la implementación del sistema generador de hidrógeno y ser implementado en el motor de combustión interna y a su vez generar la adaptación del motor sobre el chasis del vehículo kart homologado. Finalizando con las pruebas respectivas de ajuste y puesta a punto en desarrollo del conjunto, para de esta manera llegar al análisis del estudio y cumplir así los objetivos planteados.

1.5.3. Justificación Práctica

En la elaboración del presente proyecto investigativo se ampliará y fortalecerá varios de los conocimientos obtenidos en el tiempo de estudio de la Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz, así obtendremos un mayor conocimiento y preparación en el campo de nuevas tecnologías de motores aplicados a las competencias automovilísticas, pero sin la intervención de combustibles de origen fósil.

En el desarrollo del proyecto, se utilizará equipos y herramientas para el correcto acoplamiento del motor al kart y los resultados nos permitirán a obtener nuevas fuentes de información.

1.5.4. Delimitación Temporal

El trabajo se llevará a cabo en el mes de abril del 2023 hasta noviembre del 2023, en ese tiempo se realizará la implementación del motor de 4 tiempo con sistema de hidrógeno, también se procederá con la investigación de cada uno de los componentes y sistema a utilizar en el kart.

1.5.5. Delimitación Geográfica

El presente trabajo investigativo se realizará sobre el motor y estructura de un kart de competición homologado, a través de un motor de 4 tiempos el mismo que será adaptado un sistema de generación e inyección de hidrógeno, dicho estudio se lo llevará a cabo en la ciudad de Guayaquil.

1.5.6. Delimitación del Contenido

La presente investigación se encuentra orientada a través de un marco conceptual y esta contará de conceptos básicos para la discusión del vehículo como tecnología, transición, se lo desarrolla con un proceso metódico de investigación basada en fuentes bibliográficas teóricas y técnicas, así como también, artículos científicos, proyectos de titulación, entrevistas a investigadores, páginas web, estructurando de la mejor manera, para así poder alcanzar los diferentes objetivos planteados.

Cabe tener en cuenta que la investigación realizada, solo presenta básicamente con una sección de cuatro capítulos como cuadro de textos y respectivas conclusiones y recomendaciones.

1.6. Alcance

De acuerdo al problema planteado y los objetivos establecidos el presente trabajo investigativo el cual se basa en la implementación de un sistema de alimentación de hidrógeno sobre un motor de combustión interna de cuatro tiempos para de esta manera suplantar el uso de combustible como lo es la gasolina, por el motivo que se busca experimentar con combustibles que no sean de origen fósil y sobre todo con vehículos que se desempeñen en el área de las competencias automovilísticas los cuales generan altos niveles de contaminación ambiental.

Por ende, el alcance que se contempla para el presente estudio es generar técnicamente la selección del sistema idóneo de generación de hidrógeno para luego adaptarlo como

combustible a un motor de combustión interna de cuatro tiempos el mismo que se lo utiliza en una categoría de competencias automovilísticas como lo es el karting.

Capítulo II

Marco de Referencia

En el presente capítulo se fundamenta cada uno de los conceptos y principios que permitan consolidar el desarrollo del presente trabajo investigativo el mismo que se desglosa a continuación.

2.1. El Motor de Combustión Interna Aplicado al Karting

Dentro de la normativa que se presenta en karting como modalidad de competencia automovilística normalmente se aplican motores de combustión interna de dos tiempos por el motivo que presenta grandes ventajas en el tipo de desempeño y eficiencia con que estos motores brindan en los estilos de competencia del karting.

El parámetro que se considera de manera importante en este tipo de competencias es la cilindrada con que cuentan los motores con los que se corren, pero respetando el reglamento con que cuenta cada una de las competencias.

En lo concerniente al tipo de combustible que normalmente se utiliza en este tipo de motores lo es la gasolina, pero en este punto se debe aclarar una diferencia que existe entre los motores de 4 tiempos y los de 2 tiempos y es que en un motor de 4 tiempos el sistema de lubricación y el sistema de refrigeración se encuentran completamente separados y el combustible que ingresa es gasolina pura al sistema de alimentación de combustible, en cambio que en los motores de 2 tiempos se debe realizar una mezcla proporcionada entre aceite y gasolina.

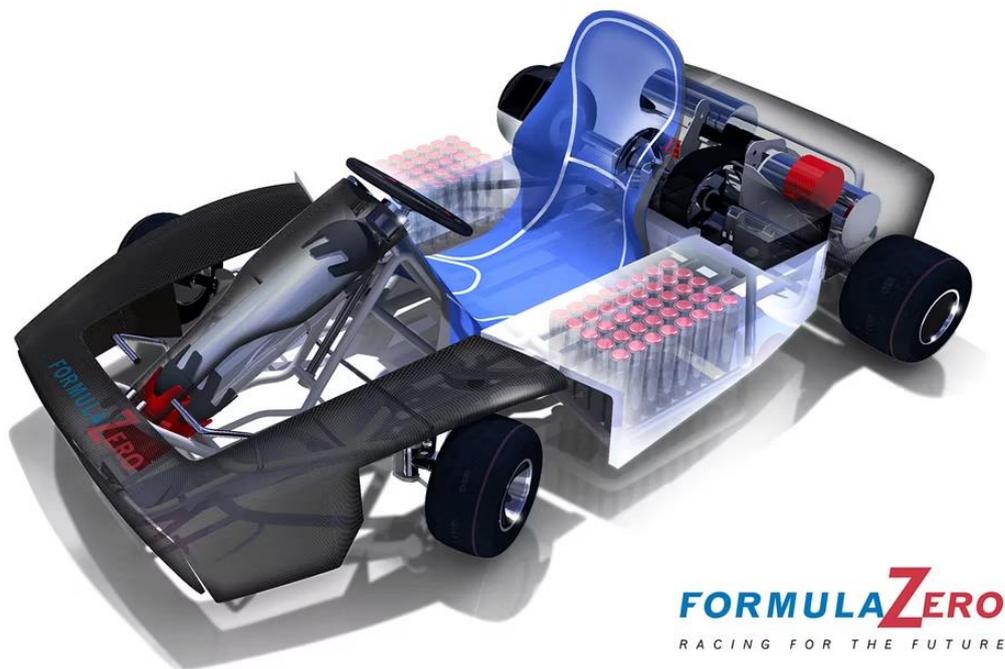
2.2. Competencias de Karting de Pila de Combustible a Hidrógeno

En los últimos años algunas empresas han incursionado en el estudio y desarrollo de la búsqueda de nuevos tipos de combustibles no fósiles para ser aplicados en motores de combustión interna los mismos que se los aplica en competencias automovilísticas como lo es el karting.

Entre estos centros investigativos o fundaciones internacionales en el desarrollo de nuevas tecnologías se han enfocado en el uso de pilas de hidrógeno en las cuales al ser aplicados en los karts a su vez han realizado una nueva categoría de competencia dentro del karting como lo es la denominada Formula Zero como se puede apreciar en la figura 1.

Figura 1

Modalidad Karting Formula Zero



Fuente: (Moore, 2006)

Esta modalidad denominada Formula Zero fue desarrollada por una corporación holandesa la misma que se enfoca principalmente en aportar por nuevas tecnologías con aplicación de hidrógeno como una aplicación en el campo de las competencias automovilísticas.

Además de la creación de crear investigaciones en este campo de la fabricación de los karts con este principio también han puesto gran énfasis en la construcción de un circuito de karting con una longitud de 600 m y una capacidad de 1500 espectadores con todos los

servicios necesarios como lo es habitual en cualquier tipo de competencias automovilísticas y sobre todo la implementación de estaciones de hidrógeno.

Como es una competencia en desarrollo se han enfocado en la participación sobre todo de equipos universitarios para de esta manera acelerar el desarrollo tecnológico en el área de los motores con pilas de hidrógeno.

2.2.1. *Formula Zero*

Ambientalmente cada día se busca nuevas alternativas en las que se alcance una disminución de los estándares de agentes contaminantes para el planeta y el sector automovilístico es uno de los que mayor cantidad de contaminación produce por lo que la investigación se concentra en generar una forma de transporte en la que no se tenga efectos negativos sobre el medio ambiente o reducirlos al máximo.

En la búsqueda de una aplicación de energía limpia se concentra en la concentración de pilas de combustible y sobre todo el hidrógeno que es el combustible que cumple con estas expectativas y es una tecnología que se encuentra actualmente disponible sobre todo en mejoras de desarrollo.

Ahora el propósito se concentra en que este tipo de tecnología adquiera la confianza y apoyo por parte de la población mundial en masa, pero se ha iniciado a través de una categoría de competencias automovilísticas como lo es la Formula Zero ya que el karting es un deporte automovilístico popular y con una gran cantidad de seguidores y patrocinadores corporativos los mismos que cuentan con mediano y gran poder económico que buscan una gran eficiencia de estos vehículos y sobre todo el ganar este tipo de competencia automovilísticas.

Los karts en esta categoría poseen las siguientes características:

- Peso de kart: 110 kg
- Aceleración de 0 a 100 km: 4.4 s

- Velocidad máxima: 150 km/h
- Autonomía: 40 min por botella
- Pila de hidrógeno: HyPM8
- Potencia de la pila de combustible: 8.5 kW

2.3. Incursión de los Motores en las Competencias Automovilísticas

La evolución de los motores de combustión interna es constante y por lo mismo la aplicación de estos en vehículos de competencias automovilísticas sin duda alguna han permitido la mejora de su eficiencia en comparación a los motores aplicados a vehículos denominado de serie.

Se tiene un registro promedio que en los años noventa el automóvil cumplió en promedio un siglo de existencia, el mismo que en cualquiera de sus fases evolutivas fue aceptado por la sociedad, así como su masificación hasta llegar al punto que en la actualidad se lo llega a considerar como una máquina extraordinaria a pesar de que esto ocurrió en un lapso muy corto de vida tecnológica y su avance es tan acelerado que en pocos años se puede ver avances inimaginables entre una década a otra.

Cabe tener en cuenta que el avance tecnológico no solo se da en una sección de los vehículos sino más bien en cada uno de los sistemas que lo conforman y sobre todo en la disminución de sistemas mecánicos, mejoras de sistemas eléctricos e implementación de sistemas electrónicos y a la fecha de la realización de la presente investigación la sustitución de acciones de operación por autonomía e inteligencia artificial.

En lo concerniente a motores de combustión interna se puede llegar a indicar que en su parte evolutiva estos han llegado a ser más pequeños, compactos con mayor eficiencia y menor consumo de combustible, pero en este punto se pone énfasis en el presente estudio investigativo con lo es que por todo el siglo de la vida de los vehículos en su gran mayoría solo se utilizó para su operación combustibles de origen fósil como lo es gasolina, diésel,

GLP, gas natural, entre otros. Elevando de esta manera la contaminación ambiental y destrucción de recursos, así como la capa de ozono, generando así un cambio climático extremo.

Cabe aclarar que en vehículos que se desempeñan en competencias automovilísticas no se ha puesto énfasis en la aplicación de normas o alternativas para la reducción de aplicación de combustibles de origen fósil por combustibles alternativos o energías renovables a gran escala de aplicación.

Entre las pocas aplicaciones de categorías de competencias con motores eléctricos y no de combustión interna están:

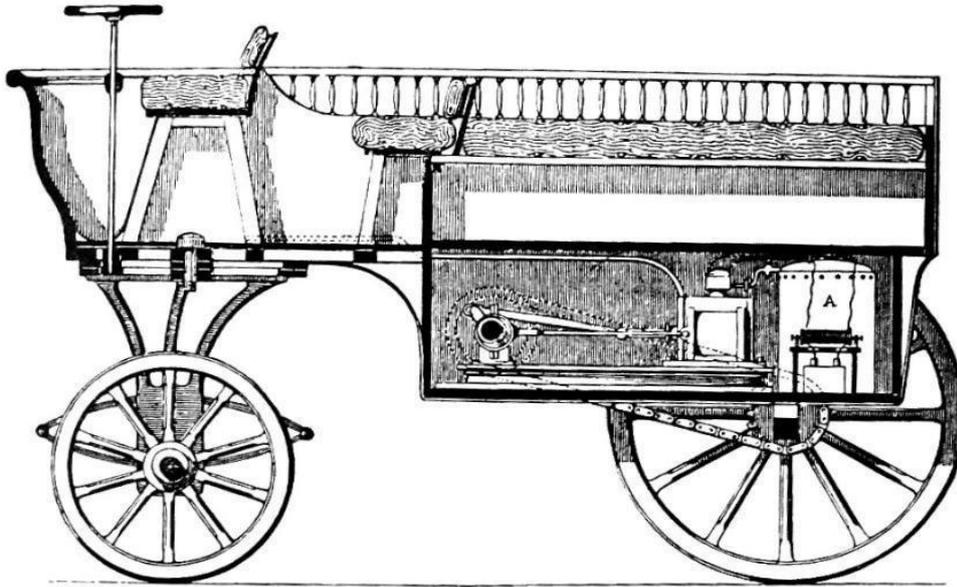
- Formula E
- Electric Sport Vehicle
- E – Karting, entre otras

En lo concerniente a motores de combustión interna con pila de hidrógeno en la actualidad no existe ninguna competencia avalada por la Federación Internacional de Automovilismo FIA que se pueda cumplir bajo un reglamento.

Aunque la alimentación del combustible difiere la parte mecánica es muy importante en cuanto a trucaje de cada uno y sus componentes con el fin de aligerar masas y pesos o modificaciones que permitan mejorar significativamente el desempeño y eficiencia de los motores aplicados en competencias.

2.4. Hidrógeno en el Sector Automotriz por Primera Ocasión

Entre los años 1806 y 1807 el francés Francois Isaac de Rivas intentó aplicar un motor de chipa provocada alimentado por la combinación de oxígeno e hidrógeno, pero no resultó como esperaban, así que al año siguiente desistieron de esa idea, pero ya se dio pie a que en algún momento podría ser utilizado el hidrógeno en los motores de combustión interna, tal como se muestra en la figura 2 (MARCAS, 2022).

Figura 2*Primer Vehículo Experimental de Hidrógeno*

Fuente: (MARCAS, 2022)

2.5. Funcionamiento del Hidrógeno en la Combustión de los Motores

Por lo general se cree que se está creando combustible por medio del agua, pero esto es algo errado, ya que no lo podríamos hacerlo, y si fuese así, se estaría violando las leyes de la física (Aguirre, 2013).

Los vehículos que llevan este tipo de sistema requieren un tanque de combustible normal y el hidrógeno es almacenado en cilindros que lleven en el vehículo (Betterfuel).

En los vehículos se utiliza el combustible principal de manera normal, pero la generación de hidrógeno ayudará a tener un menor consumo de combustible, ya que el hidrógeno dará una ayuda al momento que se combustione el combustible principal (Betterfuel).

Ya que el hidrógeno se lo considera en la actualidad como una de las principales alternativas de combustible en motores utilizados en automoción algunas empresas han puesto énfasis en la realización e inversión sobre ese tipo de energía y entre estas está Ford, Hyundai, BMW, Mazda, Toyota, entre otras.

Al intentar tener clara la explicación sobre este tipo de motores se debe tener en cuenta que existen dos tipos de motores que son alimentados de hidrógeno y estos son:

- Motores de hidrógeno de combustión interna
- Motores de conversión con pila de combustible

2.5.1. Motor de Hidrógeno de Combustión Interna

Son motores que fundamentalmente utiliza al hidrógeno en reemplazo del combustible conocido de gasolina como se puede apreciar en la figura 3, esto quiere decir que el combustible que ingresa a la cámara de combustión para ser quemado por medio de una explosión o sea transformaciones de energía como lo es la cinética para que pase a transformarse en calor.

Figura 3

Motor de Combustión Interna con Alimentación de Hidrógeno



Fuente: (López, 2021)

Por esta razón es que un motor de combustión interna cumple las características para que pueda adaptarse y quemar hidrógeno en vez de gasolina y no solo con este combustible, sino que también lo puede hacer con otros combustibles como lo son el gas natural GNC o el gas licuado de petróleo GLP.

2.5.2. *Funcionamiento del Motor de Hidrógeno de Combustión Interna*

Básicamente este tipo de motor de hidrógeno a combustión interna es muy similar al de alimentación con gasolina. Siendo en este caso el combustible el hidrógeno, en el caso del comburente el oxígeno y el punto de calor para que se produzca en la combustión lo es la bujía la cual proporciona la chispa que provoque la explosión de la mezcla y generando de esta manera la explosión.

Un aspecto que hay que tener en cuenta que el hidrógeno no cuenta con absolutamente ningún átomo de carbono, por lo que la reacción que se genera no es más que la unión de dos moléculas de este elemento con dos moléculas de oxígeno, liberando de esta manera energía y agua.

En definitiva, el resultado que se obtiene por esa reacción química básicamente lo es el vapor de agua, pero lo que se debe tener en cuenta que ese no es el único elemento o compuesto que se logra generar ya que también se pueden producir otro tipo de emisiones las cuales son derivadas de su propio funcionamiento y entre estas emisiones que de igual manera son nocivas como el óxido de nitrógeno en una cantidad considerable.

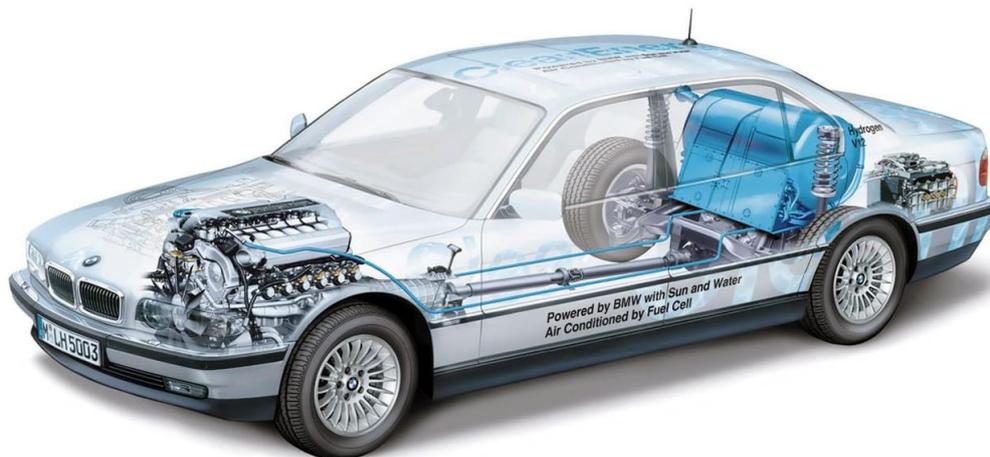
En el caso del almacenamiento del hidrógeno en estado gaseoso en un vehículo es un aspecto que aún se encuentra en desarrollo por el motivo de los niveles de presión que se debe tener en el sistema el cual debe soportar 700 bares de presión el cual para relacionarlo es de 300 a 350 veces más que la presión que lleva un neumático de vehículo.

Pero también hay otra forma y es la de almacenar el hidrógeno, pero en estado líquido a muy baja temperatura.

En la figura 4 se puede apreciar de manera clara a un vehículo de la marca BMW el cual cuenta con el sistema de almacenamiento de hidrógeno en el habitáculo posterior el cual ocupa un tamaño considerable dentro del mismo y como sus líneas de alimentación se dirigen al motor.

Figura 4

Sistema de Almacenamiento de Hidrógeno en un Vehículo



Fuente: (López, 2021)

2.5.3. Funcionamiento de un Motor de Hidrógeno de Pila de Combustible

Es muy similar al motor de hidrógeno a combustión, pero con la diferencia que, en vez de suministrar el hidrógeno al motor, llega una pila de combustible como si se tratara de una batería con un ánodo y un cátodo.

Una vez en este proceso el hidrógeno pasa por una membrana, lo que permite que se genere una descomposición de dos iones de hidrógeno y dos electrones libres. Esto se produce debido a que dicha membrana se encuentra eléctricamente aislada y deja pasar los dos átomos de hidrógeno, pero no permite pasar a los electrones. Por lo que los electrones pasan del ánodo al cátodo de la pila a través de un circuito externo, produciendo de esta forma la corriente eléctrica.

En cambio, que los iones resultantes de hidrógeno se unen con el oxígeno que se encuentra en el aire y de esta manera al finalizar el proceso en la transformación de vapor de agua y siendo de esta forma expulsado al medio ambiente.

Por esta razón este tipo de motor de hidrógeno de pila de combustible se lo define como cero emisiones contaminantes ya que no produce NOx y más aún porque no quema

ningún tipo de lubricante durante su proceso como si lo ocurre en motores de combustión interna.

Una consideración para tener es que la membrana utilizada en este proceso posee un alta valor económico por el motivo que se encuentra construida de platino.

Entre los modelos de vehículos que cuentan con esta tecnología de pila de hidrógeno están los siguientes:

- Honda con el modelo Clarity Fuel Cell
- Toyota con su modelo Mirai
- Hyundai con su modelo Nexa
- Land Rover con su modelo Defender de hidrógeno
- BMW con su modelo i Hydrogen NEXT
- Mercedes con su modelo GLC F-Cell y el camión GenH2

2.6. Aparición del Vehículo con Motor con Pila de Hidrógeno

Técnicamente se lo conoce con el nombre de motor de hidrógeno de conversión de pila de combustible y se debe considerar que este tipo de interpretación de la palabra combustible no es lo correcto por el motivo que el proceso no quema el hidrógeno, sino que más bien a través de un proceso de electrólisis inverso produciendo de esta manera electricidad. Este es el motivo por el cual se le conoce como pila que es donde se produce la reacción química.

Según una publicación de (Clarín, 2021) indica que “El hidrógeno ese presenta como una alternativa para la electromovilidad por lo que General Motors presenta a la Electrovan como el primer vehículo de pila de combustible impulsado por hidrógeno del mundo en el año de 1966”.

Su modelo se lo puede apreciar en la figura 5.

Figura 5

GM Electrovan Año 1966



Fuente: (Ríos, 2022)

La iniciativa en impulsar este proyecto se da por parte de la compañía General Motors la misma que busca que se genere una transferencia tecnológica de motores que sean alimentados con otro tipo de combustible que no sea de origen fósil y se basó en la aplicación del hidrógeno por el motivo que a través de este combustible como lo es el hidrógeno el hombre pudo llegar a la luna.

Adicionalmente este elemento de la naturaleza se ha presentado como una de las alternativas que cumple con muchas características para ser un combustible óptimo en la transportación masiva con una tecnología que se la conoce con el nombre de electromovilidad.

Entre las ventajas que brinda la pila de hidrógeno aplicado en los motores de combustión interna de los vehículos están las siguientes:

- Disminución significativa de contaminación ambiental provocada por los motores que utilizan combustibles fósiles
- Ausencia total de gases contaminantes

- Mantenimiento sencillo y básico de sus motores
- Tiempo de repostaje mínimos
- Silenciosos
- Fácil aplicabilidad
- Trabaja con una mezcla muy pobre esto quiere decir que puede llegar a un Lambda de 2, alcanzando una eficiencia alta

Actualmente existen algunas marcas de vehículos que también le apostaron al uso de esta tecnología de electromovilidad con pilas de hidrógeno con sus respectivos modelos que se presentan a continuación:

- Toyota con el Mirai
- Honda con el Clarity
- Hyundai con el Nexa
- BMW y Mercedes Benz lo aplican a través de desarrollos experimentales

Hay que tener en cuenta que, así como se presentan grandes ventajas con la aplicación de esta tecnología, también se presentan desventajas a la fecha del desarrollo de esta investigación y entre ellas se tienen las siguientes:

- Elevados precios de compra actuales (efecto que se da por el motivo de ser una tecnología nueva)
- Muy pocas estaciones de repostaje del combustible
- Poca variedad a la hora de seleccionar un modelo
- El espacio volumétrico que ocupa este tipo de motor es de gran tamaño, lo que hace que se reduzca el maletero de estos vehículos.
- Se presenta una reducida vida útil de este tipo de vehículos con motor a pila de hidrógeno

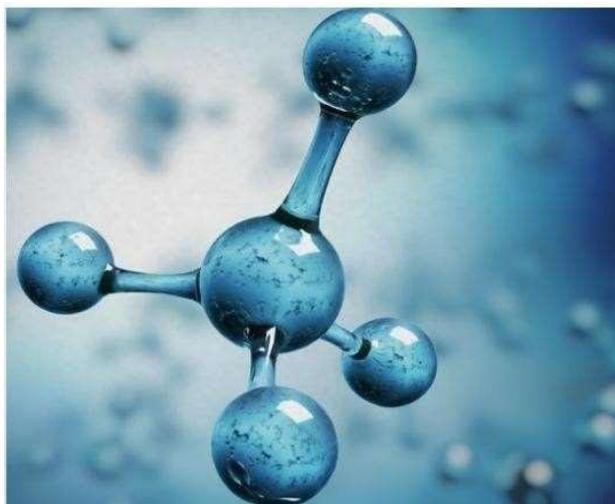
2.7. El Hidrógeno

El hidrógeno es un gas que está conformado por partículas con 2 átomos de hidrógeno como se muestra en la figura 6, este gas que es incoloro e inodoro además es un gas nada pesado. Este gas tiene una propiedad muy importante, esta es que no está condenado a terminarse por lo pronto, cómo si lo están los hidrocarburos actuales. Es un elemento que muy rara vez se lo encuentra solo, esto se debe a la gran facilidad que tiene para combinarse con otros elementos (Nuclear, 2022).

Su descubrimiento que se da en 1766 es atribuido a Henry Cavendish, esto se dio después de sus investigaciones realizadas a determinar los componentes del agua, este físico y químico británico tuvo un gran triunfo al comprobar que el hidrógeno tenía cualidades de ser un gas inflamable (Xaudaró, 2011).

Figura 6

Molécula de Hidrógeno



Fuente: (Nuclear, 2022)

2.8. Electrólisis

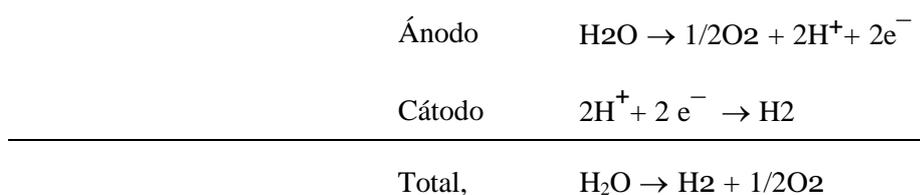
Esto es un procedimiento que es muy utilizado para obtener hidrógeno, ya que es de los procesos más sencillos que hay, va a consistir en la descomposición del agua (H_2O), para

así sacar el hidrógeno y oxígeno respectivamente, esto es realizado por medio de una corriente eléctrica (Xaudaró, 2011).

Para este proceso no solo vamos a necesitar agua en estado puro deberemos añadir un electrolito que podría ser el ácido sulfúrico o algún otro elemento (Edumedia, 2022).

La electrólisis del agua se da por medio de una corriente eléctrica conectada a 2 electrodos, por lo general se utiliza acero inoxidable o platino, el metal utilizado va a estar sumergido en el electrolito que, con un elemento disolvente, esto será con la finalidad de que este líquido se divida en iones. En un depósito de electrolito el hidrógeno se irá al lado del cátodo (+) y el oxígeno se irá al lado del ánodo (-) (Xaudaró, 2011).

La electrólisis se dará en temperaturas alrededor de 80-85 °C y por medio del proceso electroquímico es que se dará la descomposición de los componentes del agua:



2.8.1. *Electrólisis en Agua*

En este proceso se aplica la conductividad eléctrica a través de un medio de fluido líquido con el fin de obtener una reacción química y de esta forma crear oxidación – reducción, denominándole también como Retox. Básicamente una electrólisis de agua requiere de recipientes electrolíticos los mismos que deben poseer una disolución con gran cantidad de iones o electrolitos por el motivo que su conductividad sea la ideal, esto se consigue cuando el recipiente se sumerge electrodos los cuales son conectados a una corriente continua a través de la cual recibe los electrones.

Adicionalmente para mejorar sus características se procede a colocar otros compuestos como lo son ácido sulfúrico, hidróxido de sodio, bicarbonato, entre otros.

En el momento de la realización de la electrólisis de agua por este medio se logra obtener oxígeno el cual se genera por la oxidación del ánodo e Hidrógeno que se genera en cambio por la reducción del cátodo, logrando de esta forma la separación de los átomos que conforman la molécula de agua y por ende obteniendo de esta manera el hidrógeno puro.

Otro aspecto a tener en cuenta es que el hidrógeno es el elemento que más abunda en nuestro planeta, pero de igual manera es el elemento químico que posee mayor energía dentro de la clasificación de los combustibles. Si se lo relaciona con la energía que contiene la gasolina pues el hidrógeno la supera en tres veces en su capacidad energética.

Este es el motivo por el cual se encuentra estudiándolo para ser utilizado en la automoción y además que luego de generarse la extracción o transformación de energía lo que se produce nuevamente es vapor de agua lo que conlleva a concluir que es una energía completamente limpia sin elementos contaminantes y la más conveniente para el planeta, así como para el ser humano.

2.9. Electrolito

Fundamentalmente el electrolito es una sustancia la cual a través de un proceso se descompone en iones esto quiere decir en partículas que se encuentran cargadas de electricidad, cuando se genera un proceso de disolución del agua u otros líquidos del cuerpo humano.

Entre los ejemplos a considerar como iones se tiene: sodio, calcio, magnesio, potasio, fosfato y el cloruro.

2.10. Hidróxido de Sodio

También conocido como soda cáustica, hidrato de sodio o hidróxido de sodio es un hidróxido cáustico utilizado en la industria o como combustible en aplicación de motores.

Su obtención se lleva a cabo principalmente a través de un proceso de electrólisis de cloruro de sodio, carbonato de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y cuando se produce un tratamiento de sodio metálico con vapor de agua, pero a bajas temperaturas.

Según (León, 2019) dice que “La mayoría de los coches funcionan de manera eficiente cuando producen 4 a 20 amperios de electrólisis. Esto equivale a, como máximo ¼ de onza por litro de agua, o 1 onza por galón”.

2.11. Agua Destilada

Un agua destilada no es más que el producto de un proceso de destilación del agua en la que se obtiene agua, pero sin ningún tipo de impurezas, así como el estar libre de microorganismos, sales y minerales. Químicamente está compuesta de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno con su símbolo H_2O .

Esta agua tiene su aplicación en la industria como elemento de fabricación y mantenimiento de baterías, base para refrigerantes y anticongelantes, procesos de electrólisis. En caso de generar una clasificación del agua destilada esta se la realiza por tipos que van desde el grado I al grado IV.

2.12. Celdas de Hidrógeno

Este tipo de celdas es muy común verlas en los vehículos eléctricos y también en los vehículos híbridos, estas generan corriente por medio de partículas de oxígeno e hidrógeno, esta corriente es almacenada en otra celda que se encargará de alimentar al acumulador de corriente (Aguirre, 2013).

2.13. Celdas Húmedas

Las celdas húmedas van en el interior de un depósito que va a estar lleno de electrolito donde van a estar los electrodos sumergidos de manera total o de manera parcial tal como se muestra en la figura 7, en su mayoría estas placas son platino o acero inoxidable. Al momento de ser aplicada la corriente a los electrodos se produce el gas oxihidrógeno, este gas irá hacia

arriba y saldrá por el ducto de salida, este gas es el que ayudará a la combustión del combustible en los motores de combustión interna (Hydroadmin, 2019).

Figura 7

Celda Húmeda



Fuente: (Hydroadmin, 2019)

2.14. Celdas Secas

Este tipo de celdas son nuevas, al ser secas significa que no van sumergidas en ningún recipiente, las celdas funcionan como depósito, aunque la mayor parte del agua va a estar en un recipiente externo tal como se muestra en la figura 8. Las celdas secas tienen una mayor eficiencia que las celdas húmedas ya que no es necesaria tanta corriente eléctrica para el proceso de electrólisis (Hydroadmin, 2019).

Figura 8

Celdas Secas



Fuente: (Hydroadmin, 2019)

2.15. Autonomía de un Vehículo de Hidrógeno

Al ser una tecnología que se encuentra en investigación y mejoras continuas en los últimos años estos vehículos han mejorado de manera paulatina su autonomía y en la actualidad se está bordeando los 1000 km y también se debe tener en cuenta que son casos de prototipos o de baja producción.

Lo que sí es muy importante es que con este tipo de tecnología y en comparación con los vehículos eléctricos su autonomía es mejorada por el motivo que el repostaje es superior en lo concerniente a recarga siendo mucho más rápido y lo único que se debe tener en consideración es el número de puntos de repostajes que deben existir en un trayecto urbano o rural.

2.16. El Motor de Combustión Interna

Al momento de investigar sobre una definición clara y precisa correspondiente al motor de combustión interna (Rovira de Antonio & Muñoz, 2015) lo define como: “Conjunto de elementos mecánicos que permiten obtener energía mecánica a partir del estado térmico de un fluido de trabajo que se ha generado en su propio seno mediante un proceso de combustión”.

Todo compuesto o elemento que se denomine como combustible es porque este posee una determinada energía interna o conocida también como poder calorífico de dicho combustible el cual por medio de este sistema complejo se llega a transformar en otro tipo de energía denominada trabajo (Vera, 2017).

2.17. Principios Físicos y Componentes del Motor de Combustión Interna

En motor de combustión interna al ser una máquina térmica, cumple un proceso de ciclo de trabajo en mismo que lo conforman las fases de admisión, compresión, trabajo y escape.

Esto se produce a través de un mecanismo denominado biela manivela el mismo que en la fase de trabajo permite transmitir todo el esfuerzo generado por la transformación de energía hacia todos los elementos del motor y de esta manera convertir el movimiento rectilíneo en movimiento circular.

Entre los elementos de mayor importancia que conforman a un motor de combustión interna están los siguientes:

- Culata o cabezote
- Válvulas de admisión
- Válvulas de escape
- Pistón
- Cilindro
- Biela
- Cigüeñal
- Volante de inercia
- Múltiple de admisión
- Múltiple de escape, entre otros

2.18. Gases del Sistema del Escape

De acuerdo con estudios realizados en motores de combustión interna alimentados de combustible de origen fósil, estos no llegan a quemar completamente los gases que ingresaron a la cámara de combustión, por lo que una gran cantidad de elementos contaminantes son expulsados al medio ambiente y este fenómeno no puede ser eliminado en su totalidad, reflejándose de esta manera en la contaminación del medio ambiente de una manera exagerada con sustancias nocivas.

Las sustancias nocivas representan del uno al dos por ciento de todas emisiones que se generan en operación de un motor de combustión interna a gasolina y para el caso de los motores alimentados con diésel lo es del 0.3 %.

Entre los elementos que se expulsan del sistema de escape de un motor de combustión interna alimentado con combustibles de origen fósil que son considerados como nocivos e inofensivos, se tienen los siguientes:

- Nitrógeno
- Oxígeno
- Agua
- Dióxido de carbono
- Monóxido de carbono
- Óxidos nítricos
- Dióxido de azufre
- Hidrocarburos
- Plomo
- Partículas de hollín en el caso de motores a diésel

2.19. El Kart

Generando una introducción a lo que es el significado de un kart pues no es más que un pequeño vehículo el mismo que posee 4 ruedas el cual ha sido diseñado para ser conducido por una sola persona y en competencia se desplaza sobre una pista de kartódromo. Este vehículo se encuentra constituido por un chasis rígido y a su vez no posee carrocería ni un sistema de suspensión.

De acuerdo con una investigación cronológica se puede indicar que fue desarrollado por primera vez en Estados Unidos por la década de los 70's, con la idea que sea un vehículo destinado para jóvenes y con un bajo presupuesto de fabricación.

Posteriormente la afición de este tipo de vehículos de competencia se fue extendiendo a otros continentes como lo es el europeo, pero bajo el nombre de Go Kart, alcanzando un gran éxito a nivel mundial.

Al inicio de la presencia de los karts en lo concerniente a su forma eran diversos según en qué país se los construían, esto se daba por el motivo de los paradigmas de forma de chasis que se presentaban en cada país en donde se los fabricaban y otro punto a tomarse en cuenta era el tipo de material con que contaban para su fabricación. Esta diferencia era muy visible en cuanto a los chasis con que contaban.

La diferencia que se daban entre estos karts era que los chasis de los estadounidenses eran de ruedas pequeñas y sus chasis muy ligeros en cambio que los de procedencia europea poseían ruedas de scooter, su motor era de motocicleta, de manera adicional poseían cambios y su chasis poseían una estructura más sólida.

Este inconveniente se logró solucionar por el motivo que se empezaron a realizar competencias de forma internacional lo que permitió que se desarrolle una normativa en los procesos de fabricación, así como reglamentos de competencia, logrando de esta manera la homogeneidad entre todos los modelos.

Cabe aclarar que estas normativas con el transcurso del tiempo también han evolucionado, generándose cambios y entre estos se ha llegado de limitaciones o categorizaciones de acuerdo con parámetros como lo son:

- Categorización de motorización
- Equidad de edades en pilotos
- Trayectoria de competidores
- Tipo de fabricación

Bajo estos parámetros y evolución los karts han ganado complejidad en su construcción, así como en la producción de potencia a tal punto que es una categoría que se la

conoce como la cuna de la máxima categoría de competencias automovilísticas como lo es la Fórmula 1.

2.19.1. Características de un Kart

Al ser un vehículo destinado a una de las categorías de competencias automovilísticas destaca la ausencia de una carrocería, lo cual permite que el piloto cuente con una visión completa del entorno y de cada una de las acciones a tomar sobre los sistemas con que cuenta el vehículo.

Otra de las características con que cuenta un kart es la ausencia de un sistema de suspensión, así como el poseer un eje posterior de estructura rígida y con ausencia de un diferencial. Obligando de esta manera a cada uno de los pilotos en la adquisición de destrezas importantes al momento de conducir sobre un trazado tanto en rectas como en curvas, en el que el control de manejo aceleración, desaceleración y sobre todo de derrapes se convierte en una habilidad de conducción.

Una de las características fundamentales que posee un kart se lo encuentra en el sistema de freno ya que este tiene un sistema de freno del tipo disco al cual se adhiere al eje posterior y en el caso del sistema de dirección, este se asemeja al que cuentan los vehículos de serie o convencionales y a su vez no cuenta con un mecanismo desmultiplicador de fuerza aplicada.

2.19.2. Karts Impulsados por Hidrógeno

Según (García, 2008) establece que “un kart impulsado por hidrógeno, cuya única emisión derivada de su funcionamiento era simple vapor de agua”, el mismo que cumple con todas las características y pruebas dinámicas para una competencia bajo su respectiva categoría.

Normalmente estos tipos de karts impulsados por este tipo de combustible compiten en una categoría propia como lo es la Formula Zero, con la que se impulsan aspectos como los siguientes:

- Concepción del modelo
- Diseño
- Fabricación
- Conducción

Teniendo en cuenta que su forma de impulsión energética puede ser con motor a hidrógeno o por medio de pilas de combustible de hidrógeno, siendo una nueva tecnología impulsada y desarrollada por equipos de todo el mundo.

2.19.3. Fórmula Zero

AL momento de hablar de la competencia denominada como Formula Zero esta es una nueva categoría creada con la finalidad de impulsar carreras de karting a nivel mundial pero con la condición de emisiones contaminantes cero.

Este tipo de competencia se basa en una plataforma óptima para el desarrollo de nuevas tecnologías y a su vez involucra de manera rápida a la atención del público que su pasión son las competencias automovilísticas.

Como se encuentra en un proceso de desarrollo este tipo de competencia se encuentra enfocada a la participación de equipos que pertenecen a universidades que se alinean con el desarrollo tecnológico automotriz en las que sus equipos desarrollan la creatividad.

De esta manera los estudiantes e investigadores involucrados con este tipo de proyectos adquieren una gran oportunidad para el desarrollo de investigación al poner a prueba sus conocimientos y poner énfasis en generar una combustión libre de elementos contaminantes para el medio ambiente.

Actualmente las competencias que se han desarrollado han sido en los siguientes países:

- Reino Unido
- Bélgica
- Holanda
- España
- Estados Unidos

Pero el aspecto más importante y para lo que se proyecta este tipo de subcategoría del Karting no es más que pretender impulsar la investigación del hidrógeno como un recurso energético naturales y sobre todo limpios, con cero emisiones.

A continuación, se puede observar en la figura 9 uno de los vehículos con los que se compete en esta categoría:

Figura 9

Kart Participante en Formula Zero



Fuente: (Motorpasión, 2019)

Los cinco sistemas con los que debe contar un kart dentro de la competencia Formula Zero se presentan de la siguiente manera:

- Sistema de hidrógeno
- Sistema electrónico
- Sistema eléctrico
- Sistema informático
- El conjunto mecánico o abastos.

Capítulo III

Metodología

3.1. Selección de Chasis de Kart Homologado

Para poder determinar el tipo de kart de se emplea en el presente estudio investigativo se tomó de un chasis de un kart de la marca Tonny Kart, como se puede observar en la figura 10, el cual brinda las siguientes características:

- En lo concerniente al peso bruto del vehículo está en un valor de 90 kg, teniendo en cuenta que corresponde a la suma de todos sus componentes incluyendo el motor de combustión interna de dos tiempos.
- En cuanto a sus dimensiones, están son las siguientes largo 2100 cm de largo, 1400 cm de ancho y 560 cm de alto.
- Su aerodinámica es muy buena al tener poca resistencia a la fluidez del aire a velocidades de competencia, lo que le permite alcanzar velocidades mayores a los 120 km/h en una competencia.

Figura 10

Tonny Kart



Así mismo cuenta con una mayor de características para ser un vehículo de que alcanzado grandes sitaliaes en las competencias automovilísticas de karting por muchos años, logrando de esta manera obtener más de 10 títulos mundiales a partir del año 2000.

La constante evolución de los chasis de Tonny Kart ha sido acelerada y con buenos resultados entre los cuales se tienen innovaciones tales como:

Volante Hi Grip, el cual brinda al piloto tener un mejor agarre en comparación a los volantes estándar que incluye un buje inclinado. Además, que su ovalamiento permite reducir disminuir el esfuerzo de las manos durante la conducción.

Lo que si se considera es que la estructura y la propia geometría del chasis permanecen sin cambios, considerando que el presente estudio se basa en la implementación del sistema de hidrógeno sobre el motor que se utiliza en este tipo de vehículos monoplaza de competencias.

3.2. Materiales y Componentes Necesarios

La presente investigación es aplicada a través de una metodología experimental la cual requiere de una secuencia lógica en cuanto a cada proceso que se aplica y el conocimiento como funcionamiento de cada uno de sus componentes los mismos que se presentan a continuación:

3.2.1. *Generador de Hidrógeno*

Un generador de hidrógeno es un dispositivo que utiliza el fenómeno físico de electrólisis para separar el agua en sus componentes, hidrógeno y oxígeno, mediante la aplicación o paso de una corriente eléctrica. Esto se logra con la inmersión de dos electrodos en agua, donde se desencadenan reacciones químicas. El hidrógeno generado puede utilizarse como fuente de energía alternativa en diversas aplicaciones, incluyendo la propulsión de vehículos, la generación de electricidad y la producción de combustibles limpios. Su potencial radica en su capacidad para reducir las emisiones de carbono y contribuir a un futuro más sostenible y energéticamente eficiente.

Para poder determinar sobre el funcionamiento de un generador de hidrógeno para este ser aplicado sobre el motor utilizado en un kart, primero se debe tener en cuenta o más

bien desmentir un criterio erróneo que se maneja el cual es que el sistema crea combustible a partir del agua, siendo este criterio incorrecto, y si este fuera real el principio indicado violaría por algunas leyes de la física.

Así mismo se debe considerar que la cantidad y velocidad de generación de hidrógeno debe ser los suficiente para la capacidad requerida por el motor y que este sea utilizado como combustible principal.

Al igual que en los vehículos con motores de combustión interna a gasolina requieren de un suministro suficiente de combustible el cual está almacenado en un tanque, ese mismo requerimiento se necesita para el sistema de hidrógeno, por lo tanto, existen en el mercado vehículos impulsados por hidrógeno y además están diseñados para ser utilizados con este tipo de combustible como principal, esto se puede apreciar en la figura 11, además se debe tener en cuenta que su renovación es de muy bajo costo y estos sistemas suelen implementarse en cualquier tipo de motor de combustión interna.

Figura 11

Vehículo con Sistema de Generación y Almacenamiento de Hidrógeno



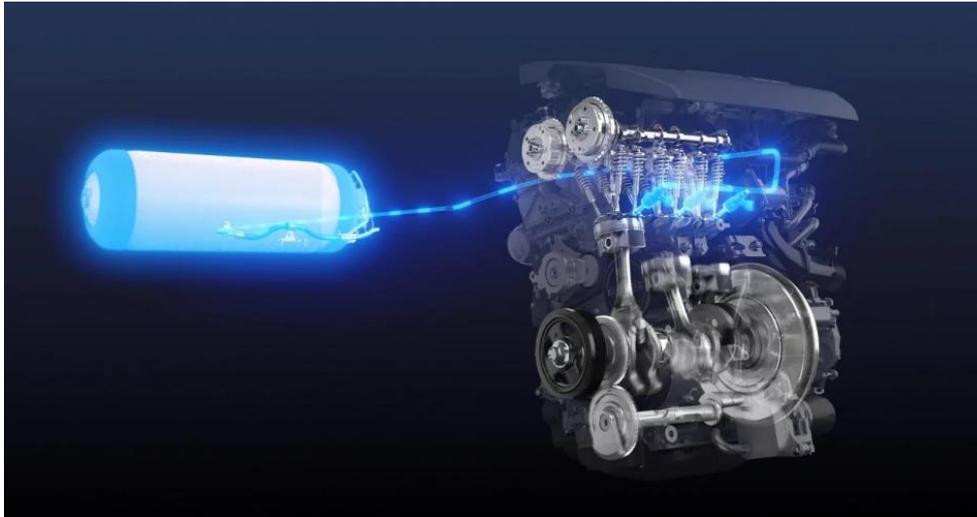
Fuente: (BetterFuel, 2023)

Hay que tener muy en cuenta que el hidrógeno cumple la función de ayudar al proceso de combustión del sistema de alimentación existente en el vehículo y no completamente solo con combustible de hidrógeno.

Normalmente los generadores de hidrógeno HHO usan la electricidad proporcionada por la batería del vehículo para poder separar el agua H_2O de sus elementos básicos como lo son el oxígeno y el hidrógeno. El gas que se genera es de manera inmediata inyectado al sistema de alimentación de combustible del motor en donde se mezcla con el combustible existente, esto se puede apreciar de manera clara en la figura 12.

Figura 12

Sistema de Alimentación de Hidrógeno en Motor



Fuente: (Villareal, 2022)

Otra consideración es que en un motor de combustión interna a gasolina su ciclo de combustión suele ser demasiado rápido esto quiere decir de aproximadamente 0.007 segundos, en los que la mayoría de las moléculas de combustible grandes no se suelen quemar en su totalidad durante este corto tiempo, generándose de esta manera una pérdida considerable de energía. Por lo tanto, el hidrógeno se desplaza por la cámara de combustión y se quema en un porcentaje de 10 veces más rápido que la gasolina convirtiéndose este

factor en una ventaja para el desempeño obteniendo como resultado una combustión mucho más limpia y sobre todo completa.

El diseño de los generadores de HHO es de suma importancia de acuerdo con el número de placas ya que es uno de los aspectos más importantes y muchas veces no se le da el respectivo énfasis al momento de diseñar celdas secas de hidrógeno.

La eficiencia con la que se puede aumentar entre una celda seca de HHO según su número de placas puede ser del máximo de 7, teniendo en cuenta que cada celda de manera individual opera con un valor de 12 voltios. Según (BetterFuel, 2023) indica que “Al tener 5 placas neutrales y mayor superficie se mejora calidad y eficiencia y la celda de 7 placas produce 50 % más de HHO que la de 25 placas y con desventaja que la de 25 placas se recalienta”

3.2.2. Cálculo de Producción Máxima de Hidrógeno

Para la realización del cálculo de la producción o generación máxima de hidrógeno esta se encuentra basada en el proceso de electrólisis el mismo que se encuentra regido por las leyes de la física, el mismo que fue empezado a ser investigado hace más de 200 años por el científico Michael Faraday, el mismo que publicó su estudio denominado “*Las leyes de la Electrólisis de Faraday*”, en las que se instauran científicamente un criterio que una celda de electrólisis que opera a un valor de corriente determinado generará una cantidad determinada de HHO.

Cabe aclarar que se deben tener muy en cuenta dos consideraciones de suma importancia como lo es:

- Número de placas de electrodo
- Área de superficie activa

En la ecuación 1 se presenta el área activa la misma que corresponde al área de superficie de las placas menos el área de las juntas.

Ecuación 1*Carga de Corriente*

$$Q = \int_0^t I(\tau) d\tau$$

Donde:

Q = Cantidad de Corriente

I = Intensidad

τ = Tiempo

Otro aspecto importante se concentra en la cantidad de hidrógeno que se requiere según el tamaño del tanque del motor según las siguientes consideraciones:

La cantidad de hidrógeno que se necesita es determinada según el tamaño del motor, normalmente de forma ideal es de 0.15 l/min por cada litro según el tamaño de motor.

Otra consideración es que el factor de complemento de hidrógeno es un sistema está sujeto fundamentalmente a las leyes de rendimiento decreciente, esto quiere decir que el generar una mezcla de hidrógeno con el combustible base se mejora su eficiencia, pero solo hasta un cierto punto determinado.

En el caso de que se suministre una mayor cantidad de hidrógeno en un motor de combustión interna pueden presentarse algunas anomalías en cuanto a eficiencia del motor porque perjudica a la combustión al sobrepasar su cantidad y teniendo en cuenta que el hidrógeno se quema con una velocidad 10 veces mayor al que lo realiza la gasolina.

Al combustionar de manera excesiva la cantidad de hidrógeno dentro de la cámara de combustión su comportamiento genera un cascabeleo o contrafuerzas sobre el tren de potencia del motor.

Si se desea combustionar hidrógeno el sistema de encendido del motor debe estar modificado ya que la chispa debe generarse justamente en el punto muerto superior y no

como ocurre en un motor con combustible como lo es la gasolina que la generación de la chispa se da antes que el pistón llegue al punto muerto superior.

Así mismo si se suministra mayor cantidad de hidrógeno a un motor su eficiencia se ve reducida hasta en un 26 % y presentaría un funcionamiento muy irregular.

A continuación, se presenta en la tabla 1 los límites permisibles de hidrógeno por tamaño de motor por cilindrada.

Tabla 1

Cantidad de Hidrógeno Permitido según Tamaño de Motor

Cilindrada de motor (L)	Litros de HHO por minuto
1	0.16
1.3	0.21
1.6	0.26
1.8	0.29
2	0.32
2.3	0.37
2.5	0.40
2.8	0.45
3	0.48
3.3	0.53
3.5	0.56
4	0.65
4.5	0.73
5	0.81
5.5	0.89
6	0.97
7	1.03
8	1.16
10	1.29
12	1.55
14	1.74
16	1.94

Fuente: (BetterFuel, 2023)

En la tabla 2 en cambio se presenta el consumo de electricidad por medio de los generadores de hidrógeno, por el motivo que entre 8 a 15 Amperios se genera suficiente hidrógeno para un motor promedio de 3 litros y su modelo matemático aproximado está dado por:

Ecuación 2

Consumo de Electricidad de Generadores de Hidrógeno

$$C = Z * 2.5$$

Donde:

C = Consumo de electricidad de generadores de hidrógeno

Z = Tamaño de motor en litros

Tabla 2

Consumo de Electricidad de Generadores de Hidrógeno

Cilindrada de motor (L)	Amperios requeridos
1	2.5
1.3	3.25
1.6	4
1.8	4.5
2	5
2.3	5.75
2.5	6.25
2.8	7
3	7.5
3.3	8.25
3.5	8.75
4	10
4.5	11.25
5	12.5
5.5	13.75
6	15
7	16

Fuente: (BetterFuel, 2023)

Si se procede a realizar una comparación entre generadores de HHO de células húmedas versus los de células secas, la diferencia radica en su diseño en el cual las de celda secas solo almacena una mínima cantidad de agua en el propio generador.

Por este motivo los generadores de célula seca con más eficientes que los de célula húmeda por el motivo que requieren de poca cantidad de corriente eléctrica en su proceso de electrólisis.

Para el presente estudio investigativo se trabaja con el sistema de hidrógeno de aplicación vehicular de celdas húmedas el cual está fabricado en cuerpo y celdas de acero inoxidable, con un sistema de burbujeo interno y nivel de visualización externo, el mismo que es resistente a elevadas temperaturas, como se muestra en la figura 13

Figura 13

Sistema de Hidrógeno Vehicular de Celdas Húmedas



Fuente: (Hidroenergy, 2019)

3.2.3. Tanque de Almacenamiento de Hidrógeno

Un tanque de almacenamiento de hidrógeno es un contenedor diseñado específicamente para conservar de manera segura el hidrógeno gaseoso o líquido. Dada la

baja densidad del hidrógeno, el almacenamiento eficiente es fundamental para su aplicación en una variedad de industrias, desde la movilidad hasta la generación de energía.

Los tanques de almacenamiento de hidrógeno pueden estar hechos de materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o aleaciones de aluminio, y a menudo están aislados térmicamente para mantener la temperatura del hidrógeno dentro de los rangos adecuados. Pueden variar en tamaño, desde pequeños cilindros utilizados en laboratorios hasta tanques masivos utilizados en aplicaciones industriales.

En aplicaciones de movilidad, como vehículos de hidrógeno, los tanques de almacenamiento son esenciales. Los vehículos almacenan hidrógeno comprimido o en forma líquida en tanques resistentes y seguros para garantizar el suministro de combustible durante su uso.

Los tanques de almacenamiento de hidrógeno son un componente clave en la infraestructura de hidrógeno y desempeñan un papel fundamental en la viabilidad y la expansión de la economía del hidrógeno, contribuyendo así a la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

Para el presente estudio el cual su aplicación está realizada sobre la estructura del kart se lo colocar sobre una base y dentro del mismo se aplica una mezcla del 1 % de hidróxido y 99 % de agua destilada obteniendo de esta manera un compuesto químico denominado hidróxido de sodio líquido.

3.2.4. Celdas de Combustible

Las celdas de combustible de hidrógeno de célula húmeda que se aplican en el presente proyecto investigativo, también conocidas como celdas de combustible PEM (Membrana de Electrolito Polimérico), utilizan una membrana de polímero conductora de protones y un electrolito líquido (generalmente agua destilada) para facilitar la reacción

química entre el hidrógeno y el oxígeno. La membrana permite que los protones del hidrógeno se muevan a través de ella, generando electricidad y agua como subproducto.

Este diseño ofrece ventajas, como una alta eficiencia y respuesta rápida, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en vehículos eléctricos y otras aplicaciones donde se requiere una generación de energía eficiente y limpia.

En la figura 14 se puede apreciar cada una de las partes que conforma la celda de combustible tanto de forma interna como externa.

Figura 14

Partes de la Celda de Hidrógeno Húmeda



Fuente: (Hidroenergy, 2019)

3.2.5. Adaptaciones en el Motor sobre Chasis de Kart Homologado

Para iniciar la parte práctica se inicia con el desmontaje de cada uno de los componentes del kart sobre el cual se realizará la adaptación del sistema tanto del motor como del sistema de hidrógenos sobre el motor que impulsará esta carrocería, esto se puede observar claramente en la figura 15.

Figura 15

Desmontaje de Componentes de Carrocería de Kart Homologado



Para esta fase se procede a desmontar cada una de las molduras plásticas como lo es el alerón frontal, cuerpo frontal, molduras laterales y guardachoque posterior, eso se realiza por medio del desmontaje de vinchas de anclaje, así como de tornillería de sujeción, una vez finalizado esta etapa nos queda visible la parte del chasis del kart, como se puede ver en la figura 16.

Figura 16

Estructura de Kart sin Componentes Plásticos



Con todos los plásticos desmontados se procede a la preparación de estos componentes con el fin de repararlos y mejorarlos de forma estructural, así como su estética por medio de un proceso de preparación de superficies y de recubrimiento superficial como se puede apreciar en la figura 17.

Figura 17

Reparación de Plásticos



Volviendo al proceso de desmontaje se procede a desmontar las bases del motor de combustión interna el mismo que será reemplazado por el nuevo motor de 4 tiempos con la aplicación del sistema a hidrógeno, esta etapa se puede apreciar en la figura 18.

Figura 18

Desmontaje de Motor de Kart



Luego se procede al desmontaje de los neumáticos tanto delanteros como posteriores para luego extraer el eje posterior por medio del desmontaje de las chumaceras que están conectadas al chasis del kart, como se puede observar en la figura 19.

Figura 19

Desmontaje de Neumáticos y Eje de Kart



Con la ayuda de un calibrador Vernier, se procede a la toma de medidas con el fin de generar las adaptaciones pertinentes de los elementos que intervienen en el proceso, para lo cual las medidas a ser tomadas corresponden al eje de salida del cigüeñal o conocido como flecha de su diámetro, longitud y las dimensiones de la ranura de la porta chaveta, como se puede ver en la figura 20.

Figura 20

Toma de Medidas de Flecha de Motor



Con la información obtenida por la toma de medidas de la flecha del cigüeñal se procede a investigar qué tipo de embrague centrífugo se acopla a las características de la adaptación y el que se determina es un embrague que tienen las características que se pueden apreciar en la tabla 3.

Tabla 3

Especificaciones Técnicas del Embrague Centrífugo para Kart

Descripción	Característica
Diámetro para eje	1 pulgada
Número de dientes	14
Diámetro exterior	4.21 pulgadas
Diámetro interior	1.61 pulgadas
Altura total del embrague	2.2 pulgadas
Cadena	# 40 / 41 / 420
Motor	13 HP
Velocidad	2000 ± 100
Chaveta	¼ pulgada

En la figura 21 se puede ver el embrague centrífugo en forma física.

Figura 21

Embrague Centrífugo para Kart



Una vez determinado el embrague centrífugo para el kart se procede a adquirir una porta catalina el mismo que irá colocada en el eje principal.

La catalina para adaptar a la porta catalina posee las siguientes dimensiones: diámetro de eje interno 2.8 cm, diámetro medio 3.9 cm, altura total 7.7 cm (6.5 cm y 1.2 cm), esto se puede apreciar en la figura 22.

Figura 22

Dimensiones de Catalina



Como es un proceso de adaptación se procede hacer adecuaciones de la catalina a través de un torno logrando que el elemento pueda tener las dimensiones correspondientes para que se acople al eje principal como se puede ver en la figura 23.

Figura 23

Trabajo de Adaptación de Catalina en Torno



Una vez finalizada la acción del torno se procede a colocar en el eje principal del kart, posteriormente se realiza perforaciones con la ayuda de proceso de taladrado generando un orificio de $\frac{1}{4}$ de pulgada y con machuelo la realización de rosca lo que permite la colocación de tornillería de sujeción entre eje, catalina y porta catalina. Esto se puede apreciar en la figura 24.

Figura 24

Trabajo de Perforación y Sujeción de Catalina



Luego se procede a modificar los largueros posteriores del chasis del kart y de esta manera se adapte el eje con su respectiva porta catalinas como se puede ver en la figura 25.

Figura 25

Colocación de Eje Posterior sobre Chasis de Kart



Posteriormente se procede a iniciar el proceso de adaptación estructural del motor sobre el chasis de kart lo cual se empieza con las tomas de medidas del motor lo que permite la creación de la base metálica la misma que posee las siguientes medidas: 13.2 cm de largo por 10.2 cm de ancho y un espesor de la lámina de 3 mm, luego se verifica junto al motor para posteriormente soldarlo con electrodo E6013, el mismo que es recomendado para la aplicación en trabajos de soldadura de láminas metálicas estructurales delgadas y de material de aceros dulces.

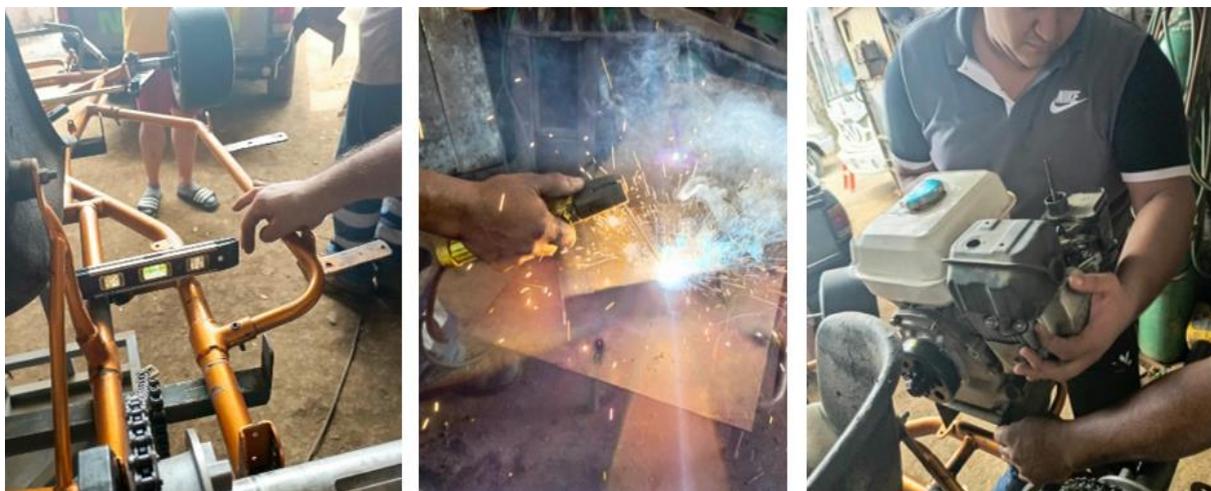
Así mismo para su interpretación de su código el electrodo E6013 indica que sus dos primeros dígitos corresponden a la resistencia a la tensión, la cual está medida en libras por pulgada cuadrada por 1000, por tanto, el electrodo E6013 posee una resistencia a la tensión de 60000 PSI.

Un aspecto importante es que esta base debe encontrarse nivelada para evitar complicaciones en la adaptación y funcionamiento del motor en conjunto con el sistema de transmisión de potencia.

En la figura 26 se puede observar el proceso de colocación de la base del motor sobre el chasis del kart.

Figura 26

Adaptación de Base para Motor sobre Chasis de Kart



Ya con la base soldada se procede al realizar las perforaciones correspondientes que permitirán la sujeción del motor, estos 4 orificios se los realiza con broca de $\frac{1}{2}$ pulgada y una longitud de abertura de 3.5 cm como se puede apreciar en la figura 27, dicha abertura cumple la función que el motor pueda desplazarse al momento de templar la cadena de transmisión para luego ser asegurada.

Figura 27

Orificios para Sujeción de Motor sobre Base



Luego con la ayuda de tornillería se procede a colocar el motor y se verifica su nivel u alineación entre piñón del motor, cadena y la catalina del eje, como se puede apreciar en la figura 28.

Figura 28

Colocación y Alineación de Motor



3.2.6. Adaptación de Acumulador de Energía

Esta fase de muy importante ya que el sistema de potencia requiere de un acumulador de energía o conocido en el campo automotriz como batería y cual cumple la función de aportar la energía que requiere para encender el motor y de forma adicional también se la utilizaría para el funcionamiento de otros sistemas como por ejemplo el sistema de iluminación del kart y de manera fundamental para el funcionamiento del sistema de generación de hidrógeno que requiere 12 V de corriente continua así como una intensidad de 6 a 8 A y como protección del sistema eléctrico se requiere de un fusible de 30 A en la línea de positivo.

Bajo estos requerimientos y respetando las indicaciones del fabricante se procede a seleccionar la batería NS40 E4 Ultra, para o cual sus características o ficha de datos se presentan en la tabla 4.

Tabla 4

Ficha Técnica del Acumulador

**FICHA DE DATOS BATERÍA ECUADOR E4 ULTRA -
NS40 FULL EQUIPO**

C20 (Ah)	45
Capacidad de reserva CR (Min)	75
CCA (-18° C)	370 A
Largo (mm)	193
Ancho (mm)	124
Alto (mm)	224
Caja	NS40
Voltaje	12 V

Fuente: (Baterías Ecuador, 2017)

Una vez seleccionado el acumulador que se va a emplear en el sistema de generación de hidrógeno se procede a elaborar su base sobre la estructura del chasis del kart teniendo en cuenta las dimensiones de este, como se muestra en la figura 29, para lo cual se utiliza un perfil de ángulo de ½ pulgada y para su fijación se empleó electrodo 6013 para el proceso de soldadura.

Figura 29

Adaptación de Acumulador sobre Chasis de Kart



3.2.7. Embellecimiento de Molduras Plásticas

Continuando con el proceso se inicia una etapa de embellecimiento de las molduras plásticas con que cuenta el kart como lo son:

- Alerón frontal
- Moldura frontal
- Moldura lateral derecha
- Moldura lateral izquierda
- Parachoque posterior

Este proceso se inicia con la preparación de las superficies de dichas molduras plásticas por medio de un proceso de lijado, masillado, pintado y finalizando con una fase de diseño lo cual se lo realiza de forma digital lo cual se respeta las dimensiones y las formas,

obteniendo de esta manera plantillas adhesivas como se muestra en la figura 30, conservando los colores institucionales y logos.

Figura 30

Adhesivos para Embellecimiento de Molduras Plásticas de Kart



En la figura 31 se puede apreciar el armado y colocación de las plantillas adhesivas en cada una de las molduras plásticas del kart. Se debe tener en cuenta que el proceso de colocación de adhesivos no debe quedar burbujas de aire ni dobleces de las plantillas.

Figura 31

Adhesivos Colocados en Molduras Plásticas de Kart



3.2.9. *Instalación Sistema de Generación de Hidrógeno sobre Estructura de Kart*

Una vez que se cuenta con los elementos requeridos para la conformación del sistema de generación de hidrógeno como lo son: burbujeador, reactor, acoples, cañerías, sujetadores, reservorio y tornillería, se procede a realizar la adaptación sobre el chasis del kart.

Teniendo en cuenta que este sistema no es más que un dispositivo cuya función es de generar hidrógeno para después ser inyectado directamente al motor de combustión interna considerándolo como un eficiente aditivo gaseoso a la combustión de este y por ende lo convierte al motor en uno híbrido de hidrógeno.

Básicamente su funcionamiento consiste en generar una inyección de flujo continuo de hidrógeno en estado gaseoso al motor el mismo que es extraído de un depósito de agua mediante electrólisis.

Por medio de ciertas investigaciones se indica que este sistema brinda los siguientes beneficios:

- Reducción de consumo de combustible
- Reducción de emisiones contaminantes
- Incremento de potencia y par motor
- Combustión más limpia
- Puede formar motores híbridos con gasolina, diésel, biodiésel, agrodiésel, GLP, GNV y GLC
- Aplicación en varios tipos de motores de combustión interna

Normalmente el proceso para la instalación del sistema de hidrógeno sobre la estructura del kart es el siguiente:

- *Paso 1.-* Conocer el esquema de instalación
- *Paso 2.-* Determinar el espacio donde se ubicará el sistema sobre el kart
- *Paso 3.-* Ubicar las unidades generadoras de hidrógeno

- *Paso 4.-* Instalación de los elementos de fijación y conexión
- *Paso 5.-* Conexión de los tubos conectores del gas HHO
- *Paso 6.-* Fijación de las unidades hidrogenadoras y como elemento principal el burbujeador
- *Paso 7.-* Paso del cableado y entubado hacia el motor
- *Paso 8.-* Conexión eléctrica
- *Paso 9.-* Paso del entubado al vano motor
- *Paso 10.-* Paso del cableado y entubado hacia el motor
- *Paso 11.-* Instalación del tubo precalentador
- *Paso 12.-* Conexión del conducto de admisión de aire

En la figura 32 se puede apreciar el inicio del proceso de instalación del sistema de hidrógeno sobre el motor que se encuentra montado en el kart homologado.

Figura 32

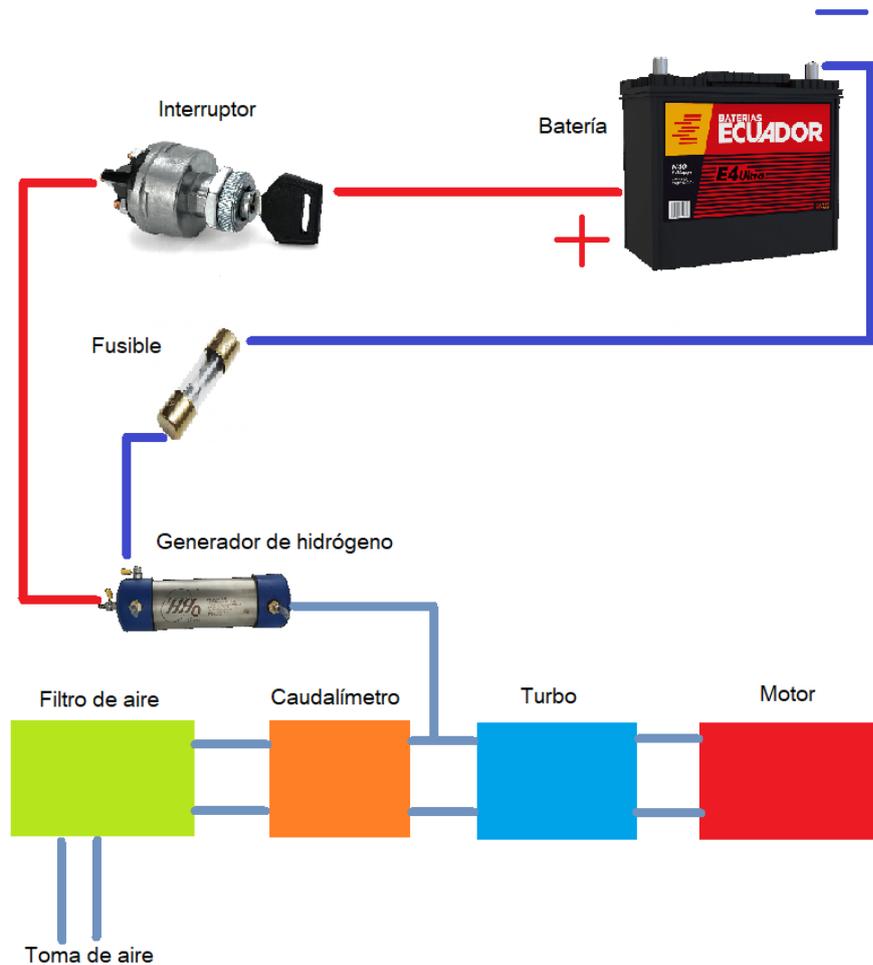
Inicio de Proceso de Instalación de Sistema a Hidrógeno sobre Motor



En la figura 33 se puede observar de una manera muy clara el esquema de instalación del sistema a hidrógeno en el que cuenta la batería, interruptor, fusible, generador de hidrógeno, filtro de aire, toma de aire, caudalímetro, turbo y el motor.

Figura 33

Esquema del Proceso de Instalación de Sistema a Hidrógeno sobre Motor



En el mismo se puede apreciar la conexión eléctrica del acumulador que constituye entre la batería, el interruptor de encendido, el generador de hidrógeno y la caja de fusibles y en la parte de conexión neumática por donde se desplaza el hidrógeno en forma gaseosa más la alimentación de aire son: la toma de aire, para luego pasar con el filtro de aire, luego pasa por un caudalímetro en donde se une con la cañería de alimentación de hidrógeno gaseosa para pasar por el turbo el cual eleva la presión de admisión y hace que sea finalmente inyectado al motor de combustión interna, donde se genera la transformación de energía y sus gases quemados serán expulsados fuera del motor y direccionados por medio de tubería a la salida de escape, cabe aclarar que todas las conexiones se encuentran detalladas de forma visual en el anexo 1.

Luego de conocer el esquema se procede a la determinación de espacio para poder colocar cada uno de los componentes sobre la estructura del kart y teniendo en cuenta la funcionalidad de los otros componentes y la proximidad del motor.

Para el caso de uno de los elementos de mayor importancia en el sistema lo es el burbujeador que para el presente trabajo de adaptación este cuenta con indicador de nivel de la mezcla entre agua destilada en un 99.2 % e hidróxido de sodio en un 0.8 %, este elemento se puede observar con sus respectivas referencias en la figura 34.

Figura 34

Burbujeador y sus Componentes



En cuanto a sus dimensiones externas se tiene un diámetro externo en su parte central de 2.4 in, el diámetro en los extremos es de 2.75 in y de longitud 7.5 in.

Para la instalación de este componente el cual actúa como un dispositivo de seguridad en cuanto a filtrado y se elemento anti retorno de llama. Evitará el paso de cualquier tipo de impureza sólida, así como un hipotético retroceso de llama con dirección a las vasijas de agua productora de hidrógeno para el caso de que se presente un inconveniente de combustión en el conducto transportador del mismo.

Como se puede apreciar en las imágenes el burbujeador es un recipiente de forma cilíndrica el mismo que de forma técnica es recomendable que sea instalado lo más próximo a los sistemas hidrogenadores. El burbujeador cuenta con un tapón de llenado en su parte superior, por donde se añadirá la sustancia electrolítica es decir agua con electrolito que contiene el hidrogenador. También se debe tener muy en cuenta que el burbujeador puede rellenarse con agua destilada para ajuste de nivel.

Para el caso del nivel interno del líquido se debe tener muy en cuenta que este no debe sobrepasar la mitad de capacidad del recipiente del burbujeador. El nivel del agua del burbujeador debe estar exactamente al mismo nivel sobre la vertical del suelo en comparación al agua de las botellas productoras de hidrógeno para minimizar el efecto físico de vasos comunicantes que podría producirse eventualmente con el movimiento del kart entre burbujeador y recipientes hidrogenadores.

El burbujeador dispone de dos tomas para la entrada y salida del gas de hidrógeno. Una toma inferior por donde ingresa el hidrógeno, la cual se conectará a las botellas hidrogenadoras, mediante un colector que lo recoja a la salida de gas de todo el conjunto. Un tubo de salida superior por donde saldrá el gas hidrógeno limpio hacia la toma de admisión de aire del motor.

EL otro componente de importancia para el sistema de generación de hidrógeno lo es el reactor, el cual para esta adaptación cuenta internamente con unas placas de acero del tipo 306 con unas dimensiones de 1.12 in de largo, un espesor de 0.5 in y un ancho de 2 in. La conformación de este elemento en el sistema es que cuenta con una placa positiva y cinco placas negativas.

La función que cumple el reactor es que realiza el proceso de electrólisis para de esta manera provocar la descomposición de las moléculas que conforman el agua, para esta función el reactor requiere de energía eléctrica y dentro de sus requerimientos es de una

intensidad de 6 A, en la figura 35 se puede observar claramente el reactor con sus respectivos elementos y sobre todo los acoples de polaridad positiva y negativa.

El material con que está conformado un reactor de generador de hidrógeno es de Policloruro de Vinilo (PVC) de cédula 40.

Figura 35

Reactor y sus Componentes



En lo concerniente a las cañerías utilizadas en la implementación del sistema para cada una de sus conexiones teniendo en cuenta los elementos y el espacio que amerita en la estructura del kart, se requiere de tres cañerías con las siguientes longitudes: 21.89 in, 14.97 in y 6.5 in, como se puede apreciar en la figura 36.

Figura 36*Cañerías Utilizadas en la Adaptación*

En el caso del fluido que trabaja con el proceso de electrólisis esta es una mezcla del 99.2 % de agua destilada y 0.8 % de hidróxido de sodio el mismo que se puede observar en la figura 37.

Figura 37*Solución para Electrólisis*

La sujeción de cada uno de los elementos es de suma importancia para lo cual se utiliza tornillería, amarras, abrazaderas y protectores de cableado como se puede observar en la figura 38, en las que se puede observar la disposición del burbujeador, batería, reactor, conexiones eléctricas y acoples.

Figura 38

Sujeción de Componentes del Sistema



Finalmente se procede a la colocación del ingreso del flujo al motor, así como la colocación del sistema de salida de los gases de escape como se puede apreciar en la figura 39.

Este elemento de direccionamiento de gases de escape es de material de acero y posee una longitud de 63 in con su respectiva curvatura la cual debe ser acoplada entre el motor y el elemento de eliminación de gases el cual también cumple una función de reducir significativamente el ruido del motor una vez que se lo ponga en funcionamiento al kart.

Figura 39*Elementos de Salida de Gases Combustionados*

De esta manera se concluye la fase de adaptación del sistema de hidrógeno en un motor de combustión interna que es aplicados para el funcionamiento de vehículo de competencias tipo kart.

3.2.10. Pruebas de Funcionamiento

Luego de su instalación de forma correcta y completa de los elementos que conforman el presente proyecto investigativo se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema de hidrógeno implementado en el motor de combustión interna, lo que de manera cualitativa se demostró varios resultados alentadores. En primer lugar, se observó una mejora en la eficiencia del motor, ya que la introducción de hidrógeno en la mezcla de combustible permitió una combustión correcta, así como se correcta eficiencia y desempeño en funcionamiento.

Además, lo que se trata de lograr con este tipo de investigación al momento de adaptar un sistema de generación de hidrógeno sobre un motor a gasolina es que se logre una reducción significativa en las emisiones de gases nocivos, lo que subraya el potencial medioambiental del sistema de hidrógeno durante este tipo de competencias automovilísticas.

La disminución de la emisión de gases de efecto invernadero y la producción de contaminantes como el monóxido de carbono han sido particularmente notables, lo que indica un impacto positivo en la calidad del aire y la sostenibilidad ambiental.

Sin embargo, hay que tener muy en cuenta que la gestión del suministro de hidrógeno y la necesidad de ajustes continuos en el sistema de inyección para garantizar un rendimiento óptimo del motor en diversas condiciones operativas.

En general, las pruebas han validado la viabilidad técnica del sistema de hidrógeno y han destacado su potencial para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental de los motores de combustión interna, lo que respalda la continuación de la investigación y el desarrollo en esta área para su implementación en una amplia gama de aplicaciones automotrices. El proyecto finalizado se puede apreciar en la figura 40.

Figura 40

Armado del Proyecto de Kart a Hidrógeno y Pruebas de Funcionamiento



Ahora que con la implementación de todo el conjunto se realizó las pruebas de funcionamiento del kart con un sistema de generación de hidrógeno integrado son cruciales

para evaluar la viabilidad y el rendimiento del sistema. Durante las pruebas, se consideró varios aspectos, incluidos:

- *Correcta eficiencia y rendimiento del motor*
- *Consumo y autonomía dentro de los parámetros normales de funcionamiento*
- *Aparentemente disminución de emisiones e impacto ambiental*
- *Correcta estabilidad y seguridad*
- *Análisis de datos y ajustes necesarios en perfecto estado y correcto desempeño en carrea.*

En la figura 41 se puede observar el proyecto finalizado en su totalidad por sus autores, logrando así un éxito en lo concerniente a la implementación de sistemas de hidrógeno que intervienen en competencias automovilísticas.

Figura 41

Finalización del Proyecto de Kart a Hidrógeno



Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1. Análisis del Funcionamiento del Sistema de Hidrógeno sobre el Motor de Kart

Con la implementación de un sistema generador de hidrógeno a un motor de gasolina aplicado en un kart de competencias implica una transformación significativa en la operación del motor y a su vez transformándolo en un motor híbrido en su sistema de alimentación de combustible.

4.1.1. Eficiencia Energética

Al realizar un análisis es este parámetro concerniente a la eficiencia energética en la implementación de un sistema de hidrógeno generado sobre un motor de combustión interna a gasolina, este puede complementar la mezcla de combustible, mejorando la eficiencia del motor de gasolina y reduciendo las emisiones nocivas hacia el medio ambiente porque gran porcentaje de sus compuestos de salida de gases corresponden a vapor de agua, y en definitiva convierte al motor a gasolina tradicional en un motor híbrido.

4.1.2. Proceso de Generación

Al momento de tener una estructura de un kart donde se adapta este sistema de generación de hidrógeno y teniendo en cuenta que un vehículo de estas categorías de competencia automovilística no suele contar con un sistema de acumulador de energía, es necesario implementar un sistema eléctrico que permite la generación de un proceso de electrólisis del agua para así generar hidrógeno pero puede tomarse como criterio el de requerir energía eléctrica adicional, lo que puede afectar la eficiencia general del kart y del sistema, dependiendo de cómo se obtenga la electricidad.

4.1.3. Almacenamiento y Suministro

Con la adaptación del tanque de almacenamiento de hidrógeno y de todo el sistema que conforma la generación y suministro de hidrógeno deben diseñarse cuidadosamente para

garantizar la seguridad y la entrega constante de hidrógeno al motor, evitando de esta manera condiciones peligrosas durante el funcionamiento del motor o cuando el kart se encuentre en competencia.

4.1.4. Calibración o Ajustes del Motor del Kart

Teniendo en cuenta que el presente proyecto investigativo se fundamenta en la adaptación de un sistema generados de hidrógeno para luego ser direccionado a la alimentación de combustible al motor de combustión interna que funciona normalmente con gasolina como combustible, se deben realizar ajustes específicos en el motor para permitir la inyección de hidrógeno en la mezcla de combustible, lo que implica ajustes en la relación aire-combustible y la sincronización del encendido, teniendo en cuenta que la mezcla de los dos combustibles como lo es la gasolina y el hidrógeno brindaran un nuevo poder calorífico y de la misma manera una nueva relación estequiométrica, por lo que dependiendo del desempeño y tipo de competencia esta calibración y ajuste debe ser controlada periódicamente.

4.1.5. Control y Monitoreo de la Alimentación del Hidrógeno en el Motor

Al momento de contar con un estema de generación constante de hidrógeno este sistema debe contar con un mecanismo de control para regular la cantidad de hidrógeno inyectado y monitorear el rendimiento general del motor, lo que puede requerir la integración de sensores y controladores adicionales.

Adicionalmente se debe tener presente que la mezcla utilizada para la obtención del hidrógeno debe poseer la concentración correcta como lo es el 99.2 % de agua destilada y del 0.8 % de hidróxido de sodio. Pero otro aspecto a tener en cuenta es que el desempeño de la combustión del combustible puede estar teniendo una deficiencia del desempeño del motor por el motivo que este tipo de motores que impulsar a un kart trabaja con regímenes variables

generado por las propias condiciones de maniobrabilidad en el caso de una competencia de karting.

4.1.6. Análisis del Impacto en el Rendimiento del Kart

Luego de haber realizado las respectivas pruebas de encendido del motor, así como el desempeño ya en pruebas de ruta por parte del kart, se llega a la tener el criterio de que el uso de hidrógeno puede influir en el rendimiento del kart de competencias, en términos de potencia, aceleración y velocidad máxima, lo que debe considerarse en el ajuste general del vehículo para mantener la competitividad, así mismo de una mejora aerodinámica de su carrocería.

4.1.7. Análisis de la Seguridad y Regulaciones

Se deben cumplir estrictamente todas las normativas y estándares de seguridad para el almacenamiento y el uso de hidrógeno en un entorno de competición, dado el carácter inflamable del hidrógeno.

Este análisis subraya la importancia de considerar diversos factores, que van desde la eficiencia y el rendimiento del motor, hasta la seguridad y el cumplimiento de regulaciones, al implementar un sistema generador de hidrógeno en un kart de competencias. Un enfoque integral y experto es crucial para optimizar el rendimiento del kart y garantizar la seguridad de los pilotos y los espectadores.

Conclusiones

Luego de haber realizado el presente trabajo de titulación se procede a plantear las siguientes conclusiones de forma relevante concerniente a la adaptación de un sistema de generación de hidrógeno sobre un motor de gasolina el cual tiene una aplicación en el funcionamiento de un kart homologado de competencias automovilísticas y estas son las siguientes:

De manera satisfactoria se implementó la adaptación de un sistema de generación de hidrógeno sobre un motor de combustión interna de cuatro tiempos a gasolina del kart demostrando su correcto funcionamiento y desempeño demostrado un aumento significativo en la eficiencia del motor, convirtiéndose este trabajo en una solución viable para mejorar la competitividad en las carreras automovilísticas y sobre todo en lograr una reducción de los elementos contaminantes como lo son los gases de escape.

Así mismo se conoció cada uno de los componentes, su esquema de conexiones y el funcionamiento de un sistema de generación de hidrógeno el cual puede ser adaptado para convertir un motor de combustión interna que trabaja con un solo tipo de combustible y de esta forma transformarlo a ser un híbrido con aplicación en competencias automovilísticas como lo es el karting.

Para la adaptación del motor con un sistema de hidrógeno en un kart homologado, se empleó una metodología integral que abarcó el diseño específico del sistema de inyección de hidrógeno, pruebas exhaustivas de rendimiento y seguridad, ajustes precisos en el motor de combustión interna y el cumplimiento estricto de regulaciones de seguridad automovilística en la categoría de karting.

Finalmente, tras una exhaustiva evaluación del funcionamiento de la implementación de un motor a hidrógeno en un kart homologado, se destaca su potencial para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones, impulsando así la viabilidad de soluciones más limpias en

el automovilismo. Sin embargo, se identificaron desafíos técnicos y de seguridad que requieren una atención cuidadosa, como el control preciso de la inyección de hidrógeno y el cumplimiento riguroso de normativas de seguridad. Esta evaluación destaca la importancia de un enfoque integral que considere tanto el rendimiento como la seguridad para garantizar el éxito y la aceptación generalizada de la tecnología de hidrógeno en el contexto de competiciones automovilísticas.

Recomendaciones

Al realizar un proyecto de implementación de un sistema de generación de hidrógeno en un motor de combustión interna aplicado a un kart de competencias automovilísticas, es crucial considerar una serie de recomendaciones importantes:

- Seguridad como prioridad absoluta: Asegúrate de cumplir con los más altos estándares de seguridad en todas las etapas del proyecto. Trabaja con expertos en seguridad y sigue las regulaciones específicas para el almacenamiento y el uso del hidrógeno, minimizando así cualquier riesgo potencial.
- Pruebas exhaustivas y ajustes continuos: Realiza pruebas rigurosas en todas las etapas del proyecto y realiza ajustes continuos en el sistema de generación de hidrógeno y el motor para optimizar el rendimiento y la eficiencia del kart. Mantén registros detallados de los resultados de las pruebas para realizar mejoras informadas.
- Capacitación y conocimiento especializado: Asegúrate de que todo el personal involucrado en el proyecto reciba capacitación adecuada sobre el manejo del hidrógeno, así como en la operación y mantenimiento del sistema de generación y del motor modificado. La capacitación especializada garantiza un manejo seguro y eficiente del sistema.
- Planificación de recursos financieros y temporales: Elabora un plan detallado para gestionar los recursos financieros y temporales necesarios para el proyecto. Considera los costos de materiales, mano de obra y pruebas, así como el tiempo requerido para cada etapa del proceso de implementación. Mantén un margen adicional para posibles imprevistos que puedan surgir durante el proyecto o futuros proyectos.

Bibliografía

- Aguilar, A. (2020). *Reconstrucción de un vehículo tipo GO-KART KODI KART 2012 chasis motor YAMAHA 100 CC*. Guayaquil: UIDE.
- Baterías Ecuador. (18 de Abril de 2017). Obtenido de <http://www.bateriasecuador.com/2017/04/18/e4-ns40-fe/>
- BetterFuel. (11 de Febrero de 2023). *hho-1*. Obtenido de <https://www.hho-1.com/datos-hidrogeno-hho/?lang=es/#hho-explained>
- Clarín. (26 de Noviembre de 2021). *La Vanguardia*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/motor/actualidad/20211126/7838316/primer-vehiculo-pila-combustible-hidrogeno-historia-gm-electrovan.html>
- Duque, E., & Masaquiza, J. (2013). *Implementación de un generador e inyector de hidrógeno en un motor de vehículo Mazda BT-50 2.2 L, para reducir emisiones de gases contaminantes*. Riobamba: ESPOCH.
- Erazo, W., Quiroz, J., Salazar, B., Pallo, A., Quiroz, L., & Zambrano, V. (2017). Modelación del parámetro de identificación de diagnóstico PID's, del sensor de temperatura de refrigerante del motor ECT del sistema de control de inyección electrónica de combustible EFI, mediante regresión no lineal. *INNOVA RESEARCH JOURNAL* , 112-122.
- Fryškowski, B. (2017). Electric field distribution in spark plugs insulators – modeling and computer simulation. *Diagnostyka*, 87-93.
- García, J. (2008). Karts de Hidrógeno. En J. García, *News y Revista CZ* (págs. 8-11). Zaragoza: Centro Zaragoza.
- Hydroenergy. (12 de Octubre de 2019). *issuu*. Obtenido de <https://issuu.com/viestudiocreativo/docs/portafolio/s/125043>

- León, J. (2019). *Implementación de un sistema generador de hidrógeno en un motor carburado*. Quito: USFQ.
- López, D. (28 de Diciembre de 2021). *ActualidadMotor*. Obtenido de <https://www.actualidadmotor.com/funcionamiento-bsico-del-motor-de-hidrgeno/#:~:text=Existen%20dos%20tipos%20de%20motores,e%20inconvenientes%20tienen%20cada%20uno.&text=7%20%C2%BFes%20seguro%20un%20coche%20de%20hidr%C3%B3geno%3F>
- Moore, A. (22 de Agosto de 2006). *Acerca de nosotros: TopSpeed*. Obtenido de TopSpeed.com: <https://www.topspeed.com/cars/car-news/formula-zero-green-motorsport/>
- Motorpasión. (2019). *Motorpasión*. Obtenido de Motorpasión: <https://www.motorpasion.com/revision/funcionamiento-motor-combustion-paso-a-paso-video>
- Ríos, S. (10 de Noviembre de 2022). *TopGear*. Obtenido de <https://www.topgear.es/noticias/coche-electrico/gm-electrovan-primer-vehiculo-pila-combustible-hidrogeno-hizo-1966-1154063>
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz, M. (2015). *Motores de Combustión Interna*. Madrid: UNED.
- Sáinz, D. (2014). *Adaptación de un motor de combustión interna alternativo de gasolina para su funcionamiento con hidrógeno como combustible. Aplicaciones energéticas y de automoción*. Navarra: UPNA.
- Suarez, C., Rodríguez, A., & Solorza, O. (2008). Diseño y construcción de un Go-Kart híbrido pila de combustible PEM/batería recargable. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 183-189.

Vera, E. (2017). *Propuesta de diseño ergonómico en butacas de vehículos monoplace, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student*. Quito: UISEK.

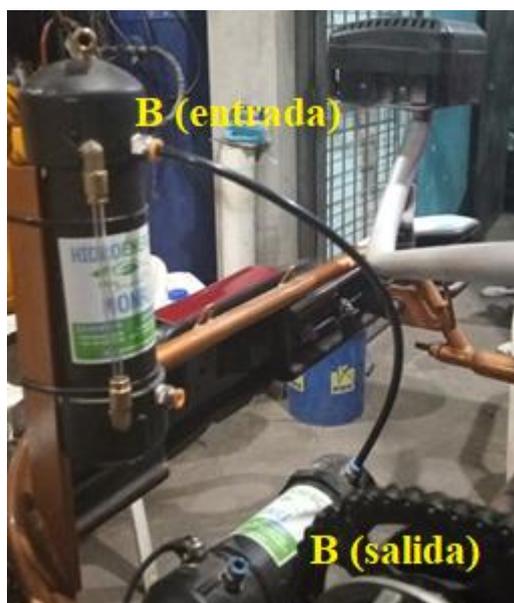
Villareal, D. (24 de Abril de 2022). *Energía y sostenibilidad*. Obtenido de <https://www.diariomotor.com/energia-sostenibilidad/inyectar-hidrogeno-gasoleo-diesel/>

Anexo 1. Fases de Conexión del Sistema a Hidrógeno

El acople rápido A de salida del burbujeador se conecta por medio de una manguera con el acople rápido A de entrada del reactor, por donde circula la combinación de hidróxido de sodio y agua destilada.



El acople rápido B de salida del reactor se conecta por medio de una manguera con el acople rápido B de entrada del burbujeador, es por donde pasará el hidrógeno producido por el proceso de electrólisis.



El acople rápido C de salida del burbujeador se conecta por medio de una manguera con el acople rápido C del depurador, por donde se alimentará de hidrógeno al motor.



Para la alimentación de energía del borne positivo de la batería va conectado al interruptor en serie y luego a un fusible de 30 amperios, para luego conectarse al borne positivo del reactor, mientras que el borne negativo de la batería se conecta al borne negativo del reactor cerrando de esta manera el circuito eléctrico.



