

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN GENERADOR DE OXIHIDROGENO
(HHO) PARA UN MOTOR DE INYECCION ELECTRONICA.**

**JORGE FRANCISCO DURAN GARCIA
CÓDIGO 21079**

**MICHAEL ESTIVEN VARGAS LEON
CÓDIGO 20234**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
TECNOLOGIA EN MECANICA AUTOMOTRIZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
BOGOTÁ D.C
2014**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN GENERADOR DE OXIHIDROGENO
(HHO) PARA UN MOTOR DE INYECCION ELECTRONICA.**

**JORGE FRANCISCO DURAN GARCIA
CÓDIGO 21079**

**MICHAEL ESTIVEN VARGAS LEON
CÓDIGO 20234**

**Proyecto de grado, requisito parcial para optar el titulo de:
TECNOLOGOS EN MECANICA AUTOMOTRIZ**

Director:

Ing. NESTOR RAUL FONSECA

Codirector:

Ing. Qco. M.Sc. MANUEL ALEJANDRO MAYORGA BETANCOURT

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
TECNOLOGIA EN MECANICA AUTOMOTRIZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
BOGOTÁ D.C
2014**

DEDICATORIA

Primeramente a DIOS por guiarnos por este camino, por darnos fortaleza para superar todos los obstáculos de la vida, a nuestros padres:

Jorge Francisco Duran García:

Padre: Francisco Eriberto Duran Peralta

Madre: Leyla Constanza Tamayo Martínez

Michael Estiven Vargas León:

Padre: Edilberto Vargas Santos

Madre: Blanca Noly León Gómez

Hijo: Samuel Tomas Vargas Gómez

Por brindarnos su apoyo en nuestra carrera, por darnos ese aporte de motivación diaria para luchar por un futuro, por los valores que nos cultivaron para ser mejores personas, por estar en buenos y malos momentos de nuestras vidas, también a todos los demás familiares por confiar y estar ahí siempre que lo necesitamos.

AGRADECIMIENTOS

Sin el apoyo y constante esfuerzo de algunas personas de la escuela colombiana de carreras industriales, y a la disposición generosa de algunos elementos requeridos, no se hubiera logrado llevar a cabo exitosamente este proyecto, por tal motivo agradecemos a la coordinación de talleres de la facultad de ingeniería mecánica, por toda la colaboración prestada.

Igualmente se agradece a Héctor, el encargado de taller, quien estuvo presente durante toda la instalación y pruebas realizadas con el motor de la universidad, quien nos brindó su conocimiento y ayuda para llevar este proyecto a cabo.

A nuestro director de proyecto de grado el ingeniero Néstor Raúl Fonseca por su gran apoyo, dedicación y guía, sin lo cual este trabajo no se hubiera realizado satisfactoriamente.

INDICE

GLOSARIO	8
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCION	15
Descripción del problema	15
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
¿Se ahorrara realmente combustible con el diseño y la implementación del sistema de oxihidrógeno?.....	16
¿Son estos datos totalmente ciertos?.....	16
¿La energía producida por la quema de HHO podrá proporcionar suficiente energía para el vehículo?	16
¿Este sistema efectivamente es amigable con el medio ambiente?	16
Consecuencias del oxihidrogeno en las cámaras de combustión.....	17
OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL.....	18
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
1. GENERALIDADES	19
1.1. Dióxido de carbono (CO ₂).....	19
1.1.1. Efectos del dióxido (CO ₂) de carbono en la atmosfera.....	19
1.2. Óxidos de nitrógeno (NO _x).....	21
1.2.1. ¿Qué es el dióxido de nitrógeno (NO ₂)?	21
1.2.2. ¿En qué afecta el dióxido de nitrógeno (NO ₂) a la salud humana?	22
1.3. Monóxido de carbono (CO).....	23
1.3.1. Como afecta el monóxido de carbono (CO) al ser humano.	23
1.4. Hidrocarburos no quemados (HC).....	24
1.4.1. Efectos de los hidrocarburos (HC) en los seres humanos.	24
1.4.2. Efectos de los hidrocarburos (HC) en la atmosfera.....	24
1.5. Dióxido de azufre (SO ₂)	24

1.5.1.	El dióxido de azufre en la atmosfera.	25
1.5.2.	Como afecta el dióxido de azufre a los seres humanos.	25
1.6.	Generador electrolítico de oxihidrogeno	25
1.7.	Tipos de generadores.	26
1.7.1.	Generados de hidrogeno de celda seca.	26
1.7.2.	Generador de hidrogeno de celda húmeda.	26
1.7.3.	Generador de hidrogeno tipo Stanley Meyer	26
1.8.	Gas oxihidrógeno.....	26
1.8.1.	Propiedades del oxihidrógeno	26
1.8.2.	Aplicaciones del oxihidrógeno.	27
1.9.	Electrólisis del agua.....	27
1.9.1.	El cátodo.	27
1.9.2.	El Ánodo.....	27
1.9.3.	Reacción química en la electrolisis del agua.....	28
1.9.4.	Electrolito.	29
1.10.	Antecedentes.....	29
1.10.1.	Antecedentes del oxihidrogeno	29
1.10.2.	Stanley Meyer	30
1.10.3.	Antecedentes en Colombia	31
1.10.4.	Universidades	31
1.10.5.	Empresas	33
2.	METODOLOGIA.....	34
2.1.	Diseño del generador de oxihidrogeno	35
2.1.1.	Funcionamiento.....	35
2.1.2.	El gas oxihidrógeno (HHO).	35
2.2.	Intervención del sensor de O ₂	36
2.3.	Regulador del ancho de pulso corriente constante (CCPWM).....	37
2.4.	Módulo de control de potencia.....	38
2.5.	Tablero de control.....	39
2.6.	Alternador	40
2.7.	Batería	41

3. INSTRUMENTOS Y HERRAMIENTAS	42
3.1. Analizador de gases	42
3.1.1. Partes	42
3.1.2. Funcionamiento.....	43
3.2. Escáner.....	44
3.3. Limpiador de inyectores.....	45
3.4. Tanque de gasolina	45
4. DISEÑO DE UN GENERADOR DE OXIHIDROGENO PARA UN MOTOR DE INYECCION DIRECTA (AVEO 1.6L)	48
4.1. Materiales utilizados	48
4.1.1. Láminas de acero inoxidable 304L.....	48
4.1.2. Laminas y tubos de acrílico transparente.....	52
4.1.3. Juntas de neopreno.....	55
4.1.4. Racor en nilón de rosca 3/8" a espina de pescado 1/4"	56
4.1.5. Conectores y válvulas con rosca de 1/2" en PVC	57
4.1.6. Manguera para alimentos, transparente en PVC	58
4.1.7. Arresta llamas.	59
4.1.8. Otros materiales	59
5. CONSTRUCCION DE UN GENERADOR DE OXIHIDROGENO PARA UN MOTOR DE INYECCION (AVEO 1.6L)	60
6. RESULTADOS	71
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	74
7.1. Pruebas de consumo.....	74
7.1.1. Pruebas de consumo en ralentí (850-900 RPM).	74
7.1.2. Pruebas de consumo a velocidad crucero (2500 RPM).	76
7.2. Promedios de consumo.	77
7.3. Análisis de emisiones durante las pruebas.....	82
8. CONCLUSIONES.....	86
9. RECOMENDACIONES.	89
10. REFERENCIAS.....	90
11. ANEXOS	93

11.1.	Tapa posterior de acrílico	93
11.2.	Tapa frontal de acrílico	94
11.3.	Placa de carga.....	95
11.4.	Placa neutra.....	96
11.5.	Junta de neopreno.....	97
11.6.	Tanque de solución electrolítica o burbujeador primario	98
11.7.	Burbujeador secundario.....	100
11.8.	Ensamble final	101
11.8.1.	Vista frontal.....	101
11.8.2.	Vista posterior.....	102
11.8.3.	Vista trimetrica	103
11.9.	Resultado final del generador de oxihidrógeno ya instalado en el motor de Inyección Electrónica 1.6 de Aveo junto al tanque de Gasolina diseñado para el proyecto.	104
11.10.	Diagrama eléctrico sistema oxihidrogeno	111

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: CONTAMINACIÓN POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES % CO ₂	20
TABLA 2: CONTAMINACIÓN POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES % N ₂ O	23
TABLA 3: TABLA DE VENTAJAS DEL ACERO 304L.....	49
TABLA 4: ELEMENTOS DE ALEACIÓN Y SU INFLUENCIA.....	49
TABLA 5: COMPOSICIÓN QUÍMICA ACEROS INOXIDABLES	50
TABLA 6: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES	51
TABLA 7: CARACTERÍSTICAS DEL ACRÍLICO.....	52
TABLA 8: PRUEBA DE CONSUMO EN RALENTÍ SIN INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y SIN INTERVENIR NINGÚN SENSOR.	71
TABLA 9: ANÁLISIS DE GASES EN RALENTÍ CON INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y SIN INTERVENIR NINGÚN SENSOR.	71
TABLA 10: ANÁLISIS DE GASES EN RALENTÍ CON INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y CON INTERVENCIÓN DEL SENSOR O ₂	71
TABLA 11: ANÁLISIS DE GASES A VELOCIDAD CRUCERO SIN INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y SIN INTERVENIR NINGÚN SENSOR.	71
TABLA 12: ANÁLISIS DE GASES A VELOCIDAD CRUCERO CON INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y SIN INTERVENIR NINGÚN SENSOR.	71
TABLA 13: ANÁLISIS DE GASES A VELOCIDAD CRUCERO CON INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y CON INTERVENCIÓN DEL SENSOR O ₂	72
TABLA 14: ANÁLISIS DE GASES EN RALENTÍ SIN INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y SIN INTERVENIR NINGÚN SENSOR.	72
TABLA 15: ANÁLISIS DE GASES EN RALENTÍ CON INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y SIN INTERVENIR NINGÚN SENSOR.	72
TABLA 16: ANÁLISIS DE GASES EN RALENTÍ CON INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y CON INTERVENCIÓN DEL SENSOR O ₂	72
TABLA 17: ANÁLISIS DE GASES A VELOCIDAD CRUCERO SIN INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y SIN INTERVENIR NINGÚN SENSOR.	72
TABLA 18: ANÁLISIS DE GASES A VELOCIDAD CRUCERO CON INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y SIN INTERVENIR NINGÚN SENSOR.	73
TABLA 19: ANÁLISIS DE GASES A VELOCIDAD CRUCERO CON INYECCIÓN DE OXIHIDRÓGENO Y CON INTERVENCIÓN DEL SENSOR O ₂	73

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: MAPA DE CONTAMINACIÓN MUNDIAL CON CO ₂ POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....	21
ILUSTRACIÓN 2: MAPA DE CONTAMINACIÓN MUNDIAL CON N ₂ O POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....	22
ILUSTRACIÓN 3: SISTEMA BÁSICO DE LA ELECTROLISIS DEL AGUA.....	28
ILUSTRACIÓN 4: CIRCUITO PARA INTERVENIR SENSOR O ₂	36
ILUSTRACIÓN 5: CCPWM.....	37
ILUSTRACIÓN 6: CCPWM SALIDAS.....	38
ILUSTRACIÓN 7: MÓDULO DE CONTROL DE POTENCIA.....	39
ILUSTRACIÓN 8: TABLERO DE CONTROL.....	39
ILUSTRACIÓN 9: ALTERNADOR DE AUTOMÓVIL.....	41
ILUSTRACIÓN 10: ANALIZADOR DE GASES UTILIZADO.....	42
ILUSTRACIÓN 11: DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL ANALIZADOR DE GASES.....	43
ILUSTRACIÓN 12: ESCANEANDO EL MOTOR DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA JUNTO CON EL DISPOSITIVO.....	44
ILUSTRACIÓN 13: DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE CONSTRUIDO POR LOS AUTORES.....	46
ILUSTRACIÓN 14: DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE CONSTRUIDO POR LOS AUTORES.....	47
ILUSTRACIÓN 15: PLACA DE ACERO INOXIDABLE 304L.....	51
ILUSTRACIÓN 16: TUBOS DE ACRÍLICO TRANSPARENTE.....	53
ILUSTRACIÓN 17: PLACA DE ACRILICO.....	54
ILUSTRACIÓN 18: TANQUE DEL GENERADOR DE OXIHIDROGENO.....	54
ILUSTRACIÓN 19: BURBUJEADOR SECUNDARIO.....	55
ILUSTRACIÓN 20: JUNTA DE NEOPRENO.....	56
ILUSTRACIÓN 21: RACOR EN “T” Y RACOR EN “L”.....	57
ILUSTRACIÓN 22: CONECTORES Y VÁLVULAS CON ROSCA DE ½” EN PVC..	57
ILUSTRACIÓN 23: MANGUERA REFORZADA DE PVC, PARA ALIMENTOS.....	58
ILUSTRACIÓN 24: MANGUERA REFORZADA DE PVC, PARA ALIMENTO.....	58
ILUSTRACIÓN 25: ARRESTA LLAMAS.....	59
ILUSTRACIÓN 26: LAMINA DE ACERO INOXIDABLE EN PROCESO DE LIJADO.....	60
ILUSTRACIÓN 27: PLACA DE ACERO INOXIDABLE 304L DESPUES DEL LIJADO.....	61
ILUSTRACIÓN 28: MECANIZADO DE AGUJEROS EN LA PLACA DE ACRÍLICO.....	62
ILUSTRACIÓN 29: ROSCADO PARA RACOR.....	62
ILUSTRACIÓN 30: POSICIÓN DE LOS TORNILLOS EN LA PLACA DE ACRÍLICO.....	63
ILUSTRACIÓN 31: CORTE LAMINAS.....	64
ILUSTRACIÓN 32: CORTE DE JUNTAS DE NEOPRENO.....	64

ILUSTRACIÓN 33: RESULTADO FINAL DEL PROCESO DE CORTE DE JUNTAS DE NEOPRENO	65
ILUSTRACIÓN 34: CELDA ELECTROLÍTICA ENSAMBLADA	66
ILUSTRACIÓN 35: TUBOS DE ACRÍLICO	67
ILUSTRACIÓN 36: TUBOS DE ACRÍLICO, MANGUERA Y ABRAZADERAS DE ACERO.....	68
ILUSTRACIÓN 37: GENERADOR DE OXIHIDRÓGENO	68
ILUSTRACIÓN 38: GENERADOR DE OXIHIDRÓGENO	69
ILUSTRACIÓN 39: FUNCIONAMIENTO GENERADOR DE OXIHIDRÓGENO	70
ILUSTRACIÓN 40: CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN RALENTÍ (5 MINUTOS)..	75
ILUSTRACIÓN 41: PRUEBA DE CONSUMO EN RALENTÍ (10 MINUTOS).....	75
ILUSTRACIÓN 42: CONSUMO DE COMBUSTIBLE A 2500RPM (5 MINUTOS)....	76
ILUSTRACIÓN 43: CONSUMO DE COMBUSTIBLE A 2500 RPM (10 MINUTOS). 77	
ILUSTRACIÓN 44: PROMEDIOS DE CONSUMO EN RALENTÍ (5 MINUTOS).....	78
ILUSTRACIÓN 45: PROMEDIOS DE CONSUMO EN RALENTÍ (10 MINUTOS)....	79
ILUSTRACIÓN 46: PROMEDIOS DE CONSUMO 2500 RPM (5 MINUTOS).....	80
ILUSTRACIÓN 47: PROMEDIO DE CONSUMO 2500 RPM (10 MINUTOS)	80
ILUSTRACIÓN 48: COMPARACIÓN DE PORCENTAJES DE CO EMITIDOS DURANTE LAS PRUEBAS.....	82
ILUSTRACIÓN 49: COMPARACIÓN DE HC EMITIDOS DURANTE LAS PRUEBAS	83
ILUSTRACIÓN 50: COMPARACIÓN DE CO ₂ EMITIDOS DURANTE LAS PRUEBAS	84
ILUSTRACIÓN 51: COMPARACIÓN DE O ₂ EMITIDOS DURANTE LAS PRUEBAS	85

GLOSARIO

- **Aleación austenítica:** son aleaciones ferrosas que tiene una estructura con una cantidad de elementos como níquel, manganeso, nitrógeno y carbono, esta aleación es muy resistente a la corrosión, su función principal es ser muy poseer una gran resistencia mecánica.
- **Anillos rozantes:** dispositivo que permite el paso de señales y corriente eléctrica desde una parte estática hacia la parte rodante de un mecanismo.
- **Auto ionización del agua:** es la reacción química en la que dos moléculas se activan para producir un ion hidronio y un ion hidróxido, Separación de las moléculas.
- **Cámara de combustión:** sitio donde se genera la combustión del combustible con el comburente, la mayoría de veces es el aire, en un motor de combustión interna.
- **Cascabeleo:** conocido como pistoneo, es cuando se genera la explosión del combustible y comburente antes del debido tiempo. Esto genera desgaste y daño en el motor.
- **Celdas alcalinas:** es un conjunto de varias celdas electroquímicas que obtienen su energía por medio de una reacción química entre el zinc y el oxido de manganeso, empleando el dióxido de potasio como electrolito.
- **Cinemática:** rama de la física que estudia las leyes del movimiento pero sin considerar las fuerzas externas, estudia la trayectoria en función del tiempo.
- **Convertidor catalítico:** mecanismo presente en el motor de combustión interna que permite el control y la reducción de gases nocivos que son expulsados en la combustión
- **Corrosión galvánica:** es un proceso electroquímico en el que el metal se corroe cuando está en contacto eléctrico con otro tipo de metal, esto se produce cuando ambos materiales están sumergidos en un electrolito, este fenómeno también es utilizado para generar cierta corriente eléctrica.
- **Deshielos:** se produce al aumentar el nivel de CO₂ en la atmosfera, el cual se produce con la quema y posterior vaporización de combustibles fósiles y demás derivados del petróleo, esta emisión no logra escapar de la atmosfera y por lo tanto genera el calentamiento global.

- **Diagrama de pourbaix:** es el encargado de mostrar un equilibrio estable en todas sus fases en un sistema electroquímico, son similares a los diagramas de fase.
- **Electrocatalizador:** es un catalizador que participa en una reacción electroquímica. Los materiales catalizadores modifican e incrementan la velocidad de las reacciones químicas sin ser consumidos en el proceso.
- **Electrocatalizadores:** es un catalizador presente en una reacción química estos modifican e incrementan la velocidad de las reacciones químicas, ayuda a la transferencia de electrones entre el electrodo y los reactivos.
- **Estanqueidad:** proceso por el cual determinamos si hay fugas o no, si las hay, se indica que ahí estanqueidad, y si no las hay se indica que no hay fugas.
- **Estequiometria:** es el cálculo de las reacciones cuantitativas entre productos de una reacción química.
- **Fotodiodo:** es un material semiconductor, el cual es sensible en la presencia de luz infrarroja o la luz visible
- **Fototransistor:** es similar al fotodiodo, se diferencia de que es un poco más sensible por el efecto de ganancia que le genera el transistor.
- **Fotovoltaico:** es un material o dispositivo que puede convertir la energía luminosa a energía eléctrica
- **Geotermia:** ciencia que estudia las condiciones térmicas de la tierra.
- **Hemoglobina:** es una heteroproteína de la sangre que transporta oxígeno desde los órganos respiratorios hasta los tejidos, conduce el CO_2 a los pulmones para que lo elimine y además regula el pH de la sangre.
- **Hermético:** sellamiento que no permite el paso de fluidos como aire y líquidos, genera un vacío, interno debido al cierre sin fugas.
- **Hidrosulfuración:** es un proceso el cual ayuda a eliminar el azufre que se encuentra en fracciones de petróleo y que se hace antes de procesos como el reformado, si no se realiza esta eliminación causaría corrosión en el motor cuando el combustible este actuando y además es altamente contaminante.
- **Hollín:** son partículas sólidas de tamaño muy pequeño, que están en unas 5 micras y 100 nm, su compuesto principal es carbono impuro

pulverizado, estos se producen por una mala combustión de un material y su color es muy negro.

- **Irradiancia:** es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.
- **Modulo efie:** Circuito Digital para la intervención del Sensor de Oxígeno (banda ancha o banda angosta), en vehículos de Inyección, indicando a la computadora que inyecte menos combustible.
- **Octanaje:** se refiere a la escala que permite conocer el poder antidetonante que puede tener un carburante mientras que este se encuentra en el cilindro que hace parte del motor.
- **Poli cloropreno:** o neopreno es un caucho el cual tiene buena estabilidad química y mantiene una buena flexibilidad en altos rangos de temperatura.
- **Polimerización:** es un proceso químico donde los reactivos se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a un polímero.
- **Potenciómetro:** se considera como una resistencia variable, el cual limita el paso de la corriente eléctrica ocasionando una caída en la tensión.
- **Radiación:** es la propagación de la energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través de un vacío.
- **Ralentí:** régimen mínimo de revoluciones por minuto en un funcionamiento estable.
- **Reducción en cátodo y oxidación en ánodo, ecuaciones:**
Reducción en el cátodo: $2\text{H}^+ (\text{ac}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 (\text{g})$
Ánodo (oxidación): $2\text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{O}_2 (\text{g}) + 4\text{H}^+ (\text{ac}) + 4\text{e}^-$
- **(ac):** acuso es decir que ese encuentra disuelto o dissociado en agua.
- **(s):** solido.
- **(l):** liquido.
- **(g):** en estado gaseoso.

- **Resonancia:** es un conjunto de fenómenos relacionados con movimientos periódicos en el que se produce un reforzamiento de una oscilación al someter al sistema a una frecuencia diferente.
- **Scanner automotriz:** es un dispositivo el cual se encarga de realizar un auto diagnóstico en todo el automóvil, también puede leer la ECU y así mismo saber que errores presenta.
- **Smog fotoquímico:** es la contaminación del aire originado por reacciones fotoquímicas y otros compuestos, su color es gris o negro y se le puede notar en la atmosfera, este elemento causa efectos negativos en el ser humano.
- **Solvatación:** es el proceso de asociación de moléculas de un disolvente con moléculas o iones de un soluto. Al disolverse los iones en un soluto, se dispersan y son rodeados por moléculas de solvente. A mayor tamaño del ion, más moléculas de solvente son capaces de rodearlo, y más solvatado se encuentra el ion.
- **Vacuometro:** elemento que se encarga de medir con exactitud presiones inferiores a la presión atmosférica
- **Voltaje nominal:** es aquella medida de voltaje que se considera como teórica o ideal
- **Voltametría cíclica:** pertenece al campo de la electroquímica, donde estudia las reacciones de los procesos por medio de ensayos. Su nombre de pila es voltamperometría por tratarse de un proceso donde se analizan las variaciones de la corriente.

RESUMEN

La investigación se realiza debido a que con el transcurrir de nuestra carrera y el análisis de muchos aspectos de esta y la relación con los combustibles, nos dimos a la tarea de investigar más a fondo un tema que nos compete a todos hace mucho tiempo, como lo es la contaminación ambiental por medio de estos y las posibilidades de evitarlo o por lo menos reducirlo, se han identificado muchos métodos, algunos con más efectividad que otros, luego de investigar estos métodos encontramos uno que nos llamó la atención por varios motivos, "Generador de oxihidrogeno" los motivos son que se ha comprobado que el rendimiento del motor aumenta incluso un poco más a diferencia de otros combustibles alternativos pero esto es algo que a través de algunas pruebas vamos a comprobar, no necesita la suspensión total de la gasolina ya que esto genera algunos problemas en el motor, otro motivo y el más importante es que contamina mucho menos de lo habitual y reduce costos de combustible al que se le proporciona al motor siendo además de rentable, ecológico, puesto que al quemar hidrogeno y oxigeno es vapor de agua y además este vapor de agua tiene la capacidad de atrapar gases de dióxido de carbono y arrastrarlo al suelo en forma de partículas y evita que sean emitidos hacia la atmosfera y esto reduce contundentemente la contaminación, lo cual verificamos con una simple prueba que consiste en coger una hoja blanca y colocarla en el exosto del motor con el dispositivo y esté en funcionamiento ver que al momento de expulsar el vapor de agua las partículas de carbón y vapor de agua se adhieren a la hoja, y se puede verificar notablemente lo dicho.

Los propósitos de la investigación claramente son diseñar y construir una celda electrolítica generadora de oxihidrógeno, aprendiendo y explicando los conocimientos necesarios para desarrollar este proyecto, estos datos los recolectamos a través de datos bibliográficos y páginas web relacionadas con la electrolisis del agua y combustibles alternativos. Sobre el generador de oxihidrógeno ya hay algunas investigaciones muy avanzadas en varios países, muy poco en Colombia y en la escuela colombiana de carreras industriales el tema ya se ha tratado pero con muy pocos avances.

Esperamos que con un par de dispositivos adicionales podamos mejorar este rendimiento y además el motor logre funcionar de una mejor manera como lo son un módulo de control de la potencia y de la celda el cual activara de forma automática la celda con respecto al encendido del motor, además con este módulo podemos estar al tanto del funcionamiento de la celda, relacionado con los voltajes y la corriente que la alimentan, los niveles de electrolito y de agua, además de la potencia del vehículo. Además otro dispositivo que se va a implementar para ayudar a mejorar el dispositivo y mejorar el funcionamiento de este es un módulo EFIE el cual es un dispositivo encargado del control de los sensores del vehículo como lo son el de oxígeno, MAP o MAF, el de temperatura del vehículo, temperatura del agua y la temperatura del refrigerante. Ambos dispositivos se alimentan de la

batería y sacan la información necesaria para su funcionamiento del computador del automóvil.

- **Automóvil**
- **Combustibles**
- **Contaminación**
- **Generador**
- **Oxihidrogeno**

ABSTRACT

Research is done because with the passing of our career and analysis of many aspects of this and the relation to fuel, we took on the task to further investigate an issue that concerns us all a long time, as environmental pollution by these opportunities and avoid or at least reduce , many methods have been identified , some more effective than others, after investigating these methods found one that caught our attention for several reasons, " oxyhydrogen cells " are the reasons that have been proven to increase engine performance even slightly unlike other alternative fuels but this is something that through some tests will check , do not need the full suspension of gasoline and this generates some engine problems , another reason and the most important is that pollutes much less than usual and reduces fuel costs that is provided to the engine being as well as profitable , ecological , since by burning hydrogen and oxygen is steam and this steam also has the capability of catching carbon dioxide gas and dragging down in the form of particles and prevents the fence to the atmosphere and this strongly reduces the contamination, which checked by a simple test which consists to catch a white sheet and placed in the engine exosto with the device and see this in operation at the time of expelling steam coal particles and water vapor stick to the blade, and can verify that it significantly .

The purposes of the research are clearly design and build an electrolytic cell generating oxyhydrogen , learning and explaining the knowledge needed to develop this project, these data are collected through bibliographic data and web pages related to the electrolysis of water and alternative fuels. About the oxyhydrogen generator there are some very advanced research in several countries, most recently in Colombia and the Colombian School of Industrial Careers item has already been discussed but with little progress .

We hope that with a few additional devices we can improve this performance and also the engine achieves function in a better way such as a module to control the power and the cell which activate automatically the cell with respect to the engine ignition also with this module we can be aware of the functioning of the cell, related voltages and current than the feed, electrolyte levels and water in addition to vehicle power. Besides other device to be implemented to help improve the device and improve the operation of this module is an EFIE which is a charge control device vehicle sensors such as the oxygen, MAP or MAF, that of vehicle temperature, water temperature and the coolant temperature. Both devices are supplied from the battery and pull the information needed to operate the computer of the car.

INTRODUCCION

Tras varios meses de estudio de los combustibles y sus impactos tanto ambientales como monetarios, se propuso diseñar y construir un generador electrolítico de oxihidrógeno, para ser instalado en un motor a gasolina de inyección electrónica.

Los altos costos del combustible fósil, llevan a buscar fuentes alternas como también, nos impulsa a mejorar cada día más el rendimiento de un motor de combustión interna, siempre teniendo en cuenta el impacto que este tendrá en el medio ambiente, y nos obliga a buscar fuentes de energía renovables y limpias, por esto; se llevó a cabo este proyecto, en el cual realizaran pruebas, hasta encontrar un óptimo funcionamiento y un verdadero ahorro de combustible y bajas emisiones de gases contaminantes.

Descripción del problema

Los altos costos de los combustibles fósiles y su alta contaminación conllevan a buscar otras alternativas que ayuden con estas problemáticas, además tras varias investigaciones se ha demostrado que algunos combustibles alternativos reducen la capacidad del motor y además afectan su funcionamiento con el correr del tiempo, se dio la tarea de buscar un combustible alternativo que además de ser ecológico mantenga o aumente la potencia del motor, tras varios métodos, se encontró el de celdas de oxihidrógeno el cual ha sido estudiado en varios países y se han logrado importantes avances en el desarrollo de dicha tecnología. En Colombia este estudio está un poco lento pero igualmente se han hecho diversas investigaciones al respecto; pero con muy pocos avances, bajo estos parámetros investigados se procede a buscar mejoras y a encontrar el óptimo funcionamiento y el verdadero ahorro de combustible y bajas emisiones de gases, que son los problemas principales de estos dispositivos, pues los dispositivos actuales no logran reducir del todo los costos en combustible del automóvil o si ya se ha logrado, no se tiene registro oficial alguno.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Se ahorrara realmente combustible con el diseño y la implementación del sistema de oxihidrógeno?

En varias investigaciones se ha dicho que con esta opción de combustible se obtiene un ahorro del 15% al 50%; si se tiene en cuenta que los costos de fabricación son bajos comparados con el verdadero ahorro de combustible que se tendría, este sistema podría ser una alternativa viable, no solo para ahorrar dinero, pues se contribuiría con el cuidado del medio ambiente.

¿Son estos datos totalmente ciertos?

No existe hasta el momento un estudio oficial sobre si esta forma de generación de oxihidrógeno es realmente viable en cuanto al ahorro de combustible, ya que la energía que se necesita para que todo el sistema funcione, es obtenida de la batería, la cual es cargada por el alternador, y este último es movido por el motor del automóvil, con lo cual si existe un consumo elevado, el motor se tendrá que esforzar más para compensar este consumo, haciendo que el alternador produzca más energía eléctrica y mantener el sistema en funcionamiento, y esto solo se logra si se inyecta más combustible en los cilindros.

Se aprecia en el párrafo anterior una especie de círculo vicioso, en el cual aparentemente lo único que se lograría con el sistema de oxihidrógeno sería que el motor estuviera siempre más revolucionado, al menos en ralentí.

¿La energía producida por la quema de HHO podrá proporcionar suficiente energía para el vehículo?

No se proporcionara suficiente gas oxihidrógeno para hacer que el motor funcione únicamente con este combustible, ya que hasta el momento no existe ninguna máquina que tenga un 100% de eficiencia, mucho menos un motor de combustión interna como el que encontramos en los vehículos comerciales, los cuales alcanzan un 30% de eficiencia, lo cual indica que solo este porcentaje del total de la energía calorífica es transformada en energía mecánica, el resto de la energía se transformara en calor y sonido que se pierden al ser emitidos a la atmosfera.

Lo que se espera lograr, de ser posible, será reducir el consumo de combustibles fósiles, dicho en otras palabras se espera que el sistema de inyección suministre menos gasolina a los cilindros, y este faltante sea remplazado con oxihidrógeno, teniendo en consideración que se mantengan las RPM, de motor cuando trabaje con oxihidrógeno y gasolina, que cuando funcione solo con gasolina.

¿Este sistema efectivamente es amigable con el medio ambiente?

Se debe tener en cuenta que al inyectar el oxihidrógeno en el motor, el sensor de oxígeno generara una lectura la cual indicara a la ECU que la

mezcal es pobre, con lo cual el sistema de inyección suministrara mayor cantidad de gasolina, lo cual sería una contradicción total a los objetivos planteados para este proyecto ya que aumentarían los porcentajes en las lecturas de gases contaminantes, significativamente un aumento en el porcentaje de HC. Para ello se intervendrán las señales emitidas por el sensor de oxígeno, engañando a la ECU con el fin de que se inyecte menos gasolina a los cilindros y así obtener los resultados esperados.

Estas son varias de las preguntas que surgen a través de la investigación de este proceso y que se intentaran resolver mediante la realización de este proyecto, resultados que se podrán observar en el desarrollo y análisis de resultados del presente trabajo.

Consecuencias del oxihidrogeno en las cámaras de combustión.

Cuando se utilizan productos cáusticos para preparar la solución electrolítica que se utiliza en la celda de oxihidrogeno, como lo es la potasa caustica (KOH) disuelta en agua, es posible que parte de esta solución, ya sea por evaporación o porque por algún motivo llegan gotas de disolución a las cámaras de combustión, se puede presentar corrosión en los cilindros, por lo cual con el tiempo se podría dañar el motor, teniendo que repararlo o en el peor de los casos cambiarlo. Por ello se deben implementar filtros y trampas de agua, para así evitar que estos vapores o gotas de solución electrolítica, lleguen hasta el motor y se corroan tanto los cilindros, los pistones y los ductos de escape.

Otra forma de corrosión en los cilindros, podría presentarse debido a que los combustibles que se utilizan en los motores de combustión, poseen azufre, el cual puede realizar un enlace con el hidrogeno y el oxígeno que se introduce en el proceso de combustión formando ácidos de azufre como por ejemplo el ácido sulfúrico (H_2SO_4) el cual es altamente corrosivo, aunque no se ha comprobado si esto sucede, ya que no se ha realizado ningún estudio conocido sobre este tema.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

Diseñar, construir e implementar un generador de oxihidrógeno (HHO), para un motor de combustión interna de inyección electrónica.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un estudio y pruebas de diferentes materiales que implementaremos en el diseño, buscando el más adecuado para las condiciones de trabajo del generador de oxihidrógeno, calculando y dimensionando todo los procesos y partes del proyecto.
- Construir un generador de hidrogeno que sea adecuado para realizar pruebas estáticas en un motor de combustión interna.
- Implementar tecnología electrónica, para mejorar la eficiencia del sistema que se desea construir.
- Realizar el montaje del generador de hidrogeno en un motor de pruebas del laboratorio de inyección (motor de Aveo 1.6 inyección electrónica) que se le requerirá en calidad de préstamo a la Universidad para realizar las pruebas.
- Realizar pruebas y mediciones con y sin el sistema en funcionamiento poder comparar los datos obtenidos.
- buscar la mejor configuración posible para aumentar la eficiencia del generador de hidrogeno y reducir las emisiones de gases contaminantes.
- Verificar el funcionamiento de los módulos de Potencia e interventor del sensor de oxígeno y su aporte al mejoramiento de la celda de oxihidrógeno y del motor.

1. GENERALIDADES

El transporte causa gran parte de la contaminación atmosférica global, y en los países más desarrollados y poblados, incluso supera el porcentaje de contaminación que genera la industria. Aunque no se debe omitir que muchas fábricas o industrias, producen enormes cantidades de contaminación, debido al uso de combustibles fósiles, para el desarrollo de las actividades que realicen.

A escala global, los automóviles liberan cada año a la atmósfera cerca de 300 millones de toneladas de gases tóxicos debidos al proceso de combustión de combustibles fósiles. Los gases de combustión de automóviles, con motor de gasolina, contienen dióxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC), dióxido de azufre (SO₂) y partículas sólidas, mientras que un motor Diesel emite menos gases tóxicos (por ejemplo, 20 veces menos de CO, 8 veces menos de hidrocarburos), pero más hollín.

En Europa y Norteamérica sólo el 10% del NO_x emitido es de origen natural, el 90% restante procede principalmente de la quema de combustibles fósiles a elevada temperatura, por ejemplo, en el motor de los automóviles (1.200-1.800°C). El transporte suele emitir a la atmósfera grandes cantidades de plomo, especialmente entre los años 1940-1960, cuando se añadía plomo a la gasolina, para mejorar la combustión en el motor. Más tarde, se introdujo la gasolina sin plomo, primero en EEUU y se ha ido sustituyendo gradualmente por la que tenía plomo, pero el dióxido de azufre sigue estando presente hoy en día, en gases de combustión por combustibles fósiles, con un bajo grado de refinación, siendo Colombia uno de los países en los que hoy en día se distribuyen combustibles como los mencionados anteriormente.

1.1. Dióxido de carbono (CO₂)

Es un gas que se forma en la combustión de todo combustible, por oxidación de los átomos de carbono, es bastante estable, puede disolverse en agua formando ácido carbónico que, en situación normal, es el compuesto causante del pH ligeramente ácido del agua de lluvia [1].

1.1.1. Efectos del dióxido (CO₂) de carbono en la atmosfera.

El dióxido de carbono es uno de los gases causantes del efecto invernadero; el incremento de su concentración en la atmósfera está reforzando dicho efecto.

Fundamentalmente, el aumento del efecto invernadero produce una afección sobre el clima, alterando el equilibrio de radiación, dado que permite el paso de la radiación solar pero absorbe la radiación infrarroja emitida por la Tierra. El consecuente incremento en la temperatura atmosférica podría derivar en alteraciones en las corrientes marinas a gran escala, interconectadas con

posibles deshielos polares, especialmente en el Ártico y, por consiguiente, en una variación en los regímenes de lluvias de amplias regiones, lo que podría derivar finalmente en una modificación de ecosistemas y una repercusión sobre la producción de alimentos.

En la **tabla 1** se observan los porcentajes de contaminación por quema de combustibles fósiles, incluyendo el porcentaje, que este representa del total de contaminación, que produce cada país, de los cuales se tiene una información muy cercana a la realidad [2].

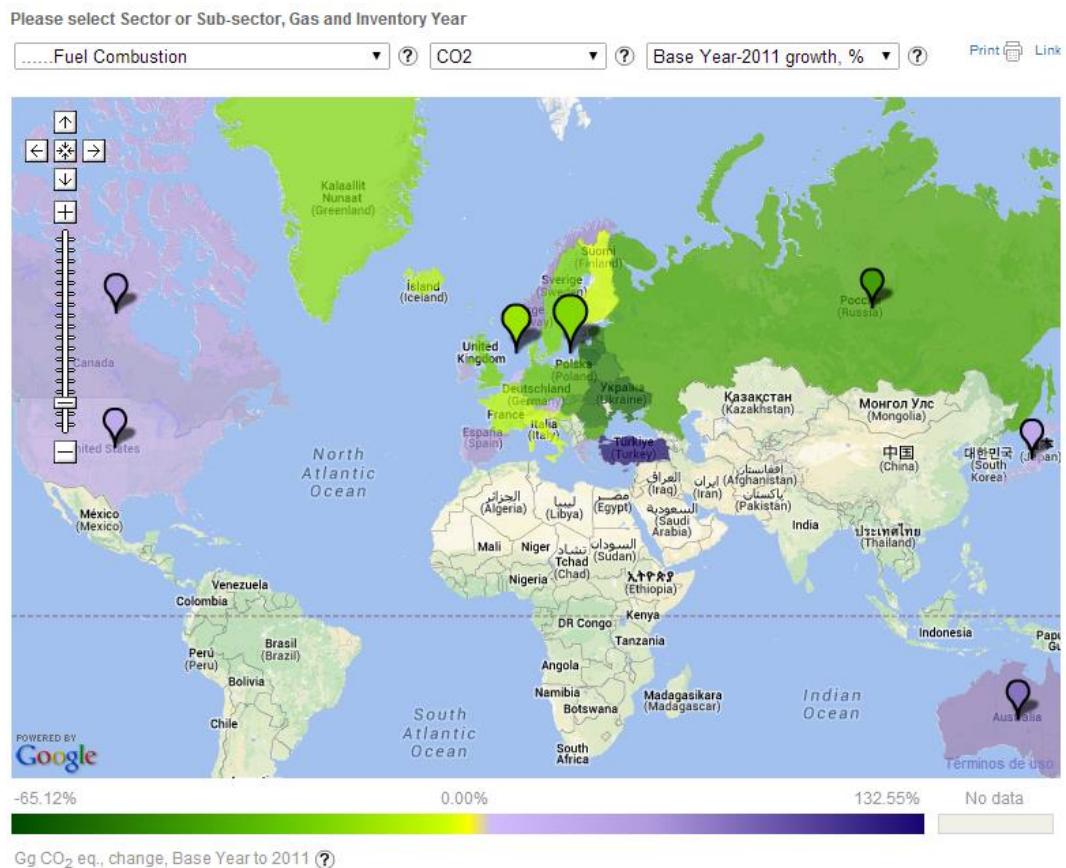
Tabla 1: contaminación por quema de combustibles fósiles % CO₂

1	Lithuania	65.12%	16	Sweden	18.03%	31	Japan	11.08%
3	Ukraine	59.47%	18	European Union	14.67%	33	Austria	12.07%
4	Romania	54.51%	19	Belgium	12.72%	34	Portugal	15.59%
5	Belarus	48.80%	20	European Union	10.31%	35	Canada	19.94%
6	Estonia	48.36%	21	Croatia	10.29%	36	Greece	20.06%
7	Slovakia	42.40%	22	Iceland	9.02%	37	Ireland	20.62%
8	Hungary	40.91%	23	Liechtenstein	8.91%	38	New Zealand	29.45%
9	Bulgaria	37.16%	24	France	7.40%	39	Spain	29.47%
10	Russian Federation	34.15%	25	Switzerland	4.07%	40	Norway	38.28%
11	Poland	30.77%	26	Italy	2.57%	41	Malta	42.73%
12	Czech Republic	28.85%	27	Finland	1.90%	42	Australia	49.08%
13	Monaco	24.76%	28	Slovenia	0.85%	43	Cyprus	69.38%
14	Germany	24.11%	29	Luxembourg	1.85%	44	Turkey	132.55%
15	United Kingdom	20.71%	30	Netherlands	6.31%			

Fuente: <http://maps.unfccc.int/di/map/>

En la **ilustración 1**, podemos observar la distribución mundial de la contaminación por CO₂ producida debido a la quema de combustibles fósiles, desafortunadamente, no todos los países comparten o tienen un registro de estos datos, por lo tanto no aparecen con alguno de los colores de medición como lo indica la escala inferior del mapa.

Ilustración 1: mapa de contaminación mundial con CO₂ por quema de combustibles fósiles.



Fuente: <http://maps.unfccc.int/di/map/>

1.2. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El NO_x es un término genérico que hace referencia a un grupo de gases muy reactivos [tales como el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂)] que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas proporciones [3].

1.2.1. ¿Qué es el dióxido de nitrógeno (NO₂)?

El dióxido de nitrógeno forma parte de un grupo de contaminantes gaseosos que se producen como consecuencia del tráfico rodado y de otros procesos de quema de combustibles fósiles. Muchos de los óxidos de nitrógeno son incoloros e inodoros. Sin embargo, el dióxido de nitrógeno (NO₂), un

contaminante común, forma en el aire junto a las partículas en suspensión una capa entre rojiza y marrón que cubre muchas zonas urbanas.

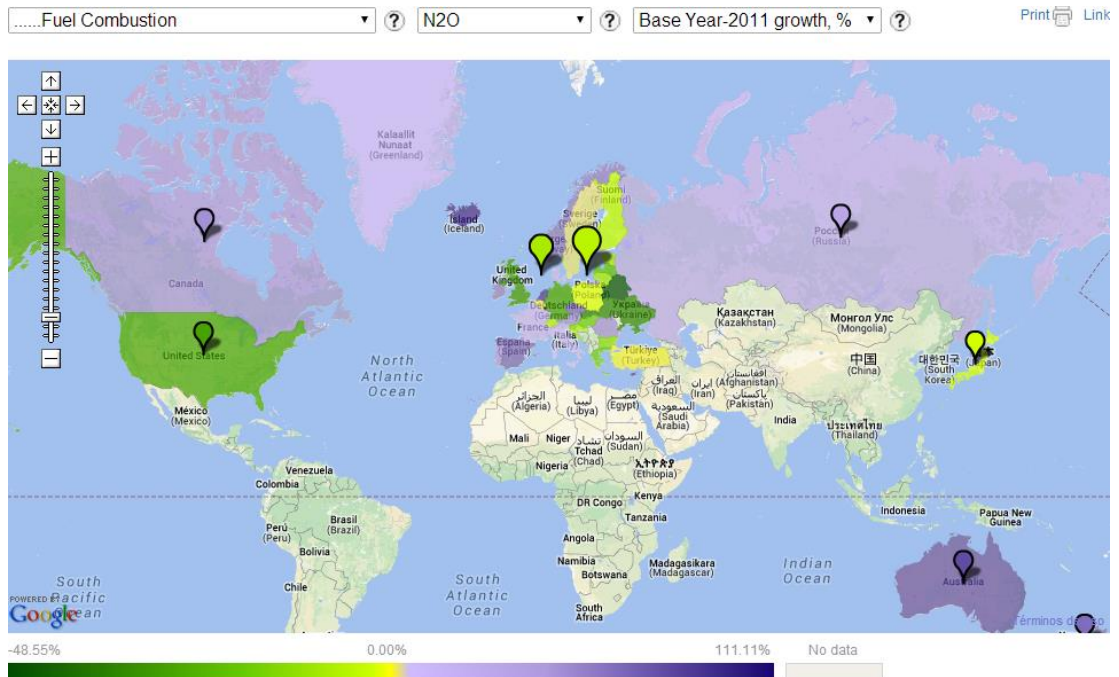
Los óxidos de nitrógeno se forman cuando se quema combustible. Las principales fuentes de NO_x son los automóviles, las centrales eléctricas y otras fuentes industriales, comerciales y domésticas que queman combustibles. En la atmósfera, los óxidos de nitrógeno pueden contribuir a la formación de ozono fotoquímico (smog o niebla contaminante) y tener consecuencias para la salud [4].

1.2.2. ¿En qué afecta el dióxido de nitrógeno (NO₂) a la salud humana?

Los estudios realizados sobre poblaciones humanas indican que la exposición a largo plazo al NO₂, a los niveles que actualmente se registran en Europa, puede provocar una disminución de la función pulmonar y aumentar el riesgo de aparición de síntomas respiratorios como bronquitis aguda, tos y flema, especialmente en los niños. Aunque algunos estudios establecen una relación entre exposición al NO₂ y mortalidad, las pruebas existentes siguen siendo insuficientes para concluir que los efectos sobre la mortalidad sean atribuibles específicamente a la exposición a largo plazo al NO₂ [5].

En la **ilustración 2**, podemos observar la distribución mundial de la contaminación por N₂O producida debido a la quema de combustibles fósiles.

Ilustración 2: mapa de contaminación mundial con N₂O por quema de combustibles fósiles.



Fuente: <http://maps.unfccc.int/di/map/>

En la **tabla 2**, podemos ver los porcentajes de contaminación con N₂O, producida por la quema de combustibles fósiles.

Tabla 2: contaminación por quema de combustibles fósiles % N₂O

1	Belarus	48.55%	16	Croatia	6.54%	31	Canada	26.04%
2	Slovakia	36.40%	17	Switzerland	6.36%	32	Romania	27.48%
3	Ukraine	35.22%	18	European Union	5.25%	33	Ireland	38.37%
4	United Kingdom	33.53%	19	Finland	4.18%	34	Norway	42.86%
5	Germany	30.15%	20	Japan	2.12%	35	New Zealand	48.15%
6	United States of America	28.05%	21	Poland	1.59%	36	Malta	50.00%
7	Latvia	23.42%	22	Turkey	0.50%	37	Spain	52.40%
8	Hungary	19.29%	23	Belgium	0.76%	38	Czech Republic	54.50%
9	Greece	18.57%	24	Sweden	1.26%	39	Monaco	59.60%
10	Slovenia	14.77%	25	Italy	6.89%	40	Australia	67.25%
11	Bulgaria	13.72%	26	France	9.06%	41	Cyprus	72.73%
12	Lithuania	9.91%	27	Denmark	11.78%	42	Netherlands	84.76%
13	Estonia	9.91%	28	Russian Federation	13.59%	43	Iceland	92.59%
14	Liechtenstein	8.70%	29	Portugal	24.12%	44	Luxembourg	111.1%
15	European Union	8.28%	30	Austria	24.46%			

Fuente: <http://maps.unfccc.int/di/map/>

1.3. Monóxido de carbono (CO).

El Monóxido de Carbono (también conocido como CO) es un gas incoloro, inodoro e insípido. No irrita - no hace toser- pero es muy venenoso, Cuando se utilizan combustibles (como la gasolina de un automóvil), se produce CO. Otras fuentes de CO incluyen casi cualquier objeto con motor, plantas eléctricas que utilizan carbón, gas o petróleo, e incineradores de basura [6].

1.3.1. Como afecta el monóxido de carbono (CO) al ser humano.

Cada ser viviente necesita oxígeno para vivir y por medio de la respiración el oxígeno llega al interior de nuestro cuerpo. Cuando una persona inhala (respira) el aire llega a los pulmones. Dentro de los pulmones, el oxígeno viaja del aire a la sangre. Una vez que el oxígeno se encuentra en el cuerpo, este requiere de ayuda para llegar a donde necesita ir. Para lograrlo cuenta

con un ayudante. Este ayudante es una molécula especial de transportación que se llama hemoglobina. La hemoglobina se encarga de tomar el oxígeno y de entregarlo a las partes del cuerpo que lo necesitan. Si hay altos niveles de CO en el aire, entonces el oxígeno no es repartido. Esta es la razón:

La molécula encargada de repartir oxígeno (hemoglobina) puede repartir oxígeno (lo que es bueno para las personas) o CO (lo que es malo para las personas). Cuando una persona respira aire que contiene CO, este desplaza al oxígeno y toma su lugar. La hemoglobina toma el CO y lo reparte en lugar de oxígeno. Esto significa que cuando el CO está presente, la hemoglobina entrega menos oxígeno al cuerpo. El cerebro y el corazón necesitan mucho oxígeno y no funcionan normalmente cuando una persona respira CO. Si alguien se expone a altos niveles de CO, puede experimentar dificultades al respirar o ligeros dolores de cabeza. Los síntomas se intensificarán si la persona está haciendo ejercicio o tiene el corazón y los pulmones débiles. Si la exposición al CO es muy prolongada o la concentración de este en el aire es muy alta, la persona puede morir por envenenamiento, por inhalación del este gas [7].

1.4. Hidrocarburos no quemados (HC)

Los hidrocarburos, compuestos formados por hidrógeno y carbono, también se originan en la combustión de aceites y gasolinas. Cabe destacar que más del setenta por ciento de los hidrocarburos emitidos a la atmósfera lo producen los motores a petróleo (buses y camiones).

1.4.1. Efectos de los hidrocarburos (HC) en los seres humanos.

Algunos de ellos, como el benzopireno, son reconocidos como agentes cancerígenos; es decir, que producen cáncer, fundamentalmente de bronquios, esófago, vejiga y páncreas; otros son irritantes y malolientes; y un tercer grupo, es capaz de reaccionar químicamente en el aire, debido a la acción de la luz solar, y de producir otros contaminantes altamente tóxicos [8].

1.4.2. Efectos de los hidrocarburos (HC) en la atmósfera.

El gas ozono, como contaminante del aire, está presente en niveles próximos a la corteza terrestre. Producto de las reacciones que sufren los hidrocarburos que son emitidos a la atmósfera, en gran parte por combustiones incompletas en los motores de combustión interna. [9]

1.5. Dióxido de azufre (SO₂)

Es un óxido cuya fórmula molecular es SO₂, es un gas incoloro con un característico olor asfixiante, se trata de una sustancia reductora que, con el tiempo, el contacto con el aire y la humedad, se convierte en trióxido de azufre (SO₃) [10].

1.5.1. El dióxido de azufre en la atmosfera.

El dióxido de azufre es el principal causante de la lluvia ácida ya que en la atmósfera es transformado en ácido sulfúrico, este gas es liberado en muchos procesos de combustión ya que los combustibles como el carbón, el petróleo, el diésel o el gas natural contienen ciertas cantidades de compuestos azufrados. Por estas razones se intenta eliminar estos compuestos antes de su combustión por ejemplo mediante la hidrosulfuración en los derivados del petróleo o con lavados del gas natural, proceso que no se realiza en todos los países o refinerías [11].

1.5.2. Como afecta el dióxido de azufre a los seres humanos.

La contaminación atmosférica daña y deteriora la salud, principalmente daña las vías respiratorias, causando así enfermedades que van desde alergias hasta enfermedades pulmonares crónicas. Las personas más vulnerables a este problema son los niños, los ancianos y aquellos que viven en regiones que se encuentran en contacto por gases contaminantes, como el dióxido de azufre [12].

Se escogió este proyecto, ya que se desea reducir los gastos en combustibles para nuestros vehículos, teniendo en cuenta que en la actualidad el costo de estos, es muy elevado, y debemos buscar otras fuentes de energía, puesto que el petróleo es una fuente de energía no renovable, la cual día tras día se agota, y cada día hay más demanda de este a nivel mundial.

Desde otro punto de vista, si se logra reducir el consumo de gasolina en los motores de combustión interna, con la implementación de este sistema, se estaría originando un gran aporte como una opción para el cuidado del medio ambiente, ya que es algo que debido a la contaminación emitida por el desarrollo industrial de la humanidad, se ha deteriorado mucho en los últimos años, y si no se cuida el medio ambiente, en un futuro no existirá un lugar habitable en el planeta tierra.

Este proyecto se dejara en la universidad como un modelo practico a seguir por futuros estudiantes de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, con el fin de incentivar a los estudiantes, para que busquen nuevas fuentes de energía que sean amigables con el medio ambiente y que sean sustentables por la humanidad.

1.6. Generador electrolítico de oxihidrogeno

Es un sistema que básicamente está conformado por láminas de acero inoxidable, un contenedor, agua, un electrolito y corriente continua, el cual es capaz de generar gas oxihidrógeno, mediante descomposición electrolítica del agua, es llamado generador de oxihidrógeno, porque produce hidrogeno y oxigeno simultáneamente.

1.7. Tipos de generadores.

Existen varios tipos de generadores, los cuales poseen ventajas y desventajas con respecto a sí mismos, estos varían en tamaño y forma, esto influye directamente en su eficiencia, y se debe tener en cuenta en el momento que se elija un diseño apropiado para el uso que se requiera.

1.7.1. Generados de hidrogeno de celda seca.

Es aquel en donde las placas de acero no están completamente sumergidas en el agua, si no que por el contrario, en conjunto con las placas de acrílico y empaques de neopreno, conforman un contenedor para la solución de agua y electrolito. Tiene la gran ventaja de disipar mejor el calor, que otras celdas que se han construido.

1.7.2. Generador de hidrogeno de celda húmeda.

Es aquel generador en el cual las láminas de acero inoxidable, están completamente sumergidas en el agua con electrolito, y estas son introducidas en un contenedor completamente hermético, el inconveniente más notorio es que se calienta mucho cuando se realiza el proceso de electrolisis, con lo cual se genera vapor de agua, y es algo que no se desea ingresar a los cilindros de un motor, además con ello se reduciría la vida útil de los materiales que la conforman.

1.7.3. Generador de hidrogeno tipo Stanley Meyer

Este generador funciona de forma contraria a los descritos anteriormente pues en ellos se usan corrientes altas (más de 10A) y voltajes bajos (12VDC), este generador funciona con corrientes en el rango de miliamperios, y corrientes por encima de los 50VDC

1.8. Gas oxihidrógeno.

El oxihidrógeno (HHO) es una mezcla de hidrógeno diatómico y oxígeno en proporción que se asume de 2:1 misma proporción del agua. El oxihidrógeno se produce habitualmente a partir de la electrólisis del agua. Lo descubrió el búlgaro **Yull Brown**.

1.8.1. Propiedades del oxihidrógeno

- Cuando esta mezcla se enciende, la combustión genera 142,35 KJ de calor por cada gramo de hidrógeno quemado.
- La auto ignición se produce aproximadamente a 570 ° C.
- La cantidad de energía calorífica liberada es independiente del modo de combustión.
- La temperatura máxima de la combustión es aproximadamente 2800 ° C, se consigue con una mezcla estequiometrica pura.

1.8.2. Aplicaciones del oxihidrógeno.

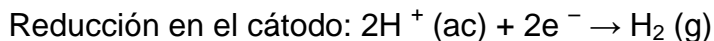
- Es ampliamente utilizado en sopletes para joyería, debido a que la llama obtenida con este gas alcanza muy altas temperaturas, además de esto, el único derivado de la combustión de estos gases es vapor de agua, por lo cual si se trabaja fundiendo cristales, estos quedaran más claros y brillantes, que cuando se los trabaja con gases como el metano, propano o gas natural.
- Es usado como antorcha de corte o soldadura, en trabajos muy especializados, donde se necesita alcanzar una gran temperatura en un pequeño punto del material a soldar o cortar, pero debido a sus costos elevados comparados con sopletes de oxi-acetileno, es raramente utilizado hoy en día.
- Actualmente se busca introducir el oxihidrógeno, como combustible para vehículos de transporte, pero hasta el momento solo se ha logrado ser utilizado como complemento del combustible fósil, con lo cual se reducen emisiones y se pretende reducir el consumo de gasolina.

1.9. Electrólisis del agua

La electrólisis del agua es la descomposición de agua (H₂O) en oxígeno (O₂) y de hidrógeno gas (H₂) debido a una corriente eléctrica que pasa a través del agua por medio de un ánodo y un cátodo. La electrólisis del agua pura requiere el exceso de energía en forma de sobretensión para superar la activación de diversas barreras. Sin el exceso de energía de la electrólisis del agua pura se produce muy lentamente o nada. Esto se debe en parte a la limitada auto-ionización del agua. La eficacia de la electrólisis se incrementa a través de la adición de un electrolito (tales como sal, un ácido o una base) y el uso de electrocatalizadores [13].

1.9.1. El cátodo.

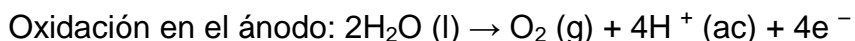
Es la placa cargada negativamente, una reducción de la reacción se lleva a cabo, con los electrones (e⁻) desde el cátodo está dando a los cationes de hidrógeno para formar gas hidrógeno:



Cada electrodo atrae a los iones de carga opuesta. Así, los iones positivos, o cationes, son atraídos y se desplazan hacia el cátodo (electrodo negativo). Entonces como el hidrogeno posee iones negativos, este es atraído hacia el cátodo, donde se forman las burbujas de este gas, con lo cual podemos decir que en el cátodo se produce el gas de hidrogeno H₂.

1.9.2. El Ánodo

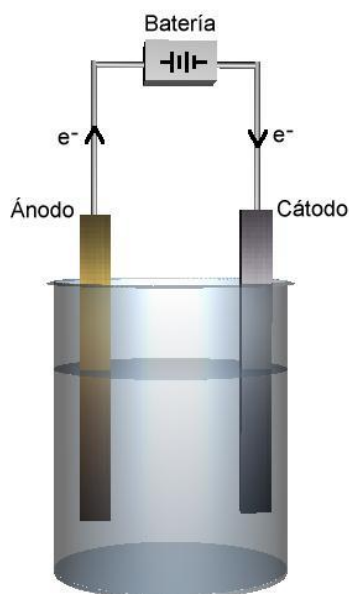
Es la placa cargada positivamente, una oxidación produce la reacción, la generación de gases de oxígeno y dando electrones hacia el ánodo para completar el circuito [14]:



Aquí los iones negativos, o aniones, son atraídos y se desplazan hacia el ánodo (electrodo positivo), aquí es donde se produce el oxígeno, ya que este posee iones negativos y es atraído hacia esta placa. Entonces en ánodo es dónde se produce el oxígeno O_2 .

Con lo anterior se puede deducir que tanto en ánodo como el cátodo en el proceso de electrolisis, actúan como un imán, ya que atraen los átomos con carga opuesta y repelen los de igual carga, así rompiendo el enlace entre el hidrogeno y el oxígeno, formando los gases descritos anteriormente, hidrogeno (H_2) en el cátodo, y oxígeno (O_2) en el ánodo. En la **ilustración 3** Se muestra un sistema básico para hacer electrolisis del agua.

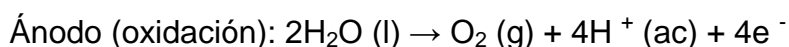
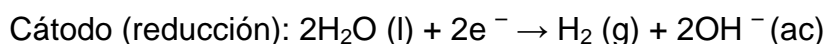
Ilustración 3: sistema básico de la electrolisis del agua



Fuente: <http://quimica.laguia2000.com/enlaces-quimicos/electrolisis-del-agua>

1.9.3. Reacción química en la electrolisis del agua

Las reacciones también pueden ser equilibradas con las bases que se enumeran a continuación. No todas las reacciones medias deben ser equilibradas con el ácido o base. Muchos lo hacen como la oxidación o reducción de agua figuran en esta lista [15].



1.9.4. Electrolito.

Es cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico. Debido a que generalmente consisten en iones en solución, los electrolitos también son conocidos como soluciones iónicas.

Comúnmente, los electrolitos existen como disoluciones de ácidos, bases o sales; las soluciones de electrolitos se forman normalmente cuando una sal se coloca en un solvente tal como el agua, y los componentes individuales se disocian debido a las interacciones entre las moléculas del solvente y el soluto, en un proceso denominado solvatación [16].

1.10. Antecedentes

Desde hace mucho tiempo se han realizado experimentos con la electricidad y el agua, y se descubrió que cuando se hace pasar una corriente eléctrica por el agua, se puede romper el enlace que existe entre los átomos que la componen librándose de este modo gas de hidrogeno y gas de oxígeno.

1.10.1. Antecedentes del oxihidrogeno

Desde principios del siglo XIX ha habido diferentes tipos de investigaciones de tecnologías viables para la producción y utilización del oxihidrógeno como una energía alternativa, por que como combustible no genera contaminación de CO₂ y su calor de combustión es mayor que el de los combustibles fósiles generalmente utilizados, esto reduce contundentemente las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera y así se evita en gran parte el efecto invernadero [17].

Uno de los principales precursores de esta tecnología fue **Stanley Meyer**, quien, consiguió ser un científico químico, que sin tener título universitario, sin embargo, creo un buggy, que podía rodar con agua, el cual utilizando solo agua recorrió 160 km con un solo galón de este, patento su invento en 1998 y por eso fue considerado el segundo mejor inventor del siglo. Lastimosamente, fue encontrado muerto el 21 de marzo de 1998 en el estacionamiento de su ciudad natal a causa de un envenenamiento y con ello se perdió la mayoría de los conocimientos y avances que, el llevaba hasta esa fecha.

Para hablar de un generador de oxihidrógeno tenemos que remontarnos a hablar de **Michael Faraday** quien con base en sus experimentos logro estudiar y demostrar el fenómeno de la electrolisis y las 2 leyes que llevan su nombre, aunque antes de los estudios de Michael Faraday, hubo otros cuantos los cuales aportaron mucho para que este proceso lograra funcionar.

Faraday planteo teorías e hipótesis en las cuales decía:

- a cantidad de Hidrogeno (o masa de gas) que se obtenía es proporcional a la cantidad de corriente que fluye por el electrolito. Por tanto para

incrementar la tasa de producción de gas, necesitas incrementar el flujo de corriente que pasa por el agua que vas a romper o dividir.

- el encontró que el voltaje óptimo entre las dos placas de electrodos en la electrolisis es de 1,24 voltios, y lo cual se sigue tomando como base para los cálculos y diseños de los generadores de oxihidrógeno en la actualidad.

En 1830 en Inglaterra, Michael Faraday fue quien mostró el camino a seguir con la electrolisis y la generación de gases para estas aplicaciones, desde ahí empezó a aparecer personas que lo repitieron, que lo mejoraron y optimizaron y empezaron a crearles aplicaciones a los descubrimientos científicos.

De todos estos experimentos para el año de 1860 el señor Jean Joseph Etienne Lenoir de Bélgica y Francia, construyó el primer carro que producía su propio combustible de Hidrógeno gracias a una batería y electrólisis a bordo, imaginen eso ustedes, ya para esos años lo habían logrado, el único inconveniente es que era en muy poca cantidad y con altísimos costos.

Para 1875 el famoso Julio Verne en su libro "La Isla misteriosa", que fue una secuela de dos de sus novelas previas, escribió lo siguiente: "El agua llevada a sus elementos iniciales, y descompuestos sin duda gracias a la electricidad, la cual luego se volverá una fuerza manejable y poderosa. Si, mis amigos, yo pienso que el agua será algún día empleada como combustible".

Muchos experimentos se realizaron hasta 1888, pero todos ellos tenían el inconveniente de que eran muy caros de realizar y mantener, porque los generadores de Hidrógeno estaban basados en electricidad, que para esa época era difícil de adquirir y para tan solo unos pocos.

En el mundo hay varias patentes relacionadas con generadores de oxihidrógeno pero una de las primeras en la cual se habla de este medio para el funcionamiento de un motor de combustión interna fue aprobada en Berlín en el año de de 1932 por Rudolf erren y así otras 2 patentes más relacionadas con el tema por este mismo hombre.

Otro hombre que dio grandes aportes en el año de 1960 para la generación de HHO fue William Rhoades que comprendió que la mezcla de gases que ahora llamamos HHO tenía un mérito y características propias en vez de ser materia prima para la manufactura de H_2 , O_2 , NH_3 y muchos otros compuestos químicos [18].

1.10.2. Stanley Meyer

Creo una pila de combustible de agua la cual afirmo que era capaz de mover un automóvil reemplazando completamente el uso de combustible fósil.

Su funcionamiento consistía el que por medio de agua (H₂O) y la separación de los compuestos que la componen que son el hidrogeno y el oxígeno, con el hidrogeno y su quema se produce una energía similar a la electrolisis. Meyer logro esto sin tener un título universitario.

Su proyecto más contundente con respecto a un automóvil impulsado completamente por agua, fue la construcción de un buggy que con tan solo un galón de agua recorrió 160 Km/h, este invento Stanley Meyer lo patento en año de 1998 y gracias a esto fue considerado el 2 mejor inventor del siglo.

Meyer indico que su dispositivo funcionaba como una máquina de movimiento perpetuo con lo que fue muy criticado pues como se indica el dispositivo funciona y a la vez violo las dos primeras leyes de la termodinámica.

El funcionamiento de la “célula de combustible” necesitaba la interacción con la electricidad, donde el agua era sometida a una resonancia eléctrica y esta separaba el oxígeno y el hidrogeno que luego se quemaba y se expandía como vapor de agua en un motor de combustión interna para producir dicha energía.

Al respecto del real y completo funcionamiento del buggy de Meyer se ha especulado mucho y a la vez se le ha criticado y ahí grandes fuentes que indican que el agua como combustible es simplemente un mito que quizás nunca desaparezca.

Meyer fue encontrado muerto el 21 de marzo de 1998 en el estacionamiento de su ciudad natal producto de un envenenamiento y con él se enterraron las ideas fuertes del agua como única fuente de energía y los grandes avances que quizás pudo haber conseguido.

1.10.3. Antecedentes en Colombia

Diversos estudios con respecto a generadores de oxihidrógeno se han llevado a cabo en Colombia, los principales han sido realizados por universidades y por microempresas del sector privado, este es un tema el cual despierta interés como energía alternativa, o como combustible alternativo para vehículos el cual reduce las emisiones de CO₂ a la atmosfera, al contrario produce un vapor de agua el cual se genera por la electrolisis y supuestamente se genera incluso más potencia que la generada por los combustibles fósiles.

1.10.4. Universidades

En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas diseñan y construyen un generador de hidrogeno, alimentado en su totalidad con paneles solares, con el cual logran producir hidrogeno, y de la cual hacen una tesis donde explican el funcionamiento y la construcción en general del proyecto, además de tablas con los datos generados por el experimento.

- Estudiantes de la Universidad Nacional sede Medellín realizan una tesis de grado en donde se realiza un desarrollo matemático con el fin de obtener los lineamientos de diseño de un control automático de una celda de electrolisis, la cual será excitada por medio de una señal AC que induce al sistema a un estado de resonancia, con el fin de maximizar el nivel de energía dentro de la celda y optimizar el grado de producción de hidrógeno en la misma. Igualmente se propone un circuito en una configuración que facilitará la transformación del agua en los gases que la componen. Se expone el código en lenguaje de alto nivel realizado para el fin específico. Se realiza el análisis de la simulación del sistema (celda - control), comparando resultados obtenidos y finalmente se concluye respecto a la idoneidad del uso del control diseñado.
- Estudiantes de la Universidad Nacional sede Medellín, fabrican un cátodo para la producción de hidrogeno, basado en níquel, cobre y aluminio, mediante electrólisis en celdas alcalinas se han realizado estudios de electro catalizadores como el níquel al cual se le han dispuesto recubrimientos y aleaciones de diferentes metales a diferentes proporciones y hasta el momento ha mostrado el mejor comportamiento en este medio para tal fin, por lo tanto esta investigación pretende construir cátodos de metales puros comunes como aluminio y cobre y caracterizarlos cinéticamente para posteriormente compáralos con los resultados obtenidos de la caracterización cinética que también se le realizará al níquel y así determinar si uno de estos metales podría reemplazarlo en caso de presentar mayor actividad catalítica. Este estudio se realizó aplicando una técnica dinámica como la voltametría cíclica y una técnica estacionaria como la basada en el tiempo. Para este estudio se usaron soluciones de NaOH a diferentes presiones para cada electrodo y se determinó el rango de potenciales a aplicar de acuerdo a los diagramas de Pourbaix. Finalmente se concluyó que el níquel sigue presentado mejores resultados que el cobre y el aluminio para producción de hidrógeno en celdas alcalinas y que a medida que disminuye el pH de manera general aumenta la actividad catalítica para todos los electrodos.
- En la Universidad Nacional sede Medellín, estudiantes de ingeniería electricista realizan una tesis, sobre, fuentes sostenibles de generación de energía eléctrica, una de las más prometedoras es las pilas de combustible, las cuales proveen energía en tanto se les suministre combustible. Existen diferentes tipos de combustible utilizados para este tipo de tecnología, uno de los más usados es el hidrogeno, el cual es un vector energético que se puede generar a partir de fuentes renovables como sistemas solares, geotérmicos, etc. Las diferentes exigencias de movilidad, uso de tecnologías limpias, y calidad de servicio han presionado a que se utilicen fuentes renovables de energía eléctrica, teniendo las pilas de combustible ciertas ventajas sobre otros tipos de tecnologías como la solar o la eólica, ya que las pilas de combustible en

cuanto se le suministre combustible, mantiene un flujo de potencia constante. Los sistemas eólicos o fotovoltaicos no cumplen la anterior característica debido a que estos están sometidos a niveles de vientos e irradiación solar respectivamente, que son variables y que son afectados por otros fenómenos como sombras, estructuras, nubosidad, etc. En aplicaciones críticas, donde no es aceptable una reducción de la calidad de la iluminación, por ejemplo quirófanos, laboratorios, salas de estudio, etc., la iluminación basada exclusivamente en energía solar no es viable. Así mismo, los sistemas fotovoltaicos no son aptos para aplicaciones móviles. En este proyecto se propondrá una metodología para diseñar sistemas móviles, de inyección de energía a la red, y de iluminación basados en pilas de combustible, en donde se permite garantizar una calidad específica de energía para cada aplicación.

1.10.5. Empresas

- PowerCol es la pionera en la instalación de generadores de hidrogeno en distintas áreas en Colombia, especializados en la instalación de generadores de hidrogeno vehicular, esta empresa lleva como batuta lograr una menor contaminación al medio ambiente por medio de este proceso y además cuenta con un departamento de investigación el cual lleva a cabo pruebas constantemente para lograr hacer cambios positivos a los sistemas de generadores de hidrogeno, esta empresa busca consolidarse a nivel mundial como una empresa líder en desarrollo, instalación, mantenimiento y comercialización del hidrogeno vehicular. En Colombia esta empresa cuenta con varias sedes a nivel nacional, de la cual su principal sede está ubicada en el centro de Bogotá, esta empresa cuenta con servicios de diagnóstico, instalación, mantenimiento, entre otras a los clientes.
- HydroForce de Colombia es una empresa que representa en Colombia a compañías norte americanas dedicadas al estudio y la implementación del hidrogeno vehicular, además tiene sedes en Canadá, España y otros países de Latinoamérica, su lema es el de bajar drásticamente la contaminación de la atmosfera, reduciendo al máximo las emisiones de CO y CO₂ producidos por los combustibles fósiles actuales, también pretenden reducir costos en combustibles del cliente.

2. METODOLOGIA

Poniendo en práctica los conocimientos adquiridos en la universidad y los estudios realizados sobre el tema que se trata en este proyecto, se llevarán a cabo una serie de pasos o por decirlo de otra manera se llevará el siguiente orden con el fin de cumplir los objetivos propuestos y culminar el proyecto a cabalidad.

- Lo primero que se realizara será el estudio de todos los factores que influyen en el diseño y la construcción del generador de hidrogeno; para ello estudiaremos a fondo los avances que se han podido lograr en Colombia y a nivel mundial.
- Con los conocimientos adquiridos en la universidad y los estudios autónomos, se realizara el diseño del generador de oxihidrógeno; principalmente se realizara todo el diseño en el programa de dibujo y diseño llamado solidworks, aplicando el conocimiento adquiridos en la universidad.
- Se realizara la construcción de la celda con los materiales adecuados para ello, esto fue determinado con anterioridad, mediante estudios y pruebas realizadas en otros proyectos y en otras universidades, llegando a la conclusión que el más adecuado para ello es el acero inoxidable 316L, lastimosamente este acero es muy complicado de conseguir en la cantidad que se necesita para el proyecto, y es bastante costoso, para comprar la cantidad que se consigue comercialmente, por este motivo se cambia por el acero inoxidable 304L el cual tiene propiedades similares al 316L.
- Se realizara el montaje del generador en un motor de combustión interna de inyección electrónica, este montaje se le realizara a un motor de un Chevrolet Aveo 1600cc, pedido en calidad de préstamo a la universidad (ECCI), y bajo la supervisión y colaboración del ingeniero Néstor Raúl Fonseca.
- Se implementaran componentes electrónicos para poder incrementar la eficiencia del generador, ya que se necesita en primera medida controlar la cantidad de corriente que consumirá el generador, y segundo se necesitaran cambiar las señales de entrada al computador del motor, para que este inyecte menos gasolina a la cámara de combustión, la cual será sustituida parcialmente por el hidrogeno producido en el generador.
- Se realizaran pruebas estáticas, con y sin el generador funcionando, y se realizaran pruebas de consumo de combustible y emisiones de gases, y se compararan los datos obtenidos, para esto se utilizaran equipos

suministrados por la universidad, como lo son: analizador de gases, escáner automotriz, multímetros, vacuometro.

- Se registraran los resultados en un escrito y se realizaran distintas pruebas buscando la mayor eficiencia del sistema.
- Por último se realizara un trabajo escrito donde quedaran registrados los avances logrados con este proyecto y será sustentado a la universidad, en una fecha determinada por esta misma.

2.1. Diseño del generador de oxihidrogeno

Para el diseño del generador se tuvieron en cuenta, factores importantes como corriente y voltaje de funcionamiento, tamaño, tipo de electrolito que se va a usar, cantidad de solución electrolítica en reserva, materiales disponibles en Colombia y presupuesto.

2.1.1. Funcionamiento

Con la corriente producida por el alternador, y almacenada en la batería, se alimentara todo el sistema de oxihidrogeno, incluyendo módulo de control de potencia y CCPWM, los cuales son los encargados de distribuir y controlar la corriente con la cual se alimentara el generador de oxihidrogeno, este gas será filtrado varias veces, previniendo que vapor de agua o solución electrolítica lleguen al motor afectando el funcionamiento de este.

2.1.2. El gas oxihidrógeno (HHO).

Se comporta como un potencializador en la quema de los combustibles fósiles, es decir, ayuda a quemarlos completamente; y por lo tanto, se reducen las emisiones contaminantes (menos hidrocarburos sin quemar en el escape), además de tener consecuencias en el rendimiento del combustible representando ahorro.

En motores a carburador, la gasolina se quema totalmente en un 45% (70% los más eficientes), en los Fuel Inyección más recientes no pasa de 85%, debido a condiciones atmosféricas, calidad del combustible, falencia en el diseño de motores en sí, entre otros.

Al ser tan pobre la quema total del combustible (con Gas Natural y Diesel también aplica, pero con diferentes valores), surgen los valores tan altos de gases contaminantes y la eficiencia no total en los motores. Un motor de 2000c.c por ejemplo nunca trabajará a su rendimiento esperado.

La adición del Oxihidrógeno o Gas HHO aumenta el porcentaje de quema total del combustible fósil (gasolina, diésel, GNV, GLP) incrementando el octanaje (el Octanaje del Hidrógeno es 130), aumentando potencia y por consiguiente disminuyendo el consumo del motor, llevando el mismo a trabajar casi al rendimiento esperado en su diseño [19].

Además se han realizado diferentes pruebas no oficiales en las cuales se logra un incremento de kilómetros por galón (entre el 20% y el 35%) en motores de inyección electrónica como el utilizado en el proyecto, del cual se entregara los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, manteniendo las revoluciones del motor constantes; datos que se comprobaran con las pruebas y resultados de este proyecto.

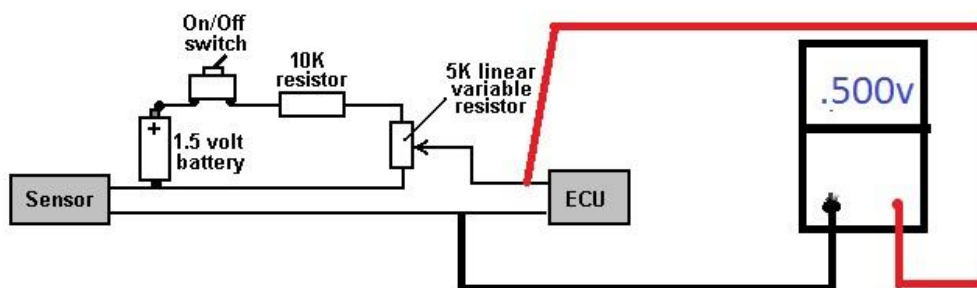
La disminución en la contaminación es contundente pues se reducen las emisiones de CO y CO₂, también se reducen las emisiones de (hidrocarburos) que es el combustible que no se quema durante el proceso de combustión del motor, también se logra la reducción de NOX hasta en un 10% pero esto es algo que no se puede comprobar con este proyecto, debido a que las mediciones de NOX se deben medir en una prueba dinámica, y este proyecto solo está enfocado a pruebas estáticas.

2.2. Intervención del sensor de O₂

Debido a que el módulo efie que se adquirió a una empresa colombiana ubicada en la ciudad de Cali, se quemó al conectarla, al no tener este garantía, se decidió fabricar el circuito que se encontró en un blog sobre el tema que se trata en este proyecto, es un circuito simple, el cual utiliza una batería de 1.5v, y la cual suministra el voltaje con el cual se fijara la señal que será enviada por el sensor a la ECU, esta señal no será fija, variara según lo haga la señal enviada por el sensor de O₂, con lo cual se puede decir que la señal que se le envía a la ecu, será una señal amortiguada.

La intervención del sensor se hizo según se observa en la **Ilustración 4**.

Ilustración 4: circuito para intervenir sensor O₂



Fuente: <http://hidrogenohho.foroactivo.com.mx/t91p15-mi-primer-celda-seca>

2.3. Regulador del ancho de pulso corriente constante (CCPWM)

Uno de los componentes principales y más importantes para un buen sistema de oxihidrógeno es el CCPWM (modulador de ancho de pulso corriente constante). Este pequeño circuito electrónico controla por impulsos la corriente eléctrica que fluye a través de la celda de oxihidrógeno regulando el flujo de modo que se produzca HHO de forma más eficiente.

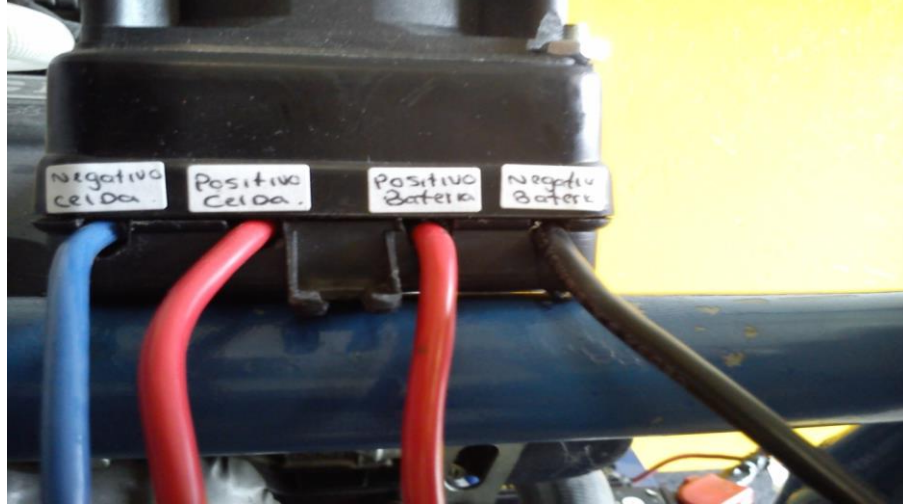
Con este se tendrá el control de la intensidad de corriente de entrada en el generador también mantiene la celda funcionando a temperaturas bajas prolongando su vida útil, mientras que se logra un aumento de la producción de gas HHO. Podemos observar el CCPWM en la **Ilustración 5**. También tenemos en la **Ilustración 6** las conexiones con sus respectivas marquillas de las salidas.

Ilustración 5: CCPWM



Fuente: Propia

Ilustración 6: CCPWM salidas



Fuente: Propia

2.4. Módulo de control de potencia

Es un elemento eléctrico **Ilustración 7**, el cual es el encargado de permitir o cortar el paso de corriente eléctrica, desde la batería, hasta el sistema oxihidrogeno, básicamente es un relé temporizado, el cual permite el paso de corriente, 10 segundos después de que el motor este encendido, o el módulo de control de potencia tenga una señal eléctrica de entrada de 14v, también se puede encender el modulo sin necesidad de que el motor este encendido simplemente presionando un botón, este módulo se controla totalmente desde el tablero de control de sistema de oxihidrogeno.

Básicamente con este módulo automatizamos el encendido y apagado del sistema de oxihidrogeno, con el fin de que el sistema no siga consumiendo corriente una vez apagado el motor, y que tampoco consumo corriente en el encendido del motor, ya que le quitaría fuerza al arranque. En la ilustración x observamos el módulo de control de potencia antes de su conexión.

Ilustración 7: módulo de control de potencia



Fuente: Propia

2.5. Tablero de control.

En la **Ilustración 8** se observa el tablero donde están ubicados los interruptores y potenciómetros con los cuales se controla todo el sistema generador de oxihidrógeno, y desde allí también se puede controlar la cantidad de corriente que se desea que consuma la celda, en este tablero también se ubica el potenciómetro, con el cual se calibra la señal del sensor de oxígeno.

Ilustración 8: tablero de control



Fuente: Propia

2.6. Alternador

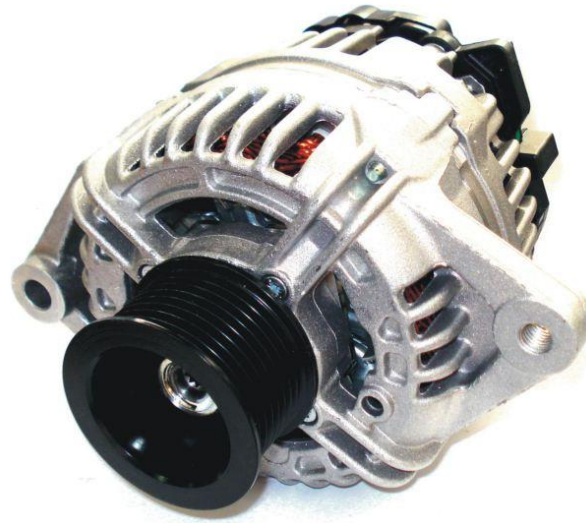
El alternador es el elemento del circuito eléctrico del automóvil que tiene como misión transformar la energía mecánica en energía eléctrica, proporcionando así un suministro eléctrico durante la marcha del vehículo.

El alternador en un vehículo debe estar diseñado para proporcionar corriente eléctrica necesaria para la carga de la batería así como suministrar corriente a todos los demandantes eléctricos que lo requieran [20].se observa en la **Ilustración 9**.

Básicamente está formado por:

- Polea: Es la que recibe la fuerza mecánica procedente del motor térmico de combustión a través de una correa, normalmente poli V. Esta polea va enganchada al eje del alternador que mueve el rotor que hay en su interior y arrastra también al ventilador, situado en el interior en los alternadores de última generación [21].
- Rotor (inductor): es la parte móvil del alternador, está formada por un electroimán que recibe corriente desde el regulador a través de unos anillos rozantes situados en el eje. Este electroimán produce un campo magnético, ante el cual reaccionan las bobinas del estator (parte fija) produciendo la corriente eléctrica [21].
- Regulador: es el encargado de mantener una tensión máxima de salida del alternador de 14.5 voltios. A mayor rpm mayor campo magnético y a su vez se produce más voltaje, es por eso que a más revoluciones suministra menos corriente al rotor (inductor) [21].
- Estator (inducido): Es la parte fija sobre la que se encuentra el bobinado trifásico. Este puede estar constituido en estrella o en triángulo [21].
- Puente rectificador de diodos: Es el elemento encargado de rectificar la corriente de salida del alternador (ya que esta es alterna) haciendo que ésta se convierta en continua y sea factible para el uso en el automóvil [21].

Ilustración 9: alternador de automóvil.



Fuente: <http://professionalautomotive.wordpress.com/2012/06/30/el-alternador-principio-de-funcionamiento/>

2.7. Batería

Es un acumulador que proporciona energía eléctrica para el motor de arranque y para otros accesorios del automóvil y también para el generador de oxihidrógeno, este voltaje primero pasara por el regulador de voltaje para evitar que hayan caídas de tensión o cualquier otra anomalía que afecte el sistema. Estas son circuitos en línea de células acumuladoras de plomo con un voltaje nominal de 2,12 V (voltios) por unidad. Para conseguir un voltaje nominal de 6 V o bien 12 V se necesita un circuito en línea de 3 o bien 6 células por batería. Algunos camiones puede precisar de baterías de 24 V, que no es otra cosa que un circuito en línea con 2 baterías de 12 V. Las baterías se dividen en baterías de líquido (ácido), de vellón y de gel [22].

3. INSTRUMENTOS Y HERRAMIENTAS

3.1. Analizador de gases

Mide la composición de los gases de escape mediante su análisis y su respectiva comparación con una muestra base y con esta se puede determinar la composición porcentual volumétrica de los gases tomado del motor, por lo tanto se debe tomar una medición del motor en su óptimo funcionamiento, identificando que el dispositivo estén en ceros antes de introducir la sonda que toma los gases para su medición [23].

El analizador de la **Ilustración 10** puede medir pruebas de gases de escape (CO, CO₂, HC Y O₂, NO_x, y temperatura del motor) estas mediciones se deben hacer teniendo en cuenta las RPM del motor.

Ilustración 10: analizador de gases utilizado



Fuente: Propia

3.1.1. Partes

- Tubos Emisores de rayos infrarrojos
- Receptor de rayos infrarrojos
- Tubo para escape del automóvil
- Lentes
- Compresor
- Cámara de Gases
- Cámara para muestra de gases

- Aguja para toma de datos
- Comparador

3.1.2. Funcionamiento

Los tubos emisores de rayos infrarrojos proyectan estos a través de unos lentes los cuales cada uno selecciona y analiza cada uno un diferente tipo de gas, estos rayos ya difractados pasan a través de la cámara de gases y es pasado luego a su dispositivo sensor (detectores).

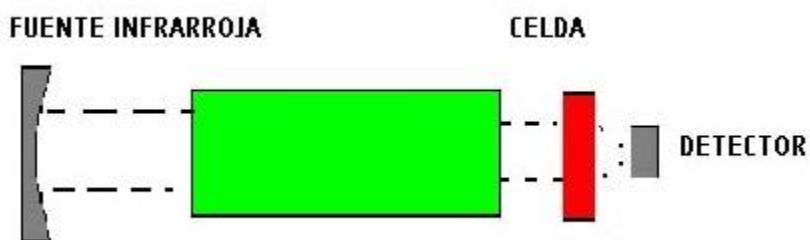
Este dispositivo nos permite identificar y analizar un gas, por medición del equivalente de la luz infrarroja absorbida en una onda particular de energía infrarroja que pasa a través de las células contenidas en la mezcla de un gas. Si un gas absorbe un espectro de luz infrarroja, y este espectro es característico y específico de dicho gas, entonces la indicación de esta absorción puede ser usada como indicación de la concentración de dicho gas.

La concentración de un gas que se quiere medir puede ser expresada porcentualmente de acuerdo a la absorción de IR que pasa a través de una celda que contenga ese gas en una mezcla de gases.

El analizador de gases es usado principalmente para poder medir la concentración de los gases presentes en la mezcla, consiste en hacer pasar luz infrarroja por una celda que contiene el gas, y detectar la energía absorbida por cada uno de los gases con detectores apropiados. Estos detectores consisten en un filtro óptico formando por un lente que permite solo pasar las longitudes de onda del espectro infrarrojo correspondientes al gas cuya concentración se quiere medir [23].

Luego de este filtro, la luz es censada por un sensor óptico electrónico (fotodiodo o fototransistor). a continuación podemos observar el diagrama de funcionamiento del analizador de gases, **Ilustración 11**.

Ilustración 11: Diagrama de funcionamiento del analizador de gases



Fuente: <http://www.cise.com/porta/otas-tecnicas/item/302-an%C3%A1lisis-de-los-gases-de-escape-de-los-motores-de-combusti%C3%B3n-interna.html>

3.2. Escáner

La mayoría de los autos de la actualidad poseen computadoras llamadas ECU las cuales se encargan de controlar varios dispositivos del automóvil, tanto de funcionamiento como de accesorios, controla funciones como la ignición, las revoluciones, el tiempo de apertura de los inyectores, las señales de los sensores y a la vez mandan esta señal a los actuadores para que estos hagan la función correcta.

Estas computadoras tienen una entrada específica para un escáner, el cual es el dispositivo encargado de leer los códigos de la ECU y así poder ver que códigos presentan error y diagnosticar la falla, el escáner también borra estos códigos de error.

El escáner hace un análisis global de la ECU para identificar los errores y así encontrar donde están las posibles fallas del automóvil. Después de utilizar el escáner es importante restablecer los códigos idóneos de la ECU para que funcione de nuevo en su estado normal. Podemos observar en la **Ilustración 12** el Escáner Utilizado en las Pruebas realizadas al motor.

Ilustración 12: Escaneando el motor de inyección electrónica junto con el dispositivo



Fuente: Propia

3.3. Limpiador de inyectores

Los inyectores son parte fundamental del funcionamiento del motor pues son los encargados de dosificar la entrada de combustible en los momentos exactos estos son activados por el computador de automóvil el cual envía un pulso para abrir el inyector y si un inyector falla se va a sentir una gran diferencia en el funcionamiento del motor, los inyectores generalmente son de alta duración siempre y cuando se le realice un mantenimiento puntualizado en limpiarlos cuando este lo requiera.

Para este proyecto necesitamos que el funcionamiento del motor este al máximo por lo tanto se hizo una lavado de los inyectores con un “Banco limpiador de inyectores” T6 el cual simula el funcionamiento de los inyectores, con combustible fósil que a la vez está mezclado con un liquido limpiador de inyectores también T6.

3.4. Tanque de gasolina

Es el contenedor de combustible que forma parte del sistema total del motor, este combustible es propulsado por medio de una bomba y así pasa por

medio de una manguera a los inyectores y posteriormente a la cámara de combustión.

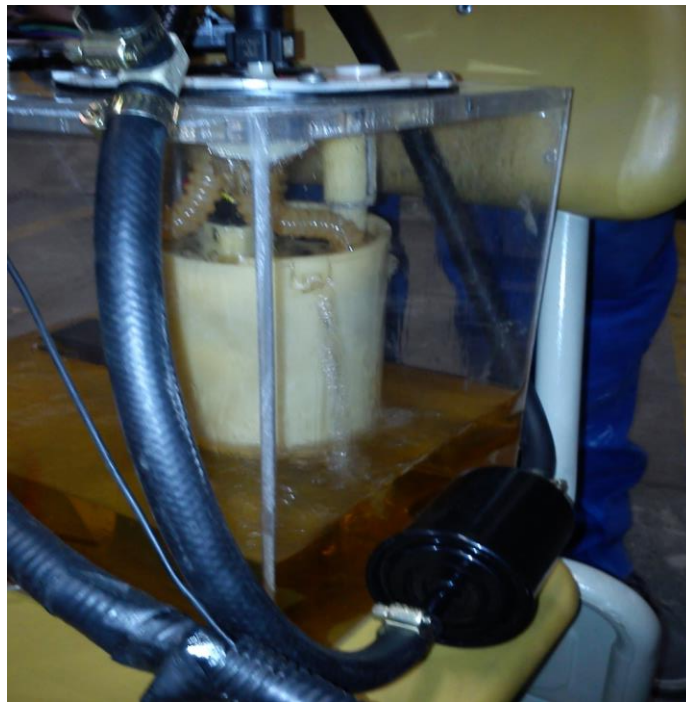
Para medir si el generador de oxihidrógeno realmente está ahorrando combustible fósil fue necesario que diseñáramos y construyéramos un depósito de gasolina mostrado en la **Ilustración 13** y **Ilustración 14** con acrílicos de 20cm X 25cm de 5 mm de espesor, y una cara superior con 20cmX20cm pero con un espesor de 10mm porque es la cara en la cual va a ir soportada e instalada la bomba de combustible la cual tiene un peso el cual debe tenerse en cuenta. A esta lamina de acrílico superior de 10mm de espesor se le hacen unos orificios de la misma medida y diámetro que las del depósito de gasolina original y se instala la bomba de gasolina con su respectivo cableado y retorno, además se hace un orificio para la entrada y la salida del combustible, que será la forma en la cual adicionaremos el combustible en una específica medida para así lograr una correcta medición del ahorro real de combustible gracias al generador de oxihidrogeno. Es importante recordar que el depósito de combustible debe ser completamente hermético para un correcto funcionamiento del dispositivo.

Ilustración 13: Depósito de combustible construido por los Autores



Fuente: Propia

Ilustración 14: Depósito de combustible construido por los Autores



Fuente: Propia

4. DISEÑO DE UN GENERADOR DE OXIHIDROGENO PARA UN MOTOR DE INYECCION DIRECTA (AVEO 1.6L)

El diseño que se realizó, es conocido como generador de oxihidrogeno de celda seca del cual se hizo un previo estudio e investigación con base en artículos de internet y libros relacionados con la electrolisis del agua los cuales marcaron la partida para realizar un buen diseño del dispositivo. También teniendo en cuenta y evitando la gran pérdida de energía de la batería que produce el funcionamiento del generador de HHO analizando que el tamaño sea adecuado al tamaño del motor, para el proyecto se utiliza un motor de inyección Electrónica 1.6 L del cual se partió como base para las dimensiones del generador.

4.1. Materiales utilizados

Se eligieron en base al diseño realizado para el generador de HHO en los cuales se debe tener en cuenta variables físicas y químicas necesarias para su construcción como también los costos y los tiempos.

4.1.1. Láminas de acero inoxidable 304L

En la norma SAE se indica que está entre los aceros de aleación austenítica de cromo-níquel, son uno de los aceros básicos por su gran utilización en la industria. Su composición química es de 18% de cromo y 8% níquel, estos aceros son utilizados por que son fáciles de soldar, formar y tienen una gran resistencia a la corrosión, su utilización se enfoca en intercambiadores de calor, tuberías, válvulas y recipientes a presión.

Estas laminas se utilizaran como ánodos, cátodos o placas neutras, según la configuración de carga dada en el diseño, estas están en contacto con la solución electrolítica, se utiliza acero inoxidable 304L el cual es una variación del 304 con un menor contenido de carbono con lo cual reduce el riesgo de corrosión galvánica, la cual se origina debido al proceso electrolítico que se lleva a cabo en la celda de oxihidrógeno [24].

Se usan láminas con un acabado 2b, que es un acabado satinado, con lo cual se consigue una mayor superficie de cada lado de la placa de acero.

En la **Tabla 3** podemos observar algunas de las ventajas que nos llevaron a Utilizar el Acero 304L, También podemos observar en la **tabla 4** sus elementos de aleación. En las **Tablas 5 y 6** observamos las composiciones químicas y las Características Físicas respectivamente. En la **Ilustración 15** Observamos la placa de acero 304L diseñada en solidworks específicamente para el proyecto.

Tabla 3: tabla de ventajas del acero 304L

VENTAJAS	EXPLICACIÓN DETALLADA
Resistencia a la corrosión	Los aceros de baja aleación, resisten la corrosión en condiciones atmosféricas; los aceros inoxidable altamente aleados pueden resistir la corrosión en la mayoría de los medios ácidos, incluso a elevadas temperaturas.
Resistencia a la alta y baja temperatura	Algunos aceros resisten grandes variaciones térmicas y mantendrán alta resistencia a temperaturas muy altas, otros demuestran dureza excepcional a temperaturas criogénicas.
Facilidad para la fabricación	La mayoría pueden ser cortados, soldados, forjados y mecanizados con resultados satisfactorios
Resistencia mecánica	La característica de endurecimiento por trabajo en frío de algunos aceros inoxidable se usa en el diseño para reducir espesores y así, los costos. Otros pueden ser tratados térmicamente para hacer componentes de alta resistencia
Estética	Está disponible en muchas terminaciones superficiales. Se mantiene fácilmente dando por resultado una alta calidad.
Propiedades higiénicas	La facilidad de limpieza lo hace la primera opción en hospitales, cocinas, e instalaciones alimenticias y farmacéuticas
Ciclo de trabajo	Es durable, y es la opción más barata considerando el ciclo vital

Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/26/7-aceros-inoxidables/>
Metalografía universidad tecnológica de Pereira

Tabla 4: elementos de aleación y su influencia

CROMO	NÍQUEL	MOLIBDENO
Formador de Ferrita y Carburo	Formador de Austenita	Formador de Ferrita y Carburo
<ul style="list-style-type: none"> - Principal responsable de la resistencia a la corrosión y de la formación de la película de óxido - No presenta aporte significativo en la resistencia a altas temperaturas y al <u>creep</u>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la resistencia general a la corrosión en líquidos no oxidantes. Mejora la tenacidad y la ductilidad. - Se añade a los grados con cromo para mejorar las propiedades mecánicas. - Aumenta la resistencia eléctrica, la fatiga y aumenta la capacidad de ser soldado. - Reduce la conductividad del calor 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la resistencia a temperaturas elevadas y al <u>creep</u>. - Mejora la resistencia general a la corrosión en medios no oxidantes, y la resistencia a la corrosión por picadura en todos los medios

Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/26/7-aceros-inoxidables/>
Metalografía Universidad tecnológica de Pereira

Tabla 5: composición química aceros inoxidables

Denominación				Composición química nominal %					
	TIPO	AISI	W.Nr	DIN	C _{max}	Cr	Ni	Mo	Otros
Martensítico	410	1.4006	X12Cr13		0,15	11,5/13,5	0,75Max		
Martensítico	420	1.4021	X20Cr13		0,25	12/14			
Ferrítico	409	1.4512	X2CrTi12		0,03	10,5/12,5			Ti: 6x(C+N) Max: 0,65 Tubos=Al 0,1/0,3 EN-10296-2N ≤0,03
Ferrítico	430	1.4016	X6Cr17		0,08	16/18			Tubos=Al 0,1/0,3
Ferrítico	439	1.4510	X3CrTi17		0,05	16/18			Ti: 4x(C+N)+0,15-0,8 Tubos=Al 0,1/0,3
Ferrítico	441	1.4509	X2CrTiNb18		0,03	17,5/18,5			Ti: 0,1/0,6 Nb: 3x(C+0,3-1,0
Ferrítico	444	1.4521	X2CrMoTi18-2		0,025	17/20		1,8/2,5	Ni: ≤0,030 Ti: 4x(C+N)+0,15-0,8
Austenítico	304	1.4301	X5CrNi18-10		0,07	17,5/19,5	8/10,5		N: ≤0,11
Austenítico	304L	1.4306	X2CrNi19-11		0,03	18/20	10/12		N: ≤0,11
Austenítico	304L	1.4307	X2CrNi18-9		0,03	17,5/19,5	8/10,5		N: ≤0,11
Austenítico	321	1.4541	X6CrNiTi18-10		0,08	17/19	9/12		Ti: 5x(C+N) Max: 0,70
Austenítico	347	1.4550	X6CrNiNb18-10		0,08	17/19	9/12		Nb: 10x(C+N) Max: 1
Austenítico	316	1.4401	X5CrNiMo17-12-2		0,07	16,5/18,5	10/13	2/2,5	N: ≤0,11
Austenítico	316L	1.4404	X2CrNiMo17-12-2		0,03	16,5/18,5	10/13	2/2,5	N: ≤0,11
Austenítico	316L	1.4435	X2CrNiMo18-14-3		0,03	17/19	12,5/15	2,5/3	N: ≤0,11
Austenítico	316Ti	1.4571	X6CrNiMo17-12-2		0,03	16,5/18,5	10,5/13,5	2/2,5	Ti: 5x(C+N) Max: 0,70
Austenítico	310/314	1.4841	X15CrNiSi25-21		0,20	24/26	19/22		N: ≤0,11
Austenítico	904L	1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5		0,02	19/21	24/26	4/5	N: ≤0,15 Cu: 1,2/2
Duplex 2205		1.4462	X2CrNiMoN22-5-3		0,03	21/23	4,5/6,5	2,5/3,5	N: 0,10/0,22
Duplex 2101		1.4162	X2CrMnNiN21-5-1		0,03	21	1,5	0,3	N: 0,22 Mn: 5
Super Duplex S32750		1.4410	X2CrNiMoN25-7-4		0,03	24/26	6/8	3/4,5	N: 0,24/0,35
Super Duplex S32760		1.4501	X2CrNiMoCuWN25-7-4		0,03	24/26	6/8	3/4	N: 0,2/0,3 Cu: 0,5/1,0 W: 0,5/1,0

Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/26/7-aceros-inoxidables/>
Metalografía Universidad Tecnológica de Pereira

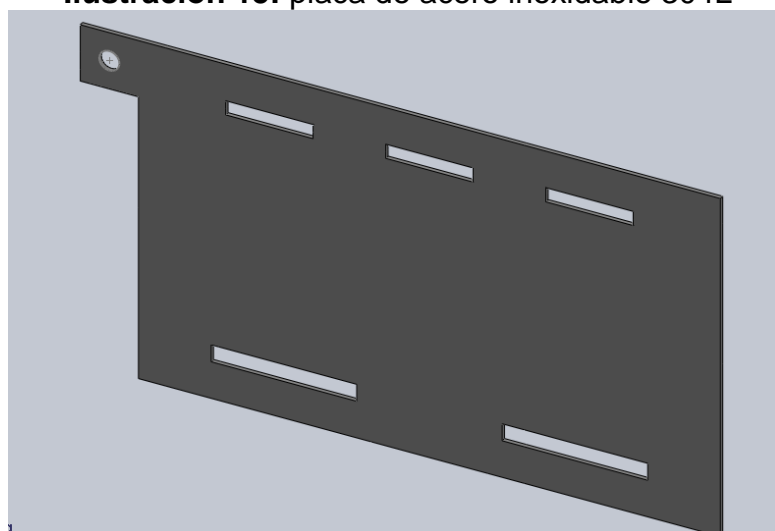
Tabla 6: Características Físicas de los Aceros Inoxidables

TIPO	AIISI	W.Nr	DIN	Densidad Kg/dm ³	Resistividad eléctrica ρ . mm ² m	Coef. de dilatación térmica media (0-100°C) 10 ⁻⁵ .K ⁻¹	Conductividad térmica W k.m	Calor específico J g.k	Dureza max. HB 30
Martensítico	410	1.4006	X12Cr13	7,7	0,60	10,5	30	0,46	220 _{precocido}
Martensítico	420	1.4021	X20Cr13	7,7	0,60	10,5	30	0,46	220 _{precocido}
Ferrítico	409	1.4512	X2CrTi12	7,7	0,60	10,5	25	0,46	180
Ferrítico	430	1.4016	X6Cr17	7,7	0,60	10,0	25	0,46	200
Ferrítico	439	1.4510	X3CrTi17	7,7	0,60	10,0	25	0,46	185
Ferrítico	441	1.4509	X2CrTiNb18	7,7	0,60	10,0	25	0,46	200
Ferrítico	444	1.4521	X2CrMoTi18-2	7,7	0,80	10,4	23	0,43	200
Austenítico	304	1.4301	X5CrNi18-10	7,9	0,73	16,0	15	0,50	215
Austenítico	304L	1.4306	X2CrNi19-11	7,9	0,73	16,0	15	0,50	215
Austenítico	304L	1.4307	X2CrNi18-9	7,9	0,73	16,0	15	0,50	215
Austenítico	321	1.4541	X6CrNiTi18-10	7,9	0,73	16,0	15	0,50	215
Austenítico	347	1.4550	X6CrNiNb18-10	7,9	0,73	16,0	15	0,50	230
Austenítico	316	1.4401	X5CrNiMo17-12-2	8,0	0,75	16,0	15	0,50	215
Austenítico	316L	1.4404	X2CrNiMo17-12-2	8,0	0,75	16,0	15	0,50	215
Austenítico	316L	1.4435	X2CrNiMo18-14-3	8,0	0,75	16,0	15	0,50	215
Austenítico	316Ti	1.4571	X6CrNiMo17-12-2	8,0	0,75	16,5	15	0,50	215
Austenítico	310/314	1.4841	X15CrNiSi25-21	7,9	0,90	17,0	15	0,50	223
Austenítico	904L	1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	8,0	1,00	15,8	12	0,45	230
Duplex 2205		1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	7,8	0,80	13,0	15	0,50	270
Duplex 2101		1.4162	X2CrMnNiN21-5-1	7,8	0,80	13,0	15	0,50	290
Super Duplex S32750		1.4410	X2CrNiMoN25-7-4	7,8	0,80	12,5	15	0,50	270
Super Duplex S32760		1.4501	X2CrNiMoCuWN25-7-4	7,8	0,80	13,5	15	0,50	270

Datos: La llave del acero 2010.

Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/26/7-aceros-inoxidables/>
Metalografía universidad tecnológica de Pereira

Ilustración 15: placa de acero inoxidable 304L



Fuente: Propia

4.1.2. Laminas y tubos de acrílico transparente

El acrílico es la polimerización del metacrilato de metilo el cual es un compuesto químico ($C_5H_8O_2$), el cual a temperatura ambiente está en su forma líquida el incolora, es la base principal para fabricar el acrílico, es altamente toxico e incoloro en su estado liquido pero cuando se polimeriza baja su nivel toxico al contacto [25].

Podemos observar sus características en la **Tabla 7** y podemos observar el tipo de tubos de acrílico utilizados para el proyecto en la **Ilustración 16**.

Tabla 7: Características del acrílico

Características	
Resistencia a la intemperie	No es afectado por medios naturales como la lluvia y el sol y es muy estable hasta los 80°C
Apariencia	Es brillante y es de transparencia del vidrio
Resistencia al impacto	Resiste hasta 17 veces más que el vidrio en espesores de 3mm a 6mm, 20% mas aislante térmico que el vidrio
Ligereza y transmisión de luz	50% mayor que el vidrio y 43% más que el aluminio. Las lámina de acrílico cristal tiene un 92% de transmisión de luz y no se amarillenta. Las láminas de acrílico translúcido dispersan la luz, por lo que se emplean para difusores de iluminación.
Resistencia a Esfuerzos mecánicos	No se deforma, no se estilla, no se rompe. Ante el calor se expande
Resistencia Química	Resiste al ataque de una gran variedad de productos químicos, afectándola sustancias tales como el thinner, alcohol metílico o etílico, benceno, tolueno, los esteres y cetonas.
Propiedades eléctricas	Es un excelente aislante. La resistencia superficial es más alta que la mayoría de los plásticos y ésta se mantiene a pesar de su exposición continua a la intemperie.
Material Termoplástico	Debido a esta propiedad es fácil de termo formar, siendo ésta una de las más importantes características de la lámina de acrílico, recomendando se realice a una temperatura de 170° C a 190° C. Cuando es calentado puede ser cortado, perforado y maquinado tal como se hace con la madera o los metales blandos, como el aluminio y el bronce.

Fuente: Hecha por los Autores en base a

http://www.pac.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&catid=64:industria&Itemid=87&id=5603

Ilustración 16: Tubos de acrílico transparente



Fuente:

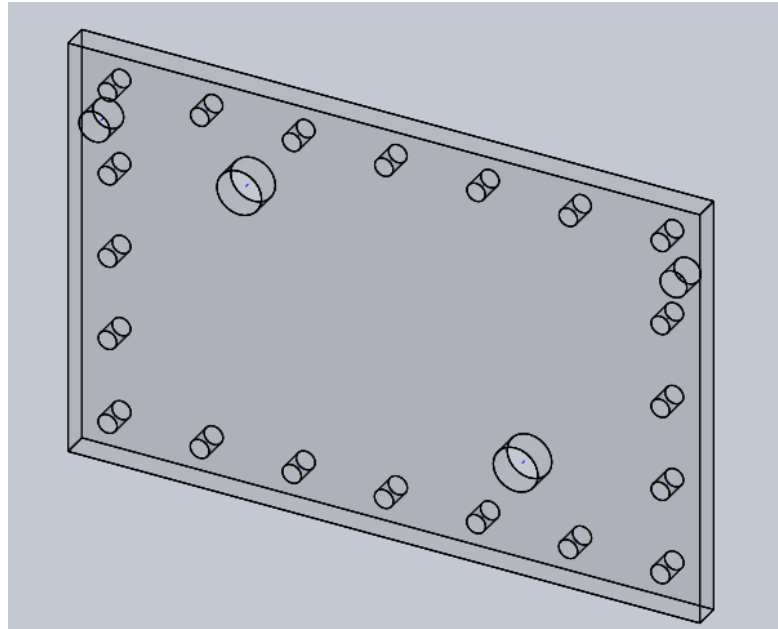
<http://www.comercioindustrial.net/productos.php?id=acr1&mt=acrilico>

Se decidió usar acrílico transparente, con el fin de ver el proceso electrolítico de forma macroscópica, además con esto se lograra ver si existe alguna falla en las placas de acero inoxidable. En los tanques se logra ver de forma clara el nivel de la solución electrolítica.

Hay un valor agregado si se tiene en cuenta que este proyecto servirá como modelo practico, para futuras generaciones, y se espera que con ello los futuros estudiantes de ingeniería, se interesen más en buscar fuentes de energía alternas y amigables con el medio ambiente.

Estas placas de acrílico conforman en conjunto con los empaques de neopreno y las láminas de acero inoxidable la celda electrolítica, y son el lugar donde estarán conectados los racor de nilón y donde estarán sujetos los tornillos y tuercas, que ayudaran a crear la hermeticidad de la celda. En la **Ilustración 17** se observa la placa de acrílico diseñada en solidworks con sus respectivas perforaciones.

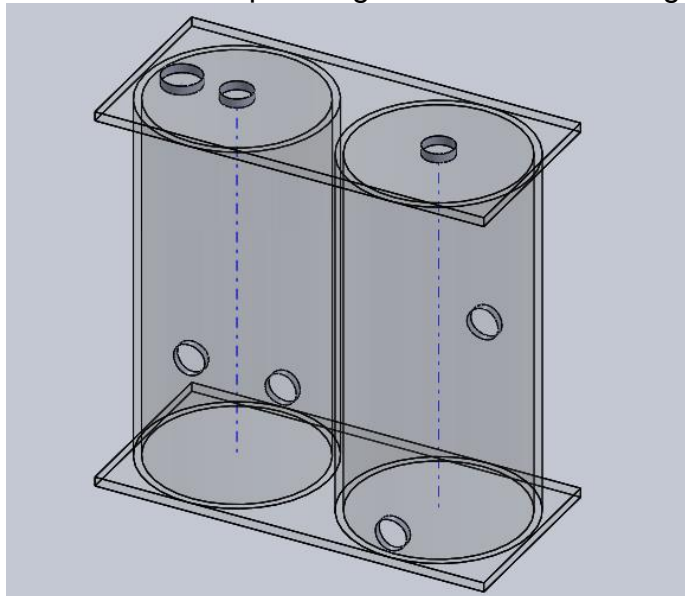
Ilustración 17: placa de acrilico



Fuente: Propia

Se utilizan los tubos **Ilustración 18** y láminas de acrílico diseñados en solidworks, para construir un tanque doble, con el fin de que contenga la solución electrolítica, también servirá de burbujeador primario, aquí será donde llegue el gas después de ser generado en la celda electrolítica.

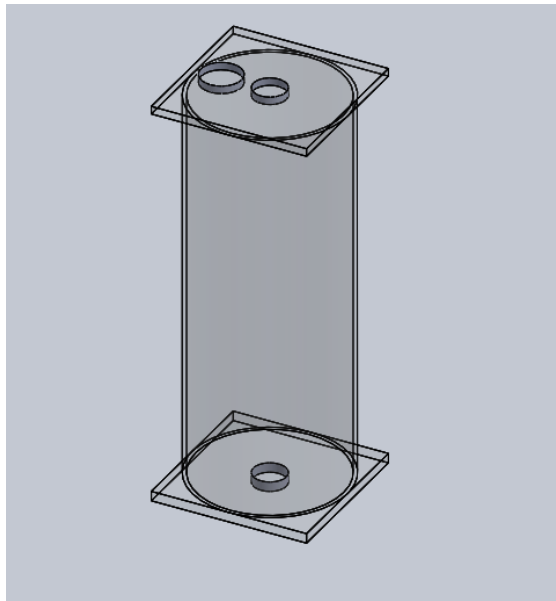
Ilustración 18: tanque del generador de oxihidrogeno



Fuente: Propia

Por último se crea un último tranque **Ilustración 19** para contener agua, servir de burbujeador secundario y filtro de gas, aquí se contendrá cualquier gota de electrolito que se pueda salir del burbujeador principal, evitando así que llegue a los cilindros del motor. Aquí se colocara una piedra difusora, esto creara burbujas pequeñas, eliminando con esto, las pulsaciones creadas por las grandes burbujas en el burbujeador principal.

Ilustración 19: burbujeador secundario.



Fuente: Propia

4.1.3. Juntas de neopreno.

Son cauchos sintéticos basadas en policloropreno, tiene una buena estabilidad química y mantiene su flexibilidad a altas temperaturas. El neopreno fue inventado por científicos de la empresa DuPont basados en conceptos de la química del acetileno expuestos en una conferencia universitaria en donde el compuesto se convierte en un compuesto similar al caucho, la empresa compra la patente y la desarrolla para finalmente lograr el neopreno, a este compuesto se le denominó el primer caucho sintético en la industria [26].

Las juntas de neopreno se fabrican usando la polimerización por emulsión en reactores y luego se aísla mediante un secado en frío, luego se vulcaniza el neopreno con óxidos de metal lo cual le da sus características finales.

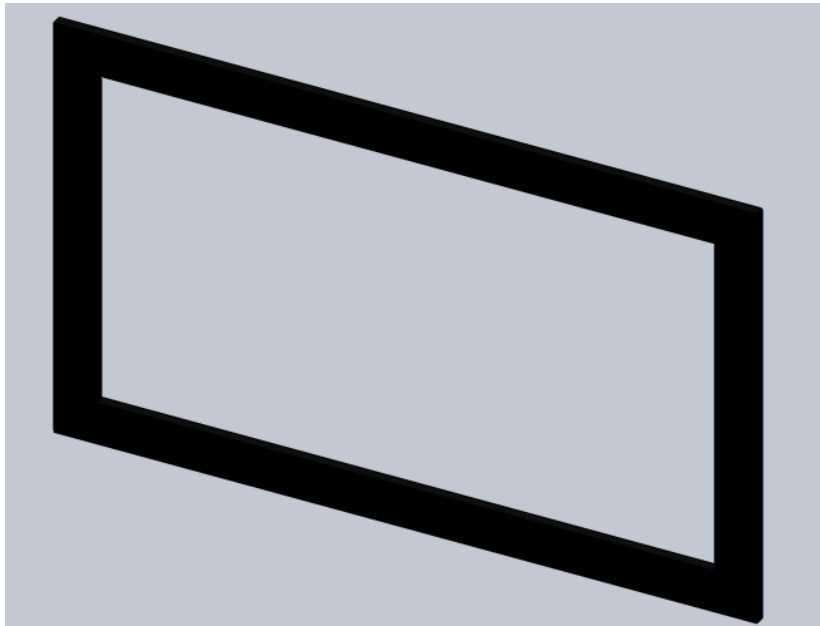
Características

- resiste a la degradación a causa del sol, el ozono y el clima;
- presenta resistencia aceptable a solventes y agentes químicos;
- es resistente a daños causados por la flexión y la torsión.

Se utilizaron en el diseño y construcción del generador de oxihidrogeno principalmente porque estas juntas se ajustan de buena manera al objeto que se desea proteger y además porque necesitamos que el compartimiento entre las celdas sea completamente hermético y las juntas de neopreno nos brinda esa característica importante.

Estas juntas forman el sello hermético con los demás elementos de la celda de oxihidrogeno, sin ellos sería muy difícil lograr la hermeticidad total del sistema, se escogió neopreno calibre 3/16" aproximadamente 4,7 mm, este espesor se reducirá a 4mm debido a la presión ejercida por los tornillos de la celda, formando así el sello hermético esperado, y la separación entre placas deseada. En la **Ilustración 20** se observa la junta de neopreno diseñada en solidworks.

Ilustración 20: junta de neopreno.

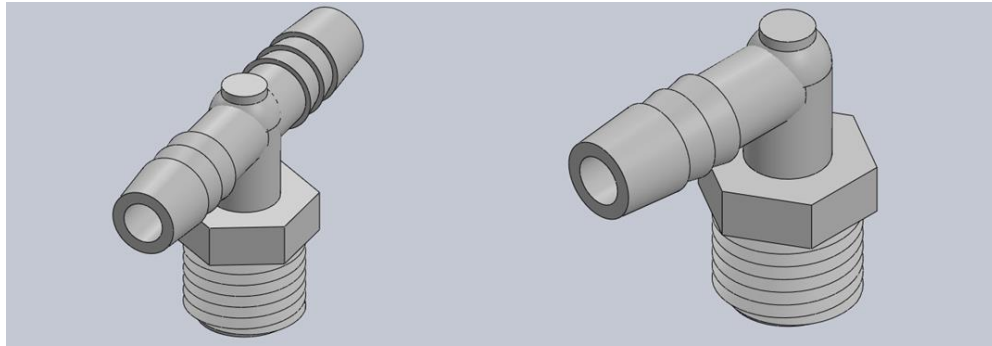


Fuente: Propia

4.1.4. Racor en nilón de rosca 3/8" a espina de pescado 1/4"

Este elemento se implementó como conector entre las mangueras y cada una de las partes que lo requería, se utilizan racor en nilón observados en la **Ilustración 21**, debido a que son resistentes a la solución electrolítica, la cual es corrosiva, y no sufren corrosión por el efecto galvánico, como si lo sufriría si fueran en metales como cobre o acero.

Ilustración 21: racor en “T” y racor en “L”



Fuente: Propia

4.1.5. Conectores y válvulas con rosca de 1/2" en PVC

El PVC es utilizado desde 1930 para la fabricación de tuberías por cumplir con los rangos de temperatura, presión, y diámetros necesarios, resistencia, además de durabilidad y bajo costo [27].

Fueron escogidos principalmente en el proyecto por su resistencia y por durabilidad, además son fáciles de manipular. Se pueden observar en la **Ilustración 22**.

En este proyecto se utilizan estos conectores, debido a que en el mercado, se encuentran fácilmente válvulas plásticas de 1/2", además de otros elementos en PVC, y si alguno de estos se llegara a dañar durante una prueba o cuando esté funcionando, se puede cambiar fácilmente, y son relativamente económicos.

Ilustración 22: Conectores y válvulas con rosca de 1/2" en PVC



Fuente: <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co>

4.1.6. Manguera para alimentos, transparente en PVC

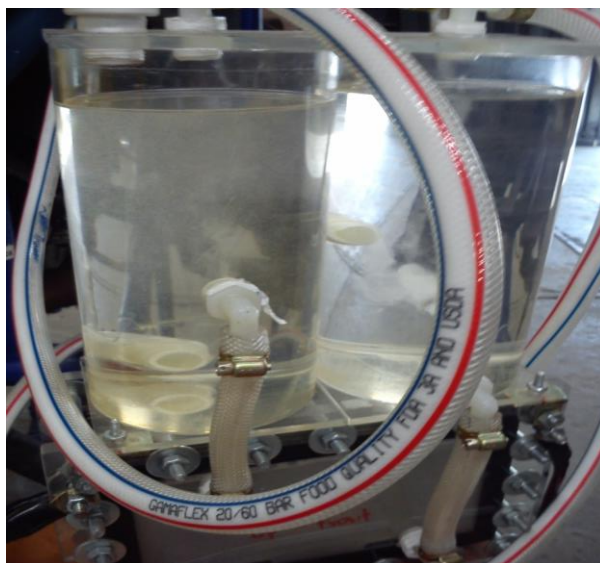
Son de bajo flujo, alta presión y con gran resistencia a rajaduras causadas por el medio ambiente, excelente resistencia a los químicos y a los solventes. Podemos observar la manguera utilizada durante el proyecto en la **Ilustración 23** y en la **Ilustración 24** observamos la manguera ya instalada en el dispositivo.

Ilustración 23: Manguera reforzada de PVC, para alimentos



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/pvc-reinforced-hose-303612673.html>

Ilustración 24: Manguera reforzada de PVC, para alimento.



Fuente: Propia

4.1.7. Arresta llamas.

El arresta llamas **Ilustración 25** es un elemento de seguridad necesario pues el gas de oxihidrogeno es muy explosivo y de fácil ignición, se utilizan dos arresta llamas en sistema, se encuentran ubicados entre el sistema de admisión y la trampa de agua, estos impiden que una llama en retroceso llegue al burbujeador secundario y explote el sistema.

El cuerpo de estos arresta llamas es un tubo de acero, su interior esta relleno con una capa de algodón, arena fina y otra capa de algodón, en la ilustración x se puede observar la construcción y posición de los arresta llamas, esto detiene las llamas en retroceso que pudieran encenderse dentro de la manguera que conduce el oxihidrogeno al sistema de admisión del motor, los extremos del tubo están cerrados por racores de acero, para poder conectar las mangueras de PVC flexible.

Ilustración 25: arresta llamas



Fuente: Propia

4.1.8. Otros materiales

- Tornillos de, Tuercas, Arandelas de 1/4"
- Abrazaderas de acero de 3/8"
- Filtro o trampa de agua para aire.
- Piedra difusora de aire

5. CONSTRUCCION DE UN GENERADOR DE OXIHIDROGENO PARA UN MOTOR DE INYECCION (AVEO 1.6L)

Lo primero que se debe hacer después de tener todos los materiales, es somete a un proceso de lijado manual con lija de agua # 80 las placas de acero inoxidable, con el fin de realizar un rayado en forma de cuadrícula, y así aumentar aún más la superficie que estará en contacto con el agua, esto nos ayuda a mejorar la eficiencia del generador de oxihidrógeno. Este proceso se puede observar en la **Ilustración 26**.

Los cortes que se observan en la imagen, fueron realizados con una cortadora de plasma CNC, para obtener cortes precisos y una uniformidad en todas las placas que se utilizaron en la construcción de la celda electrolítica.

Ilustración 26: lamina de acero inoxidable en proceso de lijado



Fuente: Propia

Se encintaron los bordes de la placa, con el fin de protegerlo del proceso de lijado, pues este borde ira en contacto con un empaque de neopreno cortado a medida, y así se evitaran posibles fugas o fallas en la hermeticidad del generador. En la **Ilustración 27** se puede observar la placa luego de su lijado.

Resultado final:

Ilustración 27: placa de acero inoxidable 304L despues del lijado

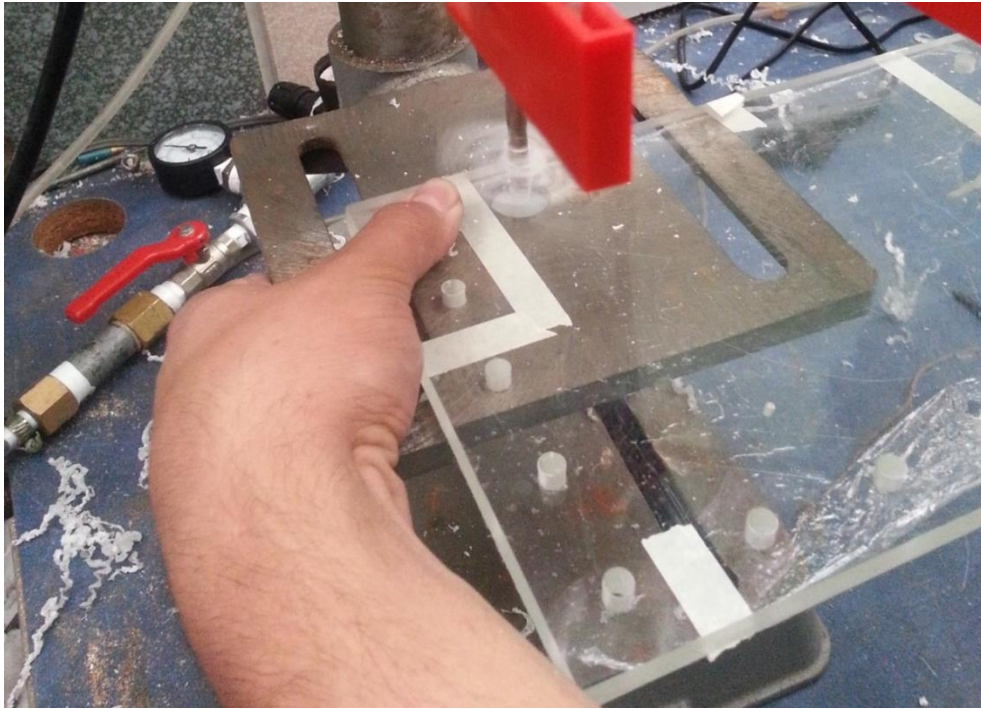


Fuente: Propia

Las placas de acrílico para la celda de oxihidrógeno se compraron a medida y se realizaron los mecanizados vistos en la imagen, con ayuda de un taladro de banco, en ellos se sujetaran los tornillos y racores necesarios para conducir y mantener la solución electrolítica dentro del sistema diseñado.

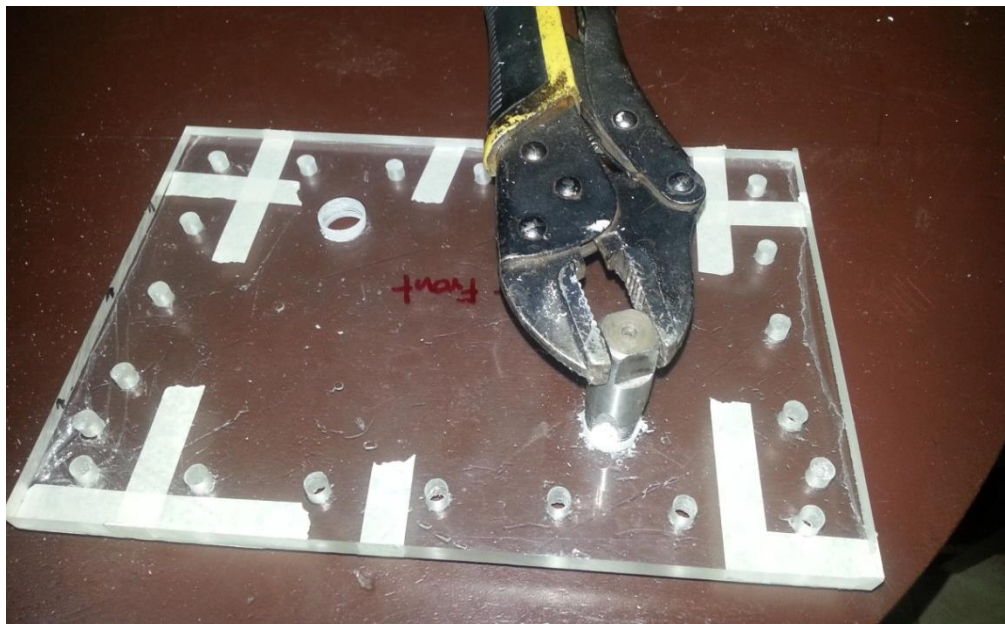
Con la ayuda de un machuelo de 3/8" NPT realizaron las roscas respectivas en los agujeros donde estarán conectados los racores de nylon, es importante tener en cuenta que el acrílico es un poco frágil, y el roscado se debe realizar de forma lenta, con el fin de que los hilos de la rosca no se fracturen y se caigan, así se obtendrá un sello hermético entre las roscas de la placa de acrílico y los racores correspondientes. Este proceso se puede observar en la **Ilustración 28**. El proceso de insertar los tornillos se puede observar en la **Ilustración 29**.

Ilustración 28: mecanizado de agujeros en la placa de acrílico.



Fuente: Propia

Ilustración 29: roscado para racor



Fuente: Propia

Los tornillos se deben insertar en cada agujero **Ilustración 30**, y después se coloca una manguera transparente que rodea al tornillo, con el fin de protegerlo de contactos contra las láminas de acero y así evitar cortocircuitos.

Ilustración 30: posición de los tornillos en la placa de acrílico



Fuente: Propia

Las juntas de neopreno se deben cortar de una lámina completa, ya que estas no se consiguen con esta forma comercialmente, estas juntas o separadores, se cortaron de forma manual con un bisturí se pueden observar estos procesos en la **Ilustración 31** e **Ilustración 32**, con las dimensiones específicas para este diseño.

Ilustración 31: Corte Laminas



Fuente: Propia

Ilustración 32: corte de juntas de neopreno



Fuente: Propia

Resultado final:

En la **Ilustración 33** observamos el resultado final del corte de las juntas de neopreno.

Ilustración 33: resultado final del proceso de corte de juntas de neopreno



Fuente: Propia

Teniendo esto listo se puede ensamblar la celda electrolítica, para esto se decidió usar una configuración de placas tanto neutras como de cargas intercaladas de la siguiente manera

- Ánodo = (+)
- Cátodo = (-)
- Neutral= (n)

Configuración:

- n n n n n + n n n n n -

Como se observa en esta configuración, se dejan los cátodos en los costados y el ánodo en el centro, cada placa de carga está separada por 5 placas neutras, y claro está que entre placa y placa debe ir una junta de neopreno. Es importante dejar suficientes placas neutras entre cada placa de carga, ya que en estas también se genera gas de la siguiente forma:

- La cara que esta puesta hacia el cátodo, genera O_2
- La cara que esta puesta hacia el ánodo genera H_2

Pero en las placas de carga, se genera solo O_2 o H_2 , según la polaridad de la carga que se le coloque.

- En cada una de las caras del ánodo se genera H_2
- En cada una de las caras del cátodo se genera O_2

El uso de placas neutras aumenta la eficiencia de la celda electrolítica, y evita el calor excesivo generado por el proceso electrolítico, ya que estas a su vez funcionan como disipadores de calor.

Una vez ensamblada la celda electrolítica, queda como se observa en la **Ilustración 34**.

Ilustración 34: celda electrolítica ensamblada



Fuente: Propia

Otro elemento importante será el tanque que contendrá la solución electrolítica, la cual se conforma de potasa caustica (KOH) disuelta en agua pura desmineralizada, en una proporción de 20:1.

Se fabricó con tubos y láminas de acrílico transparente que se pueden observar en la **Ilustración 35**, con el fin de observar la calidad, el nivel de la solución y la generación de oxihidrógeno.

Se realizaron operaciones de corte, pegado, perforado y roscado, con el fin de obtener el tanque según el diseño propuesto, este tanque tiene un volumen total de 2 litros, pero solo se llenaran hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad total debido a que se deja un espacio libre donde se ubicara la espuma, producto

de la electrolisis y así evitar que esta salga por el racor hasta el burbujeador secundario.

Ilustración 35: Tubos de Acrílico



Fuente: Propia

Una vez realizadas las operaciones necesarias, se colocan los racores de nylon, y se les coloca en la rosca teflón, con el fin de crear un sello hermético entre las roscas.

Después de tener listas estas partes se procedió a unir cada racor de la celda electrolítica, con el racor correspondiente en el tanque burbujeador, para ello se utilizo manguera transparente de PVC flexible para alimentos y abrazaderas de acero. En las **Ilustraciones 36 y 37** podemos observar los tubos, mangueras y abrazaderas utilizadas en el proyecto y el generador de oxihidrógeno ya terminado respectivamente.

Ilustración 36: Tubos de acrílico, Manguera y Abrazaderas de acero



Fuente: Propia

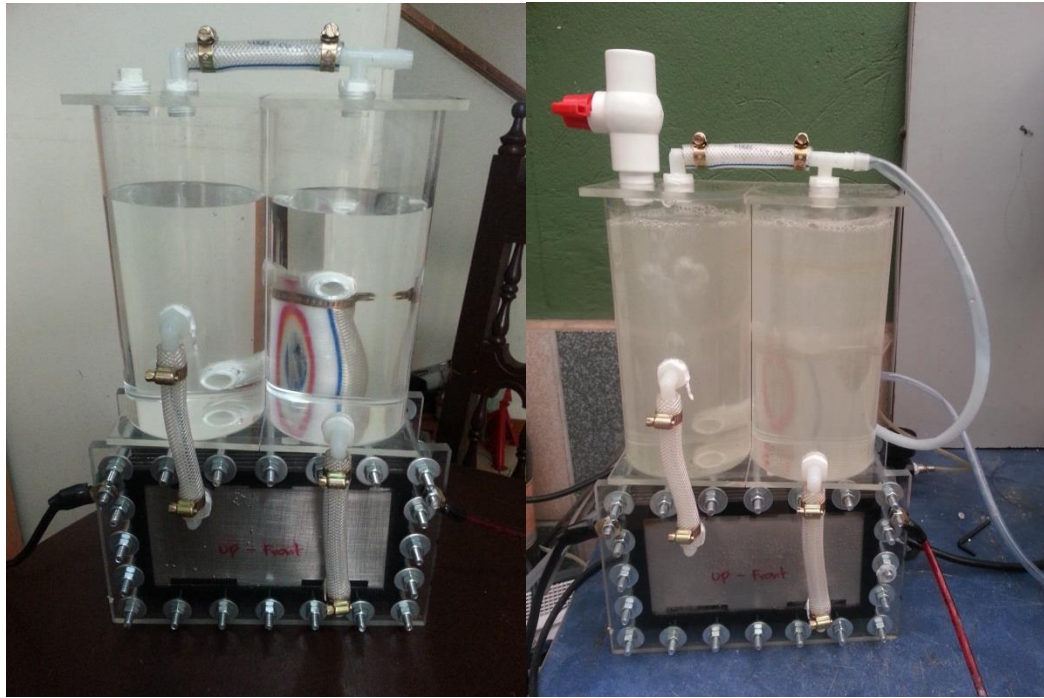
Ilustración 37: Generador de Oxihidrógeno



Fuente: Propia

Finalmente se realiza una prueba de estanqueidad con agua, y posteriormente se realiza una prueba de funcionamiento del generador de oxihidrógeno esto se observa en la **Ilustración 38**.

Ilustración 38: Generador de oxihidrógeno



Fuente: Propia

El burbujeador secundario **Ilustración 39** es una parte vital, para impedir que gotas de la solución electrolítica lleguen a los cilindros, pues si esto pasara, al ser esta solución corrosiva, al entrar en contacto con el acero de los cilindros y la superficie de los pistones.

Su construcción es similar al del tanque de solución o burbujeador primario, pero en la entrada de gas, se coloca un difusor de aire, con el fin de eliminar las pulsaciones que generan las burbujas grandes cuando suben a la superficie del agua, y así tener un flujo de gas constante, también se le añadió una unidad de mantenimiento para aire comprimido, la cual consiste en una trampa de agua, esto se utiliza como ultima protección contra cualquier condensación o filtración de solución electrolítica.

Ilustración 39: Funcionamiento Generador de oxihidrógeno



Fuente: Propia

6. RESULTADOS

Se realizaron pruebas estáticas en el motor de un Chevrolet Aveo 1600 cc modelo 2007, las pruebas consistieron en medir el consumo de combustible en gramos de gasolina por unidad de tiempo y a la vez se realizó un análisis de gases.

Con estas pruebas se verificaron los valores de los gases de escape y consumo de combustible en ralentí (850 a 900 rpm) y a velocidad crucero (2500 rpm), siempre a temperatura de funcionamiento (80-90 °C).

De la **Tabla 8** a la **Tabla 19** podemos observar los datos tomados durante las pruebas realizadas al motor de inyección Electrónica con y sin el dispositivo funcionando. Datos pruebas de consumos medidos en gramos (g).

Tabla 8: Prueba de consumo en ralentí sin inyección de oxihidrógeno y sin intervenir ningún sensor.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
5 min.	66	64	65	65	65
10 min.	129	128	132	131	130

Tabla 9: Análisis de gases en ralentí con inyección de oxihidrógeno y sin intervenir ningún sensor.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
5 min.	73	72	69	74	72
10 min.	141	140	138	143	149,5

Tabla 10: Análisis de gases en ralentí con inyección de oxihidrógeno y con intervención del sensor O2.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
5 min.	59	54	56	58	56,75
10 min.	109	106	105	110	107,5

Tabla 11: Análisis de gases a velocidad crucero sin inyección de oxihidrógeno y sin intervenir ningún sensor.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
5 min.	134	131	130	137	133
10 min.	274	268	262	270	268,5

Tabla 12: Análisis de gases a velocidad crucero con inyección de oxihidrógeno y sin intervenir ningún sensor.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
5 min.	148	148	145	147	147
10 min.	301	299	293	298	297,75

Tabla 13: Análisis de gases a velocidad crucero con inyección de oxihidrógeno y con intervención del sensor O2.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
5 min.	124	120	118	125	121,75
10 min.	247	239	238	252	244

Datos análisis de gases:

Tabla 14: Análisis de gases en ralentí sin inyección de oxihidrógeno y sin intervenir ningún sensor.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
CO %	0,10	0,08	0,08	0,07	0,0825
HC ppm	46	47	47	45	46,25
CO ₂ %	14,3	14,5	14,6	14,7	14,525
O ₂ %	1,02	1,01	1,02	1,08	1,0325

Tabla 15: Análisis de gases en ralentí con inyección de oxihidrógeno y sin intervenir ningún sensor.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
CO %	0,06	0,04	0,06	0,05	0,0525
HC ppm	65	62	64	66	64,25
CO ₂ %	14,7	14,8	14,7	14,9	14,775
O ₂ %	1,22	1,14	1,12	1,23	1,177

Tabla 16: Análisis de gases en ralentí con inyección de oxihidrógeno y con intervención del sensor O2.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
CO %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
HC ppm	34	33	31	34	33
CO ₂ %	12,7	12,6	12,8	12,7	12,7
O ₂ %	0,56	0,53	0,52	0,56	0,5425

Tabla 17: Análisis de gases a velocidad crucero sin inyección de oxihidrógeno y sin intervenir ningún sensor.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
CO %	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04
HC ppm	29	28	30	31	29,5
CO ₂ %	14,4	14,3	14,5	14,6	14,55
O ₂ %	0,08	0,09	0,07	0,07	0,0775

Tabla 18: Análisis de gases a velocidad crucero con inyección de oxihidrógeno y sin intervenir ningún sensor.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
CO %	0,07	0,06	0,07	0,05	0,0625
HC ppm	62	64	62	63	62,65
CO ₂ %	14,9	14,8	14,9	14,7	14,825
O ₂ %	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04

Tabla 19: Análisis de gases a velocidad crucero con inyección de oxihidrógeno y con intervención del sensor O₂.

PRUEBA	1	2	3	4	PROMEDIO
CO %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HC ppm	17	16	14	18	16,25
CO ₂ %	13,1	13,0	13,2	13,3	13,15
O ₂ %	0,37	0,36	0,34	0,35	0,355

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Pruebas de consumo.

En las siguientes gráficas se puede apreciar la comparación entre los tres diferentes tipos de pruebas, y se nota la diferencia de consumo de gasolina que existe entre cada una de las pruebas, denotando que cuando se introdujo el oxihidrogeno en el proceso de combustión e intervino el sensor de oxígeno, se obtuvo un menor consumo de combustible que en las demás pruebas.

Se realizó en cada caso una prueba en la cual se introdujo el oxihidrogeno en el proceso de combustión, pero no se intervino el sensor de oxígeno, con esto se demuestra la importancia que tiene intervenir este sensor para así obtener una verdadera disminución de consumo, puesto que de no hacerlo, sucede lo contrario.

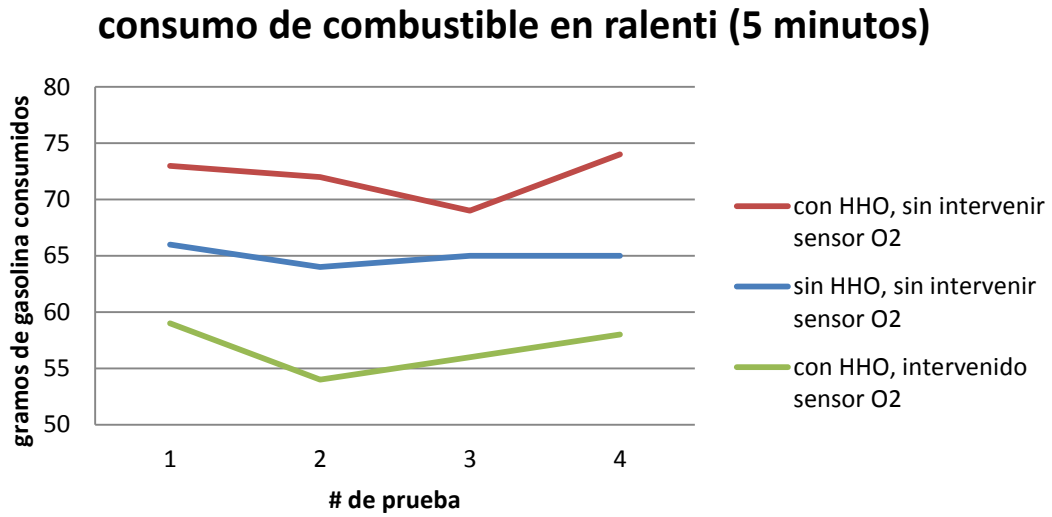
Los otros dos tipos de pruebas se realizan para comparar el consumo de combustible del motor, en condiciones normales (sin HHO, sin intervenir sensor O_2), v/s el motor trabajando con oxihidrogeno en el proceso de combustión y sensor de O_2 intervenido.

Se realizaron pruebas durante 5 y 10 minutos, con el único fin de tener un rango de datos más amplio, evitando así, márgenes de error altos, y para comprobar la uniformidad y consistencia de los datos obtenidos.

7.1.1. Pruebas de consumo en ralentí (850-900 RPM).

Se realizaron pruebas en ralentí **Ilustración 40**, para comprobar el funcionamiento del sistema y del motor, ya que es el modo en el cual se mantienen los motores de los vehículos, por ejemplo si están en un trancón.

Ilustración 40: Consumo de Combustible en ralenti (5 minutos)

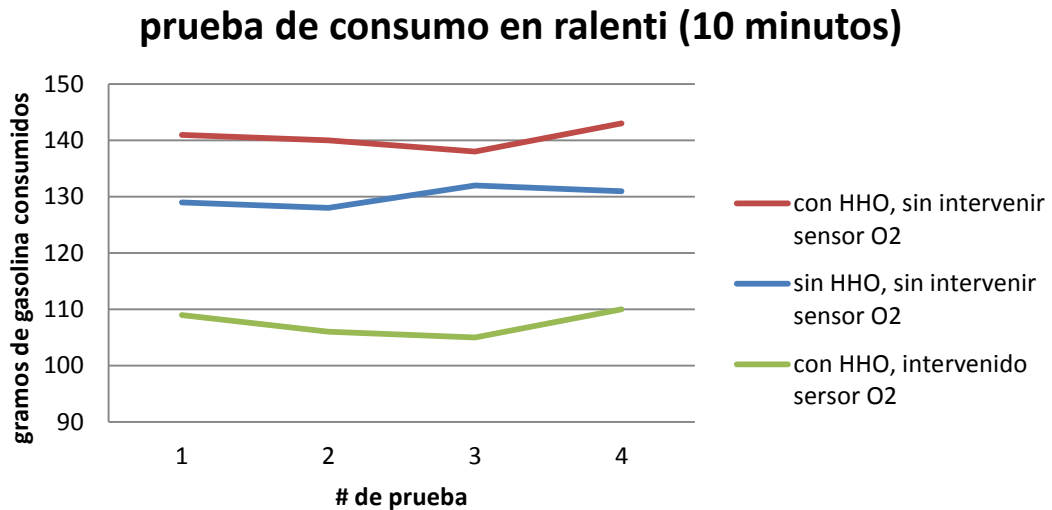


Fuente: Propia

Nótese en las gráficas, que el rango en cada tipo de prueba no supera los 5 gramos de más o de menos, con ello comprobamos la consistencia de los datos.

En la **Ilustración 41** observamos los consumos el ralenti del motor en un tiempo de 10 minutos.

Ilustración 41: Prueba de consumo en ralenti (10 minutos)



Fuente: Propia

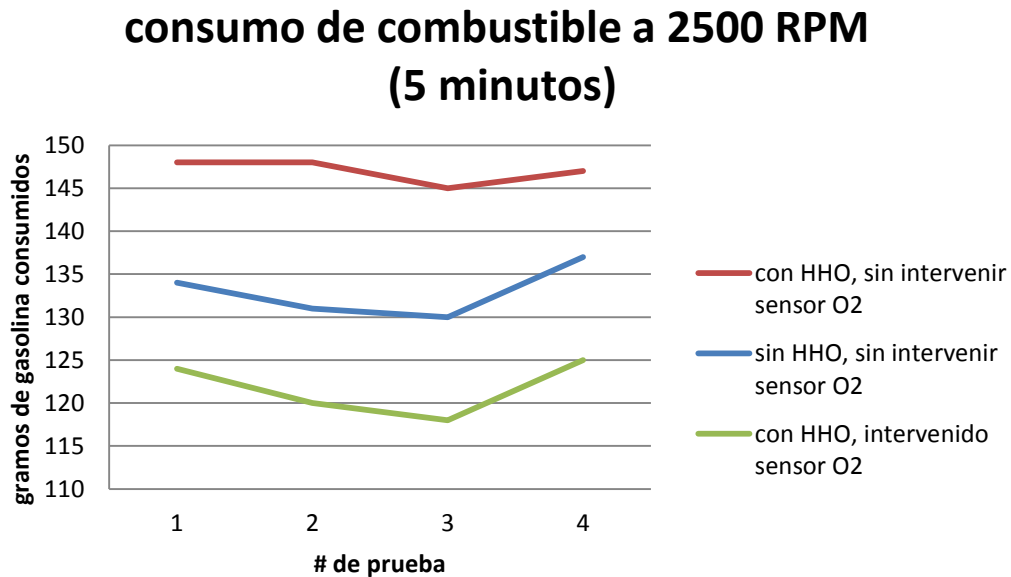
7.1.2. Pruebas de consumo a velocidad crucero (2500 RPM).

Esta prueba es la más importante, ya que el motor de un vehículo se mantiene bajo estas revoluciones la mayor cantidad de tiempo durante su uso, debido a esto se intervino la señal del sensor de oxígeno, para que el ahorro fuera el máximo posible, a las 2500 RPM.

Al igual que en las pruebas realizadas en ralentí, se observa un menor consumo con el oxihidrogeno en el proceso de combustión y el sensor de O2 intervenido.

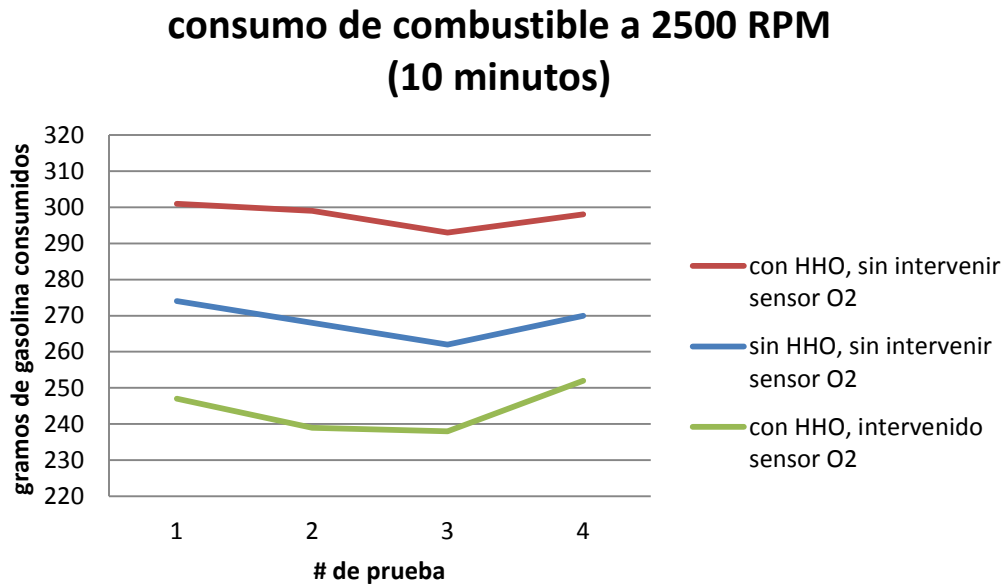
Se puede observar de nuevo la importancia de intervenir el sensor O2, ya que cuando se introdujo el oxihidrogeno en el proceso de combustión, y no se intervino dicho sensor, el consumo fue más elevado que en condiciones normales de funcionamiento. En la **Ilustración 42** se pueden observar los consumos en las 2500RPM en un tiempo de 5 minutos y en la **Ilustración 43** podemos observar los consumos en las 2500RPM en un tiempo de 10 minutos.

Ilustración 42: Consumo de Combustible a 2500RPM (5 minutos)



Fuente: Propia

Ilustración 43: Consumo de combustible a 2500 RPM (10 minutos)



Fuente: Propia

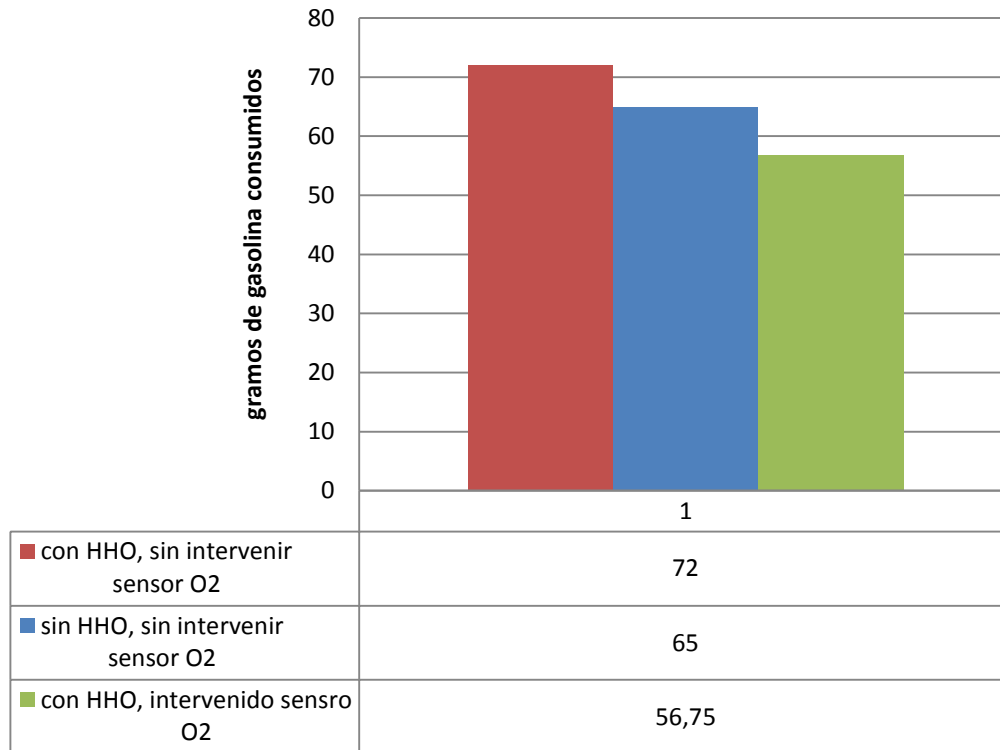
7.2. Promedios de consumo.

Para calcular el porcentaje de consumo de más o de menos, se tomara la prueba de consumo en condiciones normales del motor (sin HHO, sin intervenir sensor O₂) como prueba de control, y con ella comparar los resultados de las demás, considerando el valor de esta el 100%.

En la **Ilustración 44** observamos los resultados del promedio del consumo en ralentí en un tiempo de 5 minutos y en la **Ilustración 45** observamos los resultados del promedio de consumo en ralentí en un tiempo de 10 minutos.

Ilustración 44: Promedios de Consumo en ralentí (5 minutos)

**promedios de consumo en ralenti
(5 minutos)**



Fuente: Propia

Con una simple regla de tres se obtiene el porcentaje de ahorro, así:

Con HHO, intervenido sensor O₂ en ralentí:

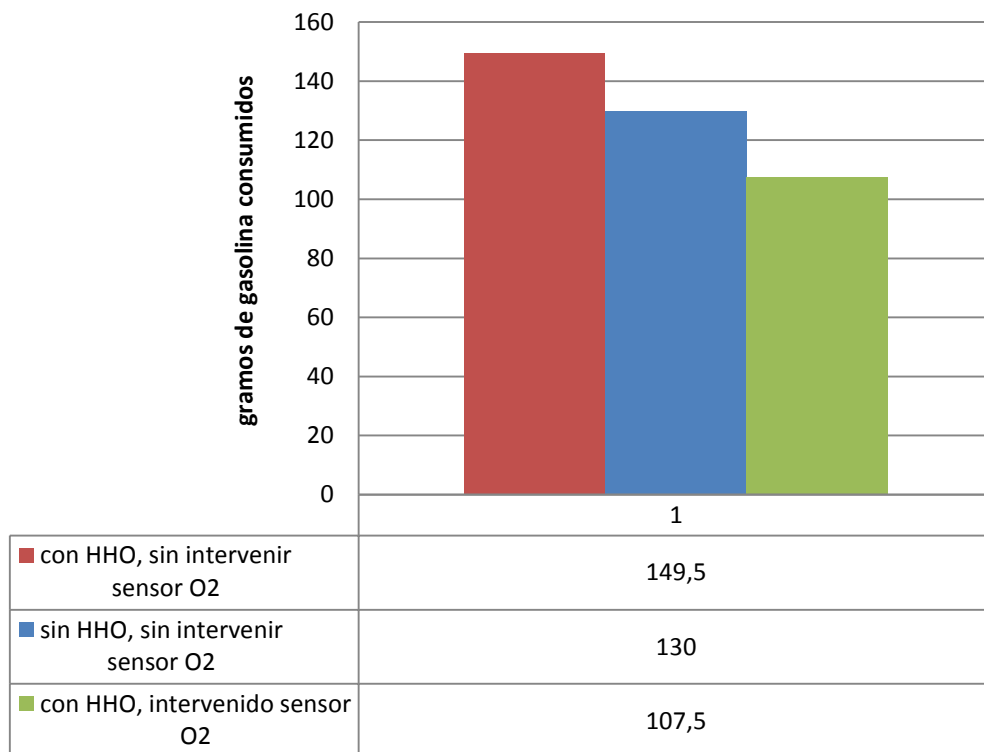
$$\frac{56,75 * 100\%}{65} = 87,3\% - 100\% = -12,7\%$$

Con HHO, sin intervenir sensor O₂ en ralentí:

$$\frac{72 * 100\%}{65} = 110,76 - 100\% = +10,76$$

Ilustración 45: Promedios de Consumo en ralentí (10 minutos)

**promedios de consumo en ralenti
(10 minutos)**



Fuente: Propia

Con HHO, intervenido señor O₂ en ralentí:

$$\frac{107,5 * 100\%}{130} = 82,69\% - 100\% = -17,3\%$$

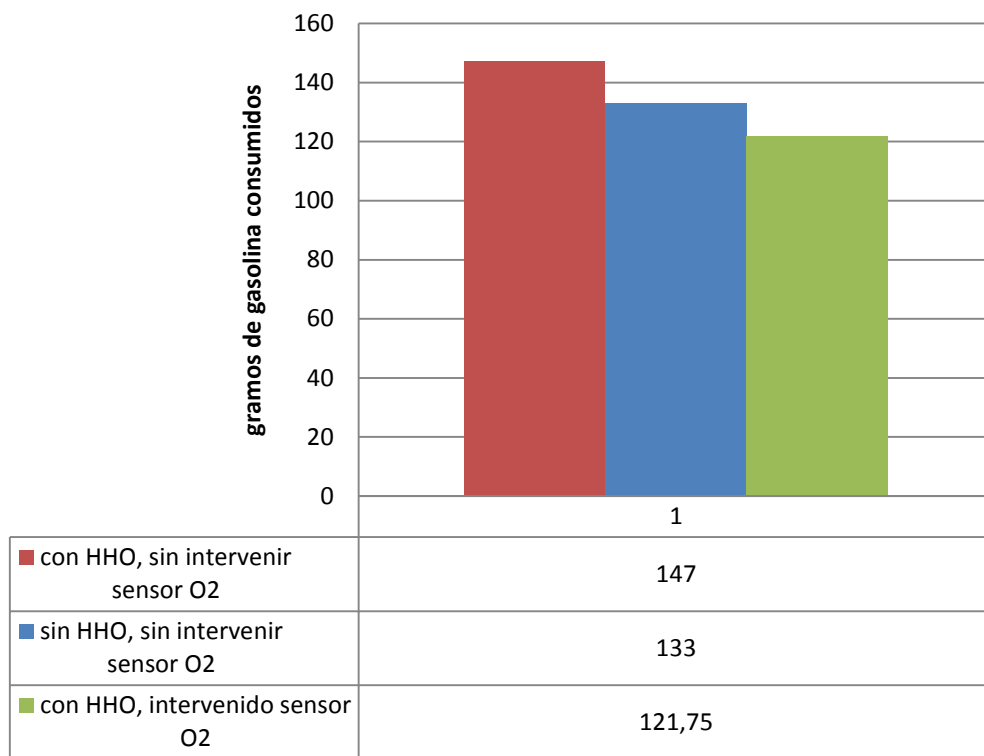
Con HHO, sin intervenir señor O₂ en ralentí:

$$\frac{149,5 * 100\%}{130} = 115 - 100\% = +15\%$$

En la **Ilustración 46** observamos los resultados del promedio de consumo a las 2500RPM en un tiempo de 5 minutos y en la **Ilustración 47** observamos los resultados del promedio de consumo a 2500RPM en un tiempo de 10 minutos.

Ilustración 46: Promedios de Consumo 2500 RPM (5 minutos)

**promedios de consumo 2500RPM
(5 minutos)**



Fuente: Propia

Con HHO, intervenido señor O₂ a 2500 RPM:

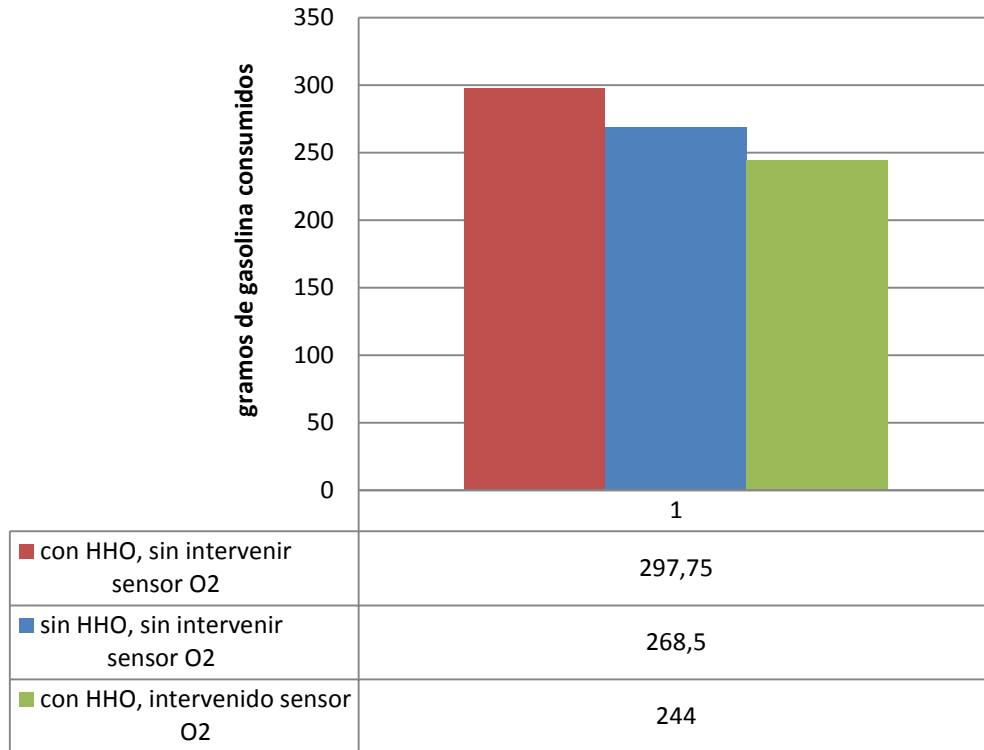
$$\frac{121,75 * 100\%}{133} = 91,54 - 100\% = -8,45\%$$

Con HHO, sin intervenir señor O₂ en ralenti:

$$\frac{147 * 100\%}{133} = 110,52 - 100\% = +10,52$$

Ilustración 47: Promedio de Consumo 2500 RPM (10 minutos)

promedios de consumo 2500RPM (10 minutos)



Fuente: Propia

Con HHO, intervenido señor O₂ en ralenti:

$$\frac{244 * 100\%}{268,5} = 90,87\% - 100\% = -9,12\%$$

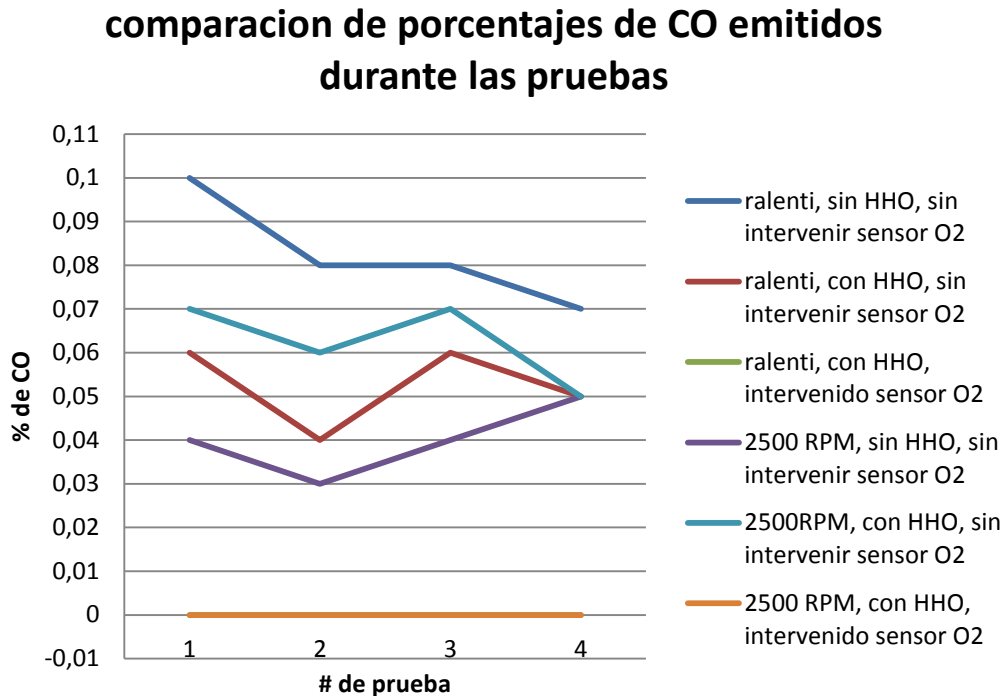
Con HHO, sin intervenir señor O₂ en ralenti:

$$\frac{297,75 * 100\%}{268,5} = 110,89 - 100\% = +10,89\%$$

7.3. Análisis de emisiones durante las pruebas

Durante cada una de las pruebas de consumo realizadas se hicieron análisis de gases de escape simultáneamente, con el fin de obtener datos que se apropian a cada prueba. En la **Ilustración 48** se observa la comparación de los porcentajes de CO emitidos durante el transcurrir de las pruebas.

Ilustración 48: Comparación de porcentajes de CO emitidos durante las pruebas



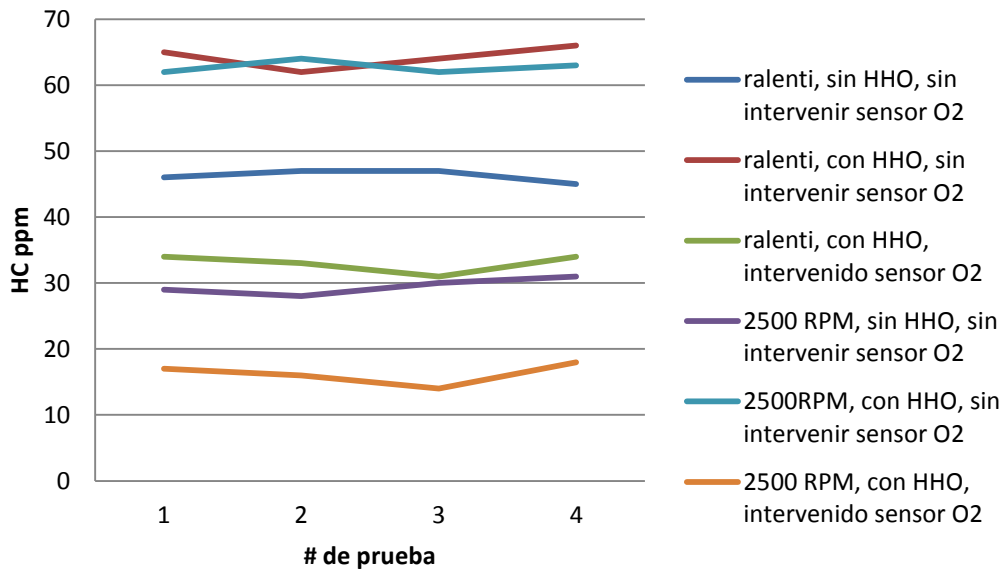
Fuente: Propia

En esta figura se puede observar cómo se elimina por completo las emisiones de CO, cuando se introduce el oxihidrogeno en el proceso de combustión y se interviene el sensor de oxígeno, con ello si tomamos los valores del análisis sin oxihidrogeno y sin intervenir el sensor de oxígeno, como el cien por ciento, debido a que es la prueba de control, se reducen las emisiones de CO en un 100%.

En la **Ilustración 49** observamos la comparación de HC emitidos durante las pruebas realizadas.

Ilustración 49: Comparación de HC emitidos durante las pruebas

comparacion de HC emitidos durante las pruebas



Fuente: Propia

En esta figura se puede observar, que se reducen las emisiones de HC, tanto en ralentí como a 2500 RPM, comparando los datos con su respectivas contrapartes.

Si se toman los valores promedio, se puede calcular el porcentaje de disminución de emisiones de HC tanto en ralentí como a velocidad crucero, así:

Con HHO, intervenido señor O₂ en ralentí:

$$\frac{33 * 100\%}{46,25} = 71,35\% - 100\% = -28,64\%$$

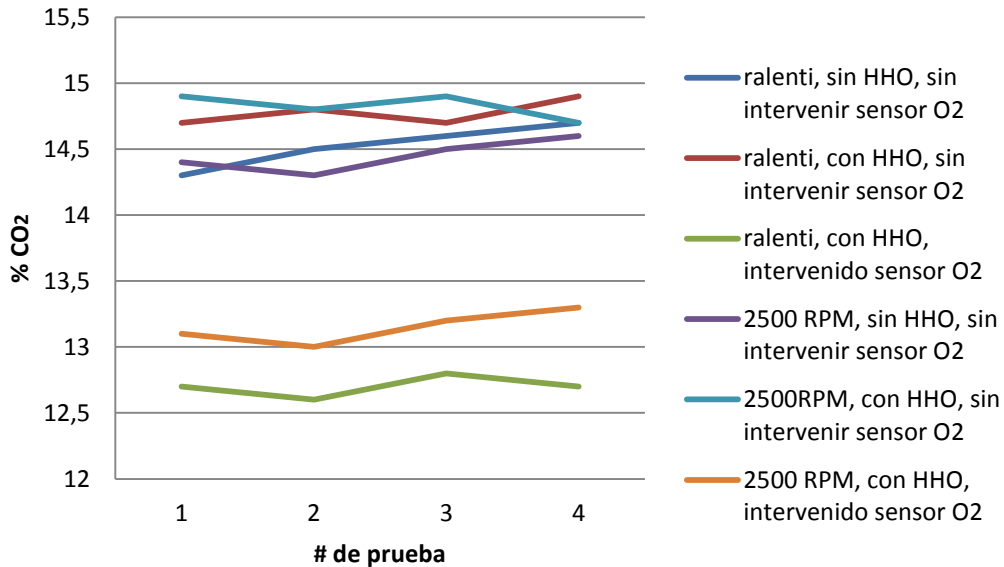
Con HHO, intervenido sensor O₂ a velocidad crucero:

$$\frac{16,25 * 100\%}{29,5} = 83,3\% - 100\% = -16,66\%$$

En la **Ilustración 50** observamos la comparación de los CO₂ emitidos durante las pruebas realizadas.

Ilustración 50: Comparación de CO₂ emitidos durante las pruebas

comparacion de CO₂ emitidos durante las pruebas



Fuente: Propia

En la gráfica se nota una considerable disminución de emisiones de CO₂ cuando se introduce el oxihidrogeno y se interviene el sensor de oxígeno, aunque solo se reducen en uno o dos puntos porcentuales, con respecto a las demás pruebas, pero si se toman los datos de los valores promedio, se podrá calcular el porcentaje de disminución y se notara la considerable disminución, así:

Con HHO, intervenido señor O₂ en ralenti:

$$\frac{12,7 * 100\%}{14,52} = 87,46\% - 100\% = -12,53\%$$

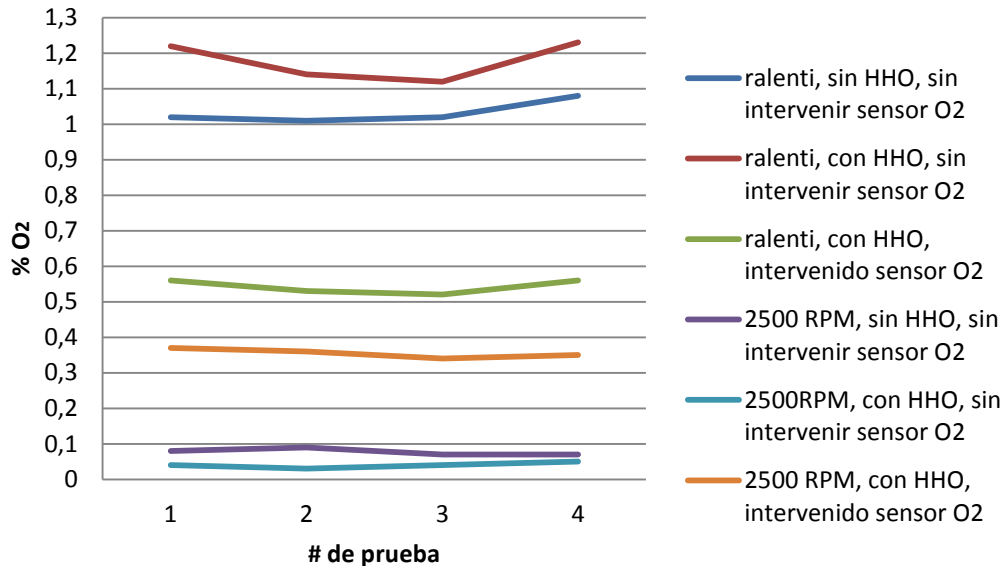
Con HHO, intervenido sensor O₂ a velocidad crucero:

$$\frac{13,15 * 100\%}{14,55} = 90,37\% - 100\% = -9,62\%$$

En la **Ilustración 51** podemos observar la comparación de O_2 emitidos durante las pruebas realizadas.

Ilustración 51: Comparación de O_2 emitidos durante las pruebas

comparacion de O_2 emitidos durante las pruebas



Fuente: Propia

En esta grafica se representan los valores de oxigeno que son emitidos producto del proceso de combustión, valores de oxigeno muy altos representarían una mezcla pobre, y valores muy bajos una mezcla rica, esto solo se puede aplicar para los gases analizados en condiciones normales de funcionamiento, pero cave denotar que los valores de oxígeno, tanto en ralentí como a velocidad crucero, cuando se introdujo el oxihidrogeno en el proceso de combustión y se intervino el sensor de O_2 , están en un rango medio, con lo cual se podría decir que se está llevando a cabo una mezcla y una combustión equilibrada.

8. CONCLUSIONES

- Como era esperado se redujo el consumo de combustible en ralentí con respecto a las pruebas de control, en aproximadamente un 15%. A velocidad crucero, en aproximadamente un 8% implementando el sistema de oxihidrogeno e interviniendo el sensor de oxígeno en los dos casos.
- Se pudo comprobar, lo necesario que es intervenir el sensor de oxígeno para obtener un real ahorro de combustible, ya que según los datos de las pruebas realizadas, cuando se introdujo el oxihidrogeno en el proceso de combustión, pero no se intervino el sensor de oxígeno hubo un incremento en el consumo de combustible de aproximadamente un 12% con respecto a las pruebas de control.
- Se comprobó el buen funcionamiento del sistema con el cual se intervino el sensor de oxígeno, el cual cumplió con las expectativas esperadas, y en gran parte gracias a él se pudieron cumplir los objetivos primordiales de este proyecto.
- Se redujeron en un 100% las emisiones del toxico gas “monóxido de carbono” (CO) en todas las pruebas realizadas con el sistema completamente funcionando.
- Se redujo la cantidad de hidrocarburos no quemados (HC), implementando el sistema de oxihidrogeno completamente, en promedio un 22%, con respecto a las pruebas de control.
- Las emisiones del gas que produce el efecto invernadero “dióxido de carbono” CO₂ se redujeron en promedio un 11%, cuando se implementó el oxihidrogeno y se intervino el sensor de oxígeno, en comparación con la prueba de control.
- En la parte de diseño, se logró un diseño eficiente, ya que produce un litro por minuto, de gas oxihidrogeno, consumiendo aproximadamente 200W mientras que otros diseños de los cuales se tuvo conocimiento llegaban a gastar hasta 450W por litro de oxihidrogeno producido.
- Se comprobó que los materiales escogidos para la construcción del generador de oxihidrogeno, fueron los adecuados, ya que resisten o no reaccionan con la solución corrosiva, que se utiliza como electrolito,

manteniendo la estanqueidad del sistema, evitando fugas y problemas por corrosión.

- Aunque según nuestras investigaciones, el material más adecuado para construir la celda de oxihidrogeno era el acero 316L, se logró encontrar una forma de usar acero inoxidable 304L, ya que es más económico y fácil de conseguir en Colombia, lo único que se hizo fue usar una solución KOH potasa caustica al 90% de pureza disuelta en agua destilada, en vez de NaOH, ya que con este último el agua se vuelve negra si no se usa acero inoxidable 316L, además deteriora mucho más rápido las placas del acero inoxidable 304L, si se lo utiliza como electrolito.
- Se verifica que es muy necesario tener un CCPWM, el cual es el encargado de mantener fijo el consumo de corriente por la celda, ya que si no se implementa, la celda consumirá más corriente, la cual se convertirá en más calor, y la celda perderá eficiencia, puesto que se existe mucho calor en la celda, se generara vapor de agua y no oxihidrogeno, además de esto si la demanda de corriente es excesiva, se podría dañar el alternador o la batería del vehículo, en este caso del motor de pruebas.
- Una elemento agregado al sistema, es un módulo de potencia, el cual tiene la función de encender el sistema de oxihidrogeno, hasta después de que el motor este encendido, con esto se evita quitarle corriente al arranque del motor, y de cierta forma se automatiza el sistema, pues este se enciende cuando se gira la llave y se apaga cuando el motor lo hace.
- Se implementó un tablero de control, en el cual se puede encender o apagar la celda, independiente del sistema que interviene el sensor de O₂, para así facilitar las pruebas necesarias para hacer la comparación de datos. En el también se puede controlar la corriente que se desea enviar al generador de oxihidrogeno, o simplemente se puede dejar en forma automática todo el sistema.
- Algo que se tuvo que hacer para evitar problemas en los inyectores, y poder realizar las pruebas con éxito, fue diseñar y construir un tanque en acrílico, para la gasolina, allí se ubicó la bomba de combustible, y las conexiones eléctricas e hidráulicas, con ello evitamos que los inyectores se tapen con oxido de los tanques convencionales de acero, ya que fue uno de los inconvenientes que presento el motor antes de iniciar las

pruebas, además se facilitó realizar la prueba de consumo por peso, que se realizó en este proyecto.

- No se observó ningún problema en el motor, debido a la implementación del sistema de oxihidrogeno, acelera normalmente, mantiene las revoluciones constantes, no presenta vibraciones excesivas, ni sobrecalentamiento.

9. RECOMENDACIONES.

Una parte importante a considerar para continuar con la investigación sobre el oxihidrogeno en los motores de combustión interna, sería realizar una investigación más extensa, en cuanto al efectos negativos que pudiera tener el oxihidrogeno en las cámaras de combustión, como por ejemplo corrosión en los cilindros, fisuras en culata, efectos sobre las bujías, corrosión en el ducto de escape.

Profundizando estudios sobre el tema, se podría realizar un diseño más eficiente, lo cual se traduce en utilizar menos energía para generar la misma o mayor cantidad de gas en la celda electrolítica.

Otra idea a considerar podría ser, implementar un sistema de energía alternativo, como por ejemplo la energía solar, para alimentar el sistema de oxihidrogeno, y así no usar la que se producida por el alternador del motor, pues para esto es necesario que el motor consuma más combustible, con ello se lograría obtener un mayor ahorro de combustible durante el uso del sistema de oxihidrogeno.

Se deberían realizar pruebas de duración de diferentes materiales, para la construcción de la celda electrolítica, como por ejemplo el titanio, en comparación con los diferentes tipos de aceros inoxidable que se pueden usar para este tipo de celdas, y realizar un balance o proyección para saber a largo plazo cual es el material más adecuado, en cuanto a costos y eficiencia de producción de oxihidrogeno.

Investigar diferentes formas de producción de hidrogeno, como combustible alterativo, teniendo en cuenta que la forma de producción sea eficiente y amigable con el medio ambiente.

Buscar siempre proteger el medio ambiente, ya que es indispensable para la vida en la tierra, y si no cuidamos el lugar en el cual vivimos, en un futuro no tendremos donde vivir.

10. REFERENCIAS

- [1] «Contaminación por CO₂,» 01 01 2012. [En línea]. Available: <http://contaminaciondelaireporco2.blogspot.com/>. [Último acceso: 16 05 2014].
- [2] «efecto invernadero,» 03 03 2005. [En línea]. Available: <http://padillajose6.blogspot.com/>. [Último acceso: 16 05 2014].
- [3] «CONTAMINACIÓN DEL AIRE: CONFIRMADO. NO HAY LÍMITE ..,» 01 01 2001. [En línea]. Available: <http://mi-estrella-de-mar.blogspot.com/2013/12/contaminacion-aire-no-limite-seguro.html>. [Último acceso: 16 05 2014].
- [4] «CONTAMINACIÓN DEL AIRE: CONFIRMADO. NO HAY LÍMITE ...,» 03 03 2001. [En línea]. Available: <http://mi-estrella-de-mar.blogspot.com/2013/12/contaminacion-aire-no-limite-seguro.html>. [Último acceso: 16 05 2014].
- [5] «Proyecto Alcorcón,» 04 04 2001. [En línea]. Available: <http://proyectoalcorcon.blogspot.com/>. [Último acceso: 16 05 2014].
- [6] «Contaminación del Aire según la Fuente,» 02 02 2004. [En línea]. Available: <http://fuentesaire.blogspot.com/>. [Último acceso: 16 05 2014].
- [7] «Monóxido de Carbono (CO). Contaminante - Atajo - Avizora,» 02 02 2008. [En línea]. Available: http://avizora.com/publicaciones/ecologia/textos/0029_monoxido_de_carbono.htm. [Último acceso: 16 05 2014].
- [8] «Contaminación atmosférica - Profesor en línea,» 03 03 2001. [En línea]. Available: http://www.profesorenlinea.cl/ecologiaambiente/Contaminacion_atmosferica.htm. [Último acceso: 16 05 2014].
- [9] «DECRETO 86/2003, de 1 de abril, por el que se aprueba el Plan ...,» 01 01 2003. [En línea]. Available: <http://www.juntadeandalucia.es/boja/2003/101/1>. [Último acceso: 16 05 2014].
- [10] «8000 controller (página 2) - Monografias.com,» 16 01 2004. [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos82/8000-controller/8000-controller2.shtml>. [Último acceso: 16 05 2014].

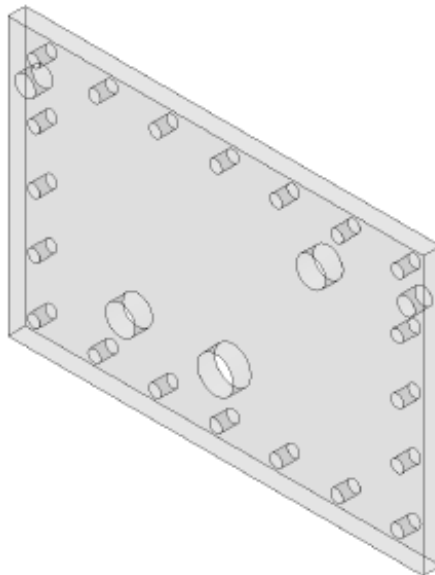
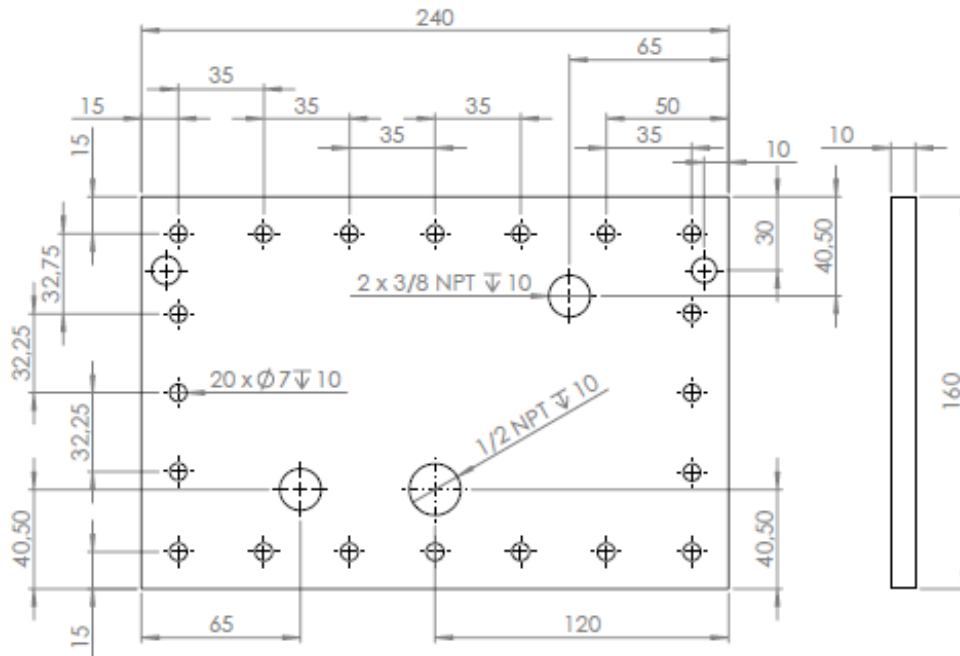
- [11] «Contaminante del aire (unidad 1) - SlideShare,» 01 01 2003. [En línea]. Available: http://www.slideshare.net/bio_claudia/contaminante-del-aire-unidad-1. [Último acceso: 16 05 2014].
- [12] «Salud y Medicina - RevistaCiencias.com,» 01 01 2002. [En línea]. Available: <http://www.revistaciencias.com/secciones/Salud.html>. [Último acceso: 16 05 2014].
- [13] «Centrodeartigos.com,» © 2012-2014. [En línea]. Available: http://centrodeartigos.com/articulos-enciclopedicos/article_86347.html. [Último acceso: 05 marzo 2014].
- [14] E. p. C. Mantell, Ingeniería electroquímica, España: Reverte S.A., 2003.
- [15] M. González, «quimica.laguia2000.com,» 08 octubre 2010. [En línea]. Available: <http://quimica.laguia2000.com/enlaces-quimicos/electrolisis-del-agua>. [Último acceso: 13 abril 2014].
- [16] «wikipedia,» 19 abril 2014. [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrolito>. [Último acceso: 02 mayo 2014].
- [17] I. d. C. d. M. d. S. (ICMS), «eco-sos,» 29 septiembre 2011. [En línea]. Available: http://eco-sosteingenieria.blogspot.com/2011_09_01_archive.html. [Último acceso: 21 abril 2014].
- [18] «lowentropia1.lowentropia.com,» [En línea]. Available: http://lowentropia1.lowentropia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=21:historia-generadores-hidrogeno&catid=15:celdas-de-hidrogeno. [Último acceso: 10 marzo 2014].
- [19] «hydroforce,» [En línea]. Available: <http://www.hydroforce.com.co/>. [Último acceso: 10 febrero 2014].
- [20] J. Azabache, «scribd,» 30 junio 2012. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/183717425/Alter-Nador>. [Último acceso: 10 abril 2014].
- [21] electromecanicafacil, «professionalautomotive,» 30 junio 2012. [En línea]. Available: <http://professionalautomotive.wordpress.com/2012/06/30/el-alternador-principio-de-funcionamiento/>. [Último acceso: 02 abril 2014].
- [22] «goldenmap,» [En línea]. Available: http://es.goldenmap.com/Bater%C3%ADa_de_coche. [Último acceso: 02 abril 2014].

- [23] octubre 2010. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2451/1/CD-3161.pdf>. [Último acceso: 02 abril 2014].
- [24] «metalesindustriales,» [En línea]. Available: http://www.metalesindustriales.com/media/File/aceros_inoxidables.pdf. [Último acceso: 04 marzo 2014].
- [25] «faberplast,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.faberplast.net/Materiales.aspx>. [Último acceso: 10 mayo 2014].
- [26] «emiasa,» [En línea]. Available: <http://www.emiasa.com.mx/productos/empaquetaduras/materiales/>. [Último acceso: 10 mayo 2014].
- [27] «tuberias,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.tuberias.mx/tuberiapvc.html>. [Último acceso: 10 mayo 2014].

11. ANEXOS

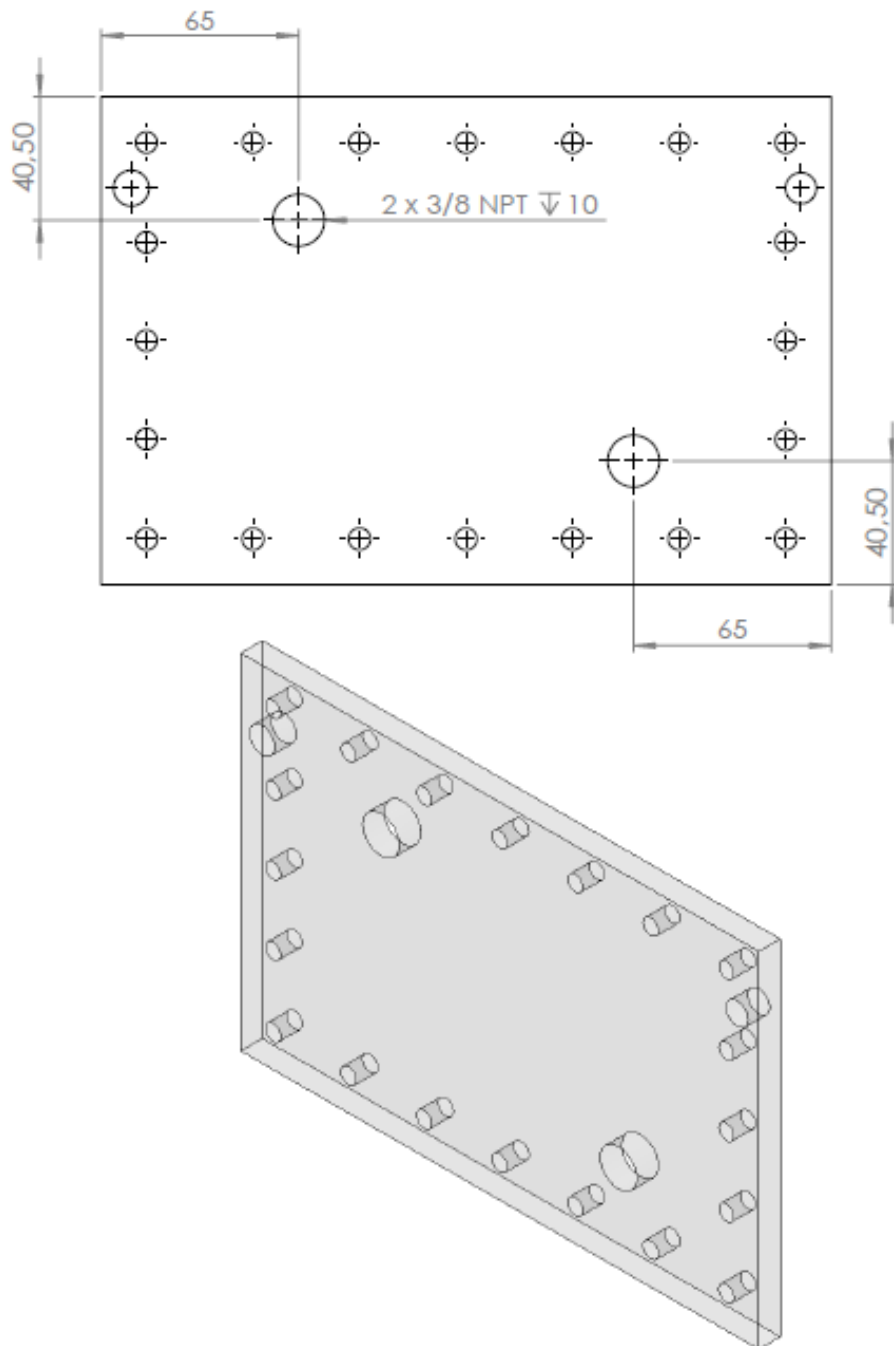
Los planos están realizados bajo el sistema mm.g.s, lo cual indica que todas las dimensiones descritas están en mm, pero todos los roscados están dimensionados en el sistema inglés debido a que en el mercado se consiguen los conectores bajo este sistema, esta descrito con su respectiva anotación.

11.1. Tapa posterior de acrílico

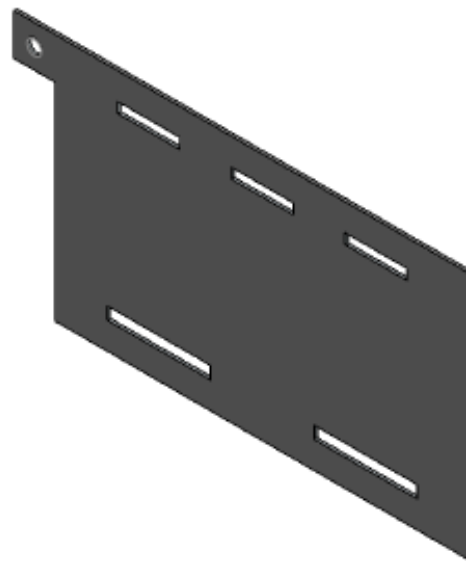
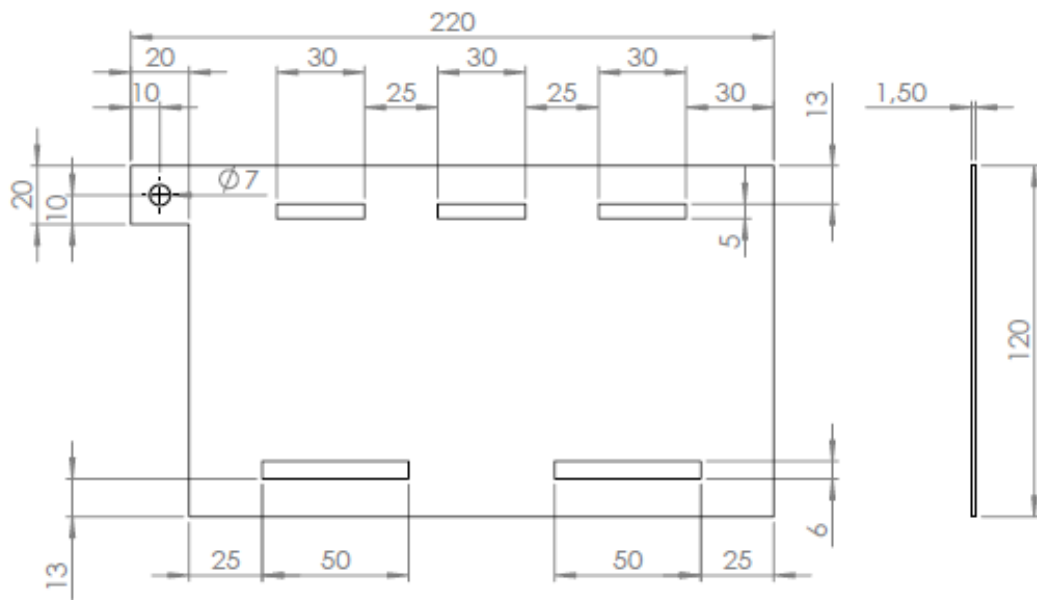


11.2. Tapa frontal de acrílico

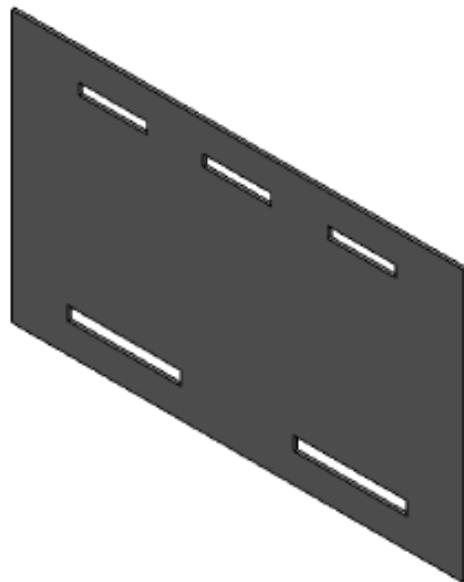
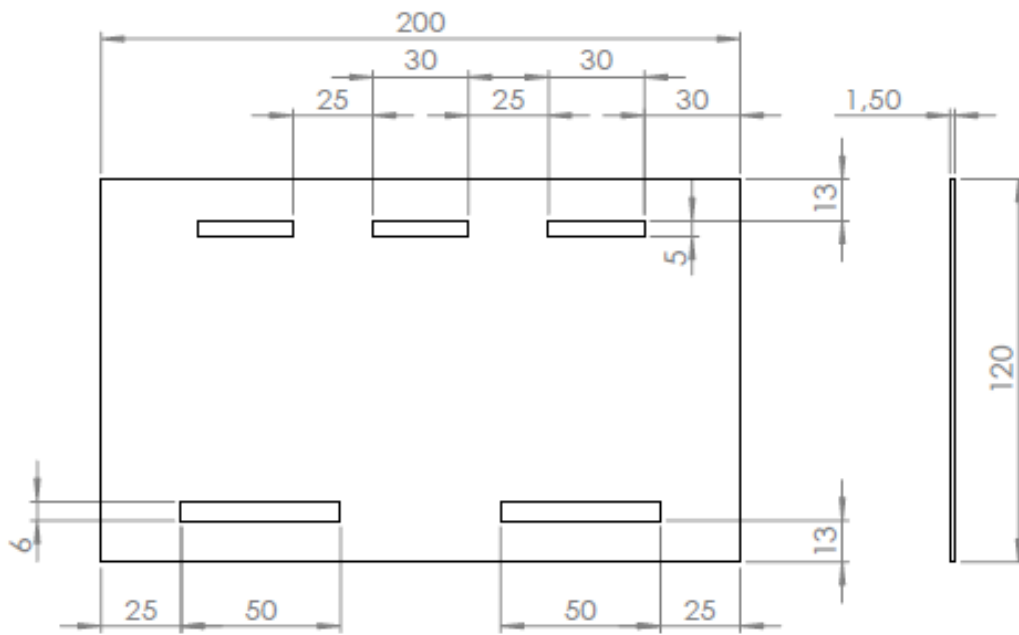
La placa frontal tiene todas las dimensiones igual que la posterior, pero solo tiene dos agujeros roscados y no tres como se aprecia en el siguiente plano.



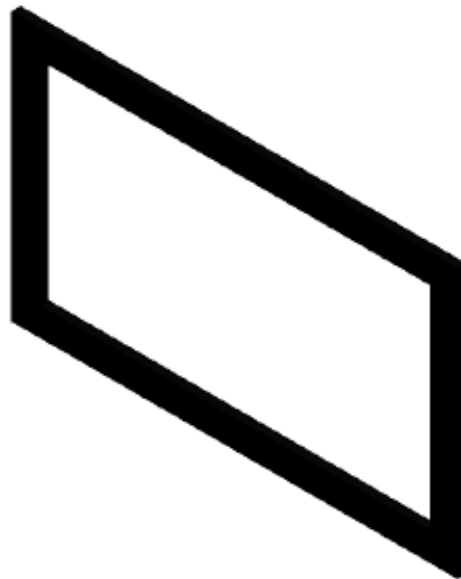
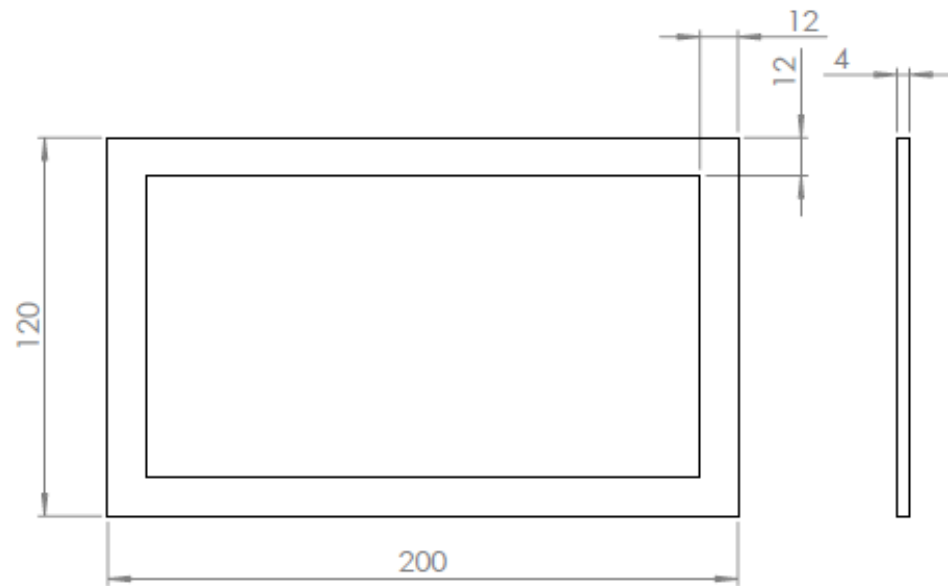
11.3. Placa de carga.



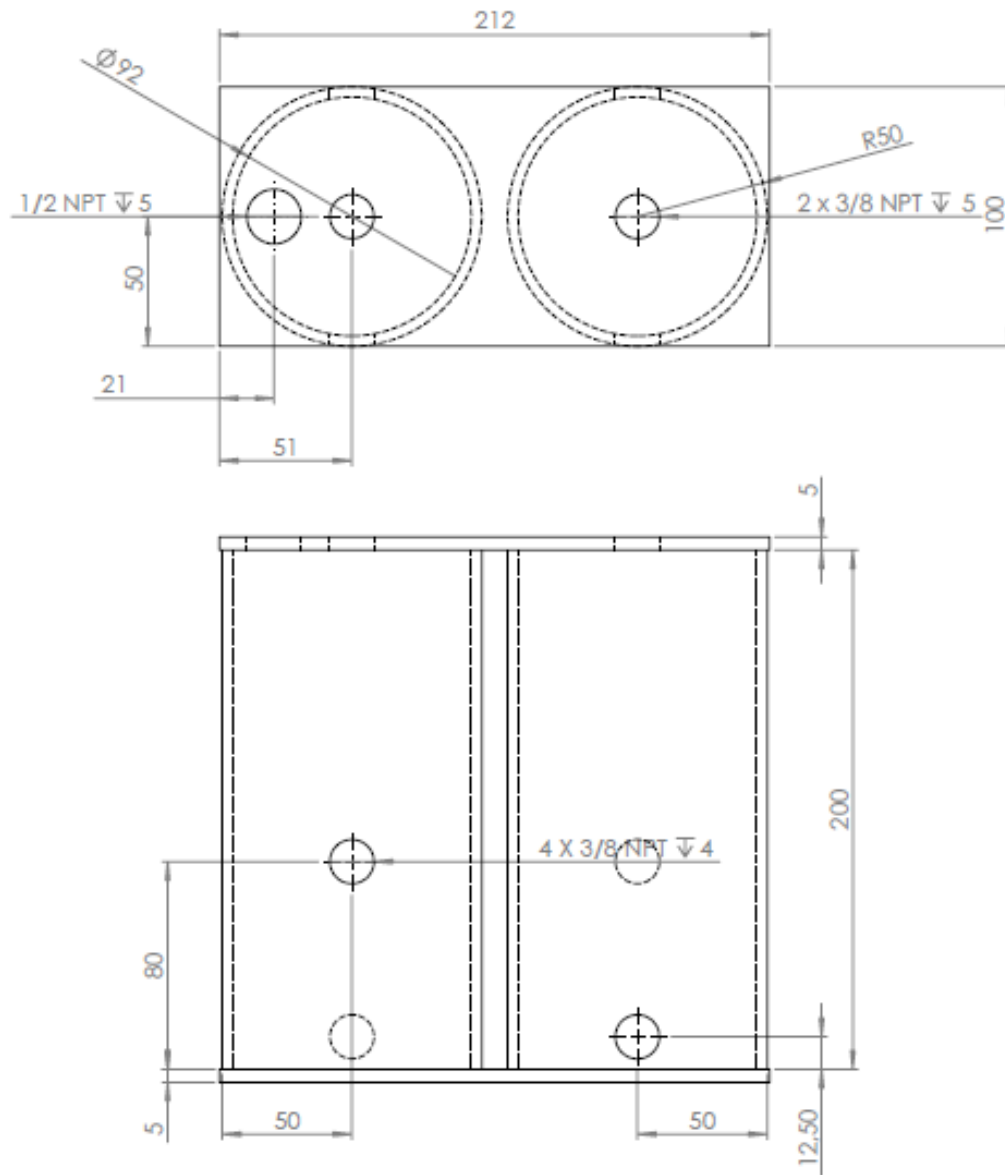
11.4. Placa neutra

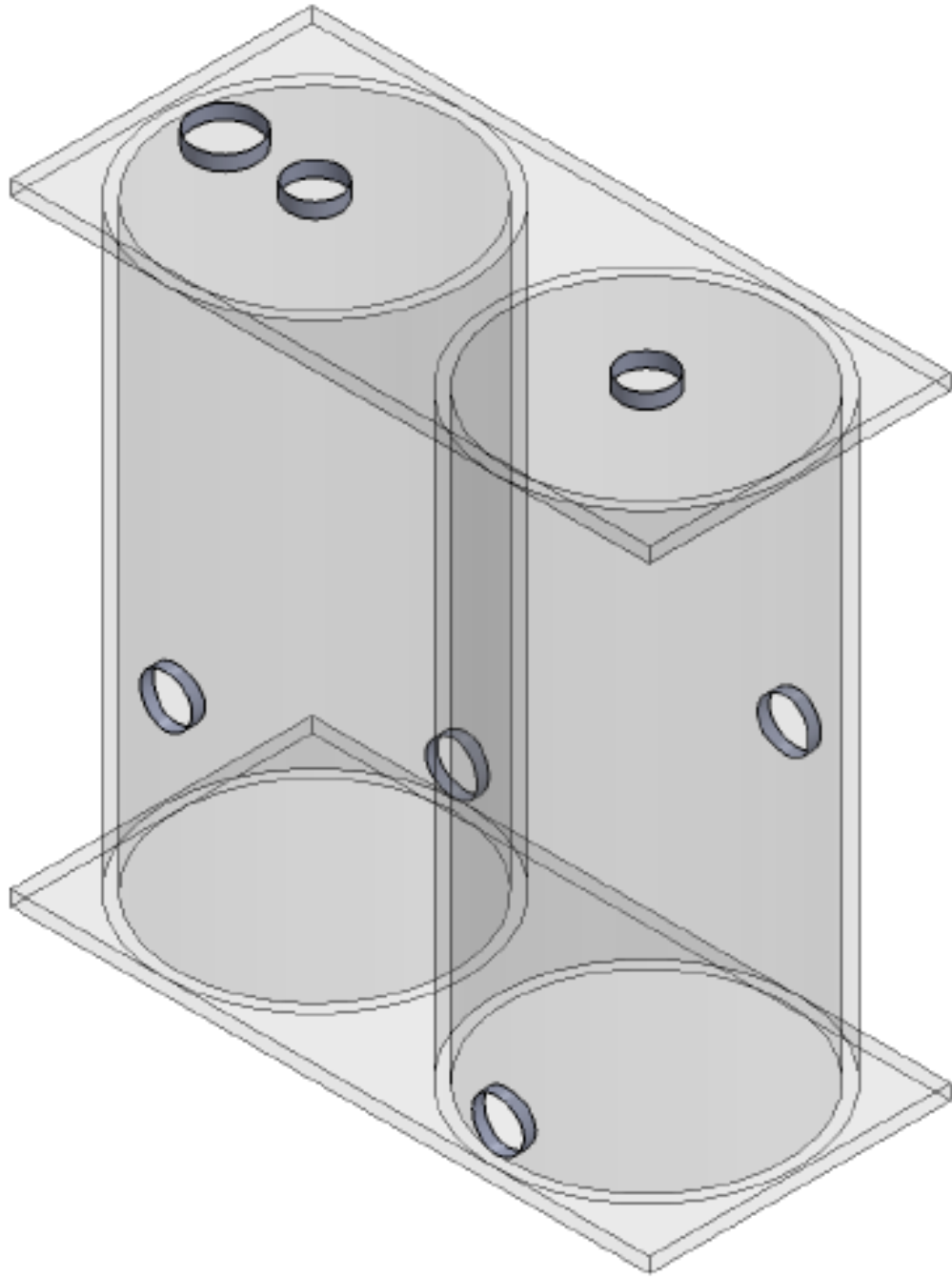


11.5. Junta de neopreno.

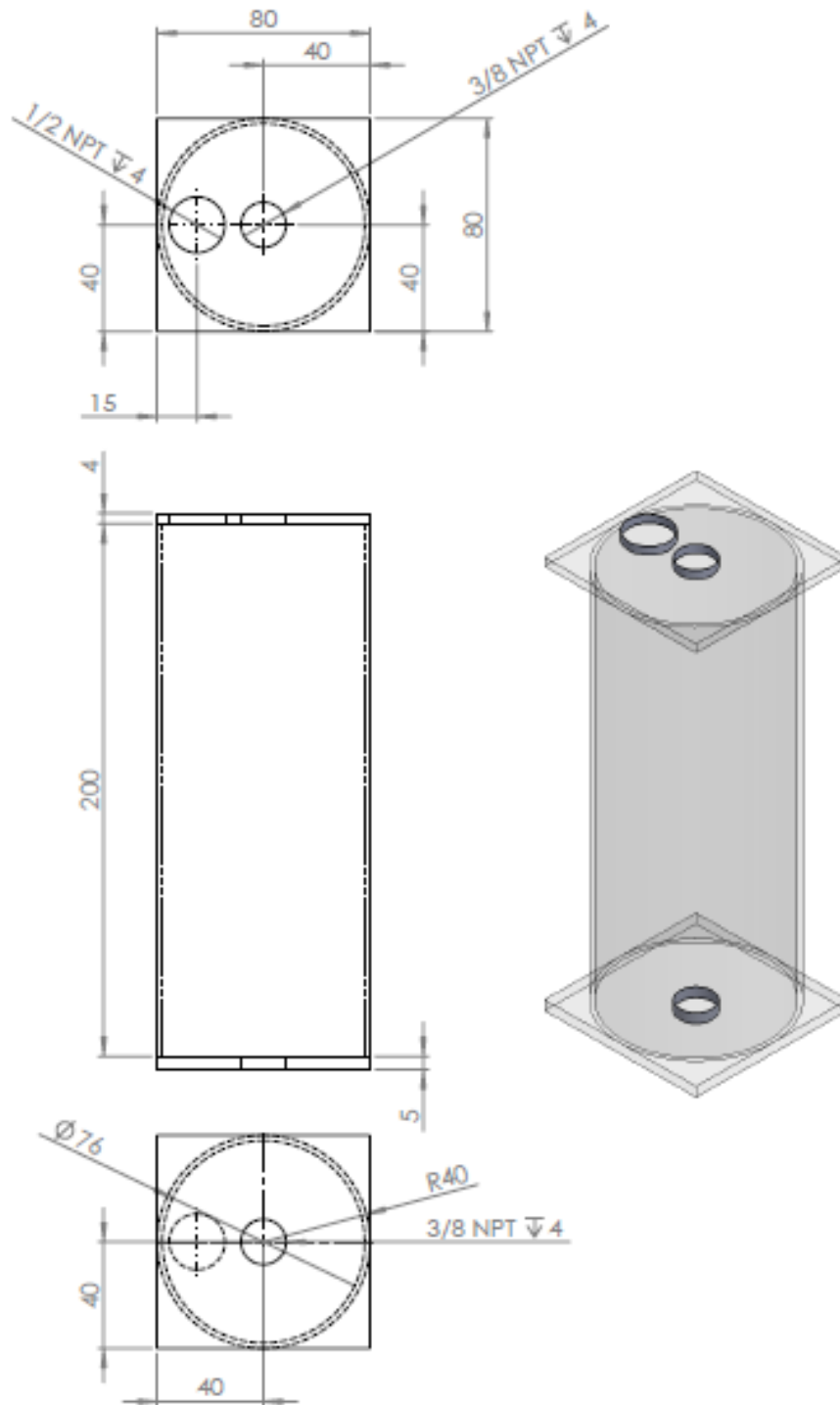


11.6. Tanque de solución electrolítica o burbujeador primario



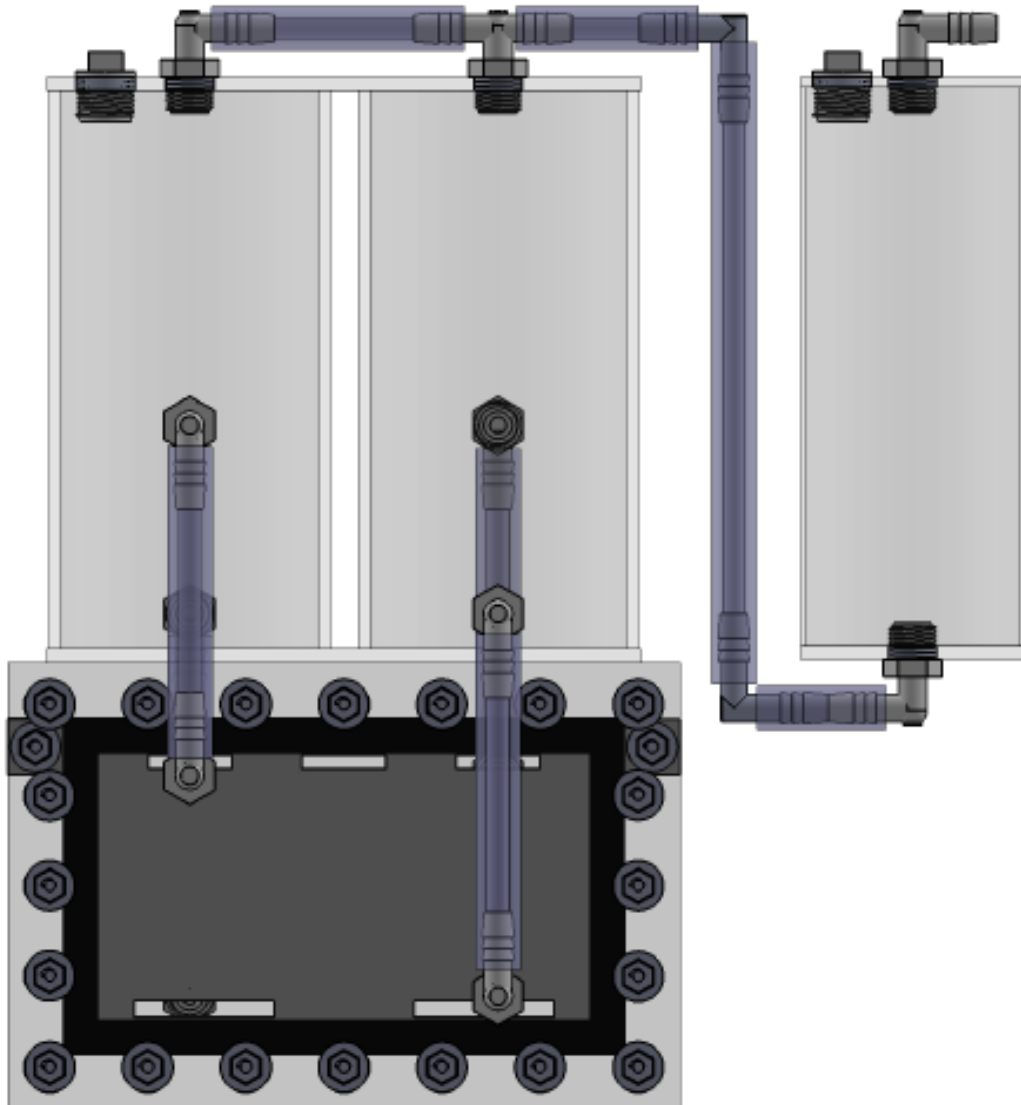


11.7. Burbujeador secundario.

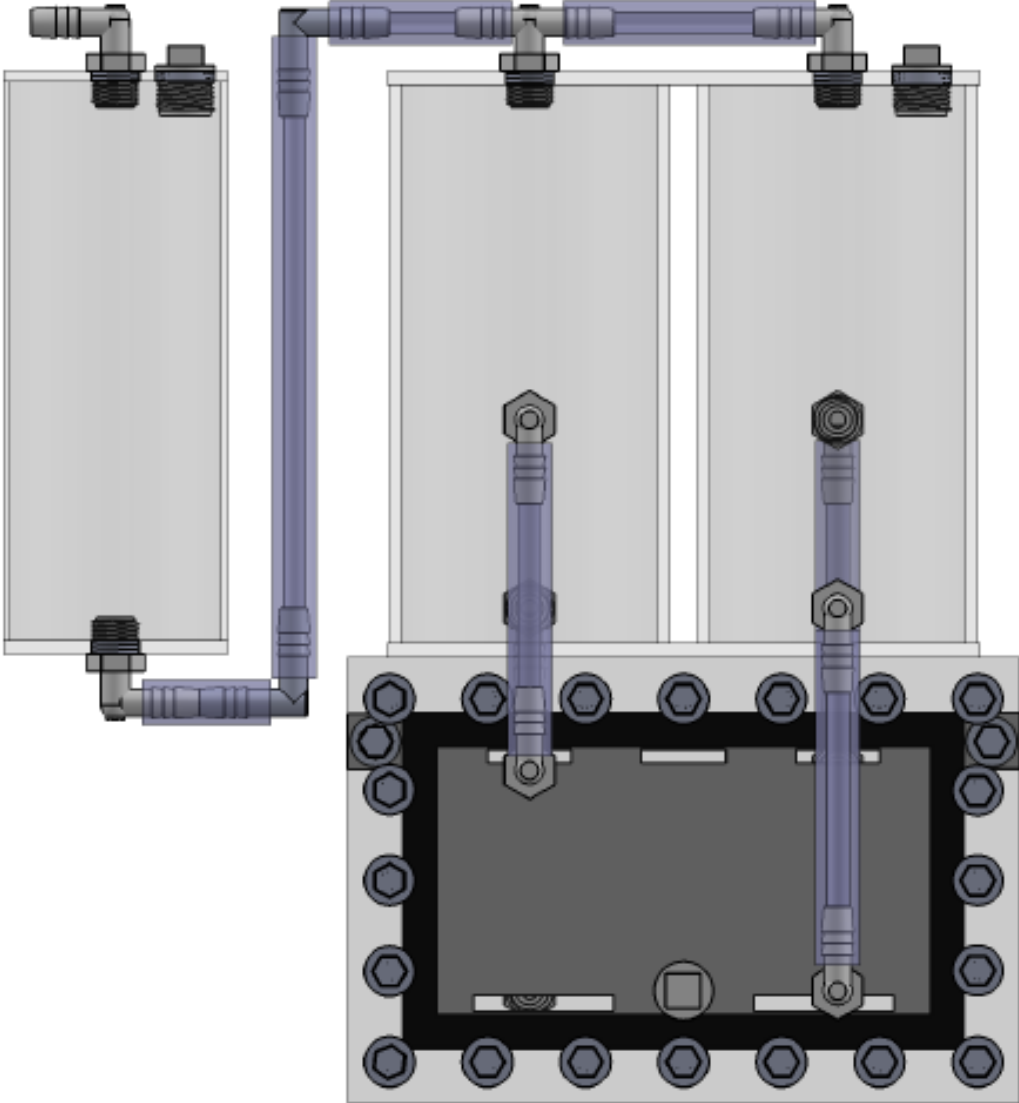


11.8. Ensemble final

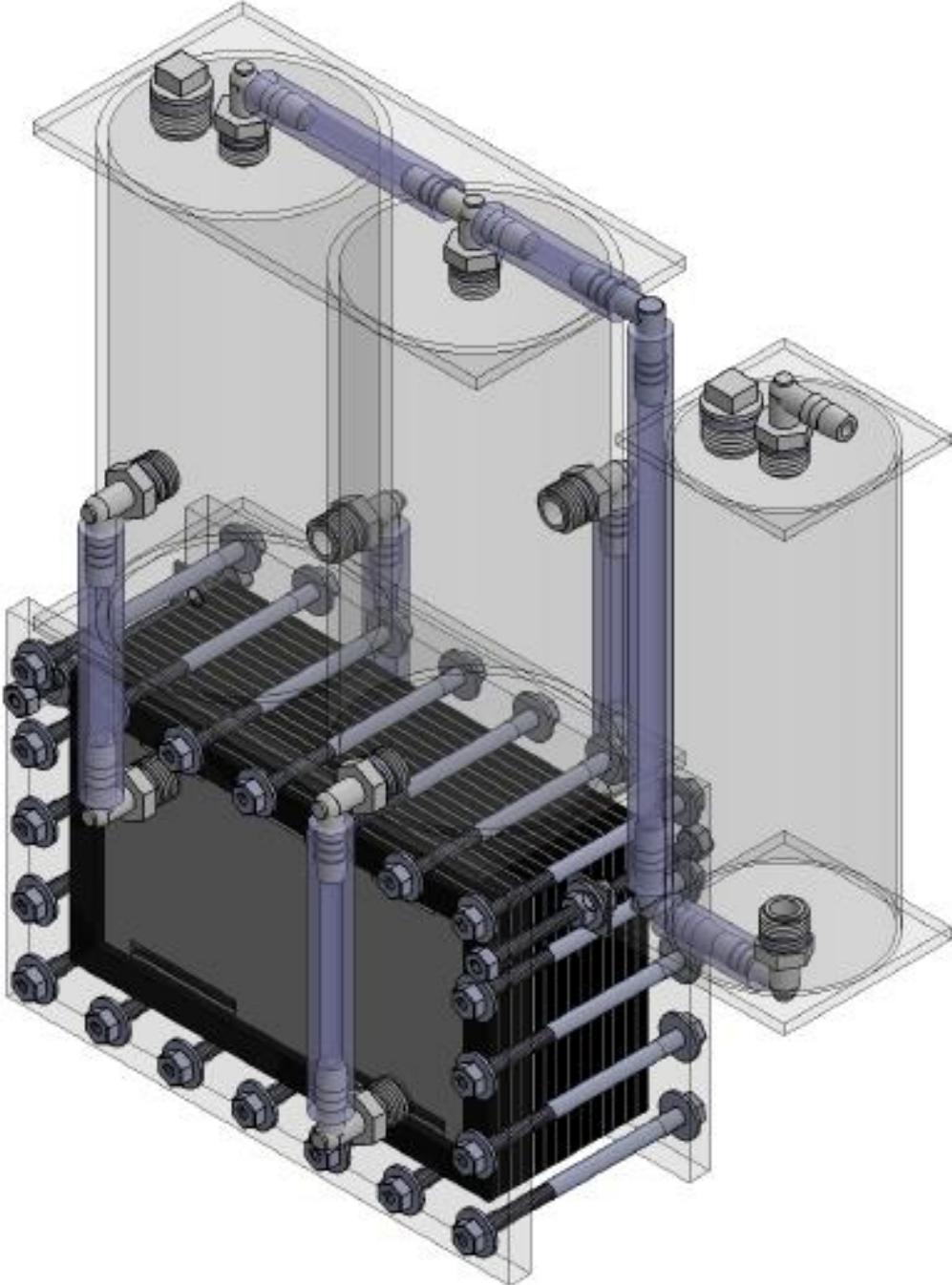
11.8.1. Vista frontal.



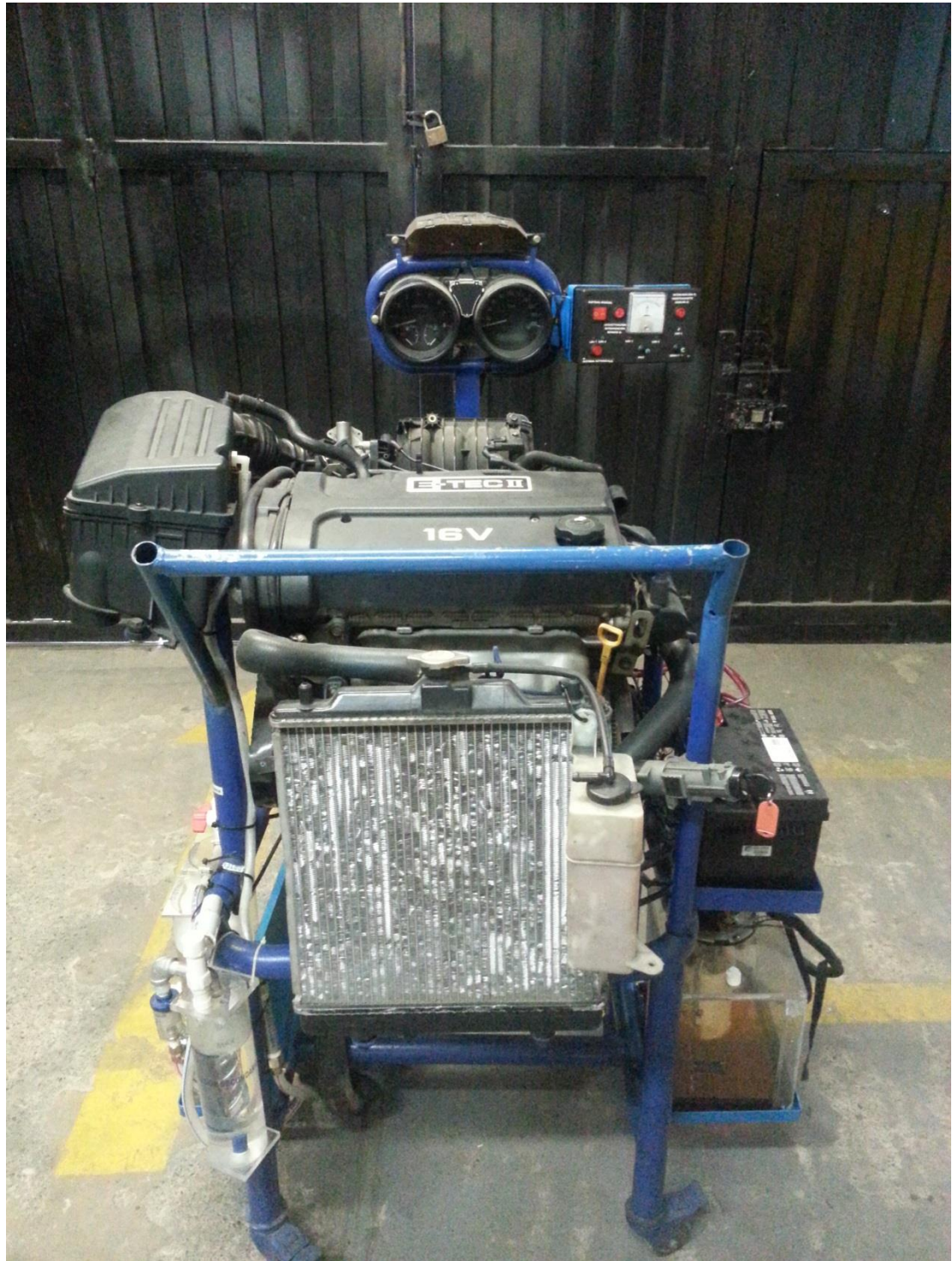
11.8.2. Vista posterior

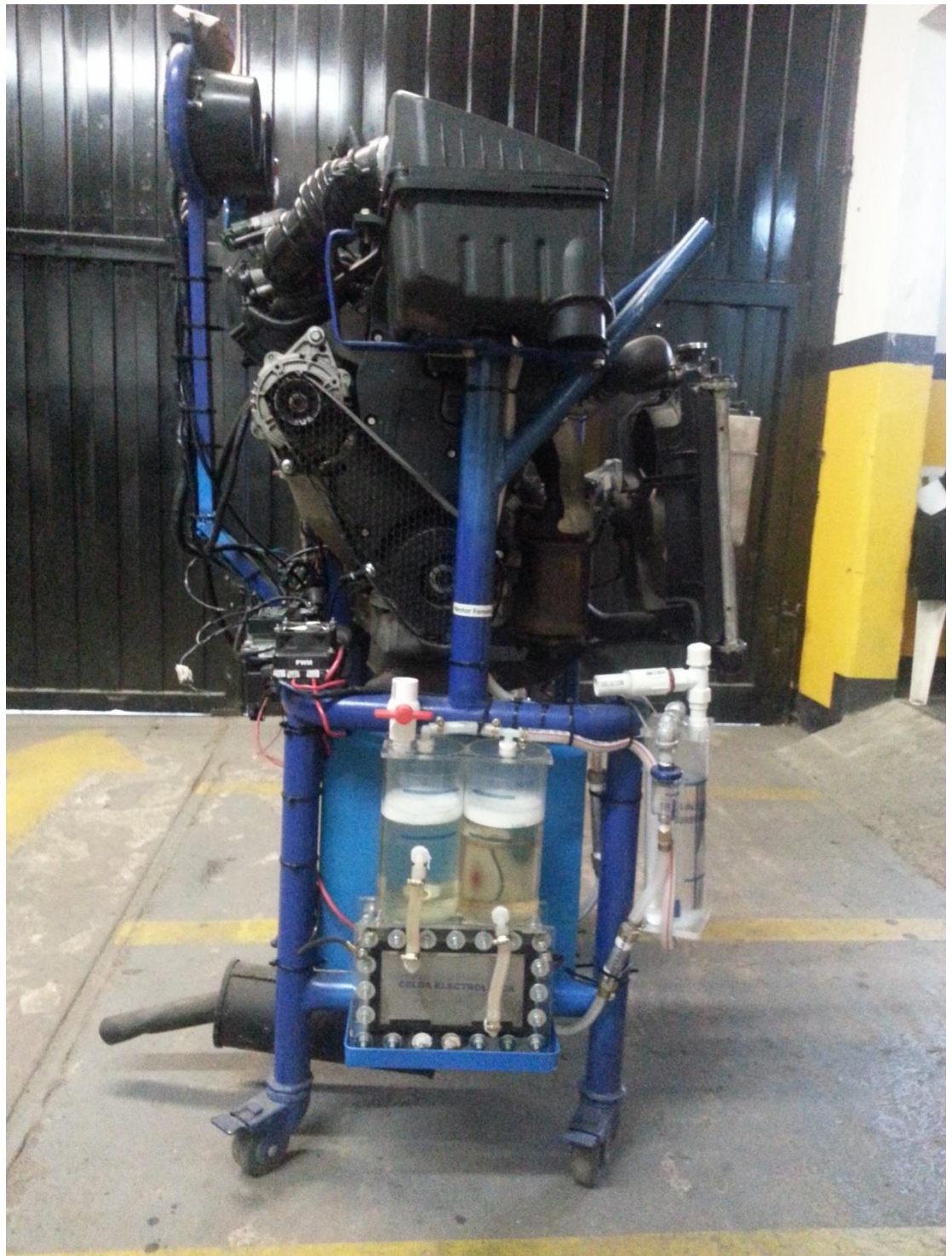


11.8.3. Vista trimetrica



11.9. Resultado final del generador de oxihidrógeno ya instalado en el motor de Inyección Electrónica 1.6 de Aveo junto al tanque de Gasolina diseñado para el proyecto.



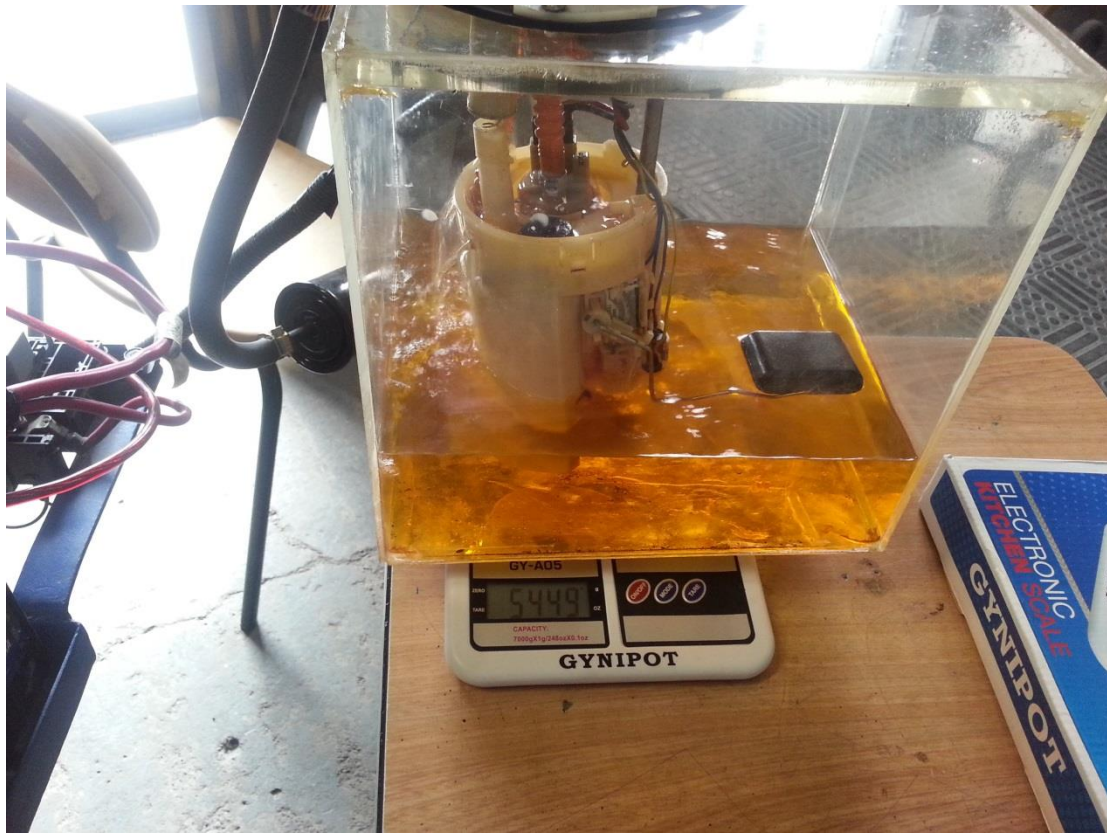












11.10. Diagrama eléctrico sistema oxihidrogeno

