



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO  
VIDA NUEVA



**Implementación de un Generador de Hidrógeno de un Sistema  
Dual Fuel Hidrógeno / Gasolina de un Vehículo Corsa Wind**

Presentado por:

Tito Guamán Jonathan Bladimir

Tecnología en Mecánica Automotriz

Tutor:

Ing. Ugeño Guilcapi Denis Marcelo

Junio 2022

Quito – Ecuador

---

**Tecnología en Mecánica Automotriz****Certificación del Tutor**

---

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Aplicación Práctica con el tema:

“Implementación de un Generador de Hidrógeno de un Sistema Dual Fuel Hidrógeno / Gasolina de un Vehículo Corsa Wind”, presentado por el ciudadano Tito Guamán Jonathan Bladimir, para optar por el título de Tecnólogo En Mecánica Automotriz, certifico que dicho proyecto ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

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

---

Tutor: Ing. Ugeño Guilcapi Denis Marcelo

C.I.: 172186677-8

**ISTVN**

---

**Tecnología en Mecánica Automotriz****Aprobación del Tribunal**

---

Los miembros del tribunal aprueban el Proyecto de Aplicación Práctica, con el tema: “Implementación de un Generador de Hidrógeno de un Sistema Dual Fuel Hidrógeno / Gasolina de un Vehículo Corsa Wind”, presentado por el ciudadano: Tito Guamán Jonathan Bladimir, facultado en la carrera Tecnología en Mecánica Automotriz.

Para constancia firman:

---

**ING.****DOCENTE ISTVN**

---

**ING.****DOCENTE ISTVN**

---

**ING.****DOCENTE ISTVN**

---

### **Cesión de Derechos de Autor**

---

Yo, Tito Guamán Jonathan Bladimir portador de la cédula de ciudadanía 172307878-6, facultado de la carrera Tecnología en Mecánica Automotriz, autor de esta obra, certifico y proveo al Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, usar plenamente el contenido de este Proyecto de Aplicación Práctica con el tema “Implementación de un Generador de Hidrógeno de un Sistema Dual Fuel Hidrógeno / Gasolina de un Vehículo Corsa Wind”, con el objeto de aportar y promover la lectura e investigación, autorizando la publicación de mi proyecto en la colección digital del repositorio institucional bajo la licencia de Creative Commons: Atribución-NoComercial-SinDerivadas.

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

---

Tito Guamán Jonathan Bladimir

C.I.: 172307878-6

## **Dedicatoria**

Dedicado a todas las personas que he tenido la dicha de conocer, compartir y que me han brindado su apoyo abnegado, con sus consejos, ánimos y acciones que han contribuido en mi formación profesional y que se ve reflejado en este proyecto de titulación. A mis padres, Martha Guamán y Martin Tito los cuales siempre han sido un ejemplo de perseverancia y superación, enseñándome lo que realmente importa en la vida, la familia. A mi hermano Víctor por ser el mejor amigo que puedo tener por su apoyo incondicional, por sus consejos, por su ejemplo, y a todos mis familiares que con mucho cariño han formado parte de este gran sueño y que ahora se hace realidad por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor. Por ellos es que soy lo que soy y los aprecio con toda mi vida.

Tito Guamán Jonathan Bladimir

## **Agradecimiento**

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

## Índice de Contenido

Resumen.....	16
Abstract.....	18
Introducción .....	19
Antecedentes.....	21
Justificación .....	23
Objetivos.....	26
Objetivo General.....	26
Objetivos Específicos.....	26
Capítulo I .....	27
Marco Teórico.....	27
Celda de Hidrógeno .....	27
Inyección Electrónica.....	27
El Hidrógeno.....	28
Historia del Hidrógeno .....	28
Propiedades.....	29
Propiedades Químicas del Hidrógeno .....	29
Propiedades Físicas del Hidrógeno.....	29
Inflamabilidad.....	30

Producción del Hidrógeno .....	30
Pila de Hidrógeno o Celda de Combustible .....	31
Electrólisis.....	32
Generador de Hidrógeno Celda Seca y Celda Húmeda .....	32
La Celda Húmeda .....	32
La Celda Seca .....	32
Vehículo de Hidrógeno .....	33
Capítulo II .....	35
Metodología .....	35
Diseño Metodológico.....	35
Método Experimental.....	35
Método de Medición .....	36
Construcción del Generador de Hidrógeno.....	36
Diseño del Generador de Hidrógeno.....	37
Calculo para Áreas y Volúmenes.....	38
Cálculo de Producción de Hidrógeno .....	40
Diseño de Generador en Software .....	43
Diseño de Placa de Neutra .....	43

Diseño de Placa Positiva y Negativa .....	44
Diseño de Junta Aislante.....	45
Ensamble de Generador con los Componentes Diseñados .....	46
Diseño Competo del Generador de Hidrógeno .....	46
Construcción y Funcionamiento .....	47
Herramientas Necesarias para la Realización.....	48
Construcción.....	48
Ensamble del Generador.....	49
Diseño Óptimo para la Celda del Generador de Hidrógeno .....	54
Etapas de Generación .....	55
Instalación del Sistema Generador de Hidrógeno.....	56
Generalidades .....	56
Precauciones y Seguridad .....	56
Proceso de Instalación .....	57
Conexión Eléctrica .....	59
Comprobación y Verificación del Funcionamiento del Sistema .....	60
Verificación .....	61
Capítulo III.....	62
Propuesta y Resultados .....	62

Pruebas Mecánicas.....	62
Potencia y Torque .....	62
Pruebas de Torque y Potencia .....	62
Datos del Ensayo .....	64
Tabla de Valores.....	66
Gráfica de Potencia y Torques sin Dispositivo .....	67
Análisis de la Gráfica sin Dispositivo.....	68
Datos del Ensayo con Dispositivo .....	68
Tabla de Valores.....	69
Gráfica de Potencia y Torques con Dispositivo .....	71
Análisis de la Gráfica con Dispositivo.....	72
Datos Comparativos del Ensayo.....	72
Tabla de Valores Comparativa con y sin Dispositivo .....	73
Análisis Comparativo de la Gráfica.....	76
Gráfico Comparativo del Análisis de Potencia con y sin Dispositivo.....	76
Gráfico Comparativo del Análisis de Torque con y sin Dispositivo .....	77
Prueba en Ciudad.....	77
Análisis Técnico.....	78
Consumo de Combustible.....	78
Comparación de Consumo de Combustible .....	79

Gráfico de Consumo de Combustible .....	80
Rendimiento Efectivo .....	80
Cálculo del Rendimiento Efectivo.....	81
Cálculo sin Dispositivo.....	81
Cálculo con Dispositivo.....	83
Consumo Específico .....	85
Cálculo sin Dispositivo.....	85
Calculo con Dispositivo.....	86
Análisis Económico .....	87
Conclusiones.....	88
Recomendaciones .....	89
Referencias Bibliográficas.....	90
Anexos .....	92

## Índice de Figuras

Figura 1 Inyección electrónica.....	28
Figura 2 El hidrógeno .....	31
Figura 3 Pila de combustible.....	31
Figura 4 Celda seca y celda húmeda.....	33
Figura 5 Vehículo con generador de hidrógeno.....	34
Figura 6 Ensamblaje completo de generador de hidrógeno en software .....	37
Figura 7 Placa neutra de acero inoxidable en software.....	44
Figura 8 Placa de electrodos de acero inoxidable en software .....	45
Figura 9 Junta aislante en software .....	45
Figura 10 Ensamblaje completo de generador de hidrógeno en software .....	46
Figura 11 Diseño completo de generador de hidrógeno en software.....	47
Figura 12 Placa de acero inoxidable A. ....	48
Figura 13 Placa de acero inoxidable B .....	49
Figura 14 Placa de acero inoxidable B .....	52
Figura 15 Celdas generadoras.....	53
Figura 16 Pruebas para comprobar contacto entre celdas.....	54
Figura 17 Recipiente con las celdas.....	55

Figura 18 Ubicación del generador.....	58
Figura 19 Verificación de conexiones eléctricas .....	59
Figura 20 Conexión eléctrica .....	60
Figura 21 Comprobación y verificación .....	61
Figura 22 Desarrollo pruebas potencia- torque.....	62
Figura 23 Pruebas en el dinamómetro .....	63
Figura 24 Gráfica de potencia/torque corsa verde sin dispo0002041.....	67
Figura 25 Gráfica de potencia/torque con disp. corsa verde.....	71
Figura 26 Gráfica comparativa de potencia/torque del corsa verde comparativa con y sin disp. .....	75
Figura 27 Gráfico comparativo del análisis de potencia con y sin dispositivo.....	76
Figura 28 Gráfico comparativo del análisis de torque con y sin dispositivo .....	77
Figura 29 Gráfico comparativo de consumo de combustible .....	80
Figura 30 Rendimiento con y sin dispositivo .....	85
Figura 31 Consumo específico con y sin dispositivo.....	87

## Índice de Tablas

Tabla 1 Especificaciones del generador de hidrógeno.....	36
Tabla 2 Datos y dimensiones y fórmulas de volumen del generador .....	38
Tabla 3 Significado de las siglas de la fórmula .....	38
Tabla 4 Valores para cálculo de producción de gas.....	40
Tabla 5 Parámetros para el gas de hidrógeno. ....	41
Tabla 6 Parámetros para el gas hidrógeno. ....	50
Tabla 7 Propiedades hidrógeno/gasolina. ....	55
Tabla 8 Datos del automóvil. ....	64
Tabla 9 Resultados máximos de potencia y torque sin disp. ....	65
Tabla 10 Resultados y promedios del análisis de potencia y torque sin disp corsa verde.....	66
Tabla 11 Resultados máximos de potencia y torque con disp. ....	68
Tabla 12 Resultados y promedios del análisis de potencia y torque con dispositivo, corsa verde. .....	69
Tabla 13 Resultados y promedios máximos de potencia y torque con dispositivo y sin dispositivo .....	72
Tabla 14 Resultados y promedios del análisis de potencia y torque con dispositivo y sin dispositivo.....	73
Tabla 15 Consumo de combustible con y sin dispositivo .....	78

Tabla 16 Comparativo de consumo de combustible .....	79
--	----

## Resumen

La Implementación de un Sistema Dual Fuel, Hidrógeno/Gasolina en un Vehículo de Motor de Combustión Interna. Ha sido ejecutada con la finalidad de desarrollar, analizar y comunicar resultados técnicos, ambientales y económicos, para verificar el consumo de combustible, características de la combustión y disminución de los gases contaminantes en el vehículo de prueba. La investigación se apoya en herramientas de observación y experimentación, utilizando el método deductivo, base metodológica que permitió organizar pruebas y resultados, orientados al aprovechamiento de las propiedades del hidrógeno como combustible para adicionarlo al motor junto con la gasolina. El hidrógeno se obtiene a partir del proceso de electrólisis, que descompone el agua mediante corriente eléctrica en sus átomos constitutivos. Se realizó la construcción, ensamblaje e instalación del sistema generador de hidrógeno, básicamente compuesto por: celdas generadoras, depósito, material eléctrico, tuberías y reactivos. Posteriormente se llevaron a cabo las pruebas: mecánicas, análisis de gases, consumo de combustible, con la colaboración de la Secretaria del Ambiente en la ciudad de Quito y sus valores fueron comparados con las Normas de Gestión Ambiental del Aire (INEN 2 204: 2002) vigentes en el Ecuador, obteniendo los siguientes resultados: ahorro de combustible al 23.5%, reducción de hidrocarburos no combustionados al 51%, óxidos de nitrógeno al 46%, monóxido de carbono al 2%, incremento de potencia y torque de 0.8 Hp y 3.04 Nm respectivamente, mejor combustión en revoluciones altas y medias. Con la implementación de este sistema se logró mejorar el rendimiento del motor, quedando la inversión recuperada en el primer año de la instalación del equipo, además beneficios como: incremento de la efectividad y una disminución del consumo específico del vehículo, reduciendo la cantidad de gases nocivos hacia el ambiente. Se recomienda utilizar los resultados obtenidos en este proyecto para futuras investigaciones.

**Palabras Clave:** Generador de hidrógeno, motor de inyección electrónica, diagnóstico de torque y potencia, dinamómetro.

### **Abstract**

The preparation of this project is of utmost importance, since the study of this issue is the implementation of a hydrogen generator in CHEVROLET, KIA, TOYOTA engines, among others. It has been executed with the purpose of developing and analyzing technical, environmental and economic results, to verify fuel consumption, characteristics and reduction of polluting gases in the vehicle. The field research is supported by observation and experimentation tools, using the deductive method, a methodological basis that made it possible to organize tests and results, aimed at exploiting the properties of hydrogen as a fuel to be added to the engine together with gasoline. Hydrogen is obtained from the electrolysis process. The research is descriptive, since it allows us to systematically describe the characteristics, situations and areas of interest on the subject. The construction, the assembly and installation of the hydrogen generating system was carried out, basically consisting of: tank, electrical material, pipes and reagents. The one applied was being the most useful regarding contents, activities and resources in order to diagnose the handling process of hydrogen generation equipment.

**Keywords:** Hydrogen generator, electronic injection engine, power and torque diagnostics, dynamometer.

## Introducción

El mundo automotriz día a día va evolucionando en todos sus ámbitos, enfocados siempre a obtener un mayor rendimiento de nuestro vehículo, una mayor eficiencia de los sistemas y un mejor cuidado del ambiente, para alcanzar estos propósitos continuamente se desarrollan productos y se mejoran sistemas complementarios a nuestro vehículo. En el apogeo de la utilización de energías alternativas en vehículos, encontramos una gran variedad de opciones, de las cuales en nosotros despertó un particular interés el uso del hidrógeno como combustible complementario, debido a su fácil y económica obtención además de sus excelentes propiedades como combustible alternativo. Como lo señala la revista, (Mundo automotriz, 2021, p. 10).

Es así que nosotros como futuros tecnólogos automotrices hemos encontrado la necesidad de analizar y comprobar todos los beneficios que ofrece la utilización de este sistema, por lo tanto, será nuestro objeto de análisis en la presente tesis; en la cual se procederá a construir, instalar y ensayar un sistema generador de hidrógeno. La Implementación de un Sistema Dual Fuel, Hidrógeno/Gasolina en un Vehículo de Motor de Combustión Interna. Ha sido ejecutada con la finalidad de desarrollar, analizar y comunicar resultados técnicos y económicos, para verificar el consumo de combustible, características de la combustión en el vehículo de prueba. La investigación se apoya en herramientas de observación y experimentación, utilizando el método deductivo, base metodológica que permitió organizar pruebas y resultados, orientados al aprovechamiento de las propiedades del hidrógeno como combustible para adicionarlo al motor junto con la gasolina.

Alejandro. S, (2018) manifestó lo sustancial que es un sistema Dual Fuel, Hidrógeno/Gasolina en los vehículos a inyección electrónica:

El hidrógeno se obtiene a partir del proceso de electrólisis, que descompone el agua mediante corriente eléctrica en sus átomos constitutivos. Se realizó la construcción, ensamblaje e instalación del sistema generador de hidrógeno, básicamente compuesto por: celdas generadoras, depósito, material eléctrico, tuberías y reactivos. Posteriormente se llevaron a cabo las pruebas: mecánicas, consumo de combustible, obteniendo los siguientes resultados: ahorro de combustible al 23.5%, óxidos de nitrógeno al 46%, monóxido de carbono al 2%, incremento de potencia y torque de 0.8 Hp y 3.04 Nm respectivamente, mejor combustión en revoluciones altas y medias. (p. 25).

Con la implementación de este sistema se logró mejorar el rendimiento del motor, incremento de la efectividad y una disminución del consumo específico del vehículo. La investigación nos permite describir de modo sistemático las características, situaciones y área de interés sobre la Implementación de un Sistema Dual Fuel, Hidrógeno/Gasolina en un Vehículo. Ha sido ejecutada con la finalidad de desarrollar, analizar y comunicar resultados técnicos para verificar el consumo de combustible en el vehículo de prueba. La investigación se apoya en herramientas de observación y experimentación, utilizando el método deductivo, base metodológica que permitió organizar pruebas y resultados, orientados al aprovechamiento de las propiedades del hidrógeno como combustible para adicionarlo al motor junto con la gasolina. El hidrógeno se obtiene a partir del proceso de electrólisis, que descompone el agua mediante corriente eléctrica en sus átomos constitutivos.

La elaboración de este proyecto es de suma importancia puesto que el estudio propone implementar un generador de hidrogeno para mejorar el rendimiento del motor tanto en torque y potencia. El generador de hidrogeno tendrá beneficios como de la efectividad y una disminución del consumo del vehículo de combustible.

## Antecedentes

Felipe. B, (2020) señala que a media diados de 1842 apareció primera célula de combustible (a la que llamó batería voltaica de gas), capaz de producir energía eléctrica combinando hidrógeno y oxígeno, por lo que define la siguiente teoría:

La teoría de la correlación, en el desarrollo de la célula demostró que el vapor podía ser disociado en hidrógeno y oxígeno, y a su vez el proceso podía ser invertido, fue el primero en demostrar la disociación térmica de moléculas en sus átomos constituyentes. En el año 1860 Jean Joseph Etienne Lenoir construyo el primer carro que producía su propio combustible de hidrogeno, gracias al proceso del electrolisis, su invento no tuvo impacto en el mercado, dado a que requería costos muy altos y producía muy poca cantidad. (p. 98).

Hasta 1890, hubo muchos experimentos, pero todos ellos eran muy caros para su mantenimiento y su implementación. Todos estos experimentos estaban basados en electricidad, la cual en ese entonces era exclusiva. La primera patente relacionada con la generación de hidrogeno y oxígeno para uso vehicular data del 9 de abril de 1918 creador por el inventor Charles H. Frazer de Columbus Ohio, el invento fue denominado “Booster de Hidrogeno” o “generadores de hidro-oxígeno”, en el cual era de uso exclusivo para los motores. Dio a conocer (Felipe. B, 2020, p. 110).

Empleado las palabras de Felipe. B, (2020), en 1922 Yull Brown reconocido profesor que desempeño como Ingeniero Eléctrico, inventor, y profesor universitario, también conocido como Gas de Brown, que implicaba un método muy eficiente para lograr la electrolisis del agua y su uso de la mezcla resultante de oxígeno e hidrógeno, indicando lo siguiente:

El gas obtenido, se podía reducir la radioactividad de muchos materiales. Uno de sus mayores usos fue el de la soldadura autógena de agua y gas de Brown (en reemplazo del acetileno) y oxígeno, del cual se ha derivado muchos de los logros y experimentos de muchas personas al pasar del tiempo. (p. 116).

Felipe. B, (2020), declara que en 1962 William A. Rhodes de USA en Arizona, es el primer inventor. Por lo tanto:

Patento un aparato de electrolisis, que producía gas que ahora llamamos el Gas de Brown. Del cual Charles T. Weber patento en 1982 un “Aparato para la generación de un combustible gaseoso para los motores” del cual, hasta la actualidad, este nombre perduro en el tiempo para dichos experimentos posteriores a base del electrólisis. Todas estas patentes y experimentos, fueron respaldados por ensayos realizados en universidades, institutos y laboratorios de EE.UU., Europa, Asia, y en muchos otros países, donde las empresas productoras mostraron interés. (p. 118).

El notable incremento del parque automotor y el desproporcionado crecimiento de la población han incidido directamente sobre el aumento del combustible, debido a esto todos los vehículos en la actualidad incorporan una serie de sistemas con la finalidad de reducir el consumo de combustible, tratando de mejorar la eficiencia de los motores. Es lógico entonces entender la función principal y el objetivo que a su vez se ha plasmado en un proyecto, que busca mediante mínimas modificaciones en un vehículo, mejorar su eficiencia, así como tratar de reducir el consumo de combustible y dándole un mejoramiento en torque y potencia. El presente proyecto pretende desarrollar un sistema de alimentación de combustible para un motor de inyección electrónica, con la mezcla de gasolina e hidrógeno, producido en el mismo vehículo. De acuerdo con (Ana. S, 2017, p. 14).

## Justificación

Las tecnologías de los autos están continuamente en renovación, tanto en diseño cuanto en construcción de motores de combustión interna, con lo cual se ha elevado el rendimiento relacionado al incremento de potencia sin que dé como resultado un consumo elevado de combustible. Con la intención de aportar con un estudio y alternativa tecnológica eficiente para obtener un mejor rendimiento en la potencia de los motores de combustión interna, se ha optado por el uso del hidrógeno como combustible mediante un sistema de generación e inyección del mismo en el motor durante el proceso de admisión del motor, además de ser un estudio base para desarrollo tecnológico en ciudades de altura (respecto al nivel del mar) como es el caso de la ciudad de Quito, la misma que está a una altura promedio de 2850 metros, tanto que los vehículos a hidrógeno, ya sean híbrido-eléctricos o de celdas de combustible, podrían alcanzar eficiencias del orden de entre 35 y 45 por ciento. Los vehículos impulsados por hidrógeno o con mezclas gasolina - hidrógeno pueden cumplir con la demanda. Con la afirmación de (Edwin. T, 2018, p. 15).

Pablo. O, (2020) manifiesta que el hidrogeno hay grandes cantidades por lo que es un elemento sostenible y de gran aporte como parte de un combustible alternativo limpio en los vehículos:

Este trabajo de investigación se justifica en el hecho de que el hidrógeno existe en grandes cantidades como componente del agua y que a través de un proceso de electrolisis como un fenómeno no espontáneo, artificial inducido por la persona, se busca obtener el hidrógeno como un elemento sostenible y de gran aporte como parte de un combustible alternativo limpio y de bajo impacto, ya que es preocupante el agotamiento de reservas de hidrocarburos, y el agotamiento de ciertos recursos naturales, y esto representará un beneficio

económico; además, será un aporte para los estudiantes, instituciones, universidades con la finalidad de mejorar, estudiar y transmitir estos conocimientos como fuente de aprendizaje. (p. 56).

Los motores impulsados por hidrógeno son en realidad muy similares a los motores de combustión, como combustible o un motor de conversión de pila de combustible. Un prototipo funcional de vehículo dual (hidrógeno/gasolina) fue desarrollado en base al funcionamiento dual (hidrógeno/gasolina) permite a un vehículo funcionar con hidrógeno en recorridos urbanos. Para rutas interurbanas y mayores distancias se puede hacer uso de la gasolina gracias a su mayor potencia y autonomía. Así lo señala, (Alvarado. P. A, 2021, p. 148 ).

Además Gonzalo. R, (2019), “permite aprovechar las especiales características que presenta el hidrógeno como combustible, y que son la alta velocidad de llama en flujo laminar., un elevado número de octanos efectivo, que no aporta ninguna toxicidad y no llega a formar ozono” (p. 45). Por esto, con un adecuado diseño podemos conseguir un motor con un rendimiento energético mayor que el equivalente en gasolina y totalmente ecológico. El alto número de octanos permite elevar la relación de compresión que redundará en un aumento del rendimiento energético, mientras que la alta velocidad de llama en flujo laminar contribuye a la reducción de las emisiones de NOx, pues es posible emplear, tan bajos que han llegado al 0,2. Gracias a esta posibilidad se puede aumentar también el rendimiento. Con todo esto se han conseguido aumentos del rendimiento del 25-30% con respecto a los motores equivalentes en gasolina.

Según El comercio, (2021) en Quito, se realizó las investigas en relación a la influencia del incremento del combustible en vehículos livianos, tasis, y vehículos pesado y de transporte público, donde se efectuó un análisis de los gastos y costos que incurre el

transportista al dar el servicio de transporte público. El galón de diésel se comercializará a USD 1,60 por galón desde mañana 12 de agosto del 2021; es decir, cuatro centavos más que el período previo, informó hoy la Agencia de Regulación de Energía. Hasta hoy, 11 de agosto del 2021, este derivado se cotizaba en USD 1,56. En cambio, el galón de gasolina extra y ecopaís pasará de USD 2,18 a 2,28.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Implementar el generador de hidrógeno, para comprobar y verificar el torque y potencia de un sistema dual fuel, hidrógeno/ gasolina de un vehículo CORSA WIND utilizando componentes eléctricos y electrónicos.

### **Objetivos Específicos**

Investigar el funcionamiento de un sistema dual fuel hidrógeno/gasolina para el funcionamiento del torque y potencia de un motor CORSA WIND.

Realizar un análisis comparativo de torque, potencia y consumo de combustible antes y después de la implementación del sistema del generador de hidrogeno.

Analizar el hidrógeno para mejorar el rendimiento tanto en potencia y torque del vehículo CORSA WIND.

## **Capítulo I**

### **Marco Teórico**

#### **Celda de Hidrógeno**

Según la revista el TIEMPO (2021). La primera vez que se observó y dio a conocer este fenómeno fue por el Galés William Grove en 1839, el proceso inicia con electrolisis donde se obtiene H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> posteriormente al detener la electrolisis. Durante años posteriores se realizaron intentos por mejorar este modelo sin embargo no fue sino pasados casi cien años que se mejoró esto pasarían muchas décadas para que la investigación se reanudara esta vez por Francis T. Bacon en 1959 el mejoro el diseño de los catalizadores de platino, el ácido sulfúrico como electrolito además de usar electrodos de níquel, con lo cual el sistema se abarato. (p. 9).

#### **Inyección Electrónica**

Bosch, (2021) argumenta que, la inyección electrónica es una forma de inyección de combustible para motores de gasolina, en los cuales lleva ya varias décadas implantada, más reciente inyectores de inyección de gasolina, con su rampa de alimentación. Se puede subdividir en varios tipos (monopunto, multipunto, secuencial, simultánea) pero básicamente todas se basan en la ayuda de la electrónica para dosificar la inyección del carburante y reducir la emisión de agentes contaminantes a la atmósfera y a la vez optimizar el consumo. Este sistema ha reemplazado al carburador en los motores de gasolina. (p. 154).

## Figura 1

### *Inyección electrónica*



*Nota.* Tomado de Pruebaderuta, 2020

## El Hidrógeno

### *Historia del Hidrógeno*

ECURED (2018), señala que la historia del hidrógeno se dio.

En 1766, Henry Cavendish fue el primero en reconocer el hidrógeno gaseoso como una sustancia discreta, identificando el gas producido en la reacción metal-ácido como "aire inflamable" y descubriendo más profundamente, en 1781, que el gas produce agua cuando se quema. La primera vez que se observó y dio a conocer este fenómeno fue por el Galés William Grove en 1839, el proceso inicia con electrolisis donde se obtiene H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> posteriormente al detener la electrolisis las terminales en serie de platino reaccionaron con el Hidrógeno y oxígeno, obteniendo agua electricidad y generamos calor. (p. 12).

## **Propiedades**

De acuerdo con el libro de, Química, (2017). El hidrógeno es un elemento peculiar debido a su electronegatividad característica, la cual es mayor que las de los metales alcalinos, y menor que la de los halógenos, lo mejor sería colocarlo a mitad de camino entre ambos grupos los cuales son. (p. 25).

### ***Propiedades Químicas del Hidrógeno***

Química, (2017) argumenta las siguientes propiedades químicas del hidrógeno.

En condiciones normales, el hidrógeno es un gas incoloro, inodoro y sin sabor, además es la molécula más pequeña conocida, por lo que la densidad del hidrógeno es de 76 Kg. /m<sup>3</sup>, y cuando se encuentra en estado de gas, la densidad es de 273 kg. / L. de esta forma posee una gran rapidez de transición, cuando las moléculas se encuentran en fase gaseosa. Debido a esta propiedad, hay ausencia casi total, de hidrógeno en la atmósfera terrestre, es por este motivo que tiene Facilidad de efusión, así como también de difusión, por lo tanto, tiene óptima conductividad calorífica, Punto de fusión de 14025 K y punto de ebullición de 20268 K. (p. 25).

### ***Propiedades Físicas del Hidrógeno***

Química, (2017) indica las siguientes propiedades físicas del hidrógeno.

Tiene un peso atómico de 100974 uma, posee un estado de oxidación de +1, -1. Se combina con los metales alcalinos y alcalinotérreos (menos con el berilio y magnesio), a través de enlaces iónicos, forma enlaces tipo covalentes, con los no metales, forma enlaces metálicos con los elementos de transición, el hidrógeno, H<sup>+</sup>, siempre se encuentra asociado a otro elemento, menos en el estado gaseoso, posee una estructura cristalina hexagonal, reacciona con la gran mayoría de los elementos de la tabla periódica. (pp. 25-26).

### ***Inflamabilidad***

Se denomina límites de inflamabilidad al intervalo de concentraciones combustible-aire en los cuales se puede llevar a cabo la combustión. Estos límites pueden variar con la presión y la temperatura, pero habitualmente se presentan como datos en porcentaje en volumen a 25 °C y presión atmosférica. (Apilados, 2019, p. 25).

### **Producción del Hidrógeno**

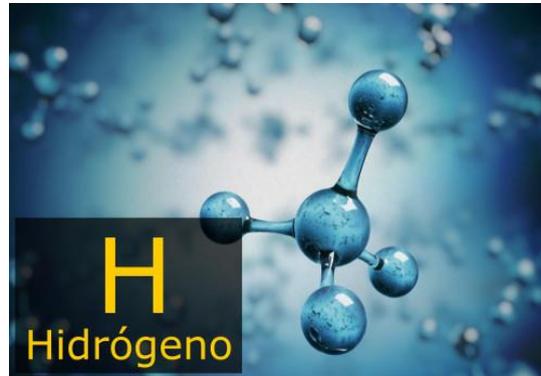
La producción de hidrógeno muy usado en las industrias lo cual, Energía y medio ambiente (2020) deduce que.

El hidrógeno puede obtenerse a partir de una fuente renovable como es la biomasa celulósica. La celulosa puede convertirse en H<sub>2</sub> mediante varios procesos termoquímicos tales como combustión, La transformación del gas natural mediante la aplicación de calor es actualmente el proceso más económico para la producción de hidrógeno. (p. 19).

La electrólisis también genera hidrógeno mediante el uso de una corriente eléctrica que separa el agua en hidrógeno y oxígeno.

**Figura 2**

*El hidrógeno*



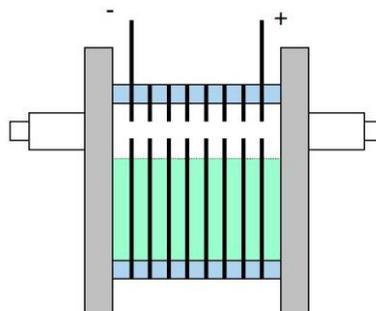
*Nota.* Esta figura fue tomada de GEOLOGIAWEB, 2021

**Pila de Hidrógeno o Celda de Combustible**

Pila de combustible, también llamada célula de combustible o celda de combustible, es un dispositivo electroquímico en el cual un flujo continuo de combustible y oxidante sufren una reacción química controlada que da lugar a los productos y suministra directamente corriente eléctrica a un circuito externo. La pila de combustible de hidrógeno ha logrado superar prácticamente todos los obstáculos de seguridad y tecnológicos. (Gonzalo. G, 2019, p. 45).

**Figura 3**

*Pila de combustible*



*Nota.* Esta imagen muestra la célula de combustible por Gonzalo. G, 2019

## **Electrólisis**

La electrólisis es muy utilizada en la industria por lo que LENNTECH, (2021) afirma lo siguiente:

La electrólisis es el proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad. En ella ocurre la liberación de electrones por los aniones en el ánodo (una oxidación) y la captura de electrones por los cationes en el cátodo (una reducción). Este proceso se lleva a cabo en una clase importante de celdas electroquímicas que se conocen como celdas electrolíticas, donde se usa una corriente eléctrica para activar una reacción no espontánea. La electrólisis se basa en los mismos principios en que se fundamentan los procesos que se realizan en las celdas galvánicas. (p. 23).

## **Generador de Hidrógeno Celda Seca y Celda Húmeda**

### ***La Celda Húmeda***

Betterfuel, (2021) menciona que. La celda húmeda toda el agua que rodea las celdas con carga existe un puente creado por el electrólito el cual no pasa por las celdas neutrales, y en ese puente se pierde efectividad y gasta más energía, además que resulta más voluminosa y estorbosa. (p. 54).

### ***La Celda Seca***

La celda seca nos permitirá ahorrar espacio y brindar un mejor funcionamiento y seguridad en comparación de una celda húmeda, esta se ha escogido como favorita pues en la sociedad y en el internet es la más aceptada, usada y también porque se pueden hacer modificaciones más seguras y es más manejable.

Los generadores de hidrógeno de célula seca son mucho más eficientes que las células húmedas porque se requiere muy poca corriente eléctrica en el proceso de electrólisis (utilizar electricidad para separar el agua en hidrógeno y oxígeno).( Betterfuel, 2021, p. 55).

#### Figura 4

*Celda seca y celda húmeda*



*Nota.* Investigado de Betterfuel, 2021

#### Vehículo de Hidrógeno

Teniendo en cuenta a, COPYRIGHT (2021). El sistema dual-fuel. En este sistema de alimentación ingresan a las cámaras de combustión dos clases de combustibles los cuales son premezclados en la admisión del motor, para luego inyectar la mezcla en las cámaras de combustión. Como combustible primario generalmente se utiliza la gasolina y como alternativo tenemos etanol, GLP o hidrógeno, entre los más utilizados. Al igual que en el caso anterior el motor no sufre ninguna modificación para la adaptación del sistema, los diferentes componentes del mismo se montan externamente. Todas las características técnicas del motor permanecen inalterables luego de la instalación del sistema dual-fuel. (p. 56).

**Figura 5**

*Vehículo con generador de hidrógeno*



*Nota.* Investigado de, Goodyear 2021

## **Capítulo II**

### **Metodología**

#### **Diseño Metodológico**

Para esta investigación se propone un método tecnológico el cual resuelve problemas en entornos reales con la ayuda de un sustento teórico, el cual está orientado en la recopilación de información necesaria mediante diferentes métodos para cumplir con todos los objetivos específicos del proyecto. Para el desarrollo del presente proyecto se propone usar la investigación bibliográfica por medio de la consulta de fuentes veraces y actuales.

Además de investigar acerca del funcionamiento de los motores de combustión interna de hidrógeno son una tecnología fiable y disponible. Las tecnologías de los autos están continuamente en renovación, tanto en diseño cuanto en construcción de motores de combustión interna, con lo cual se ha elevado el rendimiento relacionado al incremento de potencia sin que dé como resultado un consumo elevado de combustible. La notable experiencia en el diseño y adaptación al uso de hidrogeno hacen que esta opción tecnológica también resulte atractiva. De hecho, algunos fabricantes de vehículos como Ford, Mazda y BMW han desarrollados vehículos de combustión interna alternativos de encendido alimentado por hidrógeno.

#### **Método Experimental**

El experimento tiene como propósito evaluar y examinar los efectos que se manifiestan en la variable dependiente del vehículo con el Generador de hidrógeno para implementar los resultados de cómo va evolucionando el vehículo en potencia y torque con hidrógeno y sin hidrógeno.

## Método de Medición

Se realizará mediciones de torque y potencia en un dinamómetro de rodillos bajo las normas DIN 70020, ISO 1585 y SAE J1349, las cuales consideran factores externos como la temperatura del aire ambiente, la presión ambiente y la humedad relativa del aire para el cálculo, permitiendo obtener datos de alta fidelidad (DIN 70020, 2013) (ISO 1585, 1992) (SAE J1349, 2004).

## Construcción del Generador de Hidrógeno

El generador de hidrógeno que se pretende diseñar será uno de tipo de celda humedad ya que resulta ser un dispositivo compacto, sencillo y fácil de usar, este tipo de generador disipa de manera eficiente el calor producido por la electrólisis, este estará alimentado por corriente continua de 12 voltios.

**Tabla 1**

*Especificaciones del generador de hidrógeno.*

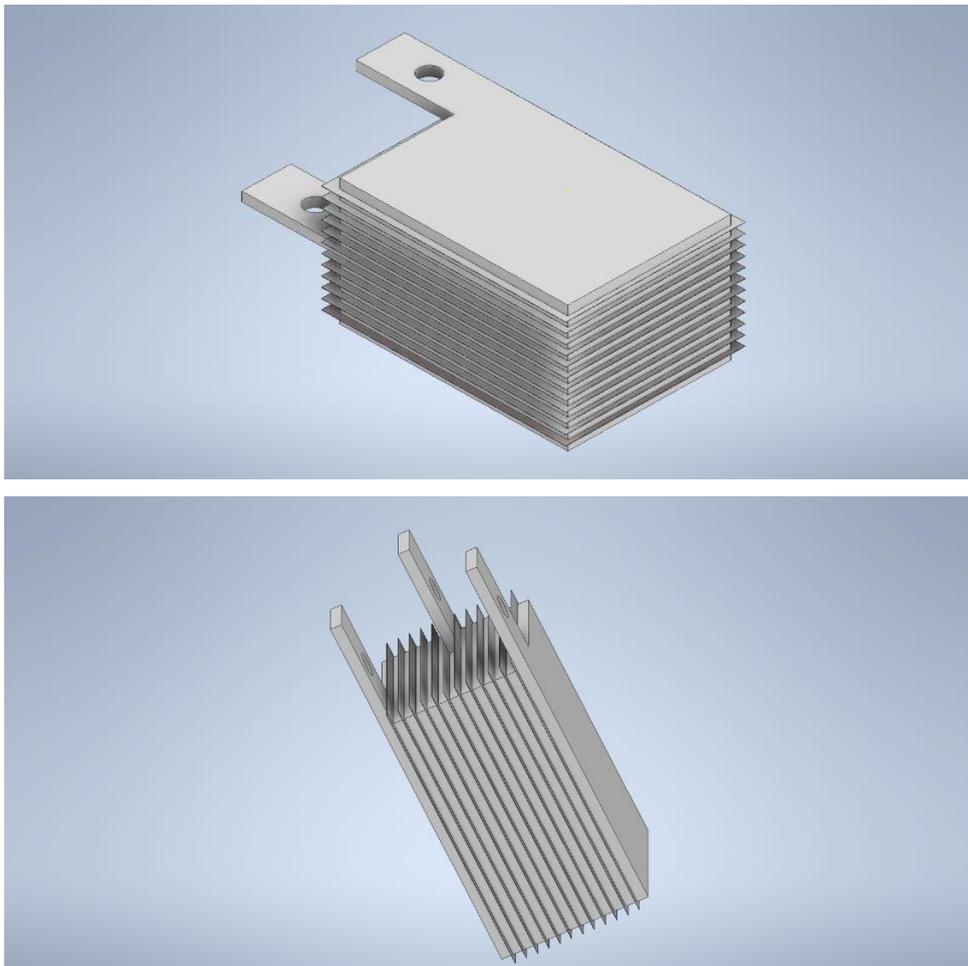
<b>Datos</b>	<b>Números</b>
Número de Placas	13
Número de Placas Positivas	1
Número de Placas Negativa	2
Número de Placas Neutras	10
Número de Separadores	12
Entradas de electrolito	1
Salidas de Gas Hidrógeno	1
Voltaje	12 v
Amperaje	32 amp
Cámaras generadoras	2
Capacidad de Agua	2 litros

## Diseño del Generador de Hidrógeno

Para el diseño de la celda se tomó en cuenta sus diferentes partes que la constituyen, observando que sus dimensiones sean las adecuadas para la producción de hidrógeno, por este motivo se debe diseñar las piezas especificando su tamaño, material y forma. Para obtener este resultado se utiliza un software llamado Autodesk Inventor Professional el cual facilita diseñar en computadora antes de construir físicamente.

### Figura 6

*Ensamblaje completo de generador de hidrógeno en software*



*Nota.* Elaborada en Autodesk Inventor Professional

## Calculo para Áreas y Volúmenes

Antes de realizar cualquier cálculo es necesario saber y verificar de donde se obtiene los datos para poder aplicar cada formula correctamente en la tabla siguiente se aprecia de donde provienen dichos datos.

**Tabla 2**

*Datos y dimensiones y fórmulas de volumen del generador*

<b>Datos</b>	<b>Formulas</b>
s= 7 cm	$A= b \cdot l \cdot n$
h= 5 cm	$Atc= A \cdot n$
e= 0.3 cm	$Vc= A \cdot e$
n= 13	$Vtc= A \cdot e \cdot n$

*Nota.* Cálculos para áreas y volúmenes.

Donde:

**Tabla 3**

*Significado de las siglas de la fórmula*

<b>Siglas de la fórmula</b>
s= longitud del rectángulo
h= altura del rectángulo
e= espesor de la celda
n= número de celdas
A= área el rectángulo
Atc= área total de las celdas en $\text{cm}^2$
Vc= volumen de cada celda en $\text{cm}^3$

---

$V_{tc}$  = volumen total de las celdas en  $cm^3$

---

Desarrollo de cálculo para encontrar las áreas y volúmenes. Ecuación

Área del rectángulo.

$$A = s * h * n$$

$$A = 5 * 7 * 2$$

$$A = 70cm^2$$

Para encontrar el área total de las placas de la celda que estarán en contacto con el electrolito, se utiliza la siguiente formula:

Área total de las celdas.

$$Act = A * n$$

$$Act = 70 * 13$$

$$Act = 910cm^2$$

Para determinar el volumen de cada cámara que estará en contacto con el electrolito se obtiene:

Volumen de cada celda.

$$Vc = A * e$$

$$Vc = 70 * 0.3$$

$$Vc = 21cm^3$$

Con el volumen de cada cámara se determina el volumen total de electrolito que contiene la celda:

Volumen total de las celdas.

$$V_{ct} = A * e * n$$

$$V_{ct} = 21 * 13$$

$$V_{ct} = 273 \text{cm}^3$$

### Cálculo de Producción de Hidrógeno

Para calcular, la producción de gas de Hidrógeno, se calcula cuánto gas genera en 1 minuto o 60 segundos, con una intensidad de 32 A y en condiciones de presión y temperatura normales, es decir a 1 atm y 25°C (298°K) respectivamente. Resulta necesario utilizar las siguientes ecuaciones como la Ley de Faraday del peso equivalente respectivamente:

$$m = \frac{E * I * t}{F} \quad \text{y} \quad E = \frac{Pa}{V}$$

Donde:

**Tabla 4**

*Valores para cálculo de producción de gas.*

Datos	Valores
m= Masa de la sustancia alterada (g)	¿?
E= Peso equivalente (g/mol)	¿?
I= Intensidad de corriente (A)	32 amperios
t= Tiempo (s)	60 segundos
F= Constante de Faraday	$96500 \frac{\text{C}}{\text{mol}}$
Pa= Peso atómico (g)	1g
V= Valencia (mol)	2 mol

Resolviendo la ecuación de peso equivalente obtenemos:

Peso equivalente:

$$E = \frac{Pa}{V}$$

$$E = \frac{1g}{2mol}$$

$$E = 0.5 mol$$

Utilizando la formula sobre la Ley de Faraday, y con todos los datos disponibles calculamos el número de moles que posee el hidrógeno:

Masa de la sustancia alterada.

$$m = \frac{E * l * t}{F}$$

$$m = \frac{0.5 * 32 * 60}{96500}$$

$$m = 0.00994 \text{ o } 9.94 \times 10^{-3}$$

Una vez que se sabe el número de moles se puede calcular el volumen de gas hidrógeno generado en cada celda con la fórmula de los gases ideales teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

### Tabla 5

*Parámetros para el gas de hidrógeno.*

Parámetros	Valores
P= Presión (atm)	1 atm
V= Volumen (l)	Litros
n= Numero de moles del gas (mol)	n = m

R= constante universal de los gases	$0.082 \frac{\text{atm} * \text{l}}{\text{mol} * ^\circ\text{K}}$
T= Temperatura (K)	298K

Una vez conocido el valor del número de moles se calcula el volumen de gas hidrógeno generado en cada celda con la fórmula de los gases ideales:

Volumen de gas hidrógeno.

$$P * V = n * R * T$$

$$V = \frac{n * R * T}{P}$$

$$V = \frac{9.94 \times 10^{-3} * 0.082 * 298}{1}$$

$$V = 0.24 \text{ l}$$

El volumen total de gas hidrógeno generado se obtiene multiplicando el número de celdas:

Volumen total de gas.

$$V \text{ total H} = 0.24 * 2$$

$$V \text{ total H} = 0.48 \text{ l}$$

El volumen del gas de oxígeno que se genera, es la mitad del volumen de gas hidrógeno entonces:

Volumen del gas de oxígeno.

$$V \text{ total O} = \frac{V \text{ H}}{2}$$

$$V \text{ total O} = \frac{0.48}{2}$$

$$V_{total O} = 0.48l$$

Posteriormente, se suman los volúmenes totales de ambos gases con la finalidad de obtener el flujo de gas proporcionado por el generador:

Volumen total de flujo.

$$V_{total de flujo} = V_{total H} + V_{total O}$$

$$V_{total de flujo} = 0.48 + 0.48$$

$$V_{total de flujo} = 0.96l$$

### **Diseño de Generador en Software**

Para el diseño de la celda se tomó en cuenta sus diferentes partes que la constituyen y realizar un diseño robusto, observando que sus dimensiones sean las adecuadas para la producción de hidrógeno, por este motivo se debe diseñar las piezas especificando su tamaño, material y forma. Para obtener este resultado se utiliza un software llamado Autodesk Inventor Professional el cual facilita diseñar en computadora antes de construir el generador.

### **Diseño de Placa de Neutra**

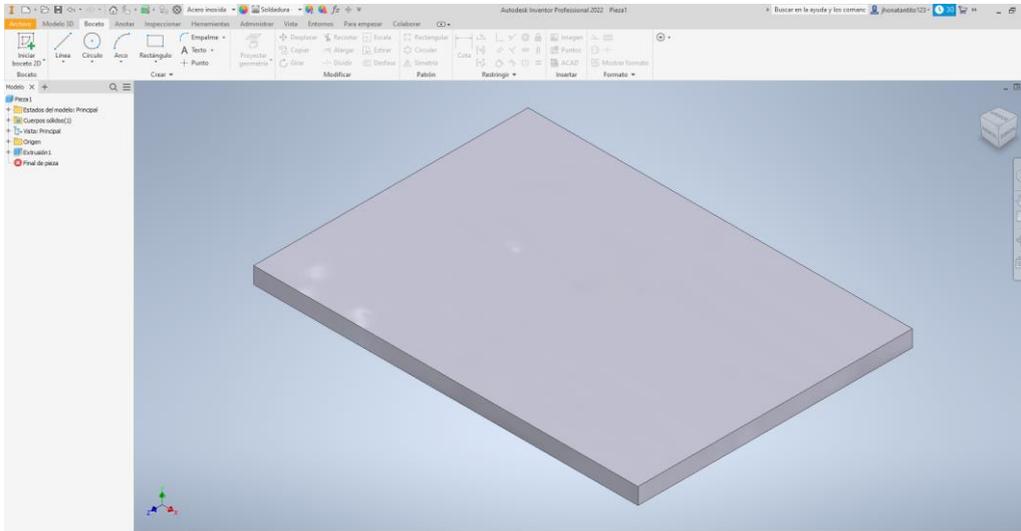
Las placas neutras de acero inoxidable sirven para reducir la diferencia de potencial que existe entre los diferentes polos, ya que, si se trabajara solo con 2 electrodos positivo y negativo sin ninguna placa neutra, la entrada de voltaje sería directo de 12V la diferencia de potencial se obtendría los 12V, pero al poseer placas neutras entre la placa positiva y negativa, obtendremos saltos de tensión, obteniendo más capacidad de producción de hidrógeno.

Las placas neutras son de acero inoxidable (AISI 304), el cual conforma una reducción de tamaño y peso del generador.

La celda se la diseño con 10 placas neutras de acero inoxidable (AISI 304).

## Figura 7

*Placa neutra de acero inoxidable en software*

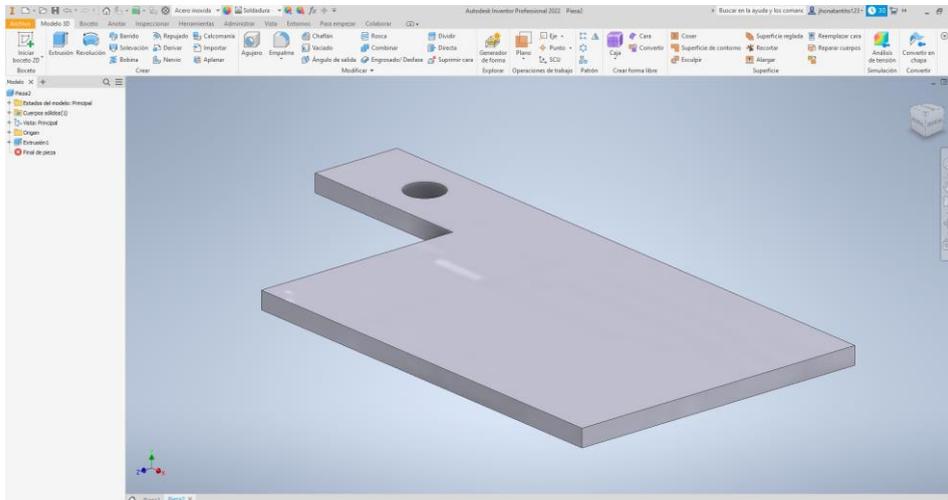


## Diseño de Placa Positiva y Negativa

El generador contiene 1 electrodo de carga positiva y 2 electrodos de carga negativa, todos estos de acero inoxidable (AISI 304) lo cual permite introducir el perno por donde conducirá la corriente con la que trabaja.

**Figura 8**

*Placa de electrodos de acero inoxidable en software*

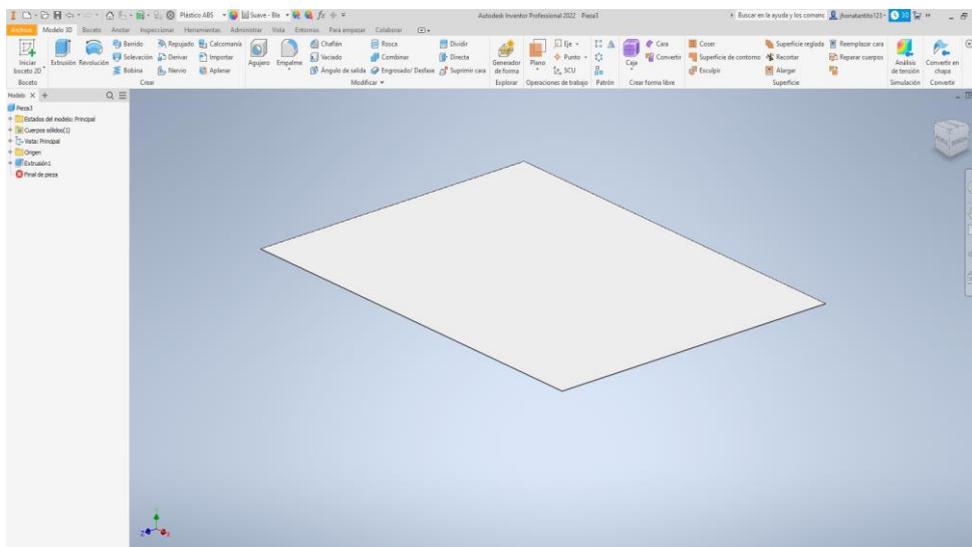


### **Diseño de Junta Aislante**

Para la hermeticidad de la celda seca, tenemos las juntas de material aislante, que van ubicadas entre las placas, con esto se garantiza que no se unan las placas y ocasionen corto circuito creando un espacio en donde se llena de electrolito, como se puede apreciar en la figura.

**Figura 9**

*Junta aislante en software*

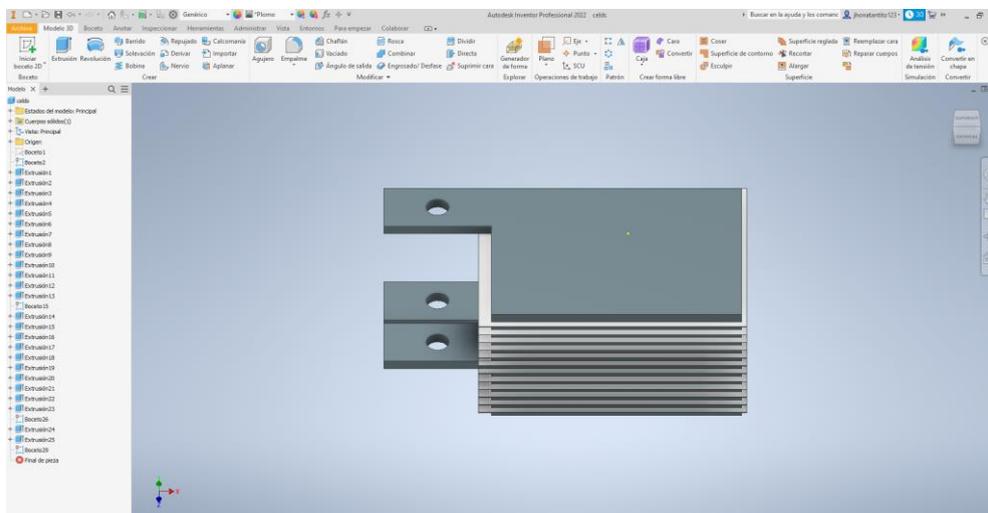


## Ensamble de Generador con los Componentes Diseñados

Una vez diseñado todos los elementos que posee la celda, se procedió a realizar el ensamblaje, el diseño se elaboró con el fin de obtener una perspectiva clara de lo que se va a construir, verificando posibles errores de diseño. En la figura se observa el ensamblaje completo.

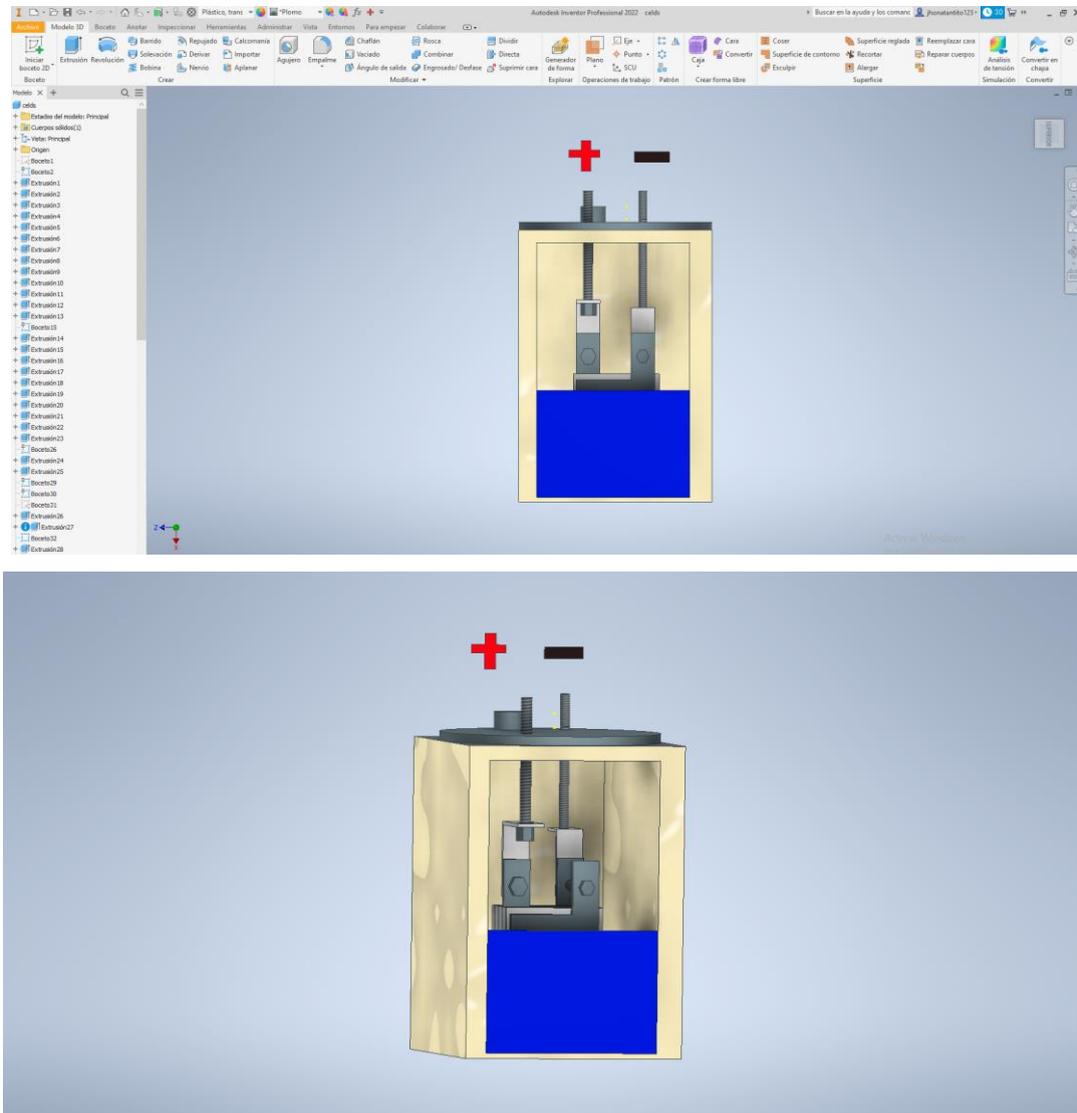
**Figura 10**

*Ensamblaje completo de generador de hidrógeno en software*



## Diseño Competo del Generador de Hidrógeno

Ya diseñado todos los elementos se procede a ensamblarle en el recipiente donde se procede a sujetarle con la tapa los espárragos donde se puede ver los conectores positivo y negativo esto está diseñado para ver la fallas y errores que se puede tener en el diseño.

**Figura 11***Diseño completo de generador de hidrógeno en software***Construcción y Funcionamiento**

Ya ejecutado el diseño en Inventor procedemos a su construcción, siempre teniendo muy en cuenta el diseño realizado en el software. Además, se detallará con imágenes que se tomaron en el transcurso de la construcción de este prototipo.

## ***Herramientas Necesarias para la Realización***

Herramienta manual en general

- Amoladora
- Taladro de mano
- Mandil
- Gafas
- Multímetro

## ***Construcción***

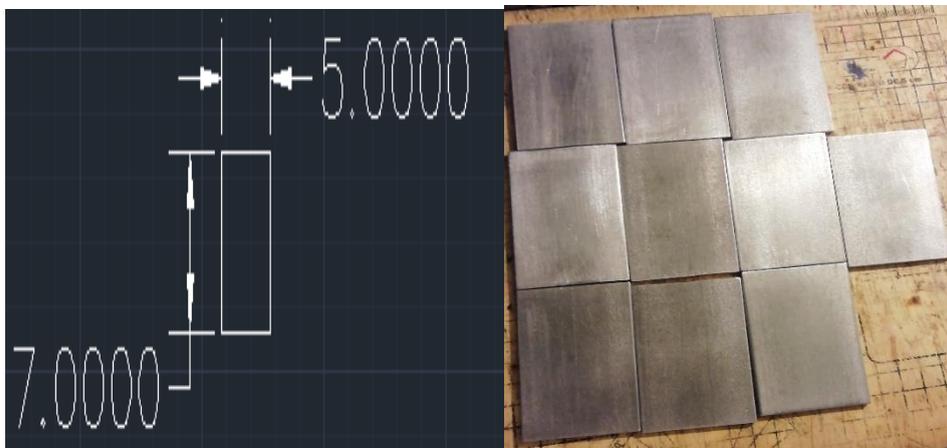
Como primer paso hay que asegurarse de tener todo los materiales y herramientas necesarias.

El proceso inicia con 10 placas de acero inoxidable (AISI 304).

Las placas deben ser satinadas o rayadas, no deben utilizarse aceros pulidos o brillantes, en el caso de trabajar con un acero pulido proceder a lijar las placas de forma horizontal y vertical.

## **Figura 12**

*Placa de acero inoxidable A.*

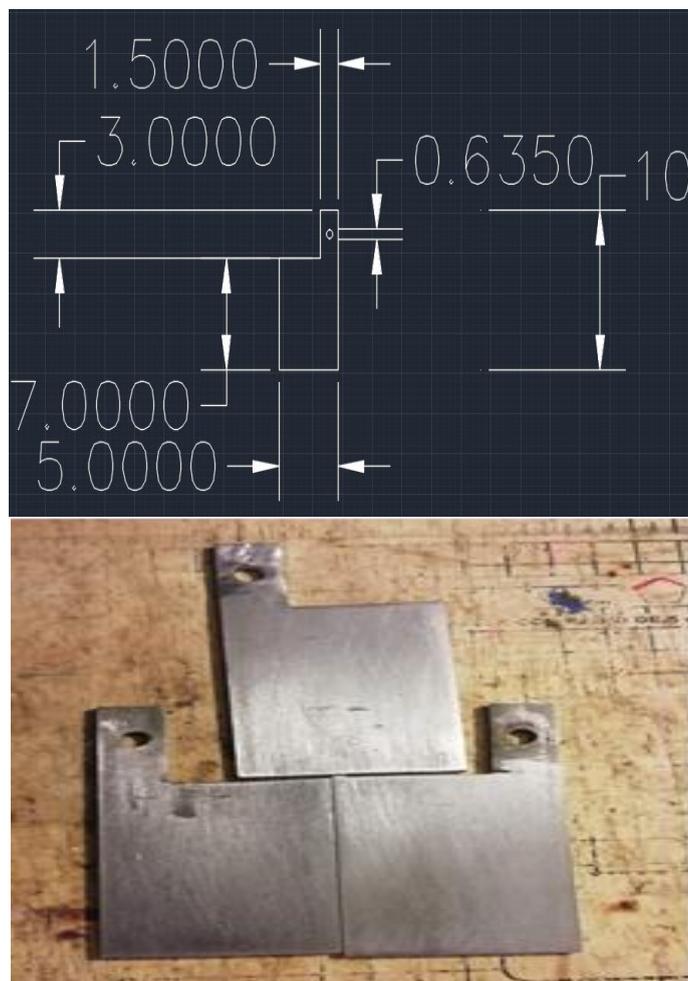


3 placas de acero inoxidable (AISI 304).

En las placas de acero inoxidable se perforan orificios del mismo diámetro de los pernos (0,635cm), en la esquina superior como se muestra en la figura 13. Con el objetivo de fijar las placas con los pernos para formar los ánodos y cátodos del generador.

### Figura 13

*Placa de acero inoxidable B*



### *Ensamble del Generador*

Antes de comenzar el ensamble se verificó que estén completas todas las piezas necesarias para el ensamble por tal razón se elaboró una tabla con el número necesario de cada elemento.

**Tabla 6***Parámetros para el deshidrógeno.*

Número	Detalle	Cantidad	Imagen
1	Electrodo positivo	1	
2	Electrodo negativo	2	
3	Electrodo neutro	10	
4	Juntas de caucho	12	

---

5            Pernos de acero  
              inoxidable            10



---

6            Tuercas            10



---

7            Rodelas            10



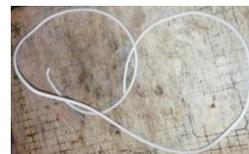
---

8            Terminales            4



---

9            Cable eléctrico            2 metros



---

10	Manguera	3 metros	
12	Correas plásticas	10	

---

Se procede al armado de las celdas con ayuda de los pernos, con la siguiente configuración: tres placa de 5 cm x 10 cm , una positiva y dos cedas echo puente que son negativas con unas chapas de salida con las conecciones en la punta tiene un agujero. Como se observa la figura 14.

Tiene que estar bien ajustadas para no tener un falso contacto que pueda ocurrir una chispa interna.

#### **Figura 14**

*Placa de acero inoxidable B*



Se procede a intercalar las diez placas con las láminas aislantes para que no se choquen entre ellas, formando 2 conjuntos de 5 placas y 6 láminas aislantes, en el medio de estos 2 conjuntos se colocara la placa positiva, en los costados de este conjunto de 11 placas y 12 láminas aislantes, se colocaran respectivamente 2 placas negativas a cada lado y así formando un conjunto de 13 celdas con 12 láminas aislantes, cada placa con una separación máxima de 1 a 2 mm y todo este conjunto se sujetara con las correas plásticas. Como se observa la figura 15.

### **Figura 15**

*Celdas generadoras*



Con el multímetro vamos a verificar que las celdas no estén realizando contacto entre sí, por ende, ponemos en la función óhmetro topamos el positivo con el negativo y vamos a ver que no suene, y si ponemos entre negativo con negativo si sonara, y así sucesivamente se hace prueba con las celdas para que no se estén en contacto entre sí. Como se observa la figura 16.

**Figura 16**

*Pruebas para comprobar contacto entre celdas*



Luego de realizar esta comprobación se adapta la celda al recipiente. Este será un recipiente que se acopla perfectamente con las celdas, además es muy resistente a la corrosión, Resistente a las variaciones de temperatura, la humedad, agentes biológicos y químicos. El tamaño del depósito está determinado por las celdas, además de aprovechar de mejor manera el espacio disponible en el vehículo, también el recipiente es utilizado como un recolector de gas, por lo cual donde se realizando perforaciones en su tapa para poder colocar el ánodo y catado, además la manguera por donde saldrá el producto del electrolisis, después de este paso comprobaremos que el recipiente no presente ninguna fuga.

**Diseño Óptimo para la Celda del Generador de Hidrógeno**

Para el correcto funcionamiento del generador de hidrógeno se ha seleccionado el bicarbonato como electrolito ya que fácilmente se descompone en iones, por lo cual es un perfecto conductor de la electricidad, facilitando de esta forma el transporte de electrones

desde ánodos a cátodos, permitiendo un proceso de electrólisis eficiente. Por su alta solubilidad en agua, por no afectar al acero inoxidable y al cristal del recipiente, este es el electrolito adecuado para el sistema dual-fuel.

### Figura 17

*Recipiente con las celdas*



### Etapa de Generación

Antes de comenzar este punto se ha visto conveniente hacer un paréntesis para analizar la relación entre hidrógeno y gasolina como combustibles, para lo cual a continuación se presenta una Tabla comparativa con sus principales propiedades y características:

**Tabla 7**

*Propiedades hidrógeno/gasolina.*

<b>Propiedad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Hidrógeno</b>
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	720	0,0899
Calor específico	J/(Kg· K)	2220	14421
PCI	KJ/Kg	43950	11993

PCS	KJ/Kg	46885	141860
Densidad de energía	KJ/m <sup>3</sup>	31150000	10050
Punto de inflamación	°C	-43	-253
Temperatura de autoencendido	°C	230 - 280	571
Octanaje	RON	87	130

Resumiendo, se puede concluir que el hidrógeno es un mejor combustible que la gasolina.

Dato obtenido a partir de la norma INEN 935:2012 la cual se titula “GASOLINA. REQUISITOS”.

## **Instalación del Sistema Generador de Hidrógeno**

### ***Generalidades***

Herramientas a utilizar

- Alicates
- Destornillador
- Llaves de tuercas

Insumos

- Taype
- Correas plásticas
- Cable eléctrico
- Terminales eléctricos

### ***Precauciones y Seguridad***

Realizar ABC del motor del vehículo previo a la instalación del sistema.

En el ABC de motor, se realizó limpieza de inyectores, calibración de bujías, cambio de filtro gasolina, cambio de filtro de aire, y comprobación del estado de la batería, donde se procurará trabajar con el motor frío para evitar posibles quemaduras, por lo cual se tomará en cuenta de asegurarse que el depósito quede perpendicular al piso.

También toca tomar en cuenta la utilización del equipo de seguridad industrial apropiado como: overol, gafas de seguridad, zapatos de seguridad, guantes de goma, y utilizar las herramientas apropiadas.

### ***Proceso de Instalación***

Asegurarse de tener todos los insumos, componentes y herramientas necesarias. Donde se procederá abrir el compartimiento del motor y establecer la mejor ubicación posible para los componentes de nuestro sistema, teniendo en consideración los requerimientos del mismo, así como cuidar que no tenga contacto directo con fuentes de calor ni con partes móviles que se encuentren cerca. De igual forma se limpió el lugar designado y se verifico que en el sector no existan cables sueltos ni fugas de ningún tipo. De la misma forma las celdas generadoras deben ubicarse lo más bajo posible, alejado de fuentes directas de calor y evitando que piezas móviles tengan contacto con las mismas, en lo posible ubicarlas en el lugar que tenga una adecuada ventilación.

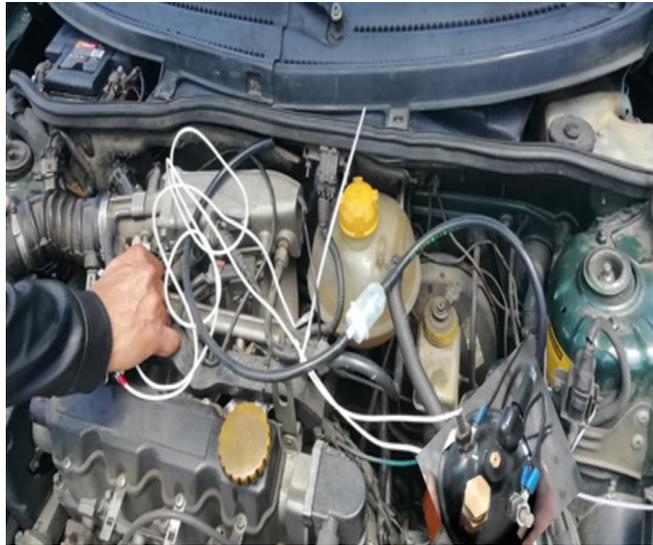
**Figura 18***Ubicación del generador*

Una vez fijados los componentes se procede a medir los tramos de manguera que se necesitarán, cortándolos y conectándolos de la siguiente forma:

Del orificio de la parte superior del depósito hacia el orificio del filtro y del filtro hacia esta cámara de admisión del motor, desde aquí se transportará el HIDROXI depurado hacia las cámaras de combustión. Donde se debe asegurar con las correas plásticas el cable eléctrico, procurando evitar el contacto directo con fuentes de calor y partes móviles, de forma que este quede lo menos visible posible. Finalmente se vuelve a verificar nuevamente todas las conexiones, en especial las del cableado eléctrico.

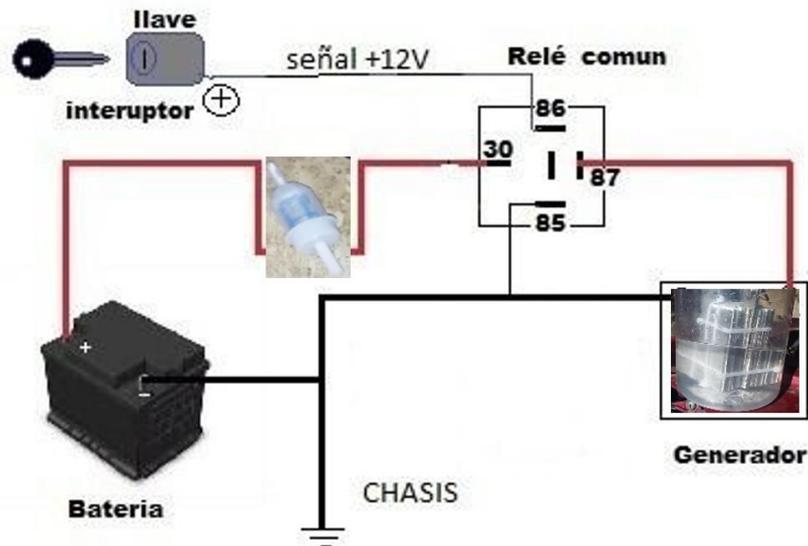
**Figura 19**

*Verificación de conexiones eléctricas*

***Conexión Eléctrica***

Una vez instalado los principales elementos se continua con la parte eléctrica.

Todo el circuito debe actuar en “koer” (key on engine run) (es decir que solo funcione cuando en automóvil este en marcha). Lo cual se procederá a buscar el cable eléctrico de 12 voltios, pero solo cuando el motor este en marcha. Este cable se le alimenta directo de la llave de contacto (última posición). Para esta concepción se la realiza para ser alimentada y comanda el relé que alimenta al generador y tiene como meta alimentarlo solo cuando el motor está en marcha a fin de evitar acumulación de gas y la consiguiente descarga de la batería del automóvil. Al final en este punto se puede iniciar con las conexiones eléctricas como se muestra en el siguiente esquema:

**Figura 20***Conexión eléctrica*

Desde el terminal positivo de la batería se conecta el cable con el contacto 30 del relé. Luego se coloca otra conexión desde el terminal positivo del generador hasta el contacto 87 del relé. A continuación, se conecta el contacto 86 a la señal de encendido del automóvil. Después se conecta a negativo el relé es decir el contacto 85 se une al chasis del vehículo. Finalmente se procederá a conectar a tierra de la batería o a través de los tornillos de fijación del chasis. A esto se le denomina “conectar a masa” la masa del vehículo.

### ***Comprobación y Verificación del Funcionamiento del Sistema***

Encender el motor del vehículo, esperar que alcance su temperatura normal funcionamiento. Lo cual al encender el generador se observa las burbujas que recorre por la manguera, esto indica una buena señal de funcionamiento. Donde se procederá a retirar la manguera de entrada de hidrogeno al motor. Ponerle en el fondo de un recipiente pequeño lleno de agua, y se observara que hay burbujas sobre la superficie del líquido encender una llama para verificar si las burbujas son de hidrogeno o de oxigeno tomar en cuenta que

cuando hay presencia de oxígeno en una combustión este altera la llama es decir la llama aumenta y cuando existe hidrogeno se produce una explosión instantánea. Hay explosiones continuas e instantáneas lo que nos indica la presencia de hidrogeno.

### **Figura 21**

*Comprobación y verificación*



### **Verificación**

En caso de que el dispositivo no esté produciendo hidrógeno, revisar si hay fugas o no se ha conectado correctamente los tubos, es muy común intercambiar posiciones de entrada y salida en el depósito, o generador. De igual forma si el hidrógeno producido no está ingresando al motor, puede ser que exista fuga en el sistema y el hidrógeno se va fuera del motor, para verificar esto, rociar todas sus mangueras y conexiones con agua jabonosa para descubrir fugas. Definitivamente debe asegurarse que todas las conexiones estén perfectamente instaladas y revisadas.

## Capítulo III

### Propuesta y Resultados

#### Pruebas Mecánicas

#### Potencia y Torque

#### Figura 22

*Desarrollo pruebas potencia- torque*



*Nota.* Tomado de DR DINMONETRO REDIN

Las pruebas de torque, potencia y se desarrollaron en la ciudad de Quito, en la empresa MARCELO REDIN, donde se encuentra ubicado en la Av. de los Fresnos atrás del colegio Camilo Enrique Ponce. Donde se utilizará un dinamómetro es lo cual nos permitirá desarrollar pruebas de torque y potencia en vehículos ligeros simulando condiciones de conducción estandarizadas. Los dinamómetros permiten identificar parámetros de servicio como potencia, torque, y precisión del contador de revoluciones y velocímetro.

#### *Pruebas de Torque y Potencia*

La medición en modo inercial consiste en acelerar el automóvil sobre el banco de potencia hasta el corte de revoluciones del motor, después embragar y dejar en punto muerto en la marcha de prueba, hasta que las ruedas se detengan por sí mismas.

Las cargas del motor son: los rodillos, la resistencia a la rodadura y la resistencia de los elementos de transmisión (caja de cambios, diferenciales, rodamientos). El tiempo de medición es aproximadamente de 40 segundos hasta el corte, y unos pocos segundos desde que se embraga hasta que las ruedas se detengan. La potencia y el par se miden en función de la aceleración del vehículo en los rodillos (potencia y par a las ruedas) y su deceleración (potencia y par de pérdidas). La suma de ambos valores representa la potencia y el par del motor. Con los datos recogidos por el banco, el programa nos entrega una gráfica de par, potencia y pérdidas, en función de las revoluciones del motor.

La prueba dinámica se la realizó en un dinamómetro, éste equipo determina la potencia y torque real del vehículo en condiciones climáticas donde se instaló el equipo. El banco de potencia está ubicado en la ciudad de Quito en la empresa MARCELO REDIN por lo que se tomaron los datos de las condiciones ambientales de este sitio.

### **Figura 23**

*Pruebas en el dinamómetro*



*Nota.* Pruebas en el dinamómetro en la empresa MARCELO REDIN

**Datos del Ensayo****Tabla 8***Datos del automóvil.*

<b>Fecha</b>	<b>20/10/2021 10:54:33</b>		
Nombre	CORSA VERDE CON Y SIN DISPOSITIVO		
Orden			
Cliente	Jonathan tito	Localidad	Quito
Dirección		Teléfono	0991354071
Responsable			
Motor	1.8	Modelo	CORSA WIND 2001
		Número	
Tapa	8	Válvulas	8
Resortes	8	Block	1.8
Pistones	4	Aros	Rin 13
Cigüeñal	Sin repotenciación	Bielas	4
Leva		Bomba de Aceite	
Cojinetes		Sist. Combustible	Gasolina
Bomba Combustible	Gasolina	Sist. Encendido	Electrónico
Observaciones			

*Nota.* Datos del Chevrolet corsa wind

**Tabla 9**

*Resultados máximos de potencia y torque sin disp.*

<b>Variable</b>	<b>RPM</b>	<b>Max.</b>	<b>Prom</b>
Potencia (HP)	5000	63	39
Torque (Kg.m)	3000,0	10,6	5,2
Potencia Trans. (HP)	5400,0	18,5	18,5
Potencia Motor (HP)	5200,0	79,0	57,1

Como se puede observar en la tabla 10 se obtiene los resultados mínimos y máximos sin el dispositivo donde la potencia mínima tiene 5600 RPM una potencia de 30 (HP) mientras que la máxima tiene 5000 RPM es de 63 (HP), de la misma manera se observa que la potencia de motor tiene una mínima de 5600 RPM es de 30.1 (HP) lo cual la máxima a 5200 RPM es de 79,0 (HP), de igual forma la potencia de transmisión consta de una mínima de 5600 RPM es de 0 (HP) donde la máxima a 5400 RPM consta de 18,5 (HP) y finalmente el torque esta con un mínimo de 5600 RPM es a 3,9 (kg\*m) y la máximas a 3000 RPM tiene 10,6 (kg\*m).

*Tabla de Valores***Tabla 10***Resultados y promedios del análisis de potencia y torque sin disp corsa verde.*

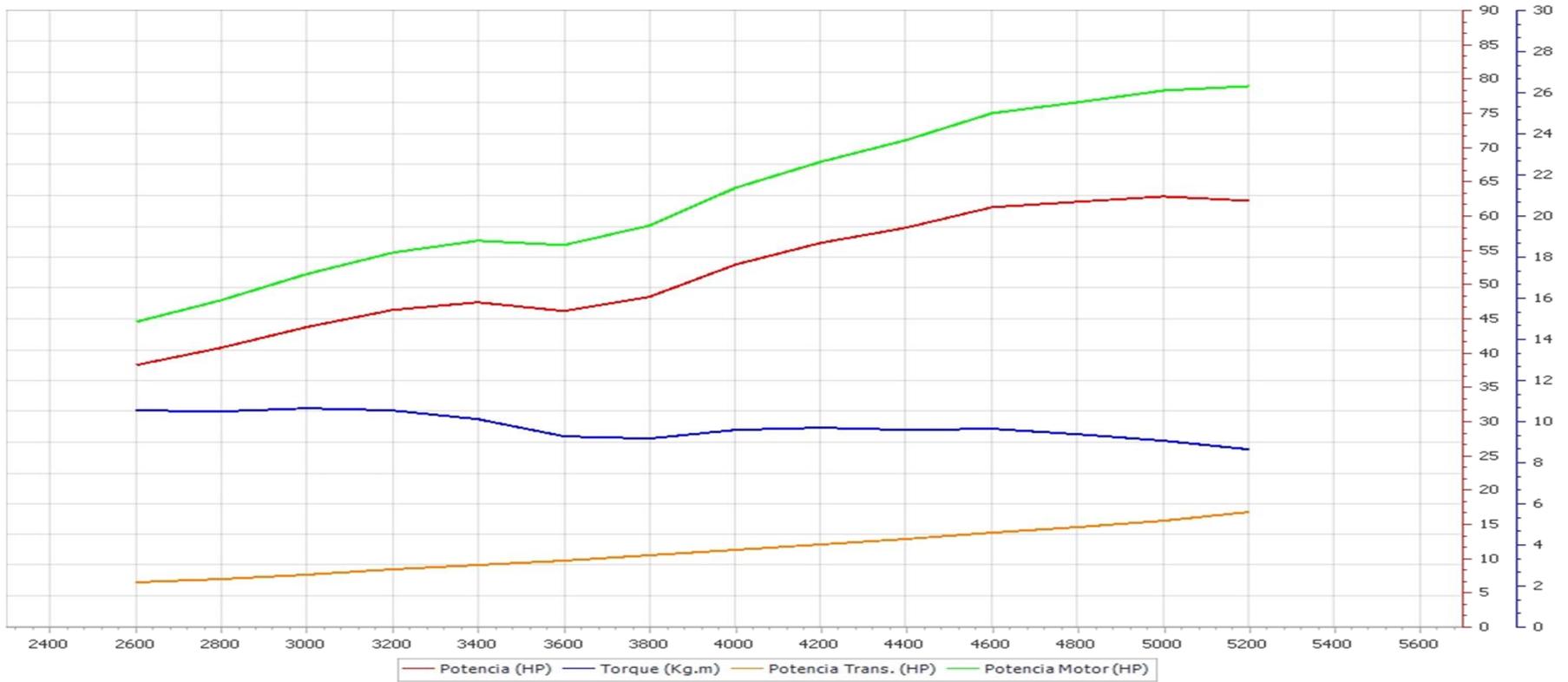
<b>RPM</b>	<b>Potencia (HP)</b>	<b>Potencia Motor (HP)</b>	<b>Potencia Trans. (HP)</b>	<b>Torque (Kg.m)</b>
2600	38	44,6	6,4	10,5
2800	41	47,7	7,0	10,5
3000	44	51,4	7,7	<b>10,6</b>
3200	46	54,7	8,3	10,5
3400	47	56,4	9,0	10,1
3600	46	55,8	9,7	9,3
3800	48	58,6	10,4	9,2
4000	53	64,1	11,2	9,6
4200	56	68,0	12,0	9,7
4400	58	71,0	12,8	9,6
4600	61	74,9	13,7	9,7
4800	62	76,6	14,5	9,4
5000	<b>63</b>	78,3	15,5	9,1
5200	62	<b>79,0</b>	16,8	8,6
5400	39	57,1	<b>18,5</b>	5,2
5600	30	30,1	0,0	3,9
<b>Promedio</b>	<b>34</b>	<b>43,6</b>	<b>9,2</b>	<b>4,6</b>

*Nota.* Tomado de la empresa MARCELO REDIN, 2021

*Gráfica de Potencia y Torques sin Dispositivo*

**Figura 24**

*Gráfica de potencia/torque corsa verde sin dispo0002041.*



*Nota.* Gráfico de torque y potencia máximos y mínimos sin dispositivo. Tomado de la empresa MARCELO REDIN, 2021.

### Análisis de la Gráfica sin Dispositivo

En la figura 24, se puede observar la gráfica con sus distintos valores que están con sus respectivos colores donde se observa lo siguiente que a 5200 rpm la potencia de motor de color verde engranado con la transmisión del vehículo corsa wind 2001 es de 79.0 hp sin la utilización del depósito. Mientras tanto la potencia de color café 5200 rpm sin encontrarse engranada con la transmisión será de 62 hp. De igual manera el torque de color morado a 5200 rpm será de 8.6 kg.m. Y finalmente la potencia de la transmisión de color amarillo a 5200 rpm será de 16.8 hp.

### Datos del Ensayo con Dispositivo

**Tabla 11**

*Resultados máximos de potencia y torque con disp.*

<b>Variable</b>	<b>RPM</b>	<b>Max.</b>	<b>Prom</b>
Potencia (HP)	5200	69	53
Torque (Kg.m)	2600,0	11,6	7,1
Potencia Trans. (HP)	5400,0	17,0	17,0
Potencia Motor (HP)	5200,0	84,5	69,8

*Nota.* Tomado de la empresa MARCELO REDIN, 2021.

Como se observa en la tabla 12 se obtiene los resultados mínimos y máximos con el dispositivo ya instalado donde la potencia mínima tiene 5600 RPM una potencia de 31 (HP) mientras que la máxima tiene 5200 RPM es de 69 (HP), de la misma manera se observa que la potencia de motor tiene una mínima de 5600 RPM es de 30.5 (HP) lo cual la máxima a 5200 RPM es de 84,5 (HP), de igual forma la potencia de transmisión consta de una mínima de 5600 RPM es de 0 (HP) donde la máxima a 5400 RPM consta de 17 (HP) y finalmente el

torque esta con un mínimo de 5600 RPM es a 4 (kg\*m) y la máximas a 2600 RPM tiene 7.1 (kg\*m).

*Tabla de Valores*

**Tabla 12**

*Resultados y promedios del análisis de potencia y torque con dispositivo, corsa verde.*

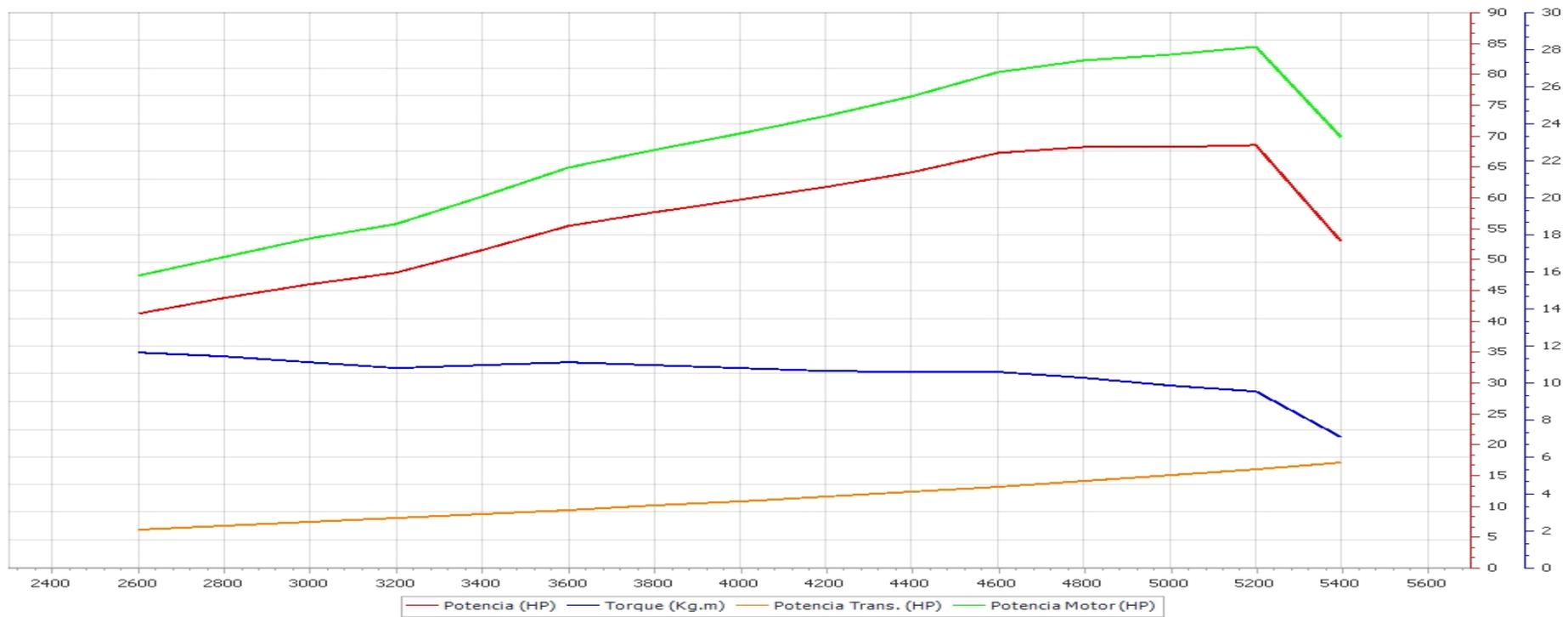
<b>RPM</b>	<b>Potencia (HP)</b>	<b>Potencia Motor (HP)</b>	<b>Potencia Trans. (HP)</b>	<b>Torque (Kg.m)</b>
2600	41	47,4	6,2	11,6
2800	44	50,4	6,8	11,4
3000	46	53,3	7,4	11,1
3200	48	55,8	8,0	10,8
3400	51	60,1	8,7	11,0
3600	55	64,8	9,4	11,1
3800	58	67,7	10,1	10,9
4000	60	70,4	10,8	10,8
4200	62	73,2	11,5	10,6
4400	64	76,5	12,3	10,6
4600	67	80,4	13,1	10,6
4800	68	82,2	14,0	10,2
5000	68	83,2	15,0	9,9
5200	69	84,5	16,0	9,5
5400	53	69,8	17,0	7,1
5600	31	30,5	0,0	4,0
<b>Promedio</b>	<b>42</b>	<b>50,2</b>	<b>8,5</b>	<b>5,6</b>

*Nota.* Tomado de la empresa MARCELO REDIN, 2021.

*Gráfica de Potencia y Torques con Dispositivo*

**Figura 25**

*Gráfica de potencia/torque con disp. corsa verde.*



*Nota.* Gráfico de torque y potencia máximos y mínimos con dispositivo. Tomado de la empresa MARCELO REDIN, 2021.

### Análisis de la Gráfica con Dispositivo

En la figura 27 se puede observar la gráfica con sus distintos valores que están con sus respectivos colores donde se observa lo siguiente, que a 5200 rpm. la potencia de motor de color verde engranado con la transmisión del vehículo corsa wind 2001 es de 84.5 hp con la utilización del depósito. De la misma manera la potencia de color café de motor a 5200 rpm sin encontrarse engranada con la transmisión será de 69 hp. De igual manera el torque de color morado a 5200 rpm será de 9.5 kg.m. Y finalmente la potencia de la transmisión de color amarillo a 5200 rpm será de 16 hp.

### Datos Comparativos del Ensayo



**Tabla 13**

*Resultados y promedios máximos de potencia y torque con dispositivo y sin dispositivo*

<b>Variable</b>	<b>RPM</b>	<b>Max.</b>	<b>Prom</b>
Potencia	5000	63	39
Torque	3000,0	10,6	5,2
Potencia Trans.	5400,0	18,5	18,5
Potencia Motor	5200,0	79,0	57,1

*Nota.* Tomado de la empresa MARCELO REDIN, 2021.

*Tabla de Valores Comparativa con y sin Dispositivo*



**Tabla 14**

*Resultados y promedios del análisis de potencia y torque con dispositivo y sin dispositivo.*

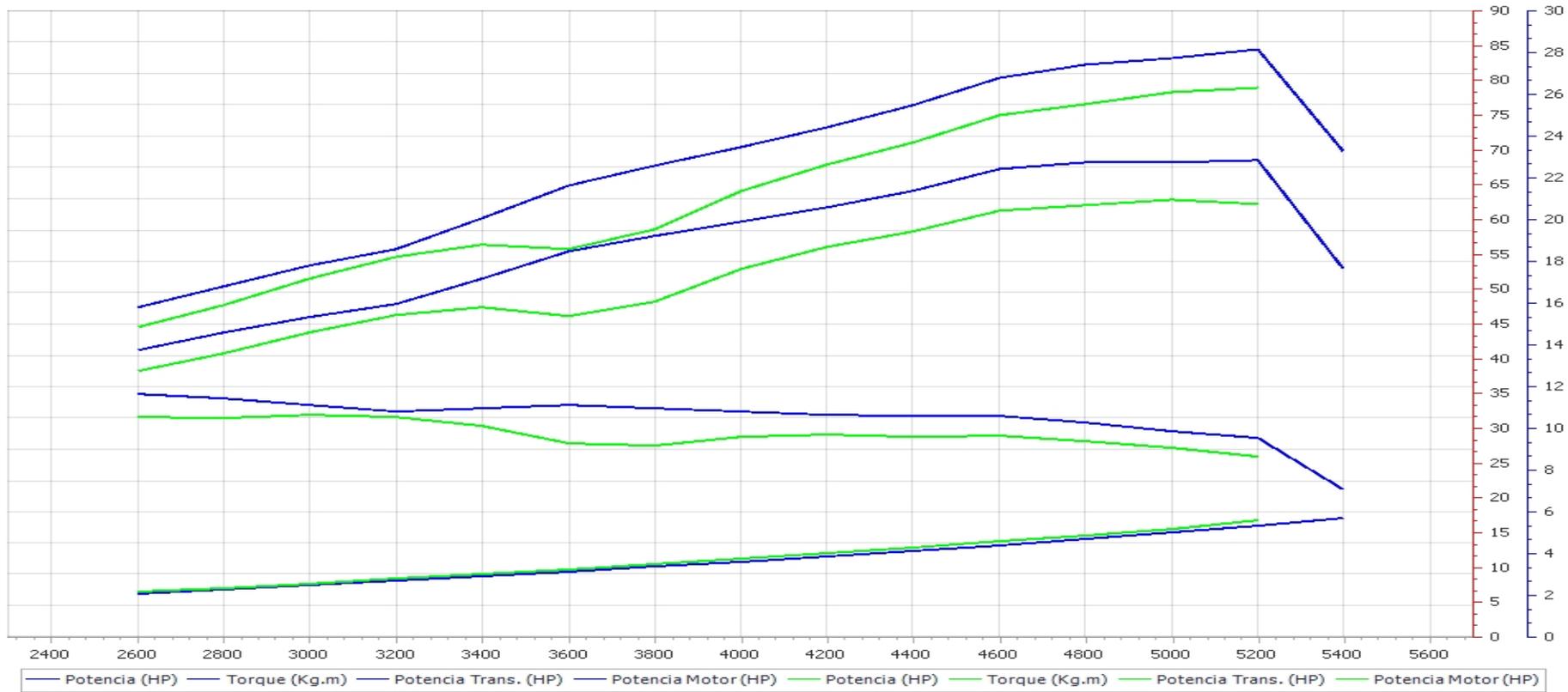
<b>Corsa Verde Sin Dispo0002040</b>					<b>Corsa Verde Con Dispo0002041</b>			
RPM	Potencia (HP)	Potencia Motor (HP)	Potencia Trans. (HP)	Torque (Kg.m)	Potencia (HP)	Potencia Motor (HP)	Potencia Trans. (HP)	Torque (Kg.m)
2600	38	44,6	6,4	10,5	41	47,4	6,2	11,6
2800	41	47,7	7,0	10,5	44	50,4	6,8	11,4
3000	44	51,4	7,7	10,6	46	53,3	7,4	11,1
3200	46	54,7	8,3	10,5	48	55,8	8,0	10,8
3400	47	56,4	9,0	10,1	51	60,1	8,7	11,0
3600	46	55,8	9,7	9,3	55	64,8	9,4	11,1
3800	48	58,6	10,4	9,2	58	67,7	10,1	10,9
4000	53	64,1	11,2	9,6	60	70,4	10,8	10,8

4200	56	68,0	12,0	9,7	62	73,2	11,5	10,6
4400	58	71,0	12,8	9,6	64	76,5	12,3	10,6
4600	61	74,9	13,7	9,7	67	80,4	13,1	10,6
4800	62	76,6	14,5	9,4	68	82,2	14,0	10,2
5000	63	78,3	15,5	9,1	68	83,2	15,0	9,9
5200	62	79,0	16,8	8,6	69	84,5	16,0	9,5
5400	39	57,1	18,5	5,2	53	69,8	17,0	7,1
5600	30	30,1	0,0	3,9	31	30,5	0,0	4,0
<b>Prom.</b>	<b>34</b>	<b>43,6</b>	<b>9,2</b>	<b>4,6</b>	<b>42</b>	<b>50,2</b>	<b>8,5</b>	<b>5,6</b>

*Nota.* Tomado de la empresa MARCELO REDIN, 2021

**Figura 26**

Gráfica comparativa de potencia/torque del corsa verde comparativa con y sin disp.



Nota. Tomado de la empresa MARCELO REDIN, 2021.

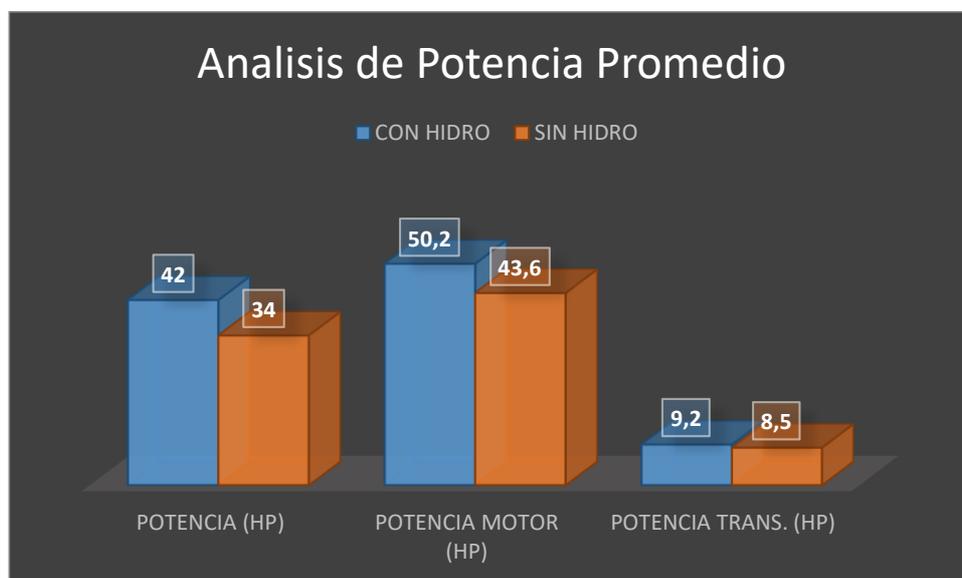
### Análisis Comparativo de la Gráfica

Nosotros podemos observar que a 5200 rpm la potencia de motor engranado con la transmisión del vehículo corsa wind 2001 atendido un aumento de 5.5 hp. De igual manera la potencia de motor a 5200 rpm sin encontrarse engranada con la transmisión a tenido un aumento de 7 hp. De igual manera el torque a 5200 rpm tiene un aumento de 0.9 kg.m. Y a diferencia de los demás parámetros la potencia de la transmisión a 5200 rpm ha reducido su valor en 0.8 hp.

### Gráfico Comparativo del Análisis de Potencia con y sin Dispositivo

#### Figura 27

Gráfico comparativo del análisis de potencia con y sin dispositivo



Como se puede observar la figura 27 se analiza a continuación cada detalle la comparativa del promedio de la potencia donde se detallará cuanto tuvo de diferencia. Donde tenemos, que la potencia aumentado un 8 (HP), así mismo la potencia de motor ha

incrementado un 6.6 (HP) de igual forma la potencia de transmisión tuvo una elevación de 0.7 8(HP). Con la instalación del dispositivo.

### *Gráfico Comparativo del Análisis de Torque con y sin Dispositivo*

#### **Figura 28**

*Gráfico comparativo del análisis de torque con y sin dispositivo*



Como se puede analizar la figura 28 se observa que el promedio del torque en la comparativa tuvo un aumento de 1 (kg\*m) con la instalación el dispositivo.

#### **Prueba en Ciudad**

Se realizó un recorrido de aproximadamente 14 km esta distancia se la recorrió desde EL TEJAR hasta LOS FRESNO ida y vuelta, en este trayecto no se presentaron ningún tipo de inconvenientes con el vehículo y el dispositivo.

## Análisis Técnico

El propósito de este análisis es comparar los datos técnicos que se obtuvieron del vehículo antes y después de la instalación del sistema, para conocer las ventajas o desventajas que se pudieron haber obtenido.

### *Consumo de Combustible*

**Tabla 15**

*Consumo de combustible con y sin dispositivo*

<b>Consumo de combustible sin dispositivo</b>			
<b>Tramo</b>	<b>Consumo (L)</b>	<b>Distancia (Km)</b>	<b>Rendimiento (Km/L)</b>
El Tejar- MARCELO REDIN de los Fresnos	2,1029	14,2	6,7544
MARCELO REDIN de los Fresnos – El Tejar	1,5560	13,5	8,6759
<b>Promedio</b>			<b>7.7151</b>
<b>Consumo de combustible con dispositivo</b>			
El Tejar- MARCELO REDIN de los Fresnos	1,9594	14.2	7,2468
MARCELO REDIN de los Fresnos – El Tejar	1,4294	13,5	9,7238
<b>Promedio</b>			<b>8.8453</b>

*Nota.* Se observa el consumo de combustible con y sin dispositivo.

*Comparación de Consumo de Combustible*

**Tabla 16**

*Comparativo de consumo de combustible*

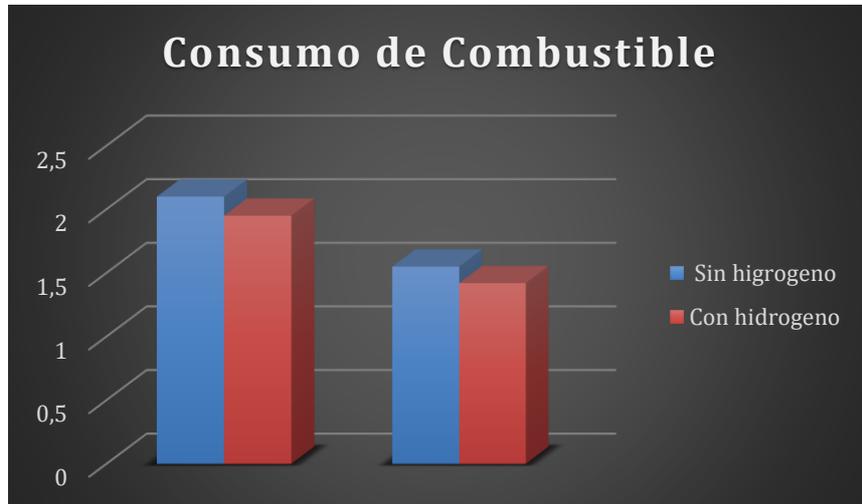
<b>Tramo</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Disminución</b>
	(l)	(l)	(l)	%
El tejar- Marcelo Redin de los fresnos	2,10	1,95	0,15	7.69%
Marcelo Redin de los fresnos -el tejar	1,55	1,42	0,13	9.15%
	<b>Promedio</b>		<b>0,14</b>	<b>8,42%</b>

En la tabla 16 se observa la comparativa del consumo de combustible lo cual se hizo un recorrido del tejar hacia Marcelo Redin de los fresnos donde se obtuvo una diferencia de consumo de combustible de 0.15 (L) y sucesivamente se recorrió de vuelta lo cual se obtuvo una diferencia de 0.13 (L) de consumo de combustible.

## Gráfico de Consumo de Combustible

**Figura 29**

*Gráfico comparativo de consumo de combustible*



La comparación de consumo de combustible. Se la realiza tomando en consideración las distancias recorridas en cada tramo; es decir, el primer de 14.2 km, el segundo, tramo de 13,5 Km aproximadamente. En la figura 29 se observa notoriamente la disminución del consumo de combustible con el generador de hidrógeno encendido en cada tramo, lo cual es ventajoso ya que entre menos combustible consumido menor es la cantidad de contaminantes enviados a la atmósfera.

### **Rendimiento Efectivo**

“Es la relación entre el trabajo útil en el eje del motor y el equivalente a la energía calorífica del combustible consumido, es igual al producto del rendimiento termodinámico por el rendimiento mecánico”.

En otros términos, el rendimiento no es más que la relación que existe entre el trabajo realizado por un motor y la cantidad de combustible que se ocupó para el mismo. Su valor está comprendido entre 0 y 1, mientras mayor sea este valor, indica un mayor rendimiento.

$W_e$ = potencia del motor

$P_{ci}$ = poder calorífico de la gasolina

$V_g$ = Volumen de la Gasolina

$P_g$ = densidad de la gasolina

$M_g$ = masa de la gasolina

### ***Cálculo del Rendimiento Efectivo***

Par realizar los cálculos primero se tomó en cuenta que toca saber el rendimiento de gasolina de tu auto se aplica a una sencilla operación matemática que es la proporción de litros por cada km recorrido, deberás aplicar la fórmula:  $(37.85 \text{ L} * (24 \text{ Km/L})) = 908.4 \text{ Km}$ , entonces aplicamos la siguiente fórmula  $(37.85 \text{ L} / (908.4 \text{ KM})) = 0.0416 \text{ L/Km}$ , es decir, por cada km conducido gastas 0.0416 litros de gasolina.

### ***Cálculo sin Dispositivo***

Una vez ya recopilado los datos de procederá hacer los calculo utilizando las ecuaciones 1, 2 y 3 del rendimiento efectivo.

Datos:

$$W_e = 43.6$$

$$P_{ci} = 43950 \text{ KJ/Kg}$$

$$V_g = 0.0416 \text{ L} = 0.0000416 \text{ m}^3$$

$$P_g = 720 \text{ kg/m}^3$$

Cálculos:

Masa de Gasolina sin Dispositivo: (mg)

Para realizar el cálculo respectivo de la masa de la gasolina se debe tomar en cuenta la ecuación 1.

$$\text{Ecuación 1 } m_g = V_g * P_g$$

$$m_g = (0.0000416 \text{ m}^3) (720 \text{ kg/m}^3)$$

$$\mathbf{M_g = 0.0299 \text{ kg}}$$

Flujo de Gasolina sin Dispositivo: (mg)

Una vez ya calculado la masa de la gasolina se procede con el siguiente calculo que es el flujo de gasolina donde se procederá a utilizar la ecuación 2.

$$\text{Ecuación 2 } m_g = \frac{2}{z} * m_c * i * \frac{n}{60}$$

$$m_g = \frac{2}{4} * 0.0299 \text{ Kg} * 4 * \frac{100}{60}$$

$$\mathbf{M_g = 0.0996 \text{ kg/s}}$$

$$\mathbf{M_g = 99.6 \text{ g/s}}$$

Rendimiento Total del Motor sin Dispositivo: (nt)

Finalmente, ya calculado la masa y el flujo de gasolina se continuará con la ecuación 3 donde calcularemos el rendimiento total del motor sin el dispositivo.

$$\text{Ecuación 3 } nt = \frac{We}{mg*Hi}$$

$$nt = \frac{(43.6 \text{ kw}) * (860 \frac{K \text{ cal}}{K \text{ wh}}) * (\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}})}{(0.0996 \frac{kg}{s}) * (43950 \frac{kJ}{kg}) * (\frac{1 \text{ k cal}}{4.184 \text{ kJ}})}$$

$$Nt = 0.0099$$

### ***Cálculo con Dispositivo***

Una vez ya calculado la masa, el flujo de gasolina y le rendimiento total del motor sin el dispositivo se procederá de la misma manera hacer los cálculos con el dispositivo ya instalado donde utilizaremos las ecuaciones 1, 2 y 3 del rendimiento efectivo con los siguientes datos.

Datos

$$We = 50.2 \text{ kw}$$

$$Hi = 11993 \text{ KJ/Kg}$$

$$Vg = 0.0384 \text{ L} = 0.0000384 \text{ m}^3$$

$$Pg = 720 \text{ kg/m}^3$$

Cálculos:

Masa de Gasolina con Dispositivo: (mg)

$$mg = Vg * Pg$$

$$mg = (0.0000384 \text{ m}^3) (720 \text{ kg/m}^3)$$

$$\mathbf{Mg = 0.0276 \text{ kg}}$$

Flujo de Gasolina con Dispositivo: (mg)

$$mg = \frac{2}{z} * mc * i * \frac{n}{60}$$

$$mg = \frac{2}{4} * 0.0276 \text{ hg} * 4 * \frac{100}{60}$$

$$\mathbf{Mg = 0.092 \text{ kg/s}}$$

$$\mathbf{Mg = 92 \text{ g/s}}$$

Rendimiento Total del Motor con Dispositivo: (nt)

$$nt = \frac{We}{mg * Hi}$$

$$nt = \frac{(50.2 \text{ kw}) * (860 \frac{\text{K cal}}{\text{K wh}}) * (\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}})}{(0.092 \frac{\text{kg}}{\text{s}}) * (119930 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * (\frac{1 \text{ k cal}}{4.184}))}$$

$$\mathbf{Nt = 0.0045}$$

Con los datos obtenidos podemos concluir que el rendimiento del motor del vehículo tuvo un incremento de 0.0054 equivalente al 0.0054%; de incremento en el rendimiento con la utilización del sistema dual-fuel.

**Figura 30***Rendimiento con y sin dispositivo***Consumo Específico**

“El consumo específico es la relación entre el flujo de combustible ( $\dot{m}_c$ ) y la potencia efectiva del motor”. En otras palabras, el consumo específico es la cantidad de combustible que necesita un motor de combustión interna para proporcionar una unidad de potencia, en una unidad de tiempo. El consumo específico en cierta forma expresa la eficiencia de un motor, al relacionar consumo con beneficios, cuanto menor sea el consumo específico de un motor, mejor es su eficiencia.

***Cálculo sin Dispositivo***

Ya realizado los cálculos del rendimiento efectivo de la misma manera se procederá a continuación a calcular el consumo específico de la gasolina utilizando la ecuación 4 con los siguientes datos.

Datos:

$$\dot{W}_e = 43.6 \text{ kw}$$

$$M_g = 99.6 \text{ g/s}$$

Calculo:

$$\text{Ecuación 4 } C_s = \frac{m_g}{W_e}$$

$$C_s = \frac{\left(99.6 \frac{g}{s}\right) * \left(3600 \frac{s}{h}\right)}{50.2 \text{ kw}}$$

$$C_s = 8223.85 \text{ g/kwh}$$

### *Calculo con Dispositivo*

Datos:

$$\dot{W}_e = 50.2 \text{ kw}$$

$$M_g = 92 \text{ g/s}$$

Calculo:

$$C_s = \frac{m_g}{W_e}$$

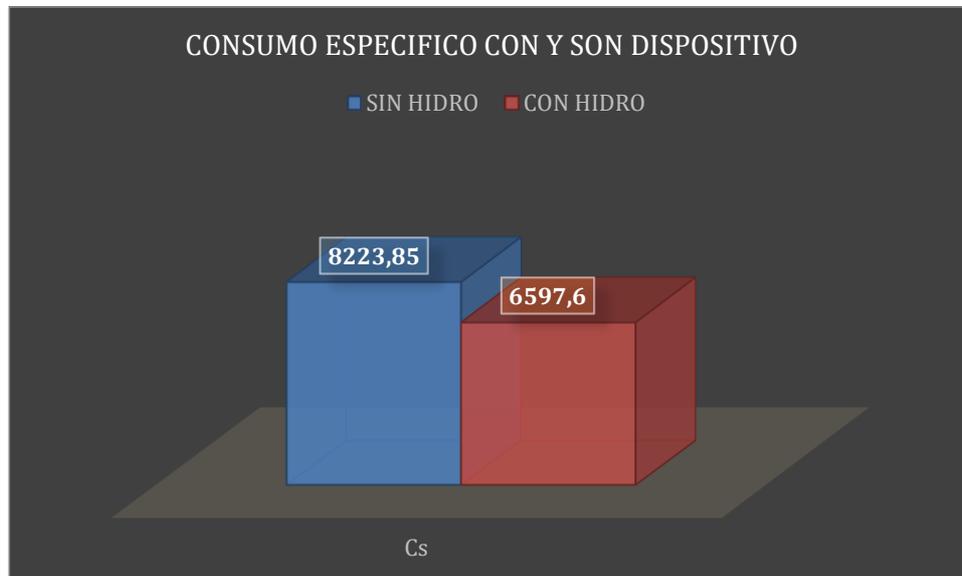
$$C_s = \frac{\left(92 \frac{g}{s}\right) * \left(3600 \frac{s}{h}\right)}{43.6 \text{ kw}}$$

$$C_s = 6597.60 \text{ g/kwh}$$

Los datos obtenidos a través de cálculos reflejan una disminución en el consumo específico correspondiente a 1626.25 g/Kwh, reflejando una mejor eficiencia con la utilización del sistema dual-fuel.

**Figura 31**

*Consumo específico con y sin dispositivo*



### **Análisis Económico**

Ahorro de combustible. En el presente análisis se va a determinar la viabilidad económica del sistema desde el punto de vista del usuario puesto que este estudio está orientado a examinar la construcción, funcionamiento y beneficios del sistema generador de hidrógeno.

Costo de producción. La implementación del sistema ha generado gastos entre insumos, materiales y mano de obra.

## Conclusiones

Se recopiló la información necesaria para conocer acerca de los sistemas dual-fuel hidrógeno/gasolina, su funcionamiento, de la combustión.

Utilizando los materiales y procedimientos previstos en la presente investigación, se construyó las celdas generadoras.

Las pruebas mecánicas, se efectuaron exitosamente en el vehículo de prueba, con equipos certificados, supervisión técnica, antes y después de la instalación del sistema dual-fuel, hidrógeno/gasolina.

Se realizó la prueba de torque y potencia utilizando el dispositivo generador de hidrógeno el cual dio como resultado en dicha medición antes de la instalación 44,6 Hp y con el dispositivo instalado 47,4 Hp.

Se midió el consumo de combustible donde se recorrió desde el tejero hacia Marcelo Redin de los fresnos, obteniendo una diferencia de 0.15 (L) sin dispositivo, se recorrió la misma trayectoria a lo cual se obtuvo una diferencia de 0.13 (L) de consumo de combustible, llegando a la conclusión de que, si existe una reducción del consumo de combustible con el generador de hidrógeno.

## **Recomendaciones**

Evitar una vez instalado el sistema dual-fuel hidrógeno/gasolina, que quede conectado si el vehículo no está encendido su acumulación es peligrosa, además esto consume corriente de la batería.

Corroborar antes de cada prueba que las condiciones del vehículo como presión de neumáticos, carga en el vehículo, etc. permanezcan constantes para todas las pruebas evitando así lecturas erróneas.

Avalar que el agua adquirida sea destilada y desmineralizada, caso contrario se podría generar corrosión y obstrucción en las celdas generadoras.

Utilizar los resultados obtenidos en este proyecto para futuras investigaciones.

## Referencias Bibliográficas

- Rueda, J. (2013). Manual técnico de Fuel Inyection. Guayaquil, Ecuador: Diseli editores.
- Arias, M. (2008). Manual de automóviles. Madrid, España: Editoriales Dossat 2000 S.L.
- CEAC. (2003). Manual CEAC del automóvil. Barcelona, España: Grupo Editorial Ceac, S.A.
- Ed. Hoepli (Año 2010) Manual del Automóvil. El motor de gasolina. Tomo 1. España.
- GENESYS Hidroxi - Generadores de Hidrógeno y HHO ... (p. s/n)
- Albert Martínez Villegas Treball de recerca (Motores de combustión interna 18 -01 – 2007) IES Baix Montseny Sant Celoni... (p. s/n)
- ALONSO, José. Técnicas del Automóvil. Equipo Eléctrico. España: Thonson,2004.
- Martin. J. (2019). *El funcionamiento de un motor de combustión*. Recuperado el 25 de noviembre del 2021 de <https://www.motorpasion.com/revision/funcionamiento-motor-combustion-paso-a-paso-video>
- Gómez. (2016). Diésel o gasolina diferencias entre las dos mecánicas. Recuperado el 20 de noviembre del 2021 de <https://www.autonocion.com/diferencias-motor-gasolina-diesel/>

TECNIEMPAQUES. (2016). TECNIEMPAQUES. Obtenido de <http://www.tecniempaques.com/index.php/2013-05-06-16-29-29/orings.html>

TECNOSELLOS. (2010). Tecno Sellos. Obtenido de <http://www.tecnosellos.com.ar/index.php?s=productos&cat=general&p=17>

RODRIGO PAREJA (2019) CAR AND DRIVER. Recuperado el 5 de septiembre del 2021 de <https://www.caranddriver.com/es/coches/planeta-motor/a29352084/motores-de-combustion-futuro/>

GONZALO RUIZ (2019) MOTOR DE HIDROGENO. Recuperado de <https://erenovable.com/el-motor-de-hidogeno/>

MOTORYSA (2020) COMBUSTION INTERNA. Recuperado de <https://mitsubishi-motors.com.co/blog/2020/10/23/motor-de-combustion-interna-funcionamiento/>

GONZALO GARCIA (2019) HIBRIDOS Y ELECTRICOS. Obtenido el 2 de noviembre el 2021.

## Anexos

### Anexo 1

#### *Detalle de placas*

<b>Núm.</b>	<b>Detalle</b>
4	Correas plásticas de ajuste
10	Placas de acero inoxidable neutras
1	Positiva
2	Negativas
12	Laminas plásticas

### Anexo 2

#### *Placa de acero inoxidable*



*Nota.* Placas de acero inoxidable AISI 304

**Anexo 3***Agua destilada***Anexo 4***Bicarbonato de sodio*

## Anexo 5

### *Instalación del dispositivo*



## Anexo 6

### *Pruebas dinamométricas*



## Anexo 7

### *Propuesta real del proyecto*

Ítem	Rubro	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Placas de acero inoxidable	13	\$50	\$50
2	ABC de motor	1	\$150	\$150
3	Material eléctrico	1	\$60	\$60
4	Subministro de papelería	1	\$40	\$40
5	Dinamómetro	1	\$200	\$200
6	Recipiente	1	\$8	\$8
7	Mangueras de 5 milímetros	1	\$5	\$5

8	Pernos de acero	4	\$5	\$5
9	Esparrago ¼ de pulgada por 5 pulgada de acero	1	\$7	\$7
10	Rodelas y tuercas de acero	12	\$4	\$4
11	Agua destilizada	2	\$2	\$2
12	Bicarbonato de sodio	1	\$1	\$1
13	Cable eléctrico 3 metros	1	\$4	\$4
14	Terminales	4	\$2.20	\$2.20
15	Laminas aislantes	12	\$7.20	\$7.20
16	Taype	1	\$1	\$1
17	Abrazaderas plásticas	10	\$1	\$1
18	10% de imprevistos	1	\$200	\$200
<b>Inversión</b>				<b>\$747.4</b>