



**IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA ELECTROLÍTICA
DE AGUA PARA UN PROTOTIPO DE MOTOR CICLO
OTTO, A FIN DE DISMINUIR LAS EMISIONES DE
MONÓXIDO DE CARBONO (CO).**

Alvaro Alberto Moreno Aya

Código: 10441711850

David Ricardo Vera Franco

Código: 11481718338

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecatrónica y Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá DC, Colombia

2023

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA ELECTROLÍTICA
DE AGUA PARA UN PROTOTIPO DE MOTOR CICLO
OTTO, A FIN DE DISMINUIR LAS EMISIONES DE
MONÓXIDO DE CARBONO (CO).**

**Alvaro Alberto Moreno Aya
David Ricardo Vera Franco**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electrónico
Ingeniero Mecatrónico**

Director:
Ph.D. John Rios

Universidad Antonio Nariño
Programa Ingeniería Mecatrónica y Electrónica
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá DC, Colombia

2023

AGRADECIMIENTOS

Alvaro Alberto Moreno Aya

Primeramente, agradezco a Dios por brindarme salud y sabiduría en los momentos más difíciles, también agradezco especialmente a mi familia, amigos, hermanos, a mi madre y padre por brindarme apoyo moral y económico a lo largo de mi carrera profesional, Ph.D. John Ríos por brindarnos su apoyo y conocimientos para poder culminar nuestro proyecto.

David Ricardo Vera Franco

El ser agradecido es parte fundamental y elemental de cualquier proyecto, trabajo, propósito o cometido. Es una acción que debemos hacer con apología hacia las personas que nos ayudaron moral y arduamente con aquella aspiración cumplida.

Es por esto que agradezco a todas las personas que se vieron incluso minimamente involucradas en mi proyecto y que me apoyaron de cierta manera. Agradezco a mi madre por ser el mayor apoyo que tuve durante este transcurso, igualmente a mi padre que aunque actualmente no se encuentre conmigo dio todo su apoyo en vida para poder llegar hasta este momento... por ello dedico este título a él.

Quiero también agradecer a amigos, demás familiares y compañeros que estuvieron hasta el último momento apoyandome. En especial a mi compañero de proyecto... pues es el único que sabe lo que tuvimos que pasar para llegar hasta tal anhelado momento.

Y por último y no menos importante, a nuestro apreciado tutor y director de proyecto Ph.D. John Ríos por brindarnos su apoyo, moral y conocimientos necesarios para consumir con esta etapa. GRACIAS A TODOS.

Glosario

- **Electrodo:** Por su etimología se puede definir como al extremo o límite material de un conductor eléctrico que recibe o transfiere corriente eléctrica (flujo de electrones). En la cotidianidad se pueden ver en los sistemas de puesta a tierra, que es aquel sistema de protección que envía toda intensidad de corriente peligrosa a este material ubicado en la tierra o suelo.

En la electroquímica, se define por dos partes que constituyen este término:

Ánodo: Aquel electrodo que cede o transfiere electrones al cátodo (en éste ocurre el proceso de Oxidación)

Cátodo: Aquel electrodo que recibe o toma electrones del ánodo (en éste ocurre el proceso de Reducción)

En los electrodos de una celda electroquímica de tipo electrólisis se produce una transferencia de electrones entre éstos y los **iones**, generando nuevas sustancias puras como elementos y compuestos (HHO, hipoclorito, hidrógeno diatómico). Los iones negativos o aniones ceden electrones al ánodo (+) y los iones positivos o cationes toman electrones del cátodo (-). (Ver Ion) III

- **Electrolito:** Cualquier sustancia pura (elemento, compuesto) que tiene la capacidad de liberar iones para comportarse como un conductor eléctrico. En su caso más particular se comporta como conductor eléctrico al mezclarse como soluto a un solvente y formar una disolución iónica también llamado como un proceso de solvatación.

Si el soluto se disocia en su mayoría con el solvente se dice que el electrolito es *fuerte* (Hidroxido de sodio, Ácido sulfúrico), si en su mayoría NO se disocia con el solvente el electrolito es *débil* y la disolución es poco conductiva.

- **Entalpía:** Transferencia de energía de un sistema con su entorno.

Esta transferencia se realiza en condiciones de presión constante y clasifica a todo proceso o transformación de energía en procesos endotérmicos (absorben o consumen calor del entorno) y exotérmicos (disipan o liberan calor al entorno). Esta transformación permite saber y analizar el trabajo mecánico que puede realizar el sistema sobre el entorno para así conocer las pérdidas de energía sobre el mismo.

- **Entropía:** Grado de desorden molecular de un sistema. Este grado de desorden implica cualquier degradación que pueda existir en la materia o energía causando a posteriori un estado de tipo inerte en aquellas; ya que, dado un período de tiempo suficiente, se establece que los sistemas tenderán al desorden.
- **Ion:** Partícula no neutra que constituye un átomo o molécula, es decir, una partícula cargada eléctricamente positiva (catión) o eléctricamente negativa (anión) cuando un átomo pierde o gana electrones dependiendo del sistema en el que se comporta el átomo (disolución, derretimiento, conductores iónicos rápidos).
- **Ionización:** Proceso por el cual se liberan iones (partículas cargadas) cuando una molécula deja de ser neutra (exceso o deficiencia de electrones). Este fenómeno físico-químico se produce general o cotidianamente cuando una sustancia es sumergida en una disolución acuosa.

Al haber ionización en una disolución se suscita evidentemente una mayor conductividad eléctrica.

- **Molaridad:** Es una de las tantas medidas de la concentración de un soluto en una disolución; es de carácter molecular, iónico o atómico.
- **Oxihidrógeno:** Es la descomposición de las moléculas de agua (H_2O) por medio de la electrólisis que forman el nuevo compuesto (HHO).
- **pH:** Aquel coeficiente o parámetro químico que manifiesta el grado de acidez o basicidad de una solución o disolución acuosa (agua como solvente). Se propone en una escala de fase acuosa de 1 a 14 en la que se clasifican las sustancias; si una sustancia se acerca más a 1 que otra está es más ácida, por el contrario, si se acerca más a 14 que otra esta sustancia es más alcalina.

Si una sustancia difiere más del 7 se dice que es menos neutra y si se acerca más a los límites de 1 y 14 se dice que es corrosiva.

- **Rango:** Se denomina al intervalo mínimo y máximo que puede medir el dispositivo de censado.
- **Sensor:** Dispositivo que permite cuantificar una magnitud a partir del medio y convertirla en una señal de salida transducible, en otras palabras, este dispositivo posibilita el medir variaciones que se encuentran en el medio físico.
- **Soluto:** Aquella sustancia pura que se disuelve con otra (solvente) para dar paso a una disolución. Generalmente esta sustancia experimenta una transición de fase por lo que su estado de agregación de la materia se ve alterado.
- **Solvente:** Aquella sustancia pura utilizada para disolver un soluto y obtener una mezcla homogénea conocida como *disolución* o *solución* (el agua es conocido como el solvente universal o más usual en disoluciones).

Resumen

En el presente documento se propuso la implementación de una celda electrolítica de agua en un motor a gasolina de 163cc de cilindraje que permita evidenciar la disminución del monóxido de carbono generados por los motores de combustión interna que opera bajo el ciclo Otto de 4 tiempos. En el desarrollo del proyecto se propone la realización de pruebas que permiten la comprobación de la disminución del monóxido de carbono luego de ser implementada la celda de hidrógeno. En adición, se implementan sensores que miden las magnitudes de temperatura, dióxido de carbono, monóxido de carbono y revoluciones del motor (rpm) para comprobar la eficiencia que tiene la utilización de la celda de hidrógeno. Con los datos obtenidos se realizó un análisis cuantitativo de las magnitudes obtenidas a partir de la medición. El análisis de estos datos se llevó a cabo gracias a un modelo gráfico generado por un software especializado para posteriormente enviarlos a una LCD (pantalla de cristal líquido) y mostrar de manera comprensible las magnitudes suministradas por los diferentes sensores. Esto, para evidentemente demostrar la efectividad de la celda.

Palabras clave: Electrólisis, Motores de combustión interna, Ciclo Otto, Monóxido de carbono, Celda de hidrógeno.

Abstract and Keywords

This document proposes the implementation of an electrolytic water cell in a gasoline engine with a cylinder capacity of 163cc that allows evidence of the reduction of carbon monoxide generated by internal combustion engines that operate under the Otto cycle (4 times). In the development of the project, it is proposed to carry out tests that allow the verification of the decrease in carbon monoxide after the hydrogen cell is implemented. In addition, sensors will be implemented that will measure the magnitudes of temperature, carbon dioxide, carbon monoxide and engine revolutions (rpm) to check the efficiency of the use of the hydrogen cell. With the data obtained, a quantitative analysis of the magnitudes obtained from the measurement will be carried out. The analysis of these data will be carried out from a graphic model generated by specialized software; to later send them to an LCD (liquid crystal display) and show in an understandable way the magnitudes supplied by the different sensors. This, to evidently demonstrate the effectiveness of the cell

Keywords: Electrolysis, Internal Combustion Engines, Otto Cycle, Carbon Monoxide, Hydrogen.

Índice general

AGRADECIMIENTOS	I
Glosario	IV
Resumen	V
Abstract	VI
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Objetivos	9
3.1. Objetivos	9
3.1.1. Objetivo general	9
3.1.2. Objetivos específicos	9
4. Descripción del problema	11
4.1. Descripción del problema	11
5. Justificación	14
5.1. Justificación	14
6. Marco Teórico	16
6.1. Motor a gasolina ciclo Otto	16
6.1.1. Eficiencia Térmica	19
6.2. Volumen del cilindro (tamaño del motor)	20
6.3. Energía libre de Gibbs	20
6.4. Ecuación de Nernst	21
6.5. Celda seca vs húmeda	21
6.5.1. Celda húmeda	21
6.5.2. Celda seca	22
6.6. Producción de hidrógeno en una celda seca	24
6.6.1. Área real de superficie activa	24
6.6.2. Corriente de soporte máxima de la celda	24
6.6.3. Producción máxima de hidrógeno	25
6.6.4. Cantidad de hidrógeno ideal	25
6.7. Conversor análogo digital	27

7. Diseño Metodológico	28
7.1. Especificaciones y materiales	28
7.2. Programas	29
7.2.1. Arduino	29
7.2.2. Solidworks	30
7.2.3. Matlab	30
7.2.4. Proteus	31
7.3. Sensores y programación	32
7.3.1. Sensor de dióxido y monóxido de carbono (Sensores MQ)	32
7.3.1.1. MQ-7	33
7.3.1.2. MQ-135	34
7.3.1.3. Programación y diagrama de flujo sensores MQ-7 y MQ-135	36
7.3.2. Sensor de frecuencia angular (revoluciones por minuto)	38
7.3.2.1. Programación y diagrama de flujo sensor rpm	39
7.3.3. Sensor de temperatura	41
7.3.3.1. Programación y diagrama de flujo sensor de temperatura	42
7.4. Diseño y simulación 3D	43
7.4.1. Celda electrolítica	44
7.4.1.1. Placas de acero inoxidable	44
7.4.1.1.1. Placa polar o de electrodo.	44
7.4.1.1.2. Placa neutra.	45
7.4.1.2. Tapas de acrílico	46
7.4.1.2.1. Acrílico.	46
7.4.1.2.2. Acrílico frontal.	47
7.4.1.3. O'rings	48
7.4.1.4. Acoples	49
7.4.1.5. Ensamblaje	50
7.4.2. Banco del motor	54
7.4.2.1. Base motor en acero inoxidable	54
7.4.2.2. Base	55
7.4.2.3. Ensamblaje	56
7.5. Cálculo del cilindraje según especificaciones del fabricante	59
7.6. Cálculo de la cantidad máxima de hidrógeno obtenida	59
7.7. Verificación del rendimiento ideal	61
8. Análisis y resultados	63
9. Conclusiones	68
10.Recomendaciones	70
10.1. Hidróxido de Sodio	70
10.1.1. Ficha técnica	70
10.1.2. pH en disolución	71
10.1.2.1. Cálculo del nivel de pH	71
10.2. Oxígeno (O ₂)	74
10.3. Electrólisis de agua	74
10.4. Perturbaciones	75

11. Referencias Bibliográficas	77
A. Celda electrolítica	80
A.1. Tapa de acrílico	80
A.2. Tapa de acrílico frontal	81
A.3. O'ring	82
A.4. Placa neutra	83
A.5. Placa electrodo	84
A.6. Tornillo	85
A.7. Banco	86
Apéndices	80
B. Tablas de resultados	87

Índice de tablas

10.1.1. Concentración del Hidróxido de sodio al diluirse	72
B.0.1 Resultados obtenidos con dispositivos de ajuste sin suministrar HHO	87
B.0.2 Resultados obtenidos con sensores implementados sin suministrar HHO	88
B.0.3 Resultados obtenidos con dispositivos de ajuste y con suministro HHO	88
B.0.4 Resultados obtenidos con sensores implementados y con suministro HHO	88
B.0.5 2da toma de resultados obtenidos con dispositivos de ajuste sin suministrar HHO	89
B.0.6 2da toma de resultados obtenidos con sensores implementados sin suministro de HHO	89
B.0.7 2da toma de resultados obtenidos con dispositivos de ajuste y con suministro de HHO	90
B.0.8 2da toma de resultados obtenidos con sensores implementados y con suministro de HHO	90
B.0.9 3era toma de resultados obtenidos con dispositivos de ajuste sin suministrar HHO	91
B.0.10 3era toma de resultados obtenidos con sensores implementados sin suministro de HHO	91
B.0.11 3era toma de resultados obtenidos con dispositivos de ajuste y con suministro de HHO	92
B.0.12 3era toma de resultados obtenidos con sensores implementados y con suministro de HHO	92

Índice de figuras

2.0.1. Esquema de implementación de una celda electrolítica en motor de combustión interna	4
2.0.2. Esquema implementación de pila de hidrógeno en un bus urbano	7
4.1.1. Composición de gases en motores a gasolina tipo otto	13
4.1.2. Composición de gases en motores diesel	13
6.1.1. Diagrama Ts (Temperatura - Entropía) del ciclo Otto ideal	17
6.1.2. Diagrama Pv (Presión - Volumen) del ciclo Otto ideal	18
6.1.3. Diagrama pV del motor real encendido por chispa de cuatro tiempos	19
6.5.1. Teoría esquemática de una celda electrolítica tipo húmeda	22
6.5.2. Sistema y funcionamiento de una celda seca	23
6.7.1. Señal analógica muestreada digitalmente en escalera	27
7.2.1. Esquema de comunicación E/S matlab y hardware	30
7.2.2. Esquemático de conexiones	31
7.3.1. Sensor de monóxido (CO)	32
7.3.2. Sensor de dióxido (CO2)	33
7.3.3. Curva característica de gases "sensor MQ-7"	34
7.3.4. Curva característica de gases "sensor MQ-135"	35
7.3.5. Programación sensores MQ	36
7.3.6. Diagrama de flujo sensores MQ	37
7.3.7. Modulo frecuencia angular	38
7.3.8. Diagrama de flujo Módulo óptico de herradura	39
7.3.9. Programación Módulo óptico de herradura	40
7.3.10 Sensor y módulo MAX6675	41
7.3.11 Diagrama de flujo Sensor de temperatura MAX6675	42
7.3.12 Programación Sensor de temperatura MAX6675	43
7.4.1. Placa electrodo	44
7.4.2. Placa neutra	45
7.4.3. Tapa de acrílico	46
7.4.4. Tapa de acrilico frontal	47
7.4.5. Oring	48
7.4.6. Acople	49
7.4.7. Vista Frontal	50
7.4.8. Vista de Perfil	50
7.4.9. Vista Trasera	51

7.4.10.Vista Superior	51
7.4.11.Vista Isométrica 1	52
7.4.12.Vista Isométrica 2	52
7.4.13.Vista Isométrica 3	53
7.4.14.Vista Isométrica	53
7.4.15.Lámina de acero	54
7.4.16.Base del banco (vista isométrica)	55
7.4.17.Base del banco (vista superior)	55
7.4.18.Vista Frontal	56
7.4.19.Vista de Perfil	57
7.4.20.Vista Superior	57
7.4.21.Vista Isométrica 1	58
7.4.22.Vista Isométrica 2	58
8.0.1. Analisis de dióxido de carbono con dispositivo de ajuste	64
8.0.2. Analisis de dióxido de carbono con sensores	64
8.0.3. Analisis de monóxido de carbono con dispositivos de ajuste	65
8.0.4. Analisis de monóxido de carbono con sensores	65
8.0.5. Analisis de temperatura con dispositivo de ajuste	66
8.0.6. Analisis de temperatura con sensores	66
10.1.1.Nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia pura	71
A.1.1.Tapa de acrílico	80
A.2.1.Tapa acrílico frontal	81
A.3.1.O'ring	82
A.4.1.Placa neutra	83
A.5.1.Placa electrodo	84
A.6.1.Tornillo	85
A.7.1.Banco	86

Capítulo 1

Introducción

El impacto ambiental o antropogénico generado por los motores a gasolina es uno de los mayores problemas actuales y flagrantes a los que se enfrenta la biosfera en general, es decir, no solo los seres humanos son afectados por el cambio climático sino también todos los seres vivos restantes y ecosistemas que lo habitan. Debido a esto ha surgido la necesidad de tomar nuevas fuentes de energía que cambien a las tradicionales, además también se ha tratado y elaborado el estudio de realizar híbridos entre las fuentes de energía fósil y otro tipo de aditivo, por ejemplo, la marca de carros “BMW” ha realizado diversos estudios en donde se mezcla el diesel con GLP, también se ha realizado el estudio de mezcla de hidrógeno generado por el método de la electrólisis del agua, en este caso la electrólisis se ha probado e implementado con todos los motores que realicen la combustión interna obteniendo resultados atrayentes de los cuales se puede notar una estabilidad o invariabilidad en la eficiencia del motor en general o sus variables relacionadas, adicional y primordialmente también se disminuyen los gases contaminantes causados por el proceso interno de la combustión en el motor. [1].

La obtención de nuevas energías que reemplazan las tradicionales ha llevado a pensar y deliberar en nuevas formas de obtener energía, la cual no afecte el medio ambiente, una de estas ideas fue adicionar hidrógeno a la cámara de combustión para obtener un mejor resultado en cuanto las emisiones de gases. El gas HHO no tiene que tener oxígeno para realizar la explosión debido a que este gas ya lo contiene, adicionalmente es 1000 veces más

efectivo que el combustible (gasolina) debido a que tiene una mayor inflamabilidad y también tiene una mayor velocidad de combustión [1]. Como detalle menor el HHO no es rentable de usar u obtener, por tal motivo, es mas viable usar hidrógeno como aditivo más no como alternativa directa del combustible genérico.

A la hora de implementar la celda de electrólisis existen 2 configuraciones o formas en las cuales se obtiene el aditivo (HHO) para el combustible , una de ellas es la denominada celda húmeda en el cual los electrodos están sumergidos en el agua y se genera la descomposición de las moléculas, la celda seca tiene una mayor eficiencia en cuanto la obtención del gas y está diseñada para que en el interior se lleve a cabo el proceso de la electrólisis. En aquel interior, se encuentra un orificio donde ingresa el agua y otro orificio donde sale y se obtiene el gas, esta configuración permite una mayor producción del gas; pero también tiene desventajas como el recalentamiento de las láminas, adicional, este aumento de temperatura produce vapor de agua lo cual no es bueno para la camara de combustion. [2]

Capítulo 2

Antecedentes

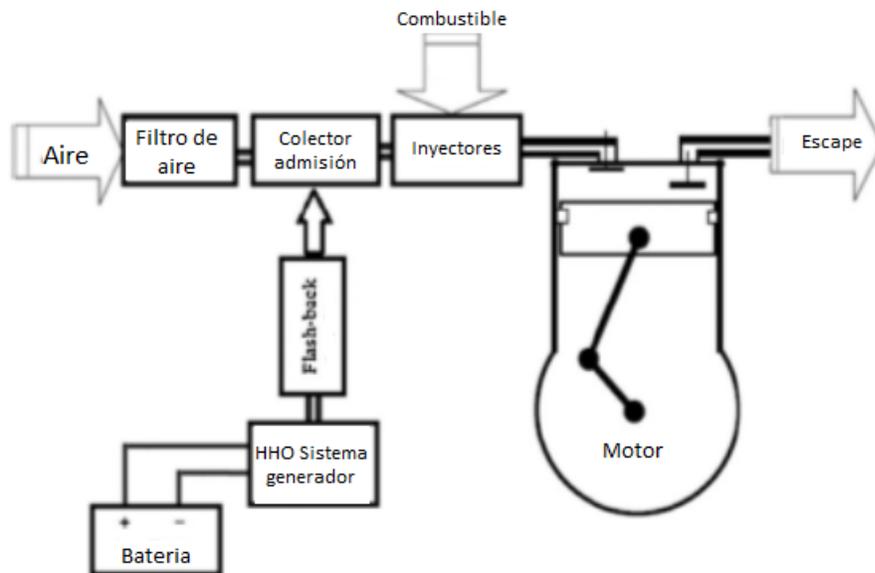
En el artículo “Oxy-Hydrogen Generator for Improving the Efficiency of an Internal Combustion Engine: A Sustainable Energy Project” se menciona la importancia del uso de energías renovables, adicionalmente se hace referencia que los recursos energéticos sostenibles son la base de las energías del siglo XXI. El proyecto de la obtención de Oxihidrogeno para el uso de los motores a combustión interna es prometedor para el futuro debido a que es muy económico, seguro, permite que el motor funcione con una pequeña mezcla de hidrógeno y oxígeno, adicional no es necesario realizar ninguna modificación al motor, solo requiere adaptar el sistema de gas (celda de electrólisis) para que encamine dentro de la camara de combustion. Se sabe que el hidrógeno es un gas altamente inflamable y es el elemento más ligero que se encuentra en la tabla periódica, por este motivo se dice que el gas de hidrógeno es peligroso y provoca incendios si se tiene alguna fuga. Teniendo en cuenta este apartado el sistema es seguro debido que el gas extraído con el método de la electrólisis no se almacena, lo que quiere decir que cuando se está produciendo casi que al mismo instante se está utilizando esta energía, por lo tanto se dice que es segura debido a que no hay riesgo de explosion. [3]

En la universidad de Orangeburg se realizó el estudio del uso de una celda electrolítica en un motor a combustión interna a cargo de los estudiantes Uwakwe Chukwu, Taylor McAlister y Marcus Moeller donde están refinado los sistemas de control para la magnitud del flujo másico del gas producido. Por otra parte se encontró que el motor de combustión necesitaba

un menor cantidad de combustible debido a las propiedades que tiene el hidrógeno y oxígeno combinados, una de las ventajas que tiene esta combinación es la alta inflamabilidad. [3]

Según el artículo se establece que el motor puede funcionar completamente con energía renovable, sin la necesidad del uso de los combustibles fósiles, adicionalmente se sabe que el agua pura (H_2O) ofrece gran cantidad de resistencia a la conductividad eléctrica, por tal motivo es necesario la utilización de un electrólito para aumentar la conductividad eléctrica en el solvente, en este caso el soluto que se utilizó es el hidróxido de sodio, por otra parte también es clave para el desarrollo de la tecnología V2G (vehicle to grid) que consiste en utilizar el coche como fuente para almacenar energía eléctrica en su sistema de red y utilizar cuando sea necesaria. En la figura 2.0.1, se puede observar el esquemático que se utilizó para implementar el sistema de electrolítico en un motor ciclo Otto, se observa en la figura las entradas de aire, combustible y gas oxihidrógeno; el sistema generador de electrólisis tiene protección contra el retroceso de la llamas (flashback arrestor), adicional la mezcla de combustible y gas oxihidrógeno se realiza en los inyectores que posteriormente se dirigen a la cámara de combustión. [3]

Figura 2.0.1: Esquema de implementación de una celda electrolítica en motor de combustión interna



Adaptado de [1]

Tamer Nabil realiza el análisis de la celda de hidrógeno seca en dos motores a cargo de la Suez Canal University, en su investigación tiene como objetivo comprobar la efectividad del uso en la celda de hidrógeno implementada en un motor de motocicleta con bajo cilindraje (150 C.C) cuyo sistema de mezcla aire-comburente es realizado por carburador, adicional se comprueba la eficiencia de la celda de hidrógeno en un motor de automóvil (Mitsubishi Lancer) con cilindraje 1300 C.C, en esta ocasión el sistema de mezcla aire-comburente es realizado por la tecnología de inyección de combustible, en ambos casos se prueba la eficiencia de la celda seca con diferentes número de placas o láminas, con una tensión aproximada de 12 V. [1]

En cuanto a las características del gas oxihidrógeno, este tiene la naturaleza de ser más eficiente que la gasolina convencional implicando ampliación a escala de velocidad en la combustión y la inflamabilidad (aproximadamente 1000 veces al gas de gasolina), incluyendo que la aplicación del gas oxihidrógeno no solo disminuye los gases nocivos expuestos en el ambiente por la combustión de gasolina, también se realiza esta disminución en otros combustible convencionales utilizados en la combustión interna. Para la construcción de la celda de hidrógeno seca es necesario el uso de láminas en acero inoxidable para evitar el óxido de las mismas y no provocar reacciones indeseadas en la descomposición de moléculas, el acero que se utilizó en esta investigación es acero inoxidable 316L. El número de placas neutras en la celda de electrólisis es fundamental para realizar la división del voltaje, es decir, que entre mayor sea el número de placas más pequeña va hacer la tensión en cada una de ellas, esto se realiza con el objetivo de evitar sobre calentamiento en la celda y en consecuencia deja de generar eficientemente el gas oxihidrógeno para generar vapor de agua, según Boyce para evitar el sobrecalentamiento en las placas, la tensión de cada una debe estar alrededor de 2 V. [1]

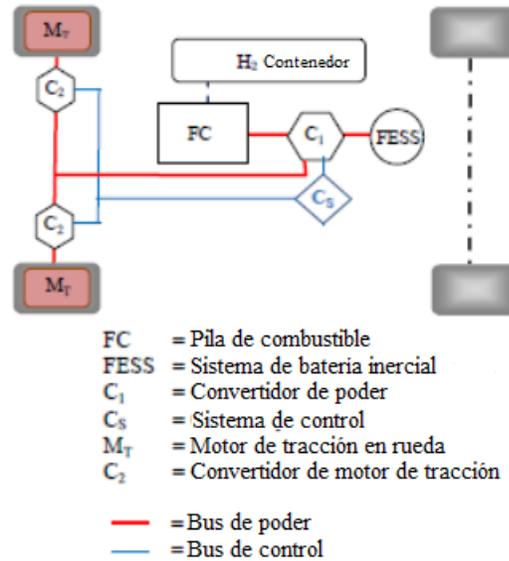
La incorporación de gas oxihidrógeno producido por la celda de electrólisis en los motores diesel tiene mayores eficiencias, como el incremento de la potencia en un 2,75 % y 3,81 %, la eficiencia térmica con un porcentaje del 7 %, adicionalmente se redujo el consumo del gasóleo en un 15 %, una disminución considerable de monóxido de carbono en un 18 % y finalmente se tiene como efecto negativo la mezcla de compuestos que genera un 8 % de NOx , los cuales son compuestos reactivos de nitrógeno y oxígeno, estos volúmenes son comparados con respecto al uso del gasóleo puro. Para la implementación de la celda de electrólisis en el motor diesel se usó una batería de 12 V, con una celda de electrólisis elaborada con acero inoxidable 316L, se

utilizaron 8 placas con dimensiones de (80 x 80 x 1) mm. En cuanto a las especificaciones del motor (DEUTZ FIL 511) tiene un cilindraje de 824 cm^3 , potencia de 10 kW a 2600 rpm y un peso de 116 kg. Se encontró un menor consumo de combustible cuando se utilizó el biodiesel, con una disminución del 20 % al 30 % mezclado con el gas HHO, por otro parte el HHO es una situación particular de inestabilidad de la molécula del agua (H_2O), debido a la separación de estos elementos lo hacen un combustible perfecto ya que se tiene oxígeno toma el papel de comburente y el hidrógeno como combustible, el cual no tiene elementos de carbono, por lo tanto no genera gases contaminantes o nocivos en el ambiente, la combustión o explosion del hidrógeno da como resultado H_2O . [4]

La celda de combustible es una opción de aprovechar la energía eléctrica que ofrece el hidrógeno y oxígeno generados por el método de la electrólisis del agua. La conferencia internacional de vehículos eléctricos se destacó la temática del uso de la celda de combustible para el transporte público, según datos obtenidos en esta conferencia el 30 % de las emisiones son generadas por el combustible en la unión europea , en el cual el 20 % está destinada al transporte de personas y de ese 20 % el 12 % está destinado al turismo, debido a estos eventos surge la idea de implementar un sistema de movilidad en los buses que obtengan cero emisiones de gases contaminantes, en la actualidad los vehículos eléctricos tienen como fundamento la obtención de energía a partir de las baterías y estas tienen varias complicaciones, como lo es el tiempo de duración de carga, la vida útil, la desventaja de baja potencia da a lugar a que los vehículos no pueden ser muy pesados o llevar mucha carga y adicional la elaboración de las baterías no es muy favorable para el medio ambiente debido a la tasa de los materiales químicos que se utilizan.

La celda de combustible adquiere energía eléctrica por medio de la reducción del hidrógeno y la oxidación del oxígeno a través de una membrana, el suministro de hidrógeno y oxígeno debe ser continuo, generalmente la celda de combustible debe ir adaptada con una batería o supercondensador debido a su condición no lineal que presenta el generador de electricidad en condiciones de movimiento, para almacenar la carga se hace uso de un volante de inercia que mediante la rotación almacena la energía . [5]

Figura 2.0.2: Esquema implementación de pila de hidrógeno en un bus urbano



Adaptado de [5]

En la figura 2-2 se muestra el diagrama de bloque que se implementó en el bus, se observa que el autobús funciona de manera híbrida entre la celda de combustible y el sistema de almacenamiento de energía del volante, el autobús tiene 2 motores de tracción trasera, un tanque que almacena el hidrógeno para obtener energía eléctrica a partir de la celda de combustible, adicional se muestra las conexiones de control y potencia del autobús.

En el simposio internacional de electrónica de 2018 sobre “Technology and Engineering Applications” se menciona el uso de gas oxihidrógeno en los motores de combustión y las ventajas que se tienen al utilizar este gas como aditivo al combustible convencional. El gas HHO debe ser implementado en la entrada de aire como combustible, en la cual va ubicada después del filtro del aire (colector de admisión), Harus LG utilizó el generador de 6 placas y lo utilizó en dos coches diferentes uno de cilindraje 1000 cc y el otro vehículo de 1300 cc, en cual se evidenció una reducción del 18 % del combustible, Marilina investigó la concentración de soluto en la celda de electrólisis con una concentración de 2,5%; hasta 15%, con una fuente de tensión de 12 V controlado y utilizando electrodos de metal inoxidable 316 L, entre los autores se menciona el uso de la celda húmeda utilizando como catalizador bicarbonato de sodio en diferentes concentraciones, adicionalmente se realiza la investigación utilizando aquadest como solvente, en todos los casos tuvieron efectos positivos en la reducción de gases

y rendimiento del combustible. El objetivo de la investigación “Performance and Exhaust Gas Analysis Of A Four Stroke Engine Using Oxy hydrogen Gas As Supplementary Fuel” es la prueba del catalizador (hidróxido de magnesio), según la fuente es la primera vez que se realiza el estudio de la eficiencia y rendimiento de un motor de 120 cc con hidróxido de sodio en diferentes concentraciones (1, 3, 5, 7 y 9 g/L) por lo tanto se llegó a la conclusión que la mejor concentración es de 7 g/L. [6]

Capítulo 3

Objetivos

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo general

Implementar un sistema electrolítico capaz de disminuir el monóxido de carbono (CO) producido por los motores de explosión del tipo Ciclo Otto de 4T.

3.1.2. Objetivos específicos

- Mesurar como variables secundarias las revoluciones (rpm) del motor, la temperatura y el dióxido de carbono de escape en la cámara de combustión.
- Construir e incorporar una celda electrolítica para generar hidrógeno y usarlo como aditivo o parcialmente como combustible alternativo.
- Realizar la comparación de las magnitudes físicas en los sensores con un dispositivo de prueba.
- Medir el nivel de monóxido de carbono emitido por el escape del gas en el prototipo de motor mediante el sensado de un sistema ADC, antes y después de implementar el sistema electrolítico.
- Obtener energía mecánica por medio del sistema electrolítico implementado en el motor, para un uso posterior limitado. Es decir, integrando un mecanismo que no requiera de mucha potencia.

- Incorporar como elemento de salida un mecanismo que sea proporcional a la velocidad del cigüeñal y que sirva como paradigma para comprobar la energía mecánica resultante del motor.
- Conservar la eficiencia energética usando el hidrógeno como aditivo o combustible parcialmente alternativo.

Capítulo 4

Descripcion del problema

4.1. Descripción del problema

¿Cómo comprobar las reducciones de monóxido de carbono en los motores ciclo Otto de forma medianamente sencilla, práctica, didáctica y comprensible al incorporar una celda electrolítica? Para ello hay que ver preliminarmente su impacto global para así entender el porqué es considerable o significativo trabajar con este compuesto. El impacto ambiental antropogénico fue, es y será uno de los temas más controversiales, nefastos, desconcertantes, mediáticos y un sin fin de adjetivos más. Sin embargo, siempre será relevante para el desarrollo y futuro de las próximas generaciones. Y no es para más; los seres humanos han marginado el hecho del cambio climático a tal punto de conspirar contra algo totalmente fehaciente.

A lo largo de los años, uno de los aspectos que más ha coadyuvado al impacto ambiental son los gases de efecto invernadero. Sí, esos gases contaminantes que se encuentran en la atmósfera y que en su mayoría son producidos de manera antrópica. El monóxido de carbono (CO) es uno de los gases más nocivos y contaminantes del planeta y para nadie es una sorpresa. Según la agencia química europea (ECHA) el gas es inflamable y tóxico por lo que puede ocasionar daños a órganos a repetidas exposiciones e incluso dañar el feto en proceso de gestación [9].

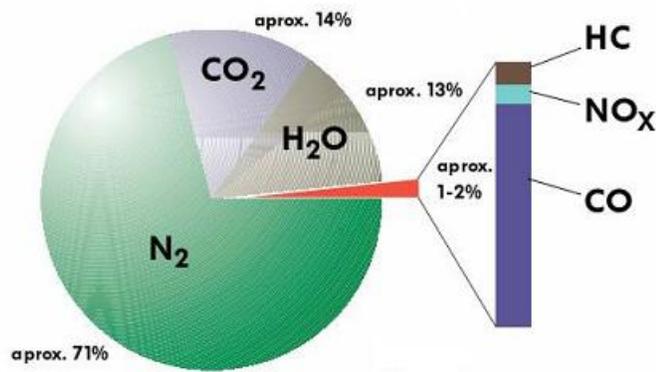
Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (Centers for Disease Control and Prevention) estiman que más de 50 000 personas en Estados Unidos terminan hospitalizadas por presentar síntomas de intoxicación por monóxido de carbono, mientras que The American Journal of Emergency Medicine of Emergency Medicine identificó 6136 muertes

por intoxicación en la última década, por lo que, mueren alrededor de unas 438 personas por año debido al gas [10]. Como tal, la concentración de monóxido de carbono en la atmósfera es exorbitantemente baja a comparación de otros gases, que incluso no es considerado como Gas efecto invernadero, puesto que ocupa a nivel atmosférico unas 0,1 ppm (partes por millón) según el MOPITT (instrumento científico de carga útil de la NASA) [11]. Entonces, ¿por qué es tan imprescindible para el documento en cuestión este gas?. Simple, por los motores de combustión interna. Los M.C.I (como se referirán de ahora en adelante) son los responsables de solo un 5% de las emisiones de SO_2 al ambiente, un 25% de CO_2 , un 66% de NO_x y un 87% de CO [12].

Según ese 87% de monóxido de carbono que se encuentra en la totalidad de la biosfera y atmósfera, el porcentaje restante se divide en un 6% para la quema de combustible en la industria, un 3% en procesos industriales peculiares y un 4% que se origina en quemas y otros procesos no identificados. Esto suma un 13% para representar las fuentes diferentes a los M.C.I que producen CO [13]. Hay que tener en cuenta que este porcentaje corresponde en específico a los motores alternativos, sin embargo, la cantidad de monóxido de carbono varía de acuerdo al encendido en el motor de combustión interna. Si se comparan las emisiones de hidrocarburos (CO, CO_2) de los motores de ignición (ciclo otto) con los motores de auto-ignición (ciclo diésel convencional), los de encendido por chispa sin depuración de gases evidentemente alcanzan mayores niveles de estos compuestos, tal como se puede ver en las Figuras 4.1.1 y 4.1.2. Aunque, las emisiones de CO_2 son mayores en los motores de gasolina; no se debe olvidar que la mayor fuente de CO la producen estos motores, por tanto, una reducción de su combustible contribuiría al impacto ambiental de este compuesto. Esto quiere decir que el CO sí es un problema para y en cualquier ámbito, por tanto, sí es imprescindible tratar de buscar maneras de reducirlo. Además, siendo los ciclos Otto su principal fuente, es imperante enfocarse en ellos como principal causante. Ahora, existen combustibles alternativos como el hidrógeno que buscan reducir el impacto ambiental antropogénico; se llega a usar implementando un sistema electrolítico, ya que, el hidrógeno no se encuentra de forma natural en el planeta. El problema con ello, es que los procesos industriales que integran el hidrógeno como combustible no son rentables desde todo punto de vista económico, además el intento de la industria por conservar la eficiencia aumenta más los costos de producción, por lo que cuando se limitan los costos evidentemente también lo hace la eficiencia de los motores. [14]

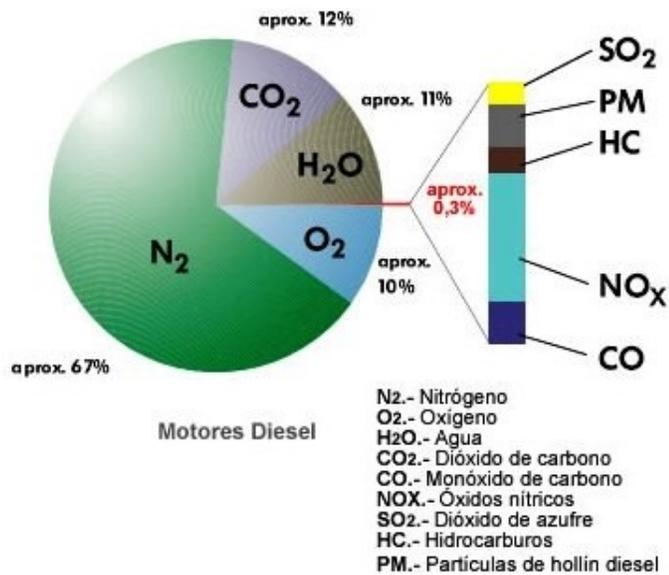
Entonces, ¿Hay maneras sencillas de medir el CO emitido? ¿Y si las hay, qué tan precisas son? ¿cómo podrían comprobarse estos proyectos sin generar sobrecostos? Sí las hay. Sin embargo, este tipo de dispositivos suelen ser muy costosos y en general puede que no se requiere de un uso prolongado sino más bien esporádico. Los costos marginan el uso de este tipo de combustibles alternativos. Por tanto, existen alternativas que permiten reducir estos costos haciendo uso de sistemas eléctricos programables.

Figura 4.1.1: Composición de gases en motores a gasolina tipo otto



Obtenido de [12]

Figura 4.1.2: Composición de gases en motores diesel



Obtenido de [12]

Capítulo 5

Justificación

5.1. Justificación

Se presenta una lista que justifica el trabajo para realizar en cada una de las siguientes problemáticas por ámbito. Ya que, la finalidad del presente proyecto es aminorar o mitigar este tipo de problemas para demostrar la viabilidad del mismo.

- En el ámbito ambiental, se implementa una celda electroquímica en un pequeño motor de pruebas para reducir las emisiones de carbono.
- En cuanto a costos y eficiencia, se realiza un trabajo a pequeña escala (motor pequeño) y posteriormente se analizan los elementos causantes de ineficacias para mejorar la eficiencia energética del sistema.
- Al trabajar a pequeña escala junto con el sistema de sensado, a nivel pedagógico coadyuva al entendimiento del sistema en cuestión para en un futuro poderse usar como arquetipo.
- El sistema de sensado incorporado permite reducir sobrecostos que generan aquellos dispositivos relacionados con éste.

Entonces retroalimentando, se delibera al investigar sobre los elementos que afectan la eficiencia; para presentar alternativas que mejoren el panorama. La ventaja que tiene la tecnología seleccionada frente a otras es la forma factible o sencilla de analizar las variables en cuanto a resultados obtenidos con el sistema análogo-digital empleado (exhibir o enseñar

la reducción de gases contaminantes), sin marginar el hecho de que con esta se puede llegar a reducir costos y a su vez evitar un sistema sumamente ineficiente empleando métodos particulares o poco convencionales. En cuanto a la necesidad de investigación en términos de desarrollo científico, con la implementación de un sistema de medición o sensado se busca demostrar las alternativas de otros entornos científicos que pueden favorecer aspectos económicos y pedagógicos, es decir, extrapolación de áreas para la demostración de resultados obtenidos con el uso del sistema análogo-digital.

Capítulo 6

Marco Teórico

6.1. Motor a gasolina ciclo Otto

El motor a gasolina del tipo ciclo Otto, es un motor de combustión interna tipo alternativo, lo que quiere decir que usa una reacción exotérmica resultante de un proceso de combustión para empujar un pistón o émbolo dentro de un cilindro en un movimiento alternativo (de arriba a abajo). La dinámica lineal o rectilínea del pistón producida por la combustión interna permite obtener una energía mecánica en forma rotacional o circular uniforme, concediendo así a un cigüeñal dar dos vueltas en cada ciclo gracias a la modalidad mecánica de biela-manivela del pistón.

La peculiar y genérica combustión lo categorizan como un motor de ignición también conocido como motor de explosión (a diferencia del motor diesel categorizado como auto-ignición). Esto se debe a que el motor aplica el principio elemental de la teoría del fuego, donde se requiere 3 simples cosas: Combustible (gasolina o compuestos volátiles similares), Comburente (aire u oxígeno) y la Fuente de calor (chispa); mezclados los tres suscitan y propagan la combustión que a su vez produce energía mecánica. La fuente de calor en este tipo de motor es un elemento conocido como bujía, éste genera una chispa conduciendo corriente eléctrica desde un transformador hasta la cámara de combustión.

El presente proyecto tiene como finalidad mostrar el uso de un aditivo parcial como combustible alternativo, juntándose dentro de la cámara de combustión con el resto de componentes para poder analizar sus resultados. Pero antes de deliberar sobre este aditivo,

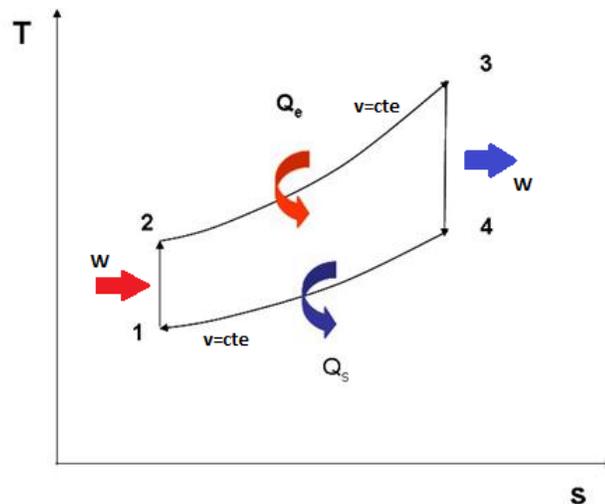
se debe definir el ciclo que compone este motor para entender su funcionamiento.

Como se mencionó, el ciclo que representa este motor es del tipo Otto. Específicamente un motor ciclo Otto de cuatro tiempos o de cuatro etapas. Estas etapas se conocen como: admisión, compresión, combustión o expansión y escape.

Debido a que el análisis de los ciclos reales de cuatro y dos tiempos son complejos, se hace uso de las suposiciones de *aire estándar*. Ya que, el ciclo que resulta y que es parecido a las condiciones reales es el ciclo Otto ideal.

Como se puede ver en la figura 6.1.1, se compone de cuatro procesos reversibles internamente.

Figura 6.1.1: Diagrama Ts (Temperatura - Entropía) del ciclo Otto ideal



Adpatado de [19]

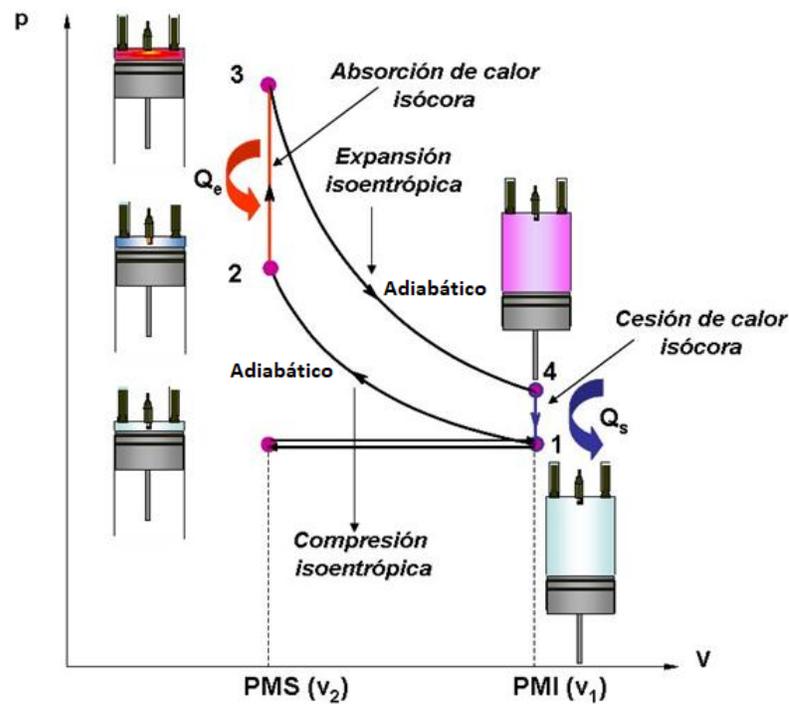
Se puede describir los procesos de la siguiente manera:

- 1-2 Compresión isentrópica (entropía constante)
- 2-3 Adición de calor isocórico (volumen constante)
- 3-4 Expansión isentrópica (entropía constante)
- 4-1 Rechazo de calor isocórico (volumen constante)

Q_e y Q_s representan la transferencia de calor durante los procesos del ciclo Otto. Esto representa la máquinas térmicas del ciclo de Carnot, por lo que, en el proceso 1-2 (compresión del émbolo) hay un trabajo de entrada (consume trabajo) y en el proceso 3-4 (Expansión del émbolo) hay un trabajo de salida (realiza trabajo). Entonces, cuando el volumen es constante es porque no hay trabajo en los procesos de transferencia de calor.

Tener en cuenta que, en un proceso *adiabático reversible* no hay transferencia de calor con el entorno Q , y por tanto el proceso es isentrópico. Al no haber una transferencia no se altera el grado de desorden del sistema en particular, por lo que, su entropía es de carácter constante y además es reversible porque evidentemente el proceso es de tipo cíclico; pues el sistema y el entorno pueden restablecerse exactamente a los mismos estados iniciales en los que se encontraban antes de que ocurriera el proceso.

Figura 6.1.2: Diagrama Pv (Presión - Volumen) del ciclo Otto ideal



Adaptado de [19]

Figura 6.1.3: Diagrama pV del motor real encendido por chispa de cuatro tiempos



Adaptado de [19]

6.1.1. Eficiencia Térmica

La eficiencia térmica, η° , de cualquier máquina o motor térmico se define como la relación entre el trabajo que realiza, W , y la entrada de calor a alta temperatura, Q_H . La ecuación que lo representa se concibe según condiciones ideales de aire estándar.

$$n_{th} = \frac{W_{neto}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (6.1.1)$$

Donde:

Q_H representa el calor de entrada a alta temperatura

Q_C representa el calor de salida a baja temperatura

W_{neto} es el trabajo neto realizado en el sistema

T_n son las temperaturas en las que se encuentra cada proceso térmico.

La energía se conserva según la primera ley de la termodinámica y la energía no tiene la forma

de transferirse completamente con éxito, la entrada de calor, Q_H , debe ser igual al trabajo realizado, W , más el calor que debe liberarse como calor residual Q_C en el medio.

6.2. Volumen del cilindro (tamaño del motor)

También conocido como cilindraje o cilindrada en relación al desplazamiento del motor, es el volumen combinado o la suma del volumen útil de todos los cilindros del motor. Su valor es conveniente en cuestión, debido a que permite saber el comportamiento de la celda según la cantidad de hidrógeno generado por minuto L/min. En la ecuación 6.2.1 se obtiene el valor del volumen a partir de las dimensiones que implican al cilindro.

$$V = \pi r^2 h \cdot N_{cilindros} = \pi \cdot \left(\frac{bore}{2}\right)^2 \cdot stroke \cdot N_{cilindros} \quad [cm^3] \quad (6.2.1)$$

Donde:

Bore es el diámetro del cilindro donde se encuentra el pistón (cm).

Stroke según el tiempo ejecutado, es la carrera o desplazamiento del pistón dentro del cilindro (cm).

N es el número de cilindros que posee el motor.

6.3. Energía libre de Gibbs

La energía libre de Gibbs es un factor en cual expresa el potencial termico de un proceso, el valor de gibbs puede ayudar a verificar si un proceso es espontáneo y si es favorable electroquímicamente.

$$G = H - TS \quad (6.3.1)$$

Donde:

G = Energía libre de Gibbs

H = Entalpia

S = Entropia

La ecuación mostrada anteriormente aplica para los procesos electroquímicos estándares.

6.4. Ecuación de Nernst

La ecuación de Nernst permite calcular el potencial de un electrodo que se realiza por medio de la reacción química (Reducción) [18]

$$\varepsilon = \varepsilon^o - \frac{TR}{\eta F} \ln(Q) \quad (6.4.1)$$

Donde:

ε = Potencial de la celda

ε^o = Potencial de la celda en condiciones normales

R = Constante universal de los gases

T = Temperatura

η = Número de electrones transferidos en la reacción redox

F = Constante de Faraday

Q = Cociente de reacción

6.5. Celda seca vs húmeda

Para la implementación de la celda electrolítica se optó por el diseño y sistema de una celda seca según sus propiedades y características que entran con pertinencia al objetivo del proyecto en cuestión, por ende, se presenta aquí las diferencias y características de los dos tipos de celdas que existen en este ámbito:

6.5.1. Celda húmeda

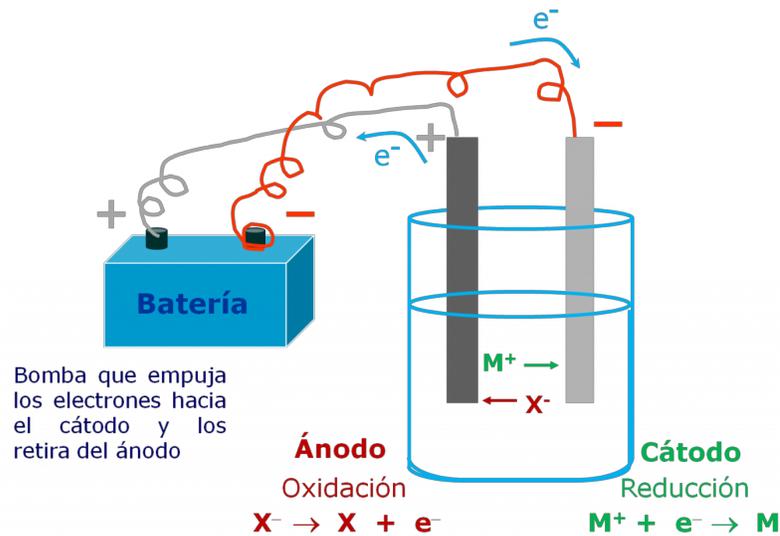
Existen varios sistemas que utilizan placas o planchas, espirales y tubos para producir oxihidrógeno en el método de celda húmeda. La celda húmeda representa uno de los dos

métodos para producir HHO por medio de energía química a partir de energía eléctrica.

Una celda húmeda (o wet cell en inglés) es un dispositivo en forma de recipiente lleno de una disolución entre agua (como solvente) y un electrolito que aumenta la conductividad del agua en el que los electrodos están total o parcialmente sumergidos. Estos electrodos están hechos de placas de acero inoxidable, espirales de alambre, tornillos, entre otros...

Cuando se aplica energía, los electrodos producen oxihidrógeno, que se propaga en forma de elevación a través de un baño electrolítico y escapa a través de un orificio instalado en la parte superior. Este tipo de célula, celda o electrolizador es generalmente menos eficiente, pero tiene ciertas ventajas sobre las baterías de celda seca como que es fácil de construir y tiene menos componentes. Aunque pocas celdas húmedas producen más de 1,5 L/min , que se pueden encadenar para aumentar su producción.

Figura 6.5.1: Teoría esquemática de una celda electrolítica tipo húmeda



Adaptado de [23]

6.5.2. Celda seca

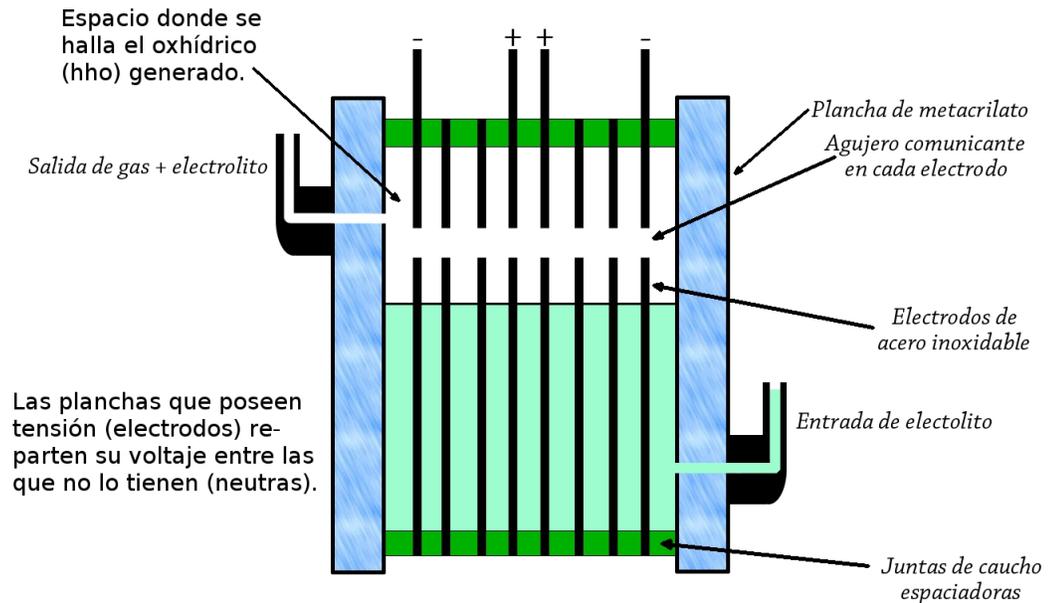
Una celda seca conlleva el mismo principio, sin embargo, a diferencia de la celda húmeda los electrodos no se encuentran sumergidos directamente en una disolución, la solución se posiciona en otro depósito que alimenta directamente la celda.

El proceso electroquímico se ejecuta al interior de los electrodos; es importante mencionar que este sistema tiene mayores ventajas respecto a la celda húmeda, como lo son: una mayor eficiencia en producción de oxihidrógeno, menor consumo de energía y debido a su estructura es más resistente a las vibraciones.

Aún así aquí se enlistan una serie de ventajas con respecto a la celda húmeda:

- Se necesita menos implementación actual para cada celda debido al tamaño volumétrico del electrolito dentro de la cámara cerrada.
- Diseño más delgado y compacto, lo cual es una gran ventaja en los vehículos modernos que tienen compartimientos de motor muy compactos
- Se necesita un mantenimiento menos frecuente para todo el sistema de células HHO secas
- Se produce menos corrosión en las placas de ánodo debido a la restricción volumen de solución electrolítica por segundo menos corriente significa menos generación de calor, que puede convertirse en vapor – ineficiencia.

Figura 6.5.2: Sistema y funcionamiento de una celda seca



Adaptado de [24]

6.6. Producción de hidrógeno en una celda seca

6.6.1. Área real de superficie activa

La superficie activa es aquella área que se encuentra en contacto con la solución y el electrodo, de manera que entre mayor parte del electrodo este en contacto con el electrólito obtendrá un mejor rendimiento en cuanto la producción del gas oxihidrógeno.

Por tanto, esta área es igual a la diferencia entre el área total del polígono de la placa polar y el área de las juntas.

$$a_{activa} = a_s - a_{juntas} \quad [cm^2] \quad (6.6.1)$$

Donde:

a_s = es el área superficial total del polígono de la placa electrodo (cm^2)

a_{juntas} = es el espacio o superficie que ocupa la entrada y salida de solución electrolítica y gas OHH respectivamente (cm^2)

6.6.2. Corriente de soporte máxima de la celda

Es la corriente máxima que puede tolerar la celda electrolítica antes de empezar a sobrecalentarse y posteriormente deteriorarse. Se obtiene de la siguiente manera:

$$I_s = \frac{0,084 A}{1 cm^2} \cdot a_{activa} \quad [A] \quad (6.6.2)$$

Donde:

a_{activa} es el área activa de las placas de acero inoxidable menos el área formada por las juntas (cm^2)

En la *relación amperio por centímetro* ($0,084 A / 1 cm^2$) Michael Faraday expuso que las

celdas electroquímicas de tipo electrólisis podrían soportar hasta 0,084 amperios por cm^2 sin tener que llegar a un sobrecalentamiento.

6.6.3. Producción máxima de hidrógeno

Aquella máxima salida de hidrógeno ocasionada por el generador de HHO, se mide según la cantidad de volumen generado ligado al minuto ocurrido. Se obtiene de la siguiente manera:

$$MH = I_s \cdot \frac{64 \text{ ml/min}}{1 \text{ A}} \quad [\text{ml/minuto}] \quad (6.6.3)$$

Donde:

I_s es la corriente de soporte máxima

La *relación flujo volumétrico por amperio* (64 ml/min)/(1 A) funciona como simplificación matemática de las leyes de Michael Faraday. En ésta se manifiesta que un generador de celda seca común de 7 placas producirá alrededor de 64 ml/minuto de hidrógeno por amperio de corriente.

6.6.4. Cantidad de hidrógeno ideal

La cantidad de hidrógeno ideal representa la tasa L/minuto (Litros por minuto) que debería ideal o conceptualmente como bien dice producir la celda electroquímica según el tamaño de motor implementado, es decir que, la producción de HHO está subordinada y estrechamente relacionada con el tamaño del motor para cumplir con un rendimiento electrolítico **adecuado** y eficiente.

la tasa ideal de producción es de **0.15 L/minuto** por **1 L** de tamaño de motor y para que se cumpla con un rendimiento mínimo necesario se establece que:

$$MH \geq \frac{HI}{1 \text{ L}} \cdot V \quad [LPM] \quad (6.6.4)$$

Donde:

MH es la producción máxima de hidrógeno obtenida.

HI es la tasa de producción (L/minuto) de HHO ideal del sistema por 1L de tamaño de motor.

V es el tamaño de motor utilizado en el sistema de la celda electrolítica expresado en Litros.

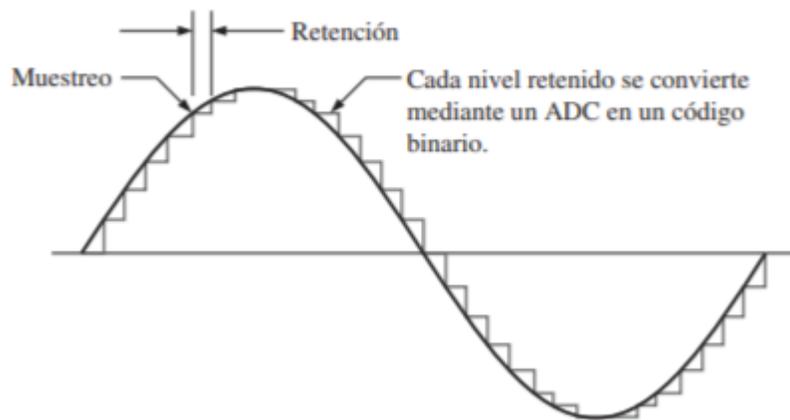
El producto entre la cilindrada o tamaño del motor (V) y la **relación** de la tasa ideal de producción por litro (HI/1 L) representa la cantidad ideal de producción de hidrógeno del motor en específico (parte derecha de la desigualdad).

La desigualdad matemática (6.6.4) establece que la producción máxima obtenida por la celda debe ser por lo menos igual o mayor a la cantidad ideal de la misma, subordinada al motor en cuestión claramente. No obstante, la tasa ideal es un parámetro técnico de rendimiento; en la práctica sería más pertinente obtener un valor de "MH" mucho más grande que el de la operación " $\frac{HI}{1L} \cdot V$ ".

6.7. Conversor análogo digital

Las señales analógicas provienen del mundo físico de manera natural, a la hora de realizar el debido tratamiento de la señales en los dispositivos electrónicos es necesario traducir de forma discreta. La palabra ADC proviene de las siglas Analog to Digital Converter que traduce (convertidor analógico a digital). Un ADC es el conjunto de transformaciones de una señal analógica a discreta mediante muestreo y retenciones, representado la amplitud de la señal analógica en números binarios de modo que entre más bits tenga el contenido de datos más precisa se hace la resolución de la señal, también hay que tener en cuenta que un factor para mantener la calidad de la señal es el tiempo de muestreo [16]

Figura 6.7.1: Señal analógica muestreada digitalmente en escalera



Obtenido de [16]

Capítulo 7

Diseño Metodológico

7.1. Especificaciones y materiales

- Ionización:
 - * Electrolito (soluto): Soda Cáustica con pH de 13.5 (Alcalino).
 - * Solvente: Agua no destilada (Ya que si el agua estuviera destilada y fuera 100 % pura no tendría conductividad).
- Electrólisis (Celda Electrolítica).
 - * Electrodo: Acero inoxidable AISI 304.
 - * Batería Eléctrica: Corriente eléctrica continua 12 v, 9Amh, [0.8– 5 A].
 - * Lamina de acrilico de 3 mm de espesor
 - * O`ring con un diámetro de 10 cm y un espesor de 5 mm.
 - * Acople para manguera (se debe tener en cuenta los diámetros de la manguera y el acople).
- Dosificación
 - * Conductor del fluido: Polímero Termoplástico.
 - * Hidróxido de sodio con pureza del 95 %, se suministra 50 g/.
- Motor de combustión interna

- * Motor pequeño ciclo Otto de ignición (gasolina) 4T de 163cc.
- Sistema de control de combustible:
 - * control por carburador.
 - * Comburente: Aire atmosférico.
 - * Combustible: Gasolina e Hidrógeno.
 - * Fuente de calor: Encendido por chispa.
- Censado
 - * CO y CO₂: Sensor programado digitalmente con conversor análogo digital para manifestación de resultados en pantalla LCD.
 - * Temperatura: Sensor programado con uso de ADC.
 - * rpm (revoluciones por minuto): Sensor Encoder programado.

7.2. Programas

Para la programación del microcontrolador se utilizó el entorno de desarrollo de arduino, donde se realiza el control de los sensores, adquisición de datos y procesamiento de la señal, la validación de los programa se realizó en el software de simulación de proteus como se puede observar en la figura (7.2.2), para realizar el respectivo análisis de los datos se utilizó Matlab, para graficar los resultados obtenidos por el sensor de dióxido de carbono (MQ-135) y monóxido de carbono (MQ-7) con respecto a las revoluciones del motor, finalmente con Solidworks se ejecuta la representación gráfica 3D de la celda de electrólisis.

7.2.1. Arduino

Se adquieren los datos tomados por los sensores y se realiza el procesamiento digital de la señal, para ajustar sus valores con un dispositivo estándar. Se realiza la programación de cada sensor independientemente para comprobar el correcto funcionamiento y cambio con las magnitudes tomadas, mediante la ayuda que brinda el monitor serie de arduino factibiliza la visualización de los datos adquiridos por los diferentes sensores, adicionalmente brinda la

facilidad de imprimir los datos en una LCD 16X2 gracias a la librería (LiquidCrystal-I2C) y el módulo I2C.

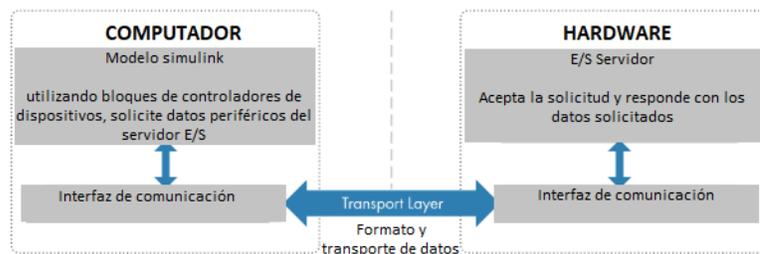
7.2.2. Solidworks

Solidworks es un software computacional que permite realizar modelaje 3D y planos en 2D de forma hiperrealista, además permite realizar diseños, simulación, planos eléctricos, publicar y efectuar ensamblajes de diferentes figuras.

7.2.3. Matlab

Matlab es una poderosa herramienta de programación avanzada permite realizar cálculos complejos, análisis de datos, gráficas, diseño de modelos y desarrollo de algoritmos. En este proyecto se emplea la herramienta de Matlab para llevar a cabo el análisis de datos adquiridos por el microcontrolador, de forma gráfica se puede llegar a observar el comportamiento del motor ciclo Otto 4T en cuanto las variables de monóxido de carbono, dióxido de carbono, revoluciones por minuto y temperatura, se realiza las gráfica de análisis de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO2) respecto a las revoluciones del eje de salida del motor, adicional se mide la temperatura del cilindro del motor.

Figura 7.2.1: Esquema de comunicación E/S matlab y hardware



Obtenido de [20]

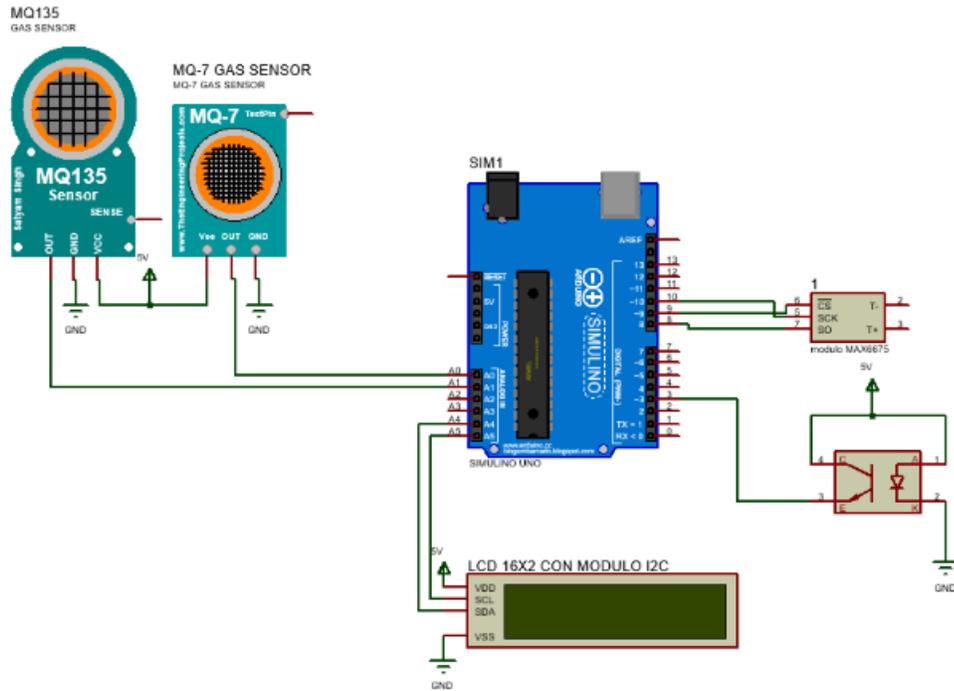
En la figura 7.2.1 representa el esquema de comunicación que se realiza entre el hardware de arduino y el software de Matlab. De manera generalizada mediante los puertos de entrada salida del microcontrolador ejecuta la adquisición de datos, llevando a cabo la conversión analógica digital (ADC) para el tratamiento de las señales y posteriormente realizar el

transporte de datos mediante una interfaz de comunicación se logra la visualización de los datos tomados por los sensores en Matlab.

7.2.4. Proteus

Proteus es un software de simulación que permite realizar diseños electrónicos, en sus etapas de esquemático, construcción de impresos electrónicos (placas), simulación, documentación y su principal funcionalidad de comprobación o depuración de errores. Se empleó Proteus para desarrollar la implementación del esquema de conexiones de los sensores tal y como se muestra en la figura 7.2.2, adicionalmente se realizó la simulación para identificar posibles errores presentados a la hora de realizar la adaptación de los sensores en el motor ciclo Otto 4T.

Figura 7.2.2: Esquemático de conexiones



Fuente: Autores

7.3. Sensores y programación

7.3.1. Sensor de dióxido y monóxido de carbono (Sensores MQ)

Los sensores de la serie MQ, son sensores electroquímicos que funcionan variando su resistencia interna, por consiguiente a esto motivo se pueden clasificar como sensores analógicos que dependen de un determinado gas. La resistencia variable es sensible a determinados gases por eso es importante revisar el datasheet en específico de cada tipo de sensor MQ y orientar respecto a determinado gas para realizar el cálculo de la magnitud, los módulos de los sensores MQ utilizan un divisor de voltaje para calcular el cambio en la resistencia con respecto a la tensión. [7]

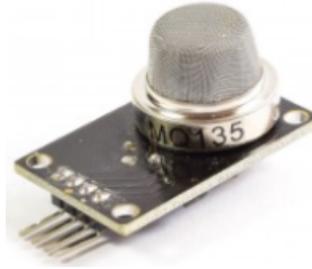
Los sensores MQ posibilitan la ejecución de medidas tanto analógicas (magnitud de concentración de gas) y digitales (presencia de un gas), estas medidas digitales pueden graduarse en los módulos con un potenciómetro que vienen por defecto, todos los sensores MQ tienen internamente calentadores que permiten ajustarse a la temperatura adecuada para obtener datos más confiables a la hora determinar el sentido de determinado gas, debido a esto los sensores tienen un consumo aproximado de 800 mW. [8]

Figura 7.3.1: Sensor de monóxido (CO)



Obtenido de [7]

Figura 7.3.2: Sensor de dióxido (CO₂)

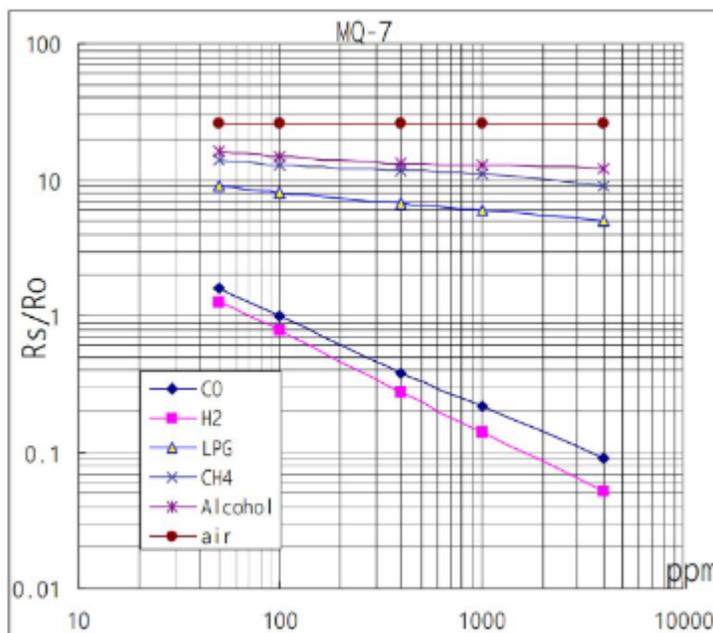


Obtenido de [7]

7.3.1.1. MQ-7

Este sensor posee las características de alta sensibilidad ante el gas de monóxido de carbono, estabilidad y larga vida útil (longevidad de producto). Es utilizado principalmente para el uso de detección de monóxido de carbono en los hogares, incluso para las detecciones de gases en las cercanías de fogones de la cocina, también juegan una parte fundamental en la detección del monóxido de carbono en la industria y en los vehículos. Funciona con una tensión de 5V en AC o DC, adicionalmente parte de esta carga se dirige al sistema interno de calefactor, funciona en temperaturas de -20 °C hasta 50 °C con una humedad relativa máxima del 95%. El sensor está compuesto por un tubo cerámico AL₂O₃ y con una capa de dióxido de estaño, tiene 6 pines en los cuales cuatro de ellos pertenecen a la obtención de la señales mientras que los otro 2 pertenecen al calefactor.

Figura 7.3.3: Curva característica de gases "sensor MQ-7"

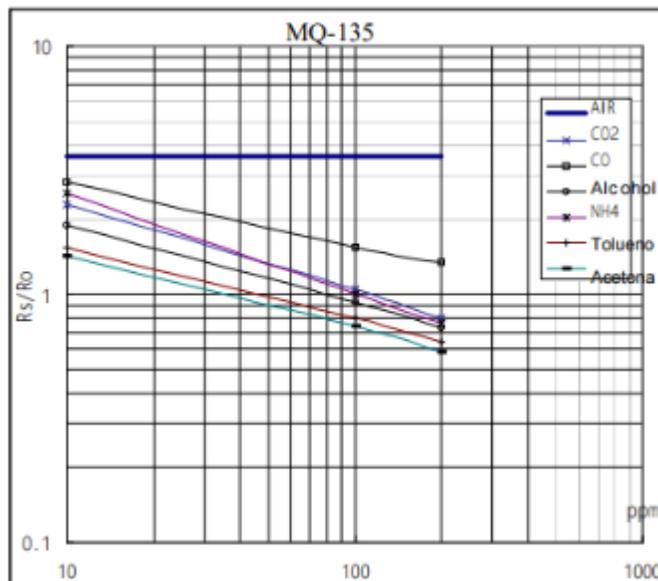


Fuente: datasheet MQ-7

7.3.1.2. MQ-135

Este tipo de sensores permite medir la calidad del aire, cuantificando las concentraciones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, alcohol, amonio, Tolueno y acetona. Este sensor también nos proporciona lecturas analógicas y digitales, gracias al módulo MQ-135 y el pin digital contenido facilita obtener una señal de salida sin necesidad de poseer un microcontrolador a la mano, se puede ajustar a una determinada concentración de gas gracias a un potenciómetro incorporado que trae el módulo. se destaca por ser de larga vida útil, alta sensibilidad, estable y de fácil uso, funciona con una tensión de 5V en AC o DC y una sensibilidad R_0 de 30 $K\Omega$ hasta 200 $K\Omega$, tiene 6 pines en los cuales cuatro de ellos pertenecen a la obtención de las señales mientras que los otros 2 pertenecen al calefactor, temperatura de funcionamiento se encuentra entre los -10°C hasta 45°C . [7]

Figura 7.3.4: Curva característica de gases "sensor MQ-135"



Fuente: Datasheet MQ-135

Las figuras 7.3.3 y 7.3.4 manifiestan las curvas características de cada gas, con respecto a cada sensor, en éstas se pueden observar las medidas de concentración para cada gas en partes por millón de acuerdo a la relación de las resistencias R_s/R_0 , donde R_0 es la resistencia que se calcula a partir el aire limpio (ambiente) y R_s es el sensor resistivo, es decir, que varía su resistencia respecto a la concentración de gas que se obtenga de acuerdo a las figuras. Mediante el software se realiza la conversión de cuantificación medida por el sensor a la concentración de gases a partir de los datos obtenidos en las curvas.

7.3.1.3. Programación y diagrama de flujo sensores MQ-7 y MQ-135

Figura 7.3.5: Programación sensores MQ

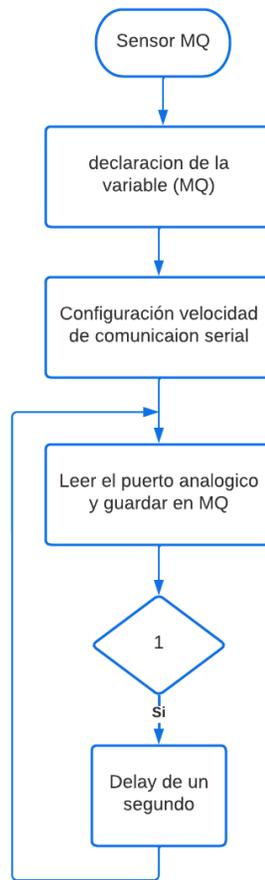
```
int MQ; // Declaracion de variable

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Asignacion de velocidad de comunicacion serial
}

void loop()
{
  MQ = analogRead(A1); // Lee el valor del puerto A1 y guarda en la variable MQ
  Serial.print("lectura "); // imprime en el monitor serial
  Serial.println(MQ); // imprime en el monitor serial la variable MQ
  delay(1000); // reatardo de 1 segundo
}
```

Fuente: Autores

Figura 7.3.6: Diagrama de flujo sensores MQ



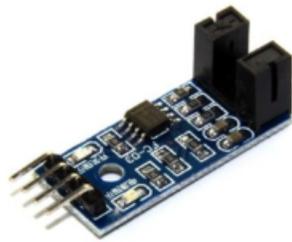
Fuente: Autores

7.3.2. Sensor de frecuencia angular (revoluciones por minuto)

El sensor rpm en cuestión no es más que el sensor **óptico de herradura**, idóneo tanto para la robótica y sistemas relacionados como también para las líneas de producción.

Este sensor permite una medida dinámica de hasta 90000 rpm, por lo que, permite asegurar una medida de movimiento sin limitaciones por sensado.

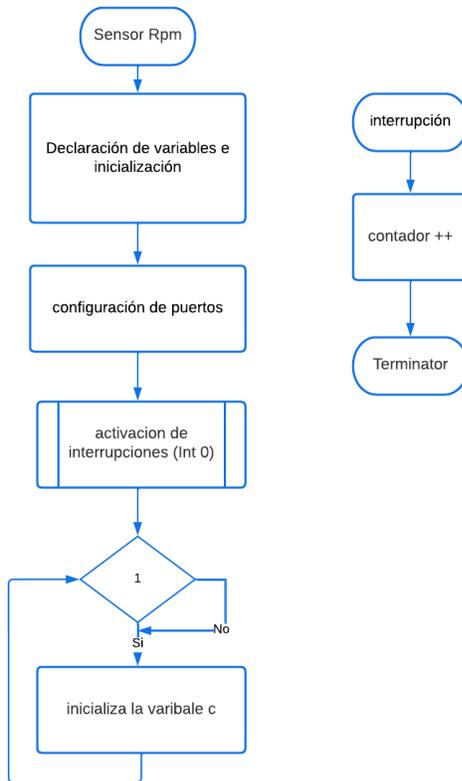
Figura 7.3.7: Modulo frecuencia angular



Obtenido de [21]

7.3.2.1. Programación y diagrama de flujo sensor rpm

Figura 7.3.8: Diagrama de flujo Módulo óptico de herradura



Fuente: Autores

Figura 7.3.9: Programación Módulo óptico de herradura

```
volatile float contador = 0; // Guarda la variable en la memoria RAM
void setup()
{
  pinMode(3,INPUT); // declara el pill como entrada al sensor optico
  Serial.begin(9600); //velocidad baudios
  attachInterrupt(1,interrupcion,RISING);
}
void loop()
{
  delay(1000);
  Serial.print("rpm; ");
  Serial.println(contador);
  contador = 0;
}
void interrupcion ()
{
  contador++; //suma el contador
}
```

Fuente: Autores

7.3.3. Sensor de temperatura

Modulo MAX6675 con sensor de temperatura tipo K que tolera temperatura de 1200 °C, con una resolucion de 0.25 °C, adicional permite linealizar y compensar la respuesta del sensor mediante el ADC y comunicacion PSI del microcontrolador o tarjeta de desarrollo. El modulo opera con una temperatura de -20 °C hasta 80 °C y una tension de 3.3 a 5 V, permite realizar el ajuste para adactar la señal de 8 a 12 bits digitales.

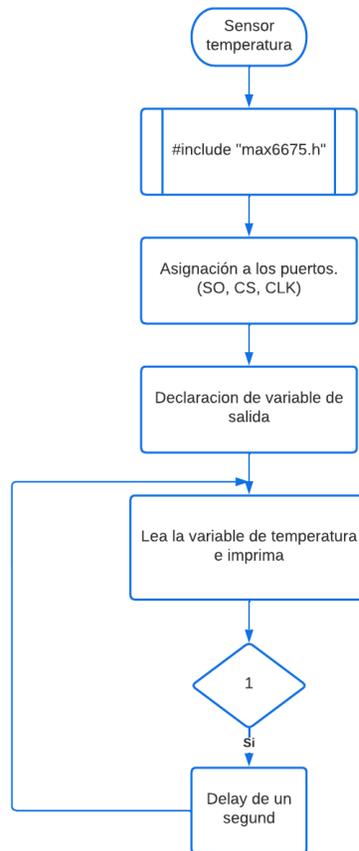
Figura 7.3.10: Sensor y módulo MAX6675



Obtenido de [22]

7.3.3.1. Programación y diagrama de flujo sensor de temperatura

Figura 7.3.11: Diagrama de flujo Sensor de temperatura MAX6675



Fuente: Autores

Figura 7.3.12: Programación Sensor de temperatura MAX6675

```
#include "max6675.h" // agregamos libreria

int ktcSO = 8; //utiliza el pin 8 como SO
int ktcCS = 9; //utiliza el pin 9 como Cs
int ktcCLK = 10; //utiliza el pin 10 como CLK
int T; //Variable que imprime la temperatura
MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO);
void setup()
{
  Serial.begin(9600); //velocidad de en baudios
  delay(500);
}
void loop()
{
  T=ktc.readCelsius(); // lee los grados celcius
  Serial.print("Grados °C "); // imprime en el motor serial
  Serial.println(T); // imprime la variable de temperatura "T"
  delay(1000); // retardo de 1 segundo.
}
```

Fuente: Autores

7.4. Diseño y simulación 3D

A partir de las especificaciones y materiales mencionados en el apartado 7.1, se procede de manera alegórica a realizar el diseño simulado de la celda electrolítica que se implementa en el motor ciclo Otto 4T.

Mediante el apoyo del software Solidworks y los datos obtenidos a través de la investigación se obtienen las dimensiones, por consiguiente se construye el modelo de la celda simulando cada una de sus partes en figuras 3D, asimismo el programa Solidworks permite realizar planos que sirven de guía para la elaboración física de las piezas además del detalle informativo de medidas realizadas minuciosamente en planos para contextualizar esas piezas, incluso posibilita el crear cada una de las piezas que conforman la celda de electrolisis para luego ensamblar en una sola figura.

Además del desarrollo paradigmático en el correspondiente apartado, se presenta una noción o se procede a pormenorizar las respectivas piezas o componentes que se realizarón a lo largo de la implementación.

Para más información prolija sobre las piezas usadas en la implementación (medidas y estructura) ver el Apéndice A.

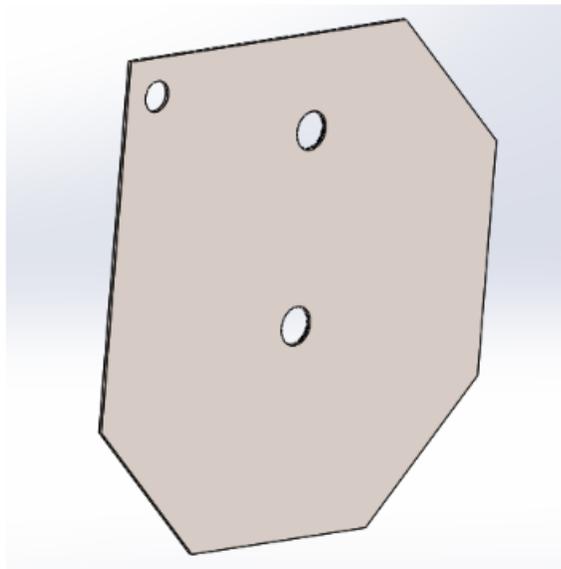
7.4.1. Celda electrolítica

7.4.1.1. Placas de acero inoxidable

Para las placas usadas existen 2 clases como las que se muestran en las figuras 7.4.1 y 7.4.2, éstas son las encargadas de suministrar y/o regular energía eléctrica al sistema para la posterior obtención de hidrógeno de la celda apartir de la energía química adquirida.

7.4.1.1.1. Placa polar o de electrodo. La primera clase se denomina placa polar o de electrodo, nombradas así, debido a que están energizadas directamente con la fuente de 12V de tensión con la funcionalidad de brindar el flujo de electrones a través de la solución para el cual se obtiene el proceso electroquímico.

Figura 7.4.1: Placa electrodo



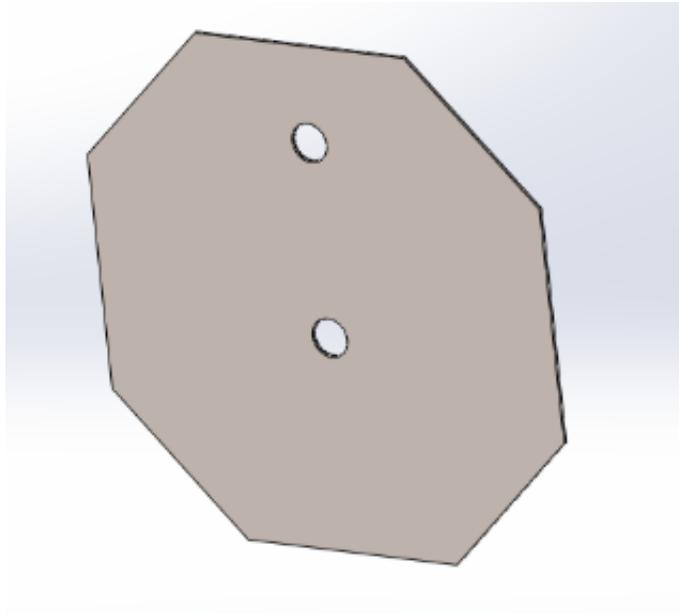
Fuente: Autores

En la placa de la figura 7.4.1 se observa un polígono que contiene tiene tres perforaciones. El orificio de la parte inferior tiene un diámetro de 10 mm y está destinado para la entrada de flujo de la solución que contiene el disolvente como agua o " H_2O " y el soluto hidróxido

de sodio o “Na(OH)”, el orificio superior centrado contiene un diámetro de 10 mm y cumple con la funcionalidad de evacuar o dar salida al gas Oxihidrógeno producido por la celda seca de electrólisis, finalmente también se observa el orificio de la parte superior izquierda con un diámetro de 7,94 mm que nos permite realizar la conexión a un electrodo de la batería ya sea el cátodo o el ánodo.

7.4.1.1.2. Placa neutra. La segunda clase se denomina placa neutra debido a que no está energizada directamente a la fuente de poder, estas placas neutras tienen la funcionalidad de dividir el voltaje para obtener parámetros de tensión óptimos que mejora el proceso de la electrólisis.

Figura 7.4.2: Placa neutra

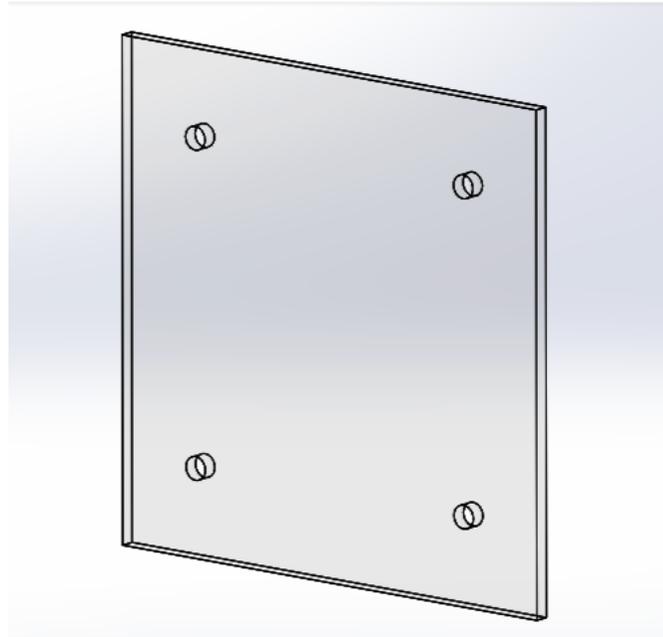


Fuente: Autores

La placa neutra que se observa en la Figura 7.4.2 contiene dos perforaciones ambas con un diámetro de 10 mm, al igual que la placa electrodo estos orificios permiten la entrada de solución de agua e hidróxido de sodio y la salida del gas oxihidrógeno, a diferencia de la placa de electrodo esta no cuenta con la muesca para realizar la conexión a un ánodo o cátodo.

7.4.1.2. Tapas de acrílico

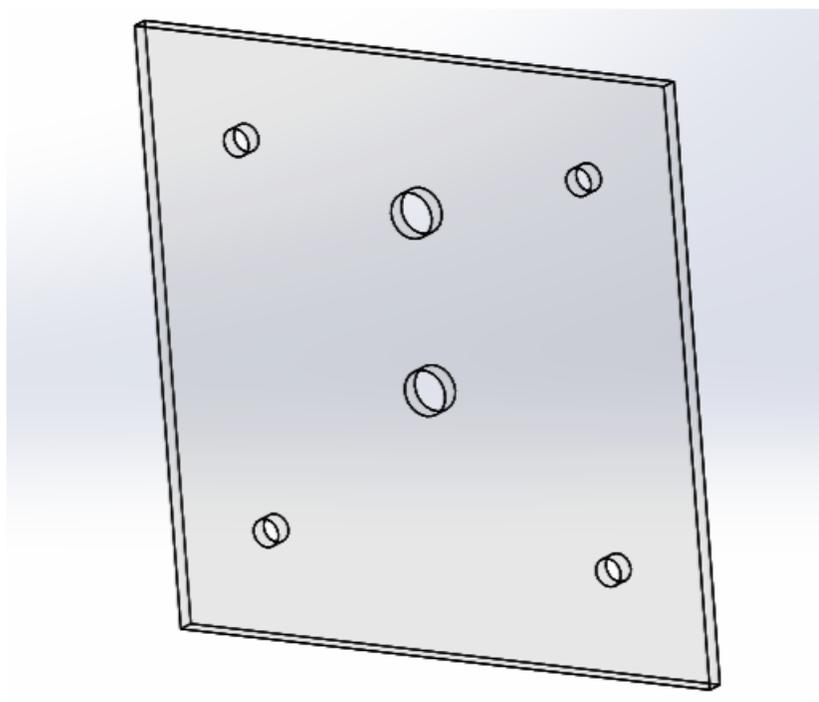
Figura 7.4.3: Tapa de acrílico



Fuente: Autores

7.4.1.2.1. Acrílico. La tapa de acrílico permite realizar presión con la ayuda de tornillos, arandelas y tuercas en los o-ring que se encuentran entre los electrodos, para evitar fugas del gas obtenido por el proceso de la electrolisis, se seleccionó el acrílico debido a sus propiedades de resistencia a la oxidación y no ser conductor de la corriente eléctrica.

Figura 7.4.4: Tapa de acrilico frontal

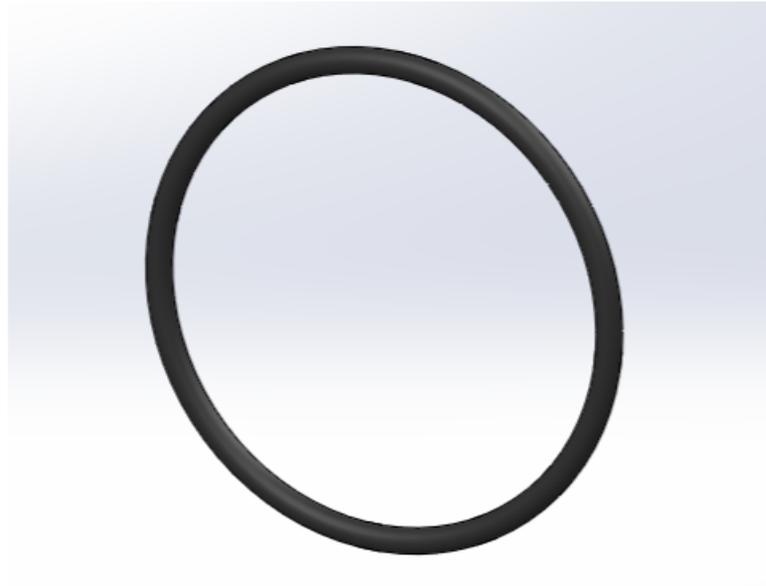


Fuente: Autores

7.4.1.2.2. Acrílico frontal. La tapa frontal de acrílico al igual que la tapa trasera de acrílico permite realizar presión en los electrodos y o'ring para evitar fugas tanto del electrolito como del oxihidrogeno obtenido, a diferencia de la tapa trasera de acrílico esta cuenta con 2 orificios el cual permiten el ingreso a la celda desde el burbujeador y la salida del gas oxígeno por el orificio de la parte superior.

7.4.1.3. O'rings

Figura 7.4.5: Oring

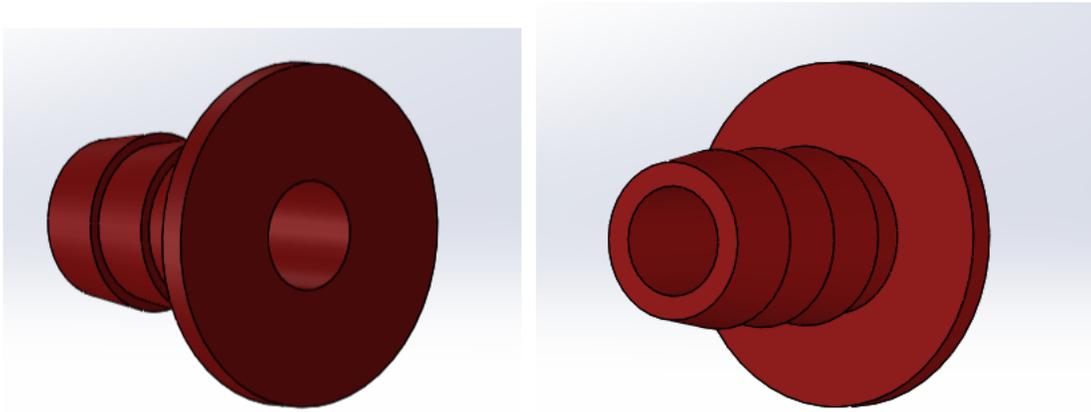


Fuente: Autores

El o´ring es una pieza de caucho fundamental en la celda seca de electrolisis ya que permite contener el fluido dentro de la celda, adicional por su propiedad de anticorrosion y resistente a la solucion de H_2O y $Na(OH)$.

7.4.1.4. Acoples

Figura 7.4.6: Acople



Fuente: Autores

El acople de plástico de un 1/2 de pulgada permite realizar la unión entre las mangueras y la celda seca sin escape del líquido y/o gas. Éstas se encuentran ubicadas en la tapa de acrílico frontal en los orificios de salida de gas y entrada del electrólito.

La arandela de caucho permite generar una mayor presión y agarre por fricción en los acoples de plástico, en el cual se asegura un sellado hermético para el gas entre el acople y el acrílico. Esto además de que pueden soportar la carga de apriete de los acoples.

7.4.1.5. Ensamblaje

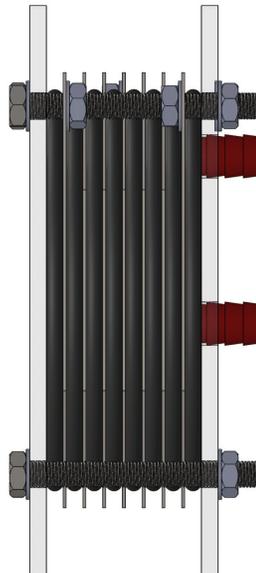
Figura 7.4.7: Vista Frontal



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

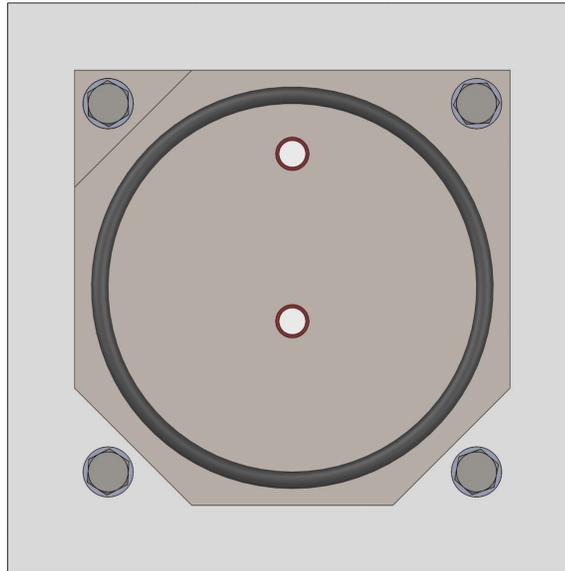
Figura 7.4.8: Vista de Perfil



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

Figura 7.4.9: Vista Trasera



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

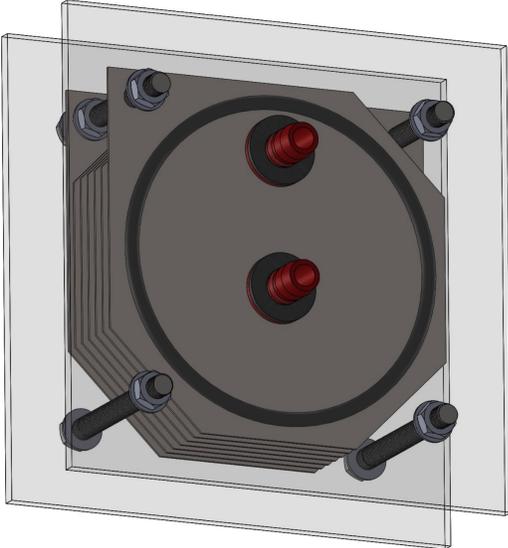
Figura 7.4.10: Vista Superior



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

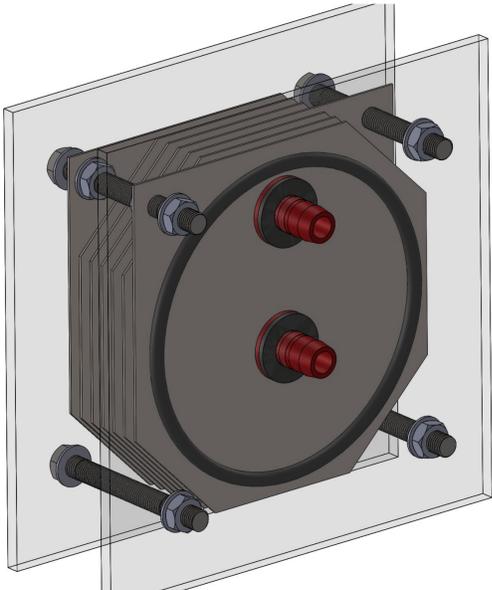
Figura 7.4.11: Vista Isométrica 1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

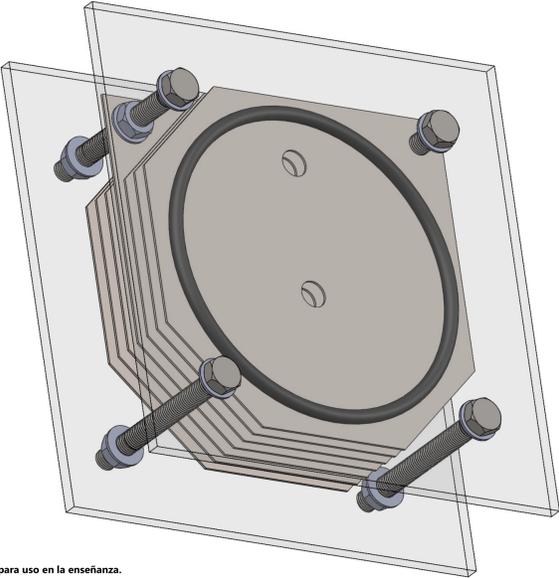
Figura 7.4.12: Vista Isométrica 2



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

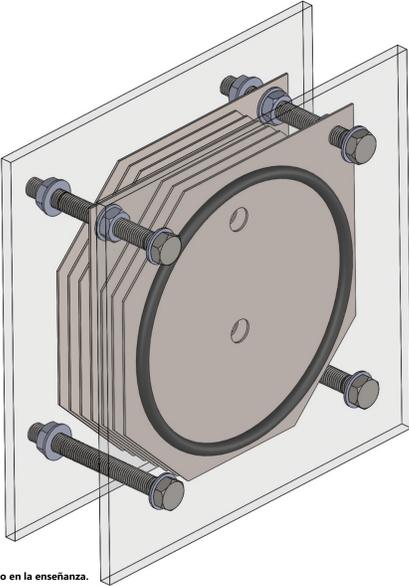
Figura 7.4.13: Vista Isométrica 3



 Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

Figura 7.4.14: Vista Isométrica



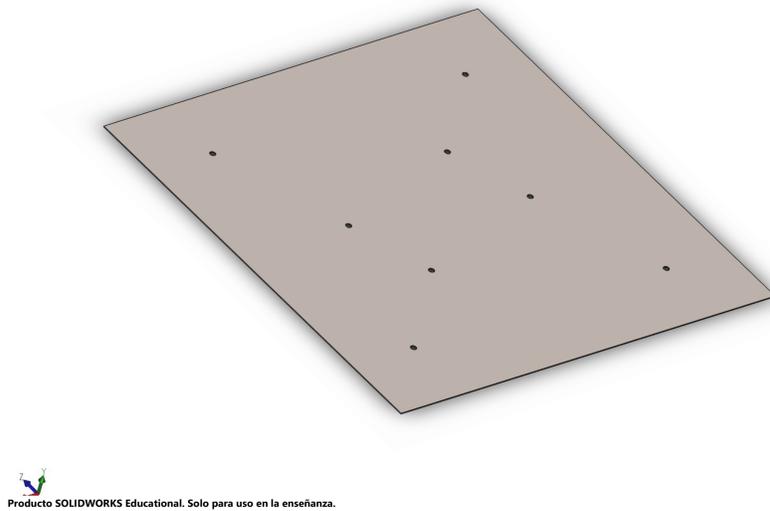
 Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

7.4.2. Banco del motor

7.4.2.1. Base motor en acero inoxidable

Figura 7.4.15: Lámina de acero



Fuente: Autores

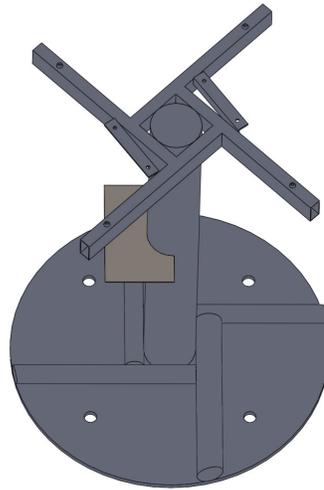
Aunque el calibre de la lámina de acero inoxidable sea exorbitantemente bajo ($18 = 1 \text{ mm}$ aprox.), se escogió para soportar la carga del motor sobre el banco tanto por sus propiedades físicas como químicas.

La tenacidad, dureza y resistencia del material metálico permiten que este mismo no se desgaste tan fácilmente por fatiga o por otra propiedad que lo deteriore en sí, pero por sobre todo, se escogió este material debido a las condiciones a las que se pueda ver sometido el sistema en general. Tanto el motor como la celda se encuentran apoyados sobre la lámina de acero debido a que el proceso electrolítico o la solución iónica en sí pueden acabar, oxidar o deteriorar ciertos materiales.

Sin embargo, el material inoxidable de la lámina posibilita trabajar de manera prolongada y sin problemas sobre el proceso electrolítico.

7.4.2.2. Base

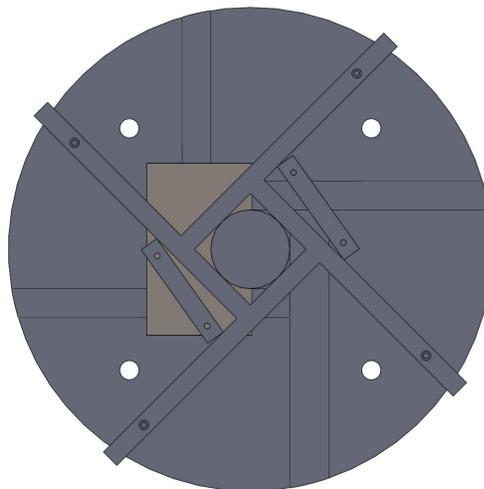
Figura 7.4.16: Base del banco (vista isométrica)



 Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

Figura 7.4.17: Base del banco (vista superior)



 Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

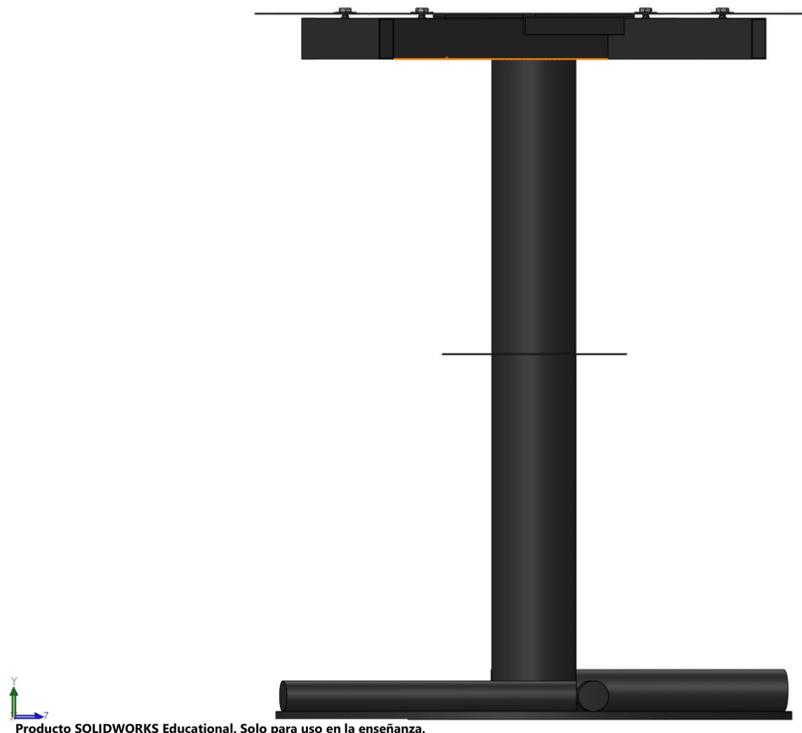
Es la raíz y principal componente del banco del motor. Hecho a base de hierro con piezas soldadas recicladas del mismo material es capaz de soportar al menos 60 kg, esto basado en las cargas a las que se ha puesto a prueba el banco.

Es un peso suficiente dado a que el motor posee una masa de 15 kg aproximadamente, además el material es altamente resistente incluso a ciertos cambios químicos del entorno. La virtud a destacar de la pieza yace en la densidad o peso del material, pues genera suficiente peso y rozamiento como para contener el movimiento del motor al ser encendido.

En mitad del poste cilíndrico que se puede ver en la *figura (7.4.21)* se encuentra soldada una pequeña lámina de acero, esta lámina es el soporte o base de la celda electrolítica que se encuentra conectada a la cámara de combustión del motor por una manguera.

7.4.2.3. Ensamblaje

Figura 7.4.18: Vista Frontal



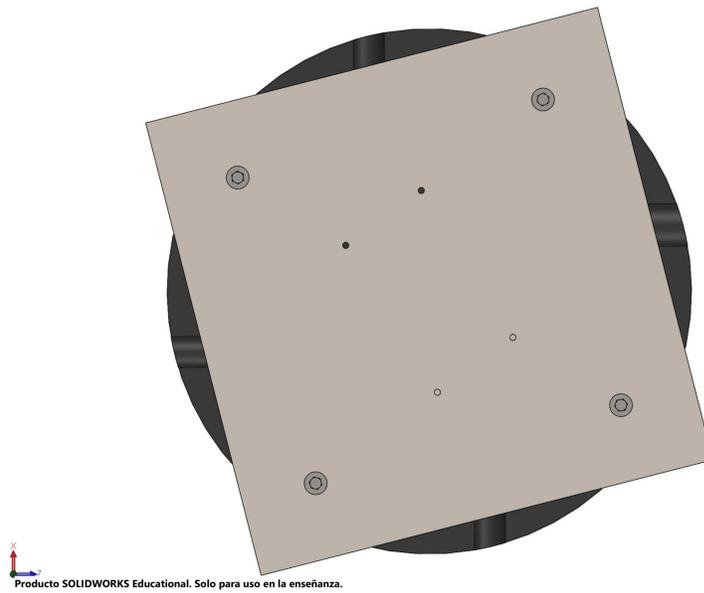
Fuente: Autores

Figura 7.4.19: Vista de Perfil



Fuente: Autores

Figura 7.4.20: Vista Superior



Fuente: Autores

Figura 7.4.21: Vista Isométrica 1



 Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

Figura 7.4.22: Vista Isométrica 2



 Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Fuente: Autores

7.5. Cálculo del cilindraje según especificaciones del fabricante

- Cálculo de la cilindrada según especificaciones del fabricante:

El motor de gasolina ciclo Otto según el fabricante es un modelo HL - 168F - 2, lo que quiere decir que, posee un cilindro con un único pistón inclinado de 25° de 4 tiempos y con 68 mm de diámetro. Por tanto, la ecuación 1 se reduce. Además, el “stroke” o carrera está subordinada a los tiempos de compresión, expansión, escape y admisión del cilindro con un desplazamiento de 45 mm.

$$V = \pi \left(\frac{bore}{2} \right)^2 stroke \cdot (N_{cilindros}) = \pi \left(\frac{bore}{2} \right)^2 stroke \quad (7.5.1)$$

$$V = \pi \left(\frac{68 \text{ mm}}{2} \right)^2 \cdot 45 \text{ mm} \quad (7.5.2)$$

$$V = 163425 \text{ mm}^3 \approx 163 \text{ cm}^3 \quad (7.5.3)$$

7.6. Cálculo de la cantidad máxima de hidrógeno obtenida

Como ya se mencionó anteriormente, la cantidad máxima de hidrógeno producida por la celda (MH) depende de las especificaciones geométricas de las placas electrodos de acero inoxidable (Área activa) y de la corriente de soporte de la celda (I_s). Entonces se procede a determinar cada una.

se tiene que,

el área activa representa la geometría del polígono de la placa polar o electrodo de acero (Ver apéndice A.5) 71, al modificar la ecuación (6.6.1) según los ajustes pertinentes geométricos de la placa polar se obtiene la siguiente ecuación:

$$a_{activa} = a_{cuadro} - 3(a_{triangulo}) - a_{circulo} - a_{juntas} \quad [cm^2] \quad (7.6.1)$$

$$a_{cuadro} = (65\text{mm} \cdot 2)^2 \quad a_{trangulo} = \frac{35\text{mm} \cdot 35\text{mm}}{2} \quad a_{crculo} = \pi \cdot (7,94\text{mm})^2$$

$$a_{cuadro} = 169 \text{ cm}^2 \quad a_{trangulo} = 6,125 \text{ cm}^2 \quad a_{crculo} = 1,9806 \text{ cm}^2$$

Las áreas a_{cuadro} , $a_{trangulo}$ y a_{crculo} representan las areas necesarias para restar y obtener el área del poligono que contiene el acero de la placa polar o placa electrodo (Lugar donde se produce la electrólisis por oxido-reducción de la celda electrolítica), (Ver Electrodo) II.

Es decir que, éstas áreas caracterizan o representan a "a_s" de la ecuación (6.6.1), recordemos que ésta simboliza el área superficial total del polígono de la placa electrodo.

El área de las juntas por otro lado, son el área ocupada por dos pequeños círculos de 10 mm de diámetro cada uno; donde se encuentran los acoples acople y manguera que transportan HHO y la disolución iónica de la celda electrolítica.

$$a_{juntas} = 2(\pi \cdot (10\text{mm})^2) = 6,283 \text{ cm}^2 \quad (7.6.2)$$

reemplazando esta ecuación y todas las expresiones que figuran a las áreas restantes (a_{cuadro} , $a_{trangulo}$ y a_{crculo}) en la ecuación (7.5.4) y resolviendo matemáticamente, se tiene que:

$$a_{activa} = 169 \text{ cm}^2 - 3(6,125 \text{ cm}^2) - 1,9806 \text{ cm}^2 - 6,283 \text{ cm}^2 \quad (7.6.3)$$

$$a_{activa} = 142,361 \text{ cm}^2 \quad (7.6.4)$$

Los **142,361 cm²** son la superficie real de área activa donde se produce el proceso de oxido-reducción por conducción eléctrica, debido a que está conectada a la batería eléctrica de 12 v usada para alimentar el sistema.

Ahora se procede a determinar la corriente de soporte máxima en la celda electrolítica. Con el

área activa obtenida se procede a reemplazar su correspondiente valor en la ecuación (6.6.2)

$$I_s = \frac{0,084 A}{1 cm^2} \cdot 142,361 cm^2 \quad (7.6.5)$$

$$I_s = 11,96 A \quad (7.6.6)$$

11,96 A de corriente son necesarios para sobrecalentar y estropear la celda. Es un valor motivante y ameno debido a que es un valor demasiado alto para alcanzar o generar, esto manifiesta una alta seguridad eléctrica sobre el sistema y la celda en específico.

Finalmente, se determina la producción máxima de hidrógeno que puede producir la celda como generador. Sustituyendo la corriente de soporte máxima en la ecuación (6.6.3) se obtiene aquel límite aproximado superior de HHO que puede generar la celda electrolítica.

$$MH = 11,96 A \cdot \frac{64 ml/min}{1 A} \quad (7.6.7)$$

$$MH = 765,44 ml/minuto \approx 0,8 LPM \quad (7.6.8)$$

7.7. Verificación del rendimiento ideal

Se procede a verificar y/o constatar si la producción máxima de hidrógeno generada por la celda electrolítica es ideal, pertinente y adecuada para un motor de gasolina 4T monocilíndrico de tipo ciclo Otto modelo HL - 168F - 2.

Con la producción máxima anteriormente calculada (MH) y la tasa de producción ya predefinida (HI) al igual que el tamaño del motor (V) (Ver Cantidad de hidrógeno ideal) 23, se sustituyen estos respectivos valores en la desigualdad (6.6.4).

se tiene que,

$$0,8 L \geq \frac{0,15 L/minuto}{1 L} \cdot 0,163 L \quad (7.7.1)$$

Se opera la parte derecha de la desigualdad para obtener la cantidad ideal de producción de hidrógeno del motor en cuestión y se compara con la producción máxima de hidrógeno en la celda:

$$0,8 L \geq 0,02445 L \quad (7.7.2)$$

Los 0.02445 L denotan la cantidad ideal de producción de hidrógeno del motor, esto quiere decir que el motor de 0.163 L conseguirá mejores resultados con un generador o celda que produzca hidrógeno a una tasa de 0.02445 L/minuto.

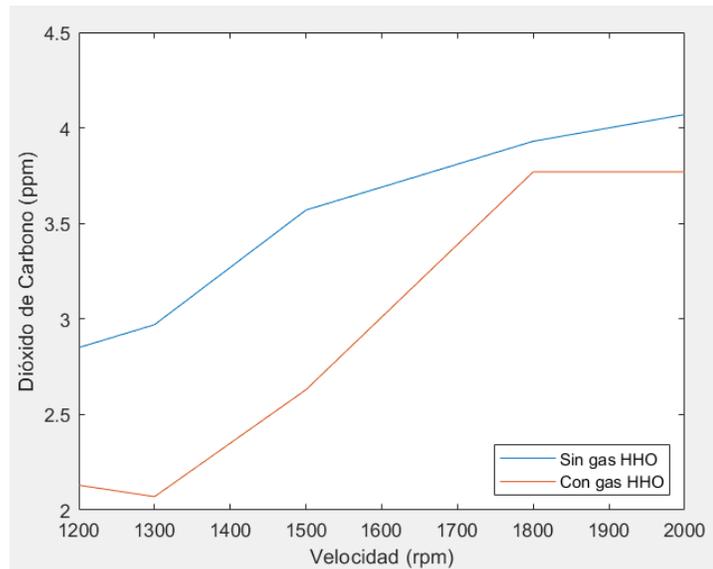
Ahora, Al cumplirse la desigualdad se comprueba que la celda o generador de hidrógeno es apto para cumplir los estándares del rendimiento electrolítico adecuado para el motor ya mencionado. No obstante, lo más relevante de los resultados es que estos también cumplen lo inicialmente deseado, pues la producción máxima de la celda electrolítica (MH) es hasta 30 veces mayor que la cantidad ideal de producción de hidrógeno del motor, resultados favorables para una eficiente producción de HHO para el motor.

Capítulo 8

Análisis y resultados

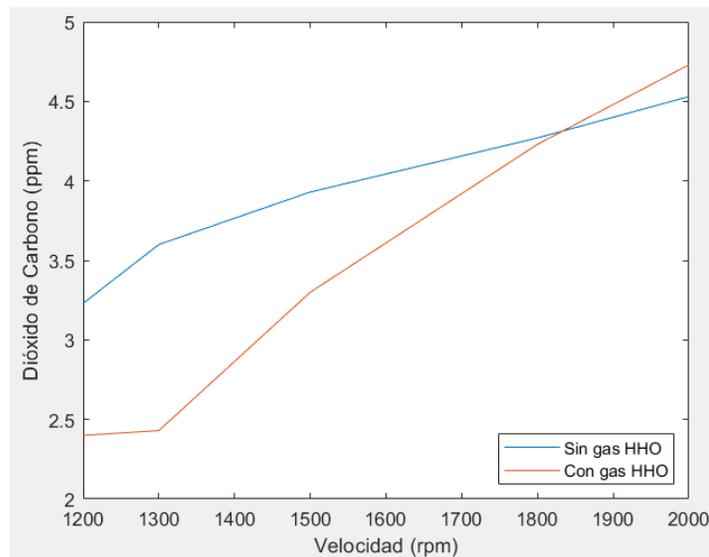
En este apartado se muestran los resultados obtenidos por equipos calibrados en los cuales se toman como referencia para ajustar los sensores adquiridos, adicionalmente se tienen en cuenta condiciones iniciales de operación para obtener resultados más comprensibles dependiendo del entorno donde se realizó la adquisición de datos. A la hora de cuantificar las magnitudes se tuvieron en cuenta la temperatura ambiente que correspondía a $16\text{ }^{\circ}\text{C}$, adicionalmente se realizó un calentamiento del motor de 5 minutos para empezar a tomar los datos por los dispositivos de ajuste y posteriormente con los sensores implementados, la concentración de oxígeno se obtuvo una magnitud inicial de 11.4 ppm y posteriormente implementada la celda el volumen de oxígeno aumentó a 15.4 ppm.

Figura 8.0.1: Analisis de dióxido de carbono con dispositivo de ajuste



Fuente: Autores

Figura 8.0.2: Analisis de dióxido de carbono con sensores

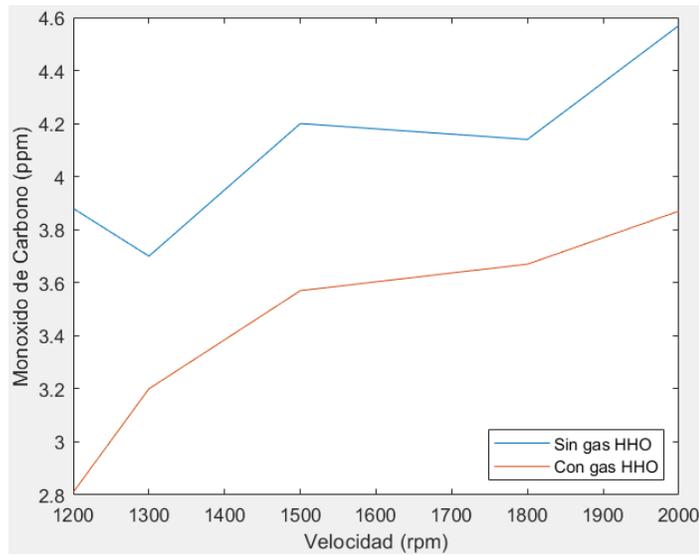


Fuente: Autores

En un principio se observa mediante los datos obtenidos, tanto de los dispositivos de ajuste como los sensores implementados, el dióxido de carbono disminuye con la aplicación del gas HHO, excepto en la figura (8.0.2) cuando se mide con los sensores a partir de 1800 rpm, se puede percibir gráficamente un ligero aumento con la aplicación del gas, esta alteración se origina por las condiciones ambientales (temperatura) y principalmente por las vibraciones

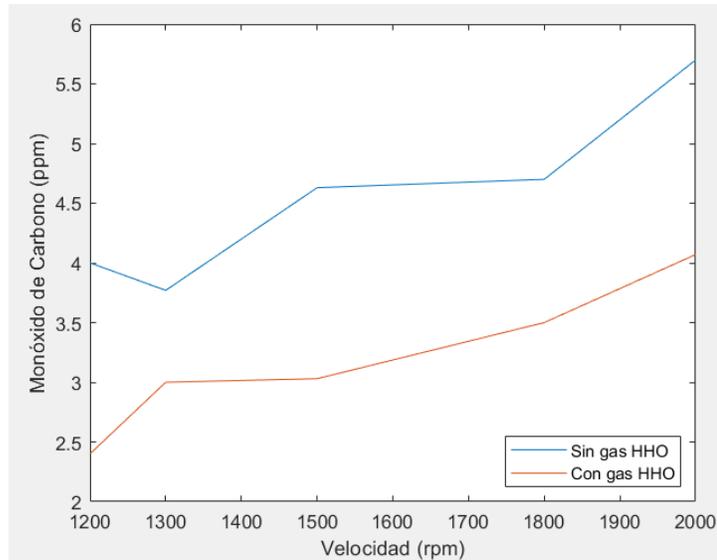
generadas por el motor.

Figura 8.0.3: Analisis de monoxido de carbono con dispositivos de ajuste



Fuente: Autores

Figura 8.0.4: Analisis de monoxido de carbono con sensores

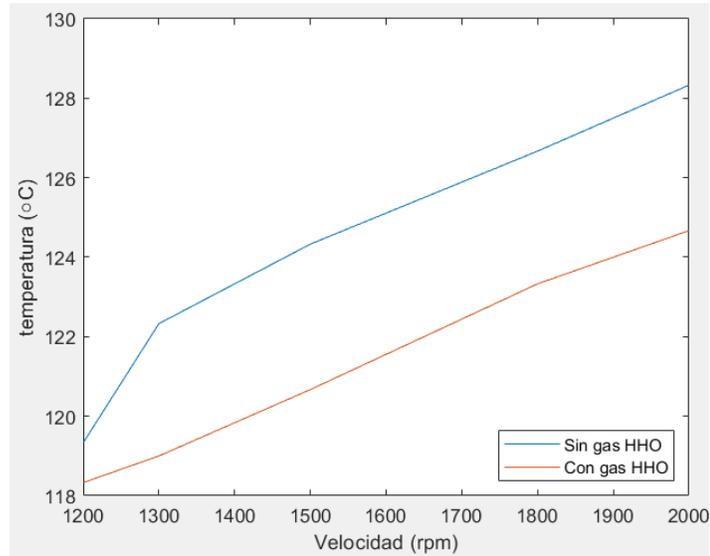


Fuente: Autores

Se observa gráficamente que el volumen del gas de monóxido de carbono disminuye con la aplicación de HHO en la cámara de combustión, de acuerdo con la teoría planteada. El volumen del monóxido de carbono disminuye 1.1 ppm cuando se encuentra a 1200 rpm, adicionalmente los niveles de monóxido de carbono van en aumento debido a que el flujo del

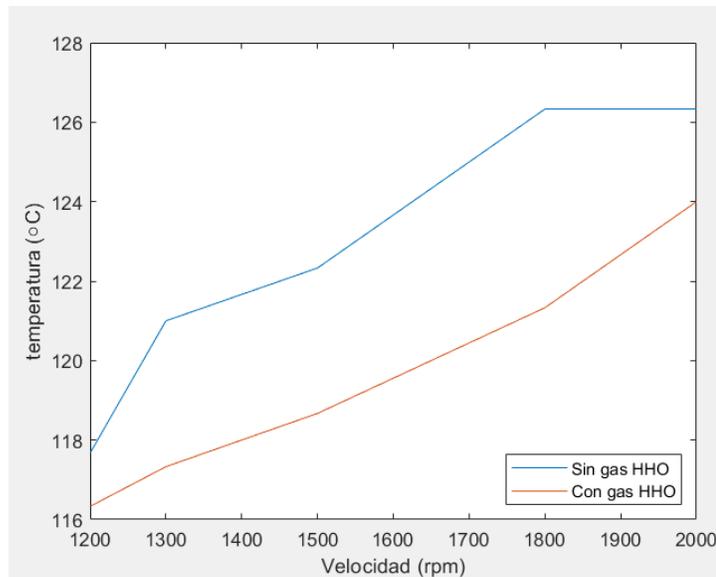
HHO es constante y las revoluciones aumentan por ende es menor el volumen suministrado.

Figura 8.0.5: Analisis de temperatura con dispositivo de ajuste



Fuente: Autores

Figura 8.0.6: Analisis de temperatura con sensores



Fuente: Autores

Realizando la comparacion de las Figuras (8.0.5 y 8.0.6) en donde se muestra los resultados obtenidos por los dispositivos y sensores de temperatura, se analiza las magnitudes y se determina una disminucion por la aplicacion del HHO en el sistema, tambien se determina

que con la activación de la celda de electrolítica se amortigua la temperatura dentro de las revoluciones de 1200 a 1500 y posteriormente vemos un cambio relativamente mayor.

Capítulo 9

Conclusiones

- Al medir, medir u obtener los valores de las variables secundarias (temperatura, revoluciones y dióxido de carbono) necesarias para comprobar o analizar la eficiencia del motor con o sin el uso de OHH, se manifiesta que aunque no haya un cambio significativo favorable para éstas (aumento cuantitativo) de igual forma se comprueba que no hay pérdida de eficiencia en el motor. Pues lo imprescindible del asunto es la **conservación de la eficiencia energética** más que del **aumento** de la misma.
- El hidrógeno generado por el método de la electrólisis no es suficiente para ser usado como combustible neto o total, debido a que sería necesario de una gran cantidad de energía para producir el suficiente gas.
- Teniendo en cuenta que los análisis de la adquisición de gases están basados en una referencia de oxígeno en ppm alta por la exposición del escape. Sin embargo, lo imperante en la práctica es la comprobación de la reducción de gases contaminantes por el uso de OHH como aditivo o combustible alternativo
- Gracias al uso del sistema ADC y del sistema hardware (microcontrolador y sensores programados digitalmente), y de los algoritmos con la programación implementada; la comparación entre los sensores instalados y los dispositivos de prueba o ajuste según las magnitudes físicas medidas es demasiado favorable... Pues el margen o diferencia de valores arrojados por los sensores instalados es muy cercana a los de ajuste, aunque más imprecisos de cierta manera en la toma de datos.

- Por medio de los sistemas digitales implementados en el prototipo junto con los dispositivos de ajuste se da cumplimiento al aspecto más fundamental, primordial y relevante del proyecto. Pues se comprueba según lo medido en los sensores instaurados y de ajuste que el monóxido de carbono disminuye 1.6 y 0.67 ppm respectivamente en un rango entre 1200 y 2000 rpm.
- La paleta incorporada y ensamblada al eje del motor que es proporcional a la velocidad del cigüeñal, resulta ser el elemento más idóneo, apropiado o adecuado para comprobar la energía mecánica resultante del motor. Pues la paleta al ser la rueda de medición del sensor óptico de herradura o encoder no solo es la paradigma apta sino la técnica pertinente para la comprobación de la energía mecánica resultante, ya que, esta rueda de medición permite generar junto al encoder un valor cuantitativo medido digitalmente que da un punto de vista más técnico, preciso, prolijo y minucioso sobre la potencia y energía mecánica que implica al motor.
- La conservación de la eficiencia energética esta estrechamente subordinada a la manipulación del prototipo y del motor en particular, por ende, para inhibir cambios o pérdidas en la eficiencia se deben tener muy en cuenta las recomendaciones ligadas a estos cambios en el presente documento. Por tal motivo, se hace hincapié a las recomendaciones de perturbaciones, electrólisis de agua y oxígeno para la preservación de la eficiencia.

Capítulo 10

Recomendaciones

10.1. Hidróxido de Sodio

EL hidróxido de sodio $Na(OH)$ o soda cáustica como coloquialmente se le conoce, es en general un compuesto de mucha precaución. Su cuidado depende de la pureza con la que se está operando o manipulando e incluso de su comportamiento en soluciones habitualmente acuosas.

Por tal motivo se exponen las recomendaciones y cuidados que se debe tener en cuenta con este compuesto a partir de su descripción técnica, además de ello, se presenta el cálculo de pH determinado a partir de la solución acuosa realizada para el proceso electrolítico. Ya que, al considerarse una base fuerte con un pH sustancial y peculiarmente alto permite una conductividad eléctrica adecuada para el desarrollo electroquímico del sistema.

Este cálculo permite conocer que tan corrosivo puede ser el compuesto al ser diluido en agua según el nivel de concentración de iones de hidrogeno (ver ionización y pH) III.

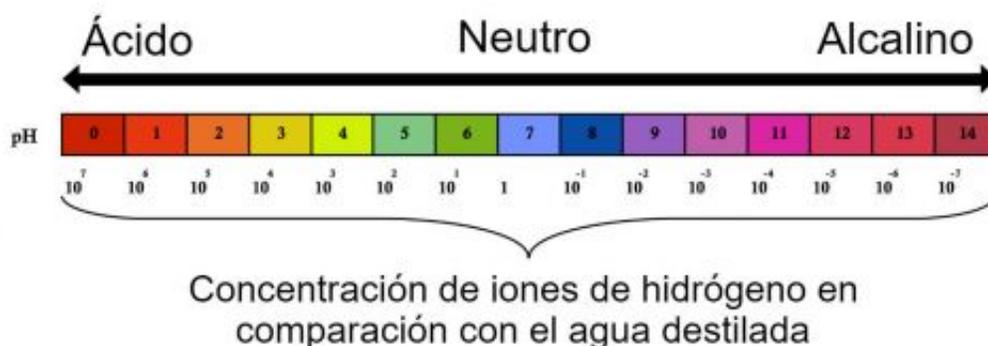
10.1.1. Ficha técnica

El hidróxido de sodio como soluto usado en la disolución electrolítica contiene una pureza del 99 % entonces se tiene que:

10.1.2. pH en disolución

Como bien se sabe o ya se ha mencionado El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. Este coeficiente es medible por medio de ionización gracias a la característica polar del agua y a su vez a los puentes de hidrógeno que establecen igualmente las moléculas de agua. La escala que clasifica a las sustancias puras por su fase acuosa o disolución en agua permite saber que tan corrosiva o peligrosa puede llegar a ser la sustancia.

Figura 10.1.1: Nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia pura



Fuente: <https://s1.significados.com/foto/escala-ph2 bg.jpg>

10.1.2.1. Cálculo del nivel de pH

Para ello se definirá y determinara inicialmente la concentración molar de la disolución entre el hidróxido de sodio y el agua.

La molaridad no es más que la medida de la concentración de carácter molar entre el Na(OH) y el agua y se define matemáticamente como:

$$M = \frac{n_{moles}}{V_{dis}} \quad (10.1.1)$$

Donde n_{moles} es el número de moles del soluto y V_{dis} el volumen de la solución electrolítica.

Así mismo:

$$n_{moles} = \frac{m_{sol}}{PM} \quad (10.1.2)$$

Donde m_{sol} es la masa del Hidróxido de sodio (soluto) en gramos y por pertinencia de la práctica se tiene que es de unos **50 g** aprox.

También se considera la masa o peso molecular del soluto simbolizado como PM , para el $Na(OH)$ se sabe que es de **40 g/mol**.

Reemplazando en la ecuación (10.1.2), se tiene que:

$$n_{moles} = \frac{50 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 1,25 \text{ mol} \quad (10.1.3)$$

Ahora, sabiendo que el volumen de solución con base fuerte es de 1 L y reemplazando en la ecuación (10.1.1) se tiene que que la Molaridad o concentración molar es igual a:

$$M = \frac{1,25 \text{ mol}}{1L} = 1,25 \text{ M} \quad (10.1.4)$$

Concentración del $Na(OH)$ en el agua:

	$Na(OH)$	$H_2O \longrightarrow$	Na^+	OH^-
Concentración inicial	1.25 M		x	x
Concentración finalzs	x		1.25 M	1.25 M

Tabla 10.1.1: Concentración del Hidróxido de sodio al diluirse

Fuente: Autores

Ahora, se procede a determinar el nivel de pH del Na(OH) diluido en agua a partir del pOH:

$$[\text{Na(OH)}] = 1.25 \text{ M}$$

$$pOH = -\text{Log}[(OH)^-] = -\text{Log}(1,25) \quad (10.1.5)$$

$$pOH = -0,0969 \quad (10.1.6)$$

Por último, se halla el pH según la representación matemática de ambos coeficientes:

$$pH + pOH = 14 \quad (10.1.7)$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - (-0,0969) \quad (10.1.8)$$

$$pH = 14,1 \quad (10.1.9)$$

El pH del Na(OH) a 50 gramos en una solución de 1L es un pH demasiado básico y al superar los 14 de concentración en iones de Hidrógeno manifiesta que la disolución que se encuentra en la celda electrolítica es demasiado corrosiva, y en tiempos prolongados puede llegar a afectar los materiales de los que está construida la celda electrolítica.

Por ende, se recomienda usar la *disolución iónica básica* exclusivamente cuando se requiera obtener hidrógeno de la celda electrolítica, es decir, procurar no tener la disolución para reposar en la estructura física de la celda por un tiempo demasiado largo.

10.2. Oxígeno (O_2)

Para evitar una adquisición imprecisa y confusa de datos en cuanto al análisis de gases contaminantes e hidrocarburos, se recomienda adaptar al escape del motor en cuestión una adecuación que aumente la velocidad del flujo de salida (evidentemente modificando la presión de la misma). Además de procurar que la salida no tenga una abrupta exposición al medio.

Pues la salida del motor al verse demasiado expuesta al oxígeno del medio o del entorno altera los resultados en **ppm** de los gases que libera el motor después de su combustión.

10.3. Electrólisis de agua

El proceso electroquímico que constituye la electrólisis de agua de por sí requiere de particulares cuidados minuciosos y deliberados que si no se manejan rigurosamente terminan en situaciones fatales tanto para el sistema en sí como para el usuario que lo maneja.

Debido a eso, se presenta una lista de recomendaciones cortas pero imprescindibles para el manejo adecuado de una celda electrolítica y lo que ello compone.

- Siempre se debe usar **corriente directa** o **continua** para alimentar el sistema electrolítico. El uso de **corriente alterna** puede ocasionar deterioro inmediato de la célula o celda electrolítica.
- Asegurar que los electrodos de la celda electrolítica esten libre de todo tipo de contacto y evitar conectarlos con algún tipo de conductor mientras se encuentra en modo de carga (batería suministrando energía eléctrica al ánodo (+) y cátodo (-)).

El contacto entre electrodos en etapa de carga ocasiona un puente que evita el proceso electrolítico sobre el agua, esto de cierta manera causa sobrecalentamiento por corto a la batería y terminará dañandose por quemadura interna y en el peor de los casos por explosión.

- Tener en cuenta que el proceso de oxido - reducción ocasionado por la electrólisis para la separación de los átomos de agua, ya sea en hidrógeno diatómico y Oxígeno o Oxihidrogeno... produce estas sustancias en un estado de fase gaseoso.

El estar en estado gaseoso las convierte en sustancias demasiado peligrosas porque al ser netamente incoloras e inoloras es difícil de notarlas en el entorno, pues estos elementos o compuestas son muy combustibles. Sin embargo, el verdadero problema yace al mezclarse los gases resultantes pues estos se convierten en una mezcla aún más peligrosa que al estar separados.

Para el problema de la mezcla está el burbujeador del sistema, que es aquel contenedor que transfiere la disolución iónica y que recibe los gases producidos. Gracias a este contenedor los gases pueden ser controlados, por tanto, la recomendación está en la verificación hermética del contenedor al momento en el que la celda electrolítica esté en modo de carga. EL contenedor no se debe mover demasiado y en lo posible no debe estar inclinado, así mismo, la dosificación o la manguera conductora del gas hacia el contenedor y viceversa debe estar muy bien ajustada a los acoples de la celda y ésta no debe recibir ningún tipo de presión o movimiento violento durante el proceso de **carga** y **descarga** de la celda.

10.4. Perturbaciones

Ligeros detalles que aparentemente en un principio pueden parecer sutiles e irrelevantes pueden llegar a generar un cambio significativo en los resultados esperados.

Las perturbaciones generadas al momento de manipular y encender el motor afectan directamente las medidas obtenidas por los sensores implementados. Estas perturbaciones son producidas por las vibraciones y condiciones del entorno en las que se encuentra el motor, por tal motivo, se recomienda que tanto el motor como su base se encuentren en una superficie en lo posible lisa y plana de lo contrario se formarían las perturbaciones ya mencionadas.

El dilema de las perturbaciones a largo plazo es que éstas afectan los valores cuantitativos de manera relativa, y debido a que los sensores trabajan con un algoritmo y parámetros predeterminados es difícil ó imposible saber con precisión cuanto se han afectado los valores para tener en cuenta sobre el valor real.

Entonces, para reducir la incertidumbre del valor real de las magnitudes obtenidas se debe procurar manejar un espacio o ubicación pertinente para el motor.

No está de más mencionar que la falta de combustible genérico (gasolina) debe ser la ideal y la

suficiente para el motor. Pues la falta de ésta evidentemente afecta el rendimiento del motor, por tanto, también se debe procurar revisar antes de la toma de mediciones la cantidad de gasolina y aceite apropiado del motor.

Capítulo 11

Referencias Bibliográficas

- [1] T. Nabil, Efficient use of Oxy-hydrogen gas (HHO) in vehicle engines, *Journal European des Systemes Automatisés*, Vol. 52, No. 1, 2019, pp. 87-96
- [2] E. M. Galeano, and F. E. Aponte. "Construcción de un banco experimental con motor Corsa Opel 1,4L con implementación de conector de diagnóstico OBDII y construcción de generador HHO para su instalación en el banco." Trabajo de grado, UAN, Bogota, 2020.
- [3] U. Chukwu, T McAlister, and M Moeller, " Oxy-Hydrogen Generator for Improving the Efficiency of an Internal Combustion Engine: A Sustainable Energy Project", in "IEEE SoutheastCon 2020", Orangeburg, U.S.A., 2020, pp. 0-2.
- [4] M. S. Gad, M. M. A. Sayed and T. A. Mahmoud, "Impact of HHO gas on diesel engine performance and emissions," 2020 IEEE Aerospace Conference, 2020, pp. 1-10, doi: 10.1109/AERO47225.2020.9172357.
- [5] G. D'Ovidio, C. Masciovecchio and N. Rotondale, "City bus powered by hydrogen fuel cell and flywheel energy storage system," 2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC), 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEVC.2014.7056107.
- [6] R. Amalia, J. Pratilastiarso, H. E. Gayuh Prasetya and M. Yanuar Risqi Fadhillah, "Performance and Exhaust Gas Analysis Of A Four Stroke Engine Using Oxy hydrogen Gas As Supplementary Fuel," 2018 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA), 2018, pp. 139-144, doi: 10.1109/ELECSYM.2018.8615489.

- [7] Naylamp mechatronics. TUTORIAL SENSORES DE GAS MQ2, MQ3, MQ7 y MQ135 [Online] Available: https://naylampmechatronics.com/blog/42_tutorial-sensores-de-gas-mq2-mq3-mq7-y-mq135.html
- [8] L. Llamas (2016, oct 16) Detector de gases con arduino y la familia de sensores MQ [Online] Available: www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/
- [9] "Substance Information - ECHA," Europa.eu, 2021. <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.010.118> (accessed Nov. 17, 2021).
- [10] K. Sircar, J. Clower, M. kyong Shin, C. Bailey, M. King, and F. Yip, "Carbon monoxide poisoning deaths in the United States, 1999 to 2012," *The American Journal of Emergency Medicine*, vol. 33, no. 9, pp. 1140–1145, Sep. 2015.
- [11] Committee on Medical and Biological Effects of Environmental Pollutants. "Carbon Monoxide". Washington, D.C.: National Academy of Sciences, vol 1, p. 29
- [12] M. V. Alons, "La emisión de aerosoles de partículas y gases en motores Diésel", *seguridad y salud en el trabajo (INSHT)*, no.73, pp. 14-26, Julio 2013.
- [13] V. P. Artigas (2014, Mayo 06). Principales contaminantes del aire (2da ed.) [Online]. Disponible en: [montevideo . gub . uy / areas - tematicas / ambiente / calidad - de l -aire /principales-contaminantes-del-aire](http://montevideo.gub.uy/areas-tematicas/ambiente/calidad-de-l-aire/principales-contaminantes-del-aire)
- [14] C. M. White, R. R. Steeper, and A. E. Lutz, The hydrogen-fueled internal combustion engine: a technical review, ' *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 31, no. 10, pp. 1292±1305, Aug. 2006.
- [15] M. Gutierrez and S. Iturralde, *Fundamentos básicos de instrumentación y control*. primera edición.2017
- [16] T.L. Floyd, "INTRODUCCIÓN AL PROCESAMIENTO DIGITAL DE LA SEÑAL", *Fundamentos de sistemas digitales*, 9a ed. Lugar de publicación: PEARSON EDUCACIÓN S.A., 2006, cap. 13, p. 836. [En línea]. <https://electronicautm.files.wordpress.com/2014/06/fundamentos-de-sistemas-digitales-floyd-9ed.pdf>
- [17] www.insst.es/documents/94886/175731/N%C3%BAmero+73+%28versi%C3%B3n+pdf%29/0f307c04fc06-4bd3-8bc9-f82de8702656

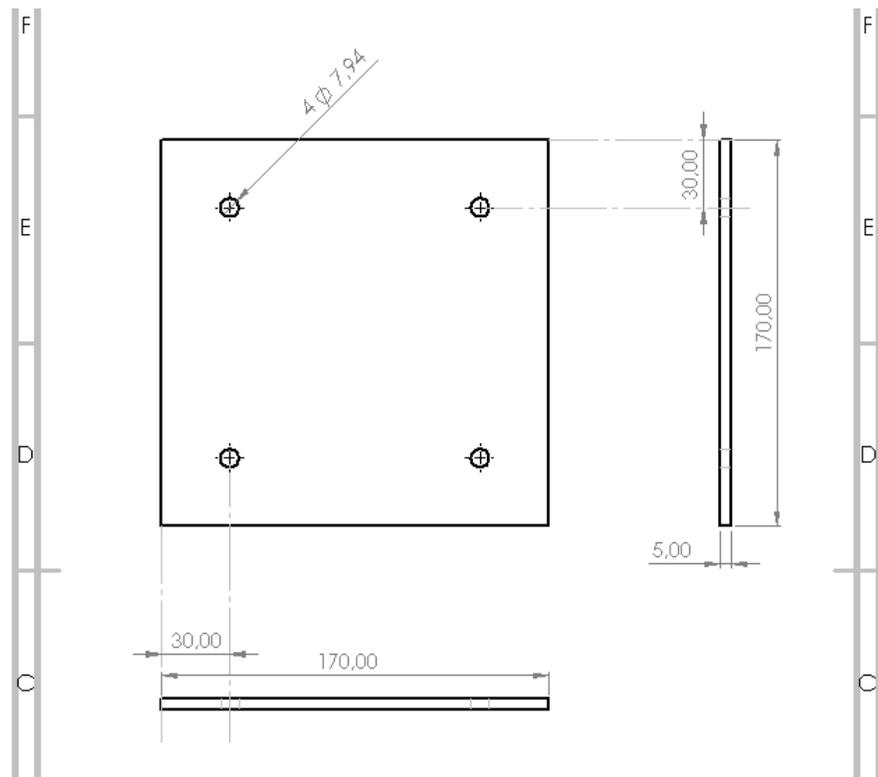
- [18] A. Mendez (2010, May 10), Ecuación de Nernst, [Online]. Available: <https://quimica.laguia2000.com/ecuaciones-quimicas/ecuacion-de-nernst>.
- [19] A.E. Navarro Frómata, (2019, Nov. 23). "EL CICLO OTTO". [Internet]. Disponible en https://navarrof.orgfree.com/Docencia/Termodinamica/CiclosGeneracion/ciclo_otto.htm
- [20] MathWorks, "Esquema de comunicación E/S matlab y hardware". [Internet]. Disponible en <https://es.mathworks.com/products/hardware/arduino.html/>
- [21] Moviltronics S.A.S., "Sensor de Herradura Modulo". [Internet]. Disponible en <https://moviltronics.com/tienda/sensor-herradura-f249/>
- [22] Mactronica, "Sensor termocupla Max 667539". [Internet]. Disponible en <https://www.mactronica.com.co/sensor-termocupla-con-max667539>
- [23] J Cedrón , V Landa, J Robles, (2011). "Celdas Electrolíticas". [Internet]. Disponible en <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/43-celdas-electroliticas.html>
- [24] Hidrógeno como solución, (2012). "Construcción de la celda seca". [Internet]. <https://hidrogenocomosolucion.wordpress.com/el-generador/>

Apéndice A

Celda electrolítica

A.1. Tapa de acrílico

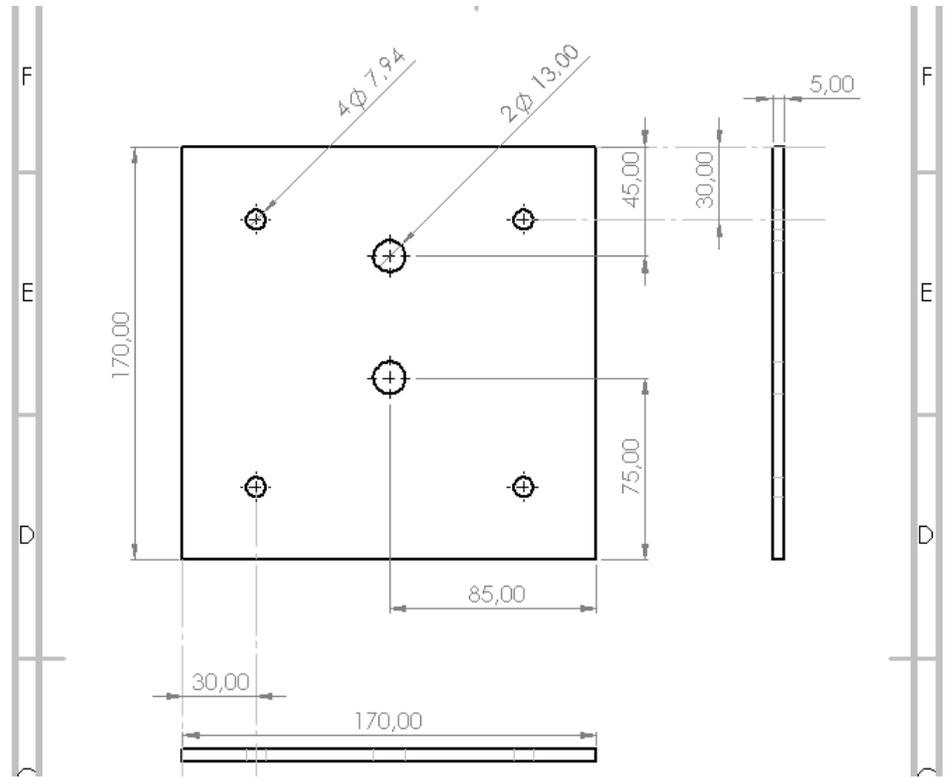
Figura A.1.1: Tapa de acrílico



Fuente: Autores

A.2. Tapa de acrilico frontal

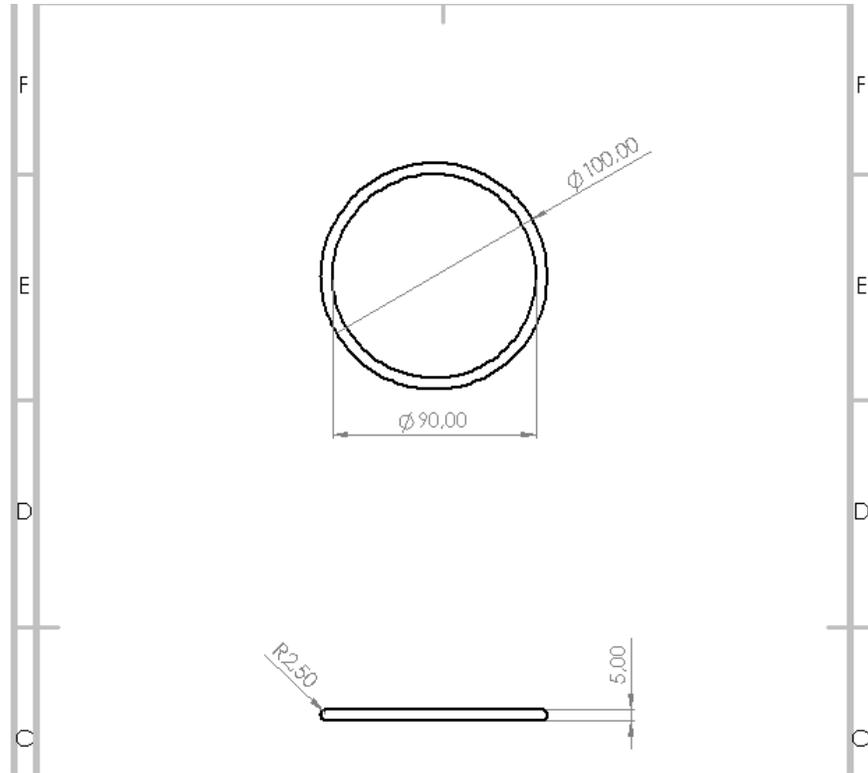
Figura A.2.1: Tapa acrilico frontal



Fuente: Autores

A.3. O'ring

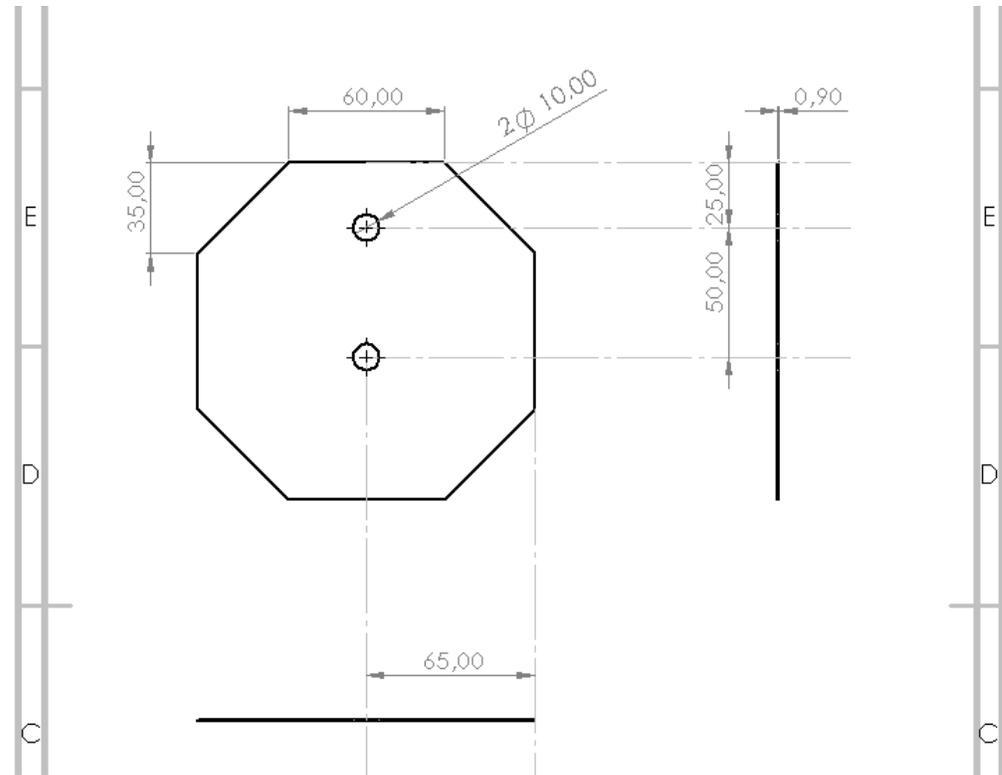
Figura A.3.1: O'ring



Fuente: Autores

A.4. Placa neutra

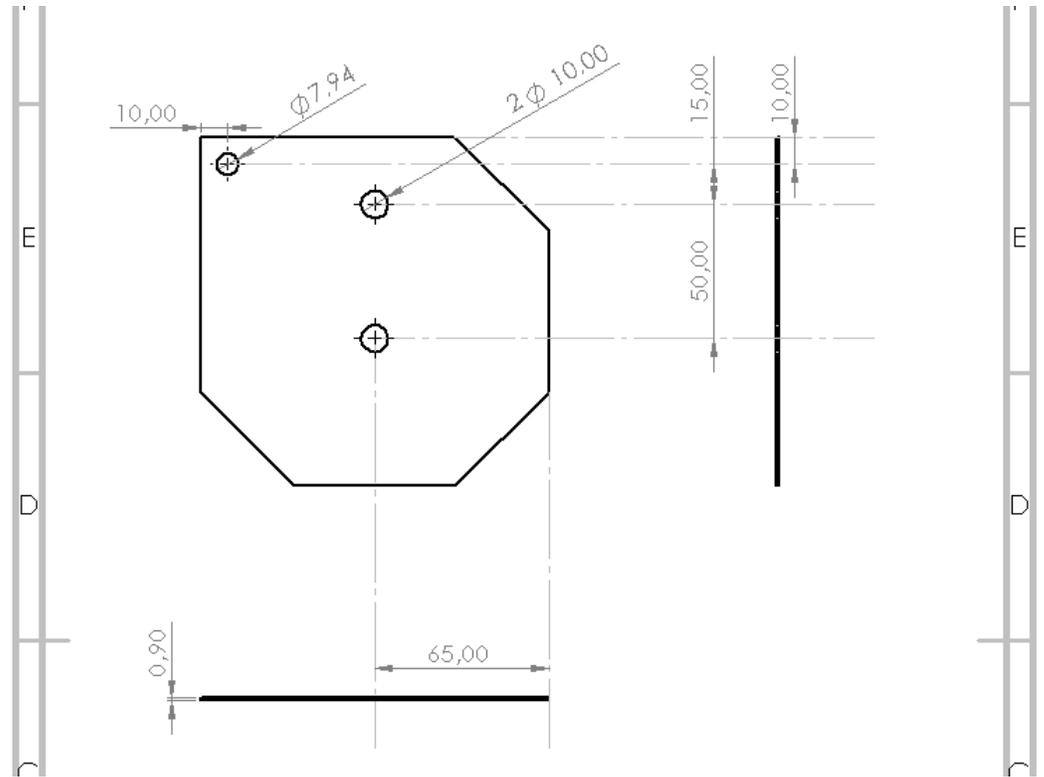
Figura A.4.1: Placa neutra



Fuente: Autores

A.5. Placa electrodo

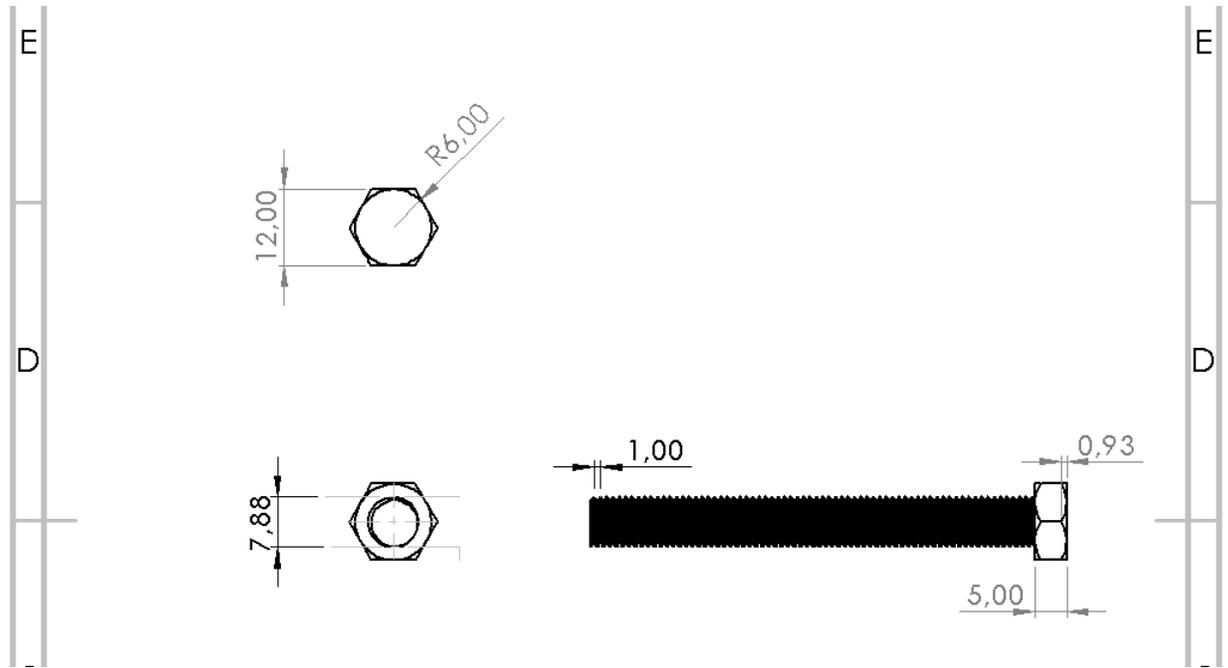
Figura A.5.1: Placa electrodo



Fuente: Autores

A.6. Tornillo

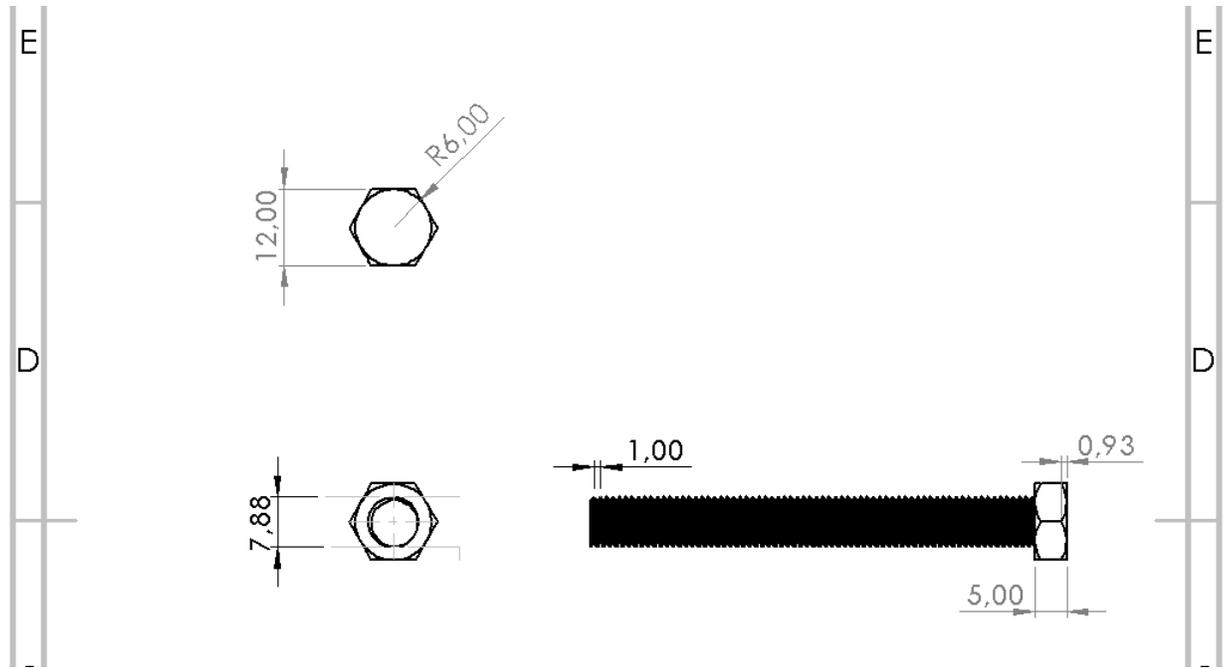
Figura A.6.1: Tornillo



Fuente: Autores

A.7. Banco

Figura A.7.1: Banco



Fuente: Autores

Apéndice B

Tablas de resultados

- *Resultados obtenidos en la 1er toma de datos.*

Se observa la primer toma de resultados obtenidos por los sensores y dispositivos de ajuste mediante tablas, mostrados de igual forma en el capítulo de análisis y resultados en forma gráfica en las imágenes (8.0.1, 8.0.2, 8.0.3, 8.0.4, 8.0.5, 8.0.6). (Ver Análisis y resultados) 67

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1200	117	3.82	2.8
1300	120	4.0	2.5
1500	122	4.1	3.7
1800	125	4.5	4.0
2000	127	4.6	4.2

Tabla B.0.1: Resultados obtenidos con dispositivos de ajuste sin suministrar HHO

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1190	116	4	3
1280	120	3.9	3.9
1520	123	4.9	4
1810	124	5.3	4.2
2020	126	6	4.5

Tabla B.0.2: Resultados obtenidos con sensores implementados sin suministrar HHO

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1200	115	2.9	1.9
1300	116	3.4	2.0
1500	117	3.5	2.9
1800	123	3.7	3.7
2000	124	3.8	3.6

Tabla B.0.3: Resultados obtenidos con dispositivos de ajuste y con suministro HHO

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1210	116	2.5	2.5
1320	116	3.0	2.8
1490	118	2.8	3.4
1820	120	3.5	4.4
2020	123	4.1	4.9

Tabla B.0.4: Resultados obtenidos con sensores implementados y con suministro HHO

- *Resultados obtenidos en la 2da toma de datos.*

Posteriormente, se presentan la segunda toma de datos realizado de la misma manera que en la primera toma de los mismos.

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1200	115	3.86	2.8
1300	121	3.98	3.1
1500	124	4.3	3.15
1800	128	4.65	3.8
2000	129	4.7	4.1

Tabla B.0.5: 2da toma de resultados obtenidos con dispositivos de ajuste sin suministrar HHO

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1216	115	3.9	3.2
1280	120	3.7	3.9
1520	121	4.5	3.9
1808	128	4.6	4.4
2016	130	5.7	4.6

Tabla B.0.6: 2da toma de resultados obtenidos con sensores implementados sin suministro de HHO

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1200	124	2.82	2.7
1300	124	3.1	2.2
1500	127	3.7	2.5
1800	127	3.7	3.9
2000	128	4.0	3.9

Tabla B.0.7: 2da toma de resultados obtenidos con dispositivos de ajuste y con suministro de HHO

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1216	117	2.4	2.3
1280	118	3.0	2.5
1520	118	3.1	3.1
1808	122	3.5	4.0
2016	124	4.0	4.6

Tabla B.0.8: 2da toma de resultados obtenidos con sensores implementados y con suministro de HHO

- *Resultados obtenidos en la 3era toma de datos.*

Por último, se presentan la tercera toma de datos realizado de la misma manera que en las anteriores muestras de datos.

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1200	126	3.95	2.95
1300	126	4.0	3.3
1500	127	4.2	3.85
1800	127	4.12	4.0
2000	129	4.4	3.9

Tabla B.0.9: 3era toma de resultados obtenidos con dispositivos de ajuste sin suministrar HHO

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1216	122	4.1	3.5
1280	123	3.7	3.0
1520	123	4.5	3.9
1808	127	4.2	4.2
2016	123	5.4	4.5

Tabla B.0.10: 3era toma de resultados obtenidos con sensores implementados sin suministro de HHO

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1200	116	2.7	1.8
1300	117	3.1	2.0
1500	118	3.5	2.5
1800	120	3.6	3.7
2000	122	3.8	3.8

Tabla B.0.11: 3era toma de resultados obtenidos con dispositivos de ajuste y con suministro de HHO

VELOCIDAD(rpm)	TEMPERATURA($^{\circ}C$)	CO(ppm)	CO ₂ (ppm)
1216	116	2.3	2.4
1280	118	3.0	2.0
1520	120	3.2	3.4
1808	122	3.5	4.3
2016	125	4.1	4.7

Tabla B.0.12: 3era toma de resultados obtenidos con sensores implementados y con suministro de HHO