

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño del sistema de mezcla de combustible fósil y HHO en motor de 4
tiempos.

INGE-2297

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentado por:

Jorge Luis Bustamante Cabrera

Ronald Eduardo Sarmiento Vargas

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a dos pilares fundamentales en mi vida: a mi querida madre, Rosa Vargas, cuya dedicación y amor incondicional han sido mi fuente constante de inspiración y apoyo; y al padre que Dios me regalo en el camino, Christian Sojos, un padre excepcional que ha compartido cada paso de mis etapas académicas, brindándome su aliento inquebrantable y su inestimable guía. Aunque físicamente ausentes, quiero rendir un emotivo homenaje a mi amado padre, Eduardo Sarmiento, y a mi querido abuelo, Honorio Vargas, cuyo legado sigue siendo una inspiración constante. Este logro no sería posible sin el respaldo continuo de mis amadas hermanas y de mis tíos Alipio Vargas y Alba Vargas, quienes han sido mi red de apoyo incondicional. A todos ustedes, mi profundo agradecimiento; este trabajo es un tributo a su amor, dedicación y contribuciones invaluable a mi vida.

Ronald Sarmiento

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico con insondable gratitud y amor a mis queridos padres: Richard Bustamante, por ser un padre formidable que a pesar de las tribulaciones, nunca me dejo descarrilar y siempre junto con una sonrisa de vencedor me guiaba sin desestimar mi esfuerzo ayudándome hacer mi propio camino al andar; a mi amada madre, Jeanine Cabrera, quién de manera innegable me ha demostrado con su carácter fuerte, su amor y su inigualable forma de creer en mí, lo inquebrantable que debo ser y lo lejos que puedo llegar junto con determinación y mucha disciplina. También debo darle honor a mi abuelita, Isabel Bernal, cuya fuerza de voluntad para trabajar sin titubear, además, de su forma de amar sin menospreciar, ha sido un ejemplo viviente de superación al igual que un gran apoyo en este largo camino.

Jorge Bustamante

Agradecimientos

Mis sinceros agradecimientos se extienden a toda la facultad y, en particular, a destacados profesores como el MSc. Jonathan León Torres. Su dedicación, apoyo incondicional y orientación no solo en calidad de educador, sino también como un amigo invaluable, han sido fundamentales para mi crecimiento profesional. En general, mi gratitud se extiende a cada miembro del personal de la institución por su contribución al ambiente académico y su apoyo constante a lo largo de mi carrera. La Escuela Superior Politécnica del Litoral del Ecuador ha sido más que una institución educativa, ha sido un hogar donde he crecido académica y personalmente. Gracias a todos por su dedicación, paciencia y amistad en este viaje educativo.

Ronald Sarmiento

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mi hermana, Madelaine Bustamante, le agradezco profundamente de corazón por compartir conmigo su amor por la lectura, su dicha por la música y por ayudarme cuando más la necesitaba académicamente. Le agradezco a mi mejor amiga, Maé Rey, que a pesar de encontrarse afligida estuvo siempre para apoyarme, darme ánimos y no dejarme vencer por los problemas académicos y personales. También agradezco a mis amigos: Javier, Andrés, Jaime, Isaac, Enrique por darme fuerza para seguir y compartir gratos momentos tanto de estudio como de compañerismo. Y, por último, a los docentes que ponen sudor y alma en desempeñar su papel como guía en la educación dando cada una de sus clases de manera especial, fueron de gran ayuda en mi crecimiento académico y profesional.

Jorge Bustamante

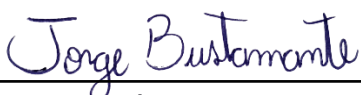
Declaración Expresa

Nosotros (Jorge Bustamante y Ronald Sarmiento) acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, febrero del 2024.


Autor 1


Autor 2

Evaluadores

Bryan Puruncajas, M.Sc.

Profesor de Materia

Wilton Agila, Ph.D.

Tutor de proyecto

Resumen

El proyecto integrado tiene como objetivo desarrollar un sistema de mezcla de combustibles fósiles con HHO en un motor de 4 tiempos. El fundamento se centra en la necesidad de minimizar el impacto ambiental de los combustibles convencionales y tiene en cuenta las vulnerabilidades económicas asociadas con los precios mundiales del petróleo. Los objetivos específicos incluyen el desarrollo de un dispositivo mecánico para regular los combustibles fósiles, un dispositivo electrónico para controlar la electricidad y un software de integración de vehículos. Se utilizaron materiales como el acero inoxidable AISI 316 y se utilizaron herramientas de modelado como la plataforma Arduino IDE y generación integrada de código mediante Proteus. Los resultados reflejan cálculos teóricos detallados, selección de materiales, diseño y desarrollo de electrónica de control. Estos hallazgos resaltan los beneficios potenciales para el vehículo, incluida la descarbonización del motor y un mayor rendimiento. Este enfoque innovador tiene como objetivo proteger el medio ambiente y promover la estabilidad económica en el sector del transporte de Ecuador.

Palabras clave: Arduino, Combustible fósil, HHO, Motor de 4 tiempos, Vulnerabilidades.

Abstract

The integrated project aims to develop a fossil fuel-HHO blending system for a 4-stroke engine. The rationale is grounded in the imperative to minimize the environmental footprint of conventional fuels, considering the economic vulnerabilities associated with global oil prices. Specific objectives encompass the fabrication of a mechanical apparatus for fossil fuel regulation, an electronic device for electricity control, and a vehicle integration software. Materials such as AISI 316 stainless steel were employed, and modeling tools like the Arduino IDE platform and code generation through Proteus were utilized. The results showcase meticulous theoretical calculations, material selection, design and development of control electronics. These findings underscore potential vehicular benefits, including engine decarbonization and enhanced performance. This innovative approach is geared towards environmental preservation and fostering economic stability in Ecuador's transportation sector.

Keywords: Arduino, Fossil Fuel, HHO, 4-Stroke Engine, Vulnerability.

Índice General

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice General.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas.....	IIX
Índice de planos.....	X
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del Problema.....	3
1.3 Justificación del Problema.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Marco teórico.....	6
1.5.1 Proceso de un motor de combustión interna de cuatro tiempos.....	6
1.5.2 Gas de Brown.....	7
1.5.3 Energías renovables	8
1.5.4 Electrólisis del agua	11
1.5.5 Electrolizador PEM.....	12
1.5.6 Electrolizador de pila seca	13
Capítulo 2.....	15
2.1 Metodología.....	16

2.2 Requerimientos	16
2.3 Matriz de decisión de material	17
2.4 Voltaje mínimo para electrólisis.....	19
2.5 Diseño de las placas.....	21
2.5.1 Cálculo para el gasto de aire	21
2.5.2 Cálculos para la producción de gas	23
2.6 Diseño de las partes del generador	30
2.7 Diseño electrónico para controlar la mezcla aire-combustible.....	34
Capítulo 3.....	39
3.1 Resultados y Análisis	40
3.1.1 Volumen del Oxígeno e Hidrógeno	40
3.1.2 Potencial requerido.....	41
3.1.3 Diseño Mecánico.....	42
3.1.4 Generador de HHO	42
3.1.5 Caja de control	43
3.1.6 Dispositivo Electrónico.....	44
3.1.7 Control del sensor MAF e Hidrógeno	46
3.1.8 Dispositivo de suministro de energía	48
3.1.9 Análisis de costos.....	50
3.1.10 Costos de ingeniería	50
3.1.11 Costos del prototipo	50
Capítulo 4.....	52
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	53
4.1.1 Conclusiones	53
4.1.2 Recomendaciones.....	54

Referencias.....	55
Apéndices.....	59

Abreviaturas

AIE	Agencia Internacional de Energía
AEADE	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador
ARCERNNR	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables
AFR	Air-Fuel Ratio National
ECU	Engine Control Unit
OBD	On-Board Diagnostics
PPM	Partes Por Millón
PMS	Punto Muerto Superior
PMI	Punto Muerto Inferior

Simbología

kg	Kilogramo
km	Kilometro
S	Siemens
C	Coulomb
cm	Centímetro
mm	Milímetro
m	Metro
m ³	Metro cúbico
H ₂	Hidrógeno
O ₂	Oxígeno
H ₂ O	Agua
NaOH	Soda cáustica
I	Corriente
A	Amperaje
V	Voltaje
L	Litro
Ah	Amperaje-hora

Índice de figuras

Figura 1.1	Precios de Combustible	3
Figura 1.2	Fases producidas en el motor de cuatro tiempos	7
Figura 1.3	Energía biomasa	8
Figura 1.4	Energía Solar	9
Figura 1.5	Energía geotérmica	10
Figura 1.6	Energía eólica.....	11
Figura 1.7	Electrólisis del agua	12
Figura 1.8	Electrolizador tipo PEM	13
Figura 1.9	Electrolizador tipo pila seca.....	14
Figura 2.1	Matriz de decisión del generador HHO	19
Figura 2.2	Disposición de las medidas en placa.....	24
Figura 2.3	Tapa delantera y tapa trasera.....	31
Figura 2.4	Junta de caucho	32
Figura 2.5	Placa de electrodo de acero inoxidable.....	33
Figura 2.6	Controlador para sensor MAF realizado en PROTEUS 8.13	34
Figura 2.7	Configuración del puerto OBD-II dentro de un automóvil.....	38
Figura 3.1	Volumen de Hidrógeno a raíz de 1 kg	40
Figura 3.2	Volumen de Oxígeno con respecto a 1 kg	41
Figura 3.3	Potencia requerida producida por cada kg de hidrógeno	42
Figura 3.4	Generador de HHO	43
Figura 3.5	Vista Isométrica de la caja de control	44
Figura 3.6	Dispositivo para controlar el sensor MAF e Hidrógeno	46
Figura 3.7	Dispositivo simulando cuando la salida de flujo de hidrógeno es elevada	47
Figura 3.8	Dispositivo simulando cuando la salida de flujo de hidrógeno es óptima.....	48
Figura 3.9	Dispositivo de suministro de voltaje.....	49
Figura 3.10	Simulación de dispositivo de suministro de voltaje.....	49

Índice de tablas

Tabla 2.1	Requerimientos en base a las necesidades	16
Tabla 2.2	Potencial estándar de reducción en agua	20
Tabla 2.3	Presión atmosférica según la variación de la altura	22
Tabla 2.4	Datos Generales.....	23
Tabla 2.5	Componentes usados en PROTEUS 8.13.	35
Tabla 3.1	Costos de viáticos e ingeniería impartida.....	50
Tabla 3.2	Costo estimado del prototipado.....	51

Índice de planos

PLANO 1 Generador de HHO

PLANO 2 Tapa delantera

PLANO 3 Tapa trasera

PLANO 4 Junta

PLANO 5 Placa electrodo

PLANO 6 Caja de control

Capítulo 1

1.1 Introducción

Durante décadas, los combustibles fósiles han sido utilizados como fuente de energía no renovable para la generación de electricidad, calor y propulsión de vehículos. Este sistema energético ha contribuido significativamente, representando aproximadamente el 80% de la demanda global de energía primaria y siendo responsable de dos tercios de las emisiones globales de CO₂. [1]

El cambio climático, primordialmente ocasionado por la acumulativa liberación de dióxido de carbono, ha sido exacerbado desde la Revolución Industrial, marcada por un aumento significativo en las emisiones a partir de 1850. La adopción de sistemas económicos basados en combustibles fósiles por parte de Estados Unidos y otras naciones desarrolladas ha dejado un impacto considerable en el clima actual. [2]

A nivel mundial, cerca del 78-80% de las emisiones anuales de CO₂ provienen de la quema de combustibles fósiles. Ante este panorama, surge la necesidad imperante de explorar y desarrollar alternativas de energía renovable, como el hidrógeno verde, que está experimentando un impulso sin precedentes, según lo destacado por la Agencia Internacional de Energía. [3]

El hidrógeno renovable, también conocido como hidrógeno verde, se produce mediante la electrólisis del agua utilizando excedentes de energía renovable. Este proceso químico, que separa los componentes del agua para obtener hidrógeno y oxígeno, se lleva a cabo mediante energía libre de carbono, constituyéndose como una fuente de energía limpia y sostenible que no genera emisiones de CO₂. [3]

En este contexto, la producción de hidrógeno verde emerge como una alternativa eficiente para almacenar el exceso de energía renovable y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. La adopción de tecnologías de hidrógeno verde se presenta como una medida crucial para

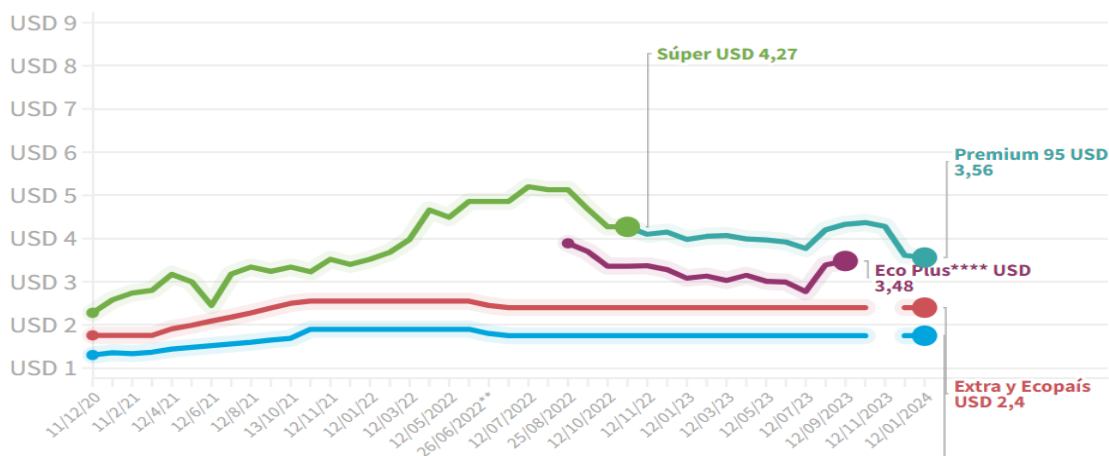
mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y avanzar hacia un paradigma energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

1.2 Descripción del Problema

En la actualidad, Ecuador cuenta con alrededor de 2'500,000 automóviles; según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) [4], teniendo que la mayor parte de ellos funcionan debido al uso del motor de combustión interna de 4 tiempos. Adicional, se conoce que una de las principales fuentes de contaminación es el sector de Transporte debido a los gases producidos por combustibles fósiles, representando el 46% de las emisiones de CO₂ en el país [5].

Aparte de afectar directamente al cambio climático se encuentra inmerso otro factor, que viene siendo el económico, puesto que, los precios del combustible fluctúan con el pasar de los años, ya que, estos varían con respecto al precio del petróleo y sus derivados en el mercado internacional [6] pero los precios son impuestos por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR), como se muestra en la Figura 1.1, los precios de los principales combustibles por galón consumidos en el país.

Figura 1.1 Precios de Combustible [6]



El proyecto presenta distintas complicaciones como es en el almacenamiento del hidrógeno, puesto que, presenta gran inflamabilidad; se tiene que manejar con mucho cuidado, ya que, al menor imprevisto podría efectuarse una combustión. Además, según National Geography, a pesar de ser uno de los elementos más abundantes de la Tierra, el hidrógeno no es fácil de obtener, al no encontrarse de forma aislada en la naturaleza, por ello, para su obtención se basa en la descomposición de las moléculas de agua (H_2O), en oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) [7]. El cliente es un centro de investigaciones reconocido en Guayaquil por sus contribuciones a la ciencia y tecnología.

1.3 Justificación del Problema

La necesidad imperativa de llevar a cabo investigaciones sobre el problema descrito se destaca por la intersección de desafíos ambientales y económicos apremiantes en el sector del transporte de Ecuador. La importancia de esta dependencia de los combustibles fósiles tradicionales se hace más evidente al considerar su contribución directa a las emisiones de CO_2 del país, con el sector del transporte siendo responsable de casi la mitad de las emisiones totales. [4]

Esta doble problemática de impacto ambiental e inestabilidad económica exige una investigación exhaustiva y la búsqueda de soluciones alternativas. La dependencia de los precios internacionales del petróleo y los marcos regulatorios introduce una vulnerabilidad que afecta la estabilidad y sostenibilidad económicas de Ecuador. [7]

Las implicaciones económicas se extienden aún más, ya que los precios de los principales combustibles fluctúan a lo largo de los años en paralelo con los precios internacionales del petróleo. Esta dependencia de factores externos plantea riesgos inherentes para el bienestar económico de la nación, lo que exige una reevaluación del paradigma energético en el sector del transporte.

La propuesta de transición al hidrógeno como fuente de combustible alternativa introduce una solución potencial a los desafíos ambientales y económicos. Sin embargo, las complejidades asociadas con el almacenamiento de hidrógeno, resaltadas por su alta inflamabilidad y el proceso de extracción intrincado, como lo explica National Geographic, exigen una investigación exhaustiva para garantizar una implementación segura y efectiva.

La necesidad e importancia de la investigación propuesta radican en la urgencia de mitigar el impacto ambiental de los combustibles convencionales, abordar las vulnerabilidades económicas ligadas a los precios mundiales del petróleo y explorar alternativas viables como el hidrógeno. La investigación tiene como objetivo proporcionar ideas y soluciones que no solo contribuirán a la preservación del medio ambiente, sino que también fomentarán la estabilidad y la resiliencia económica en el sector del transporte de Ecuador.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un dispositivo de mezcla de combustible fósil con HHO mediante el análisis teórico y simulación para controlar la generación de hidrógeno en motores de cuatro tiempos.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Diseñar un dispositivo mecánico para la regulación de combustible fósil.
2. Diseñar un dispositivo electrónico que permita el control de la corriente.
3. Diseñar el software para la integración entre el dispositivo electrónico y el vehículo.

1.5 Marco teórico

1.5.1 *Proceso de un motor de combustión interna de cuatro tiempos*

Existen distintos motores de combustión interna alternativos que se encuentran clasificados según sus diferentes características, sin embargo, el criterio de ciclo de trabajo tiene solamente dos tipos, los cuales son: los motores de dos tiempos y los motores de cuatro tiempos.

En los motores de cuatro tiempos, el pistón realiza cuatro carreras y el cigüeñal dos vueltas para completar el ciclo de trabajo teniendo durante ese proceso distintas fases como son: admisión, compresión, expansión y escape.

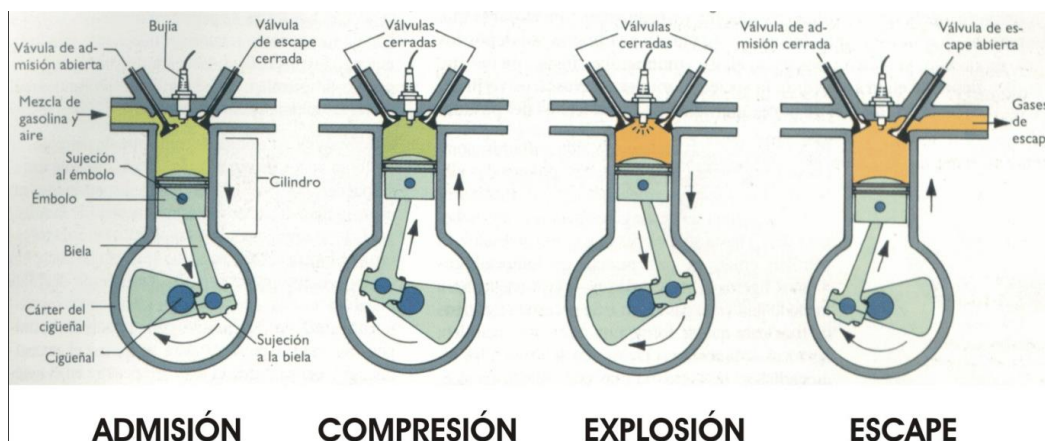
En la fase de admisión, las válvulas de escape están cerradas mientras que las válvulas de admisión están abiertas, el émbolo se desplaza desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior creando una pequeña depresión en el interior del cilindro, de tal manera que entran los gases a través del conducto de admisión, al llegar el émbolo al punto muerto inferior las válvulas de admisión se cierran [8].

De manera siguiente, se pasa a la fase de compresión, se tiene las válvulas tanto de admisión como de escape cerradas, el émbolo se mueve desde el PMI hasta el PMS comprimiendo el fluido que se encuentra dentro del cilindro; posteriormente se produce el salto de chispa si es el caso de un motor de encendido provocado, pero en caso de ser un motor de encendido por compresión se inyecta el combustible, generando así la combustión [8].

En la tercera carrera, se tiene la fase de expansión, donde la combustión, genera un aumento de presión de los gases dentro del cilindro, por consiguiente, empuja al émbolo, haciendo que se desplace desde el PMS hasta el PMI, de esto se obtiene trabajo. Finalmente, en la fase de escape, estando en el PMI se abre la válvula de escape y el émbolo se mueve hacia el PMS expulsando los

gases quemados hacia el exterior del cilindro [8], a continuación, se muestra en la Figura 1.2 las diferentes fases anteriormente mencionadas.

Figura 1.2 Fases producidas en el motor de cuatro tiempos [9]



1.5.2 Gas de Brown

Es conocido también como oxihidrógeno o gas HHO, es una tecnología que utiliza una mezcla de los elementos químicos del agua en las mismas proporciones dispuestas en el agua siendo hidrógeno y oxígeno mezclados en una proporción de 2:1. Para ser obtenido se requiere de la utilización de una corriente eléctrica tanto para separar y consiguiente disociar las moléculas del agua en hidrógeno y oxígeno de tal manera que cada uno actúa de forma independiente, en condiciones normales tanto de la presión atmosférica como la temperatura pasa a quemarse el hidrógeno, este se convierte en vapor de agua y libera energía suficiente para mantener la reacción encendida, siempre y cuando quede hidrógeno en la sustancia química [9].

1.5.3 Energías renovables

El hidrógeno no es una fuente de energía como tal, es notablemente un combustible limpio y puede que en los siguientes años se produzca mediante energías renovables.

Existen muchos tipos de energías renovables de las cuales se nombrará las principales como son:

Biomasa. – Se basa en la utilización de la materia orgánica formada biológicamente en un pasado o de los productos derivados de ésta también se considera la biomasa de la materia orgánica de las aguas residuales, los lodos de depuradora y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) dichos residuos se los suele considerar aparte [10], un ejemplo dado se muestra en la Figura 1.3.

Figura 1.3 *Energía biomasa [11]*



La energía de biomasa procede de la energía solar dispuesta en los vegetales la cual es liberada al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión obteniendo gas de dióxido de carbono y agua.

Energía solar. – Del Sol se adquiere tanto energía solar térmica como energía solar fotovoltaica, la térmica es aquella que se intercepta en el sistema atmósfera-Tierra siendo solamente una fracción absorbida equivalente a $1,2 \times 10^{14}$ kW, lo que representa más de 19000 kW/habitante siendo 28000 veces la producción mundial de petróleo [10], se muestra en la Figura 1.4, un ejemplo de obtención de la energía solar mediante paneles fotovoltaicos.

Figura 1.4 Energía Solar [12]



En cambio, la energía solar fotovoltaica es la obtención directa de electricidad mediante la luz para lo cual se requiere de un material especial que absorba la luz solar y el mismo pueda transformar la energía radiante en energía eléctrica, justamente lo que realizan las células fotovoltaicas.

Energía geotérmica. – Se origina en la enorme diferencia de temperaturas que existen en el interior de la Tierra y que van desde los 15°C de la superficie a los 4000 °C que tiene el núcleo, incluso los yacimientos de una temperatura de 15 °C pueden ser aprovechados al igual que todas las aguas subterráneas del mundo y el potencial geotérmico almacenado en los diez kilómetros

exteriores de la corteza terrestre supera en 2000 veces a las reservas mundiales de carbón [10], se aprecia en la Figura 1.5, una planta geotérmica.

Figura 1.5 *Energía geotérmica [11]*



Energía eólica. – Se produce a partir del viento contando con la tecnología moderna se aprovechan los vientos horizontales, siendo estos paralelos y próximos al suelo y siempre con una velocidad entre 3 m/s hasta 25 m/s, y existen máquinas que se encargan de transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica conocidas como turbinas eólicas [10], se muestra en la Figura 1.6, las turbinas eólicas comúnmente usadas en la energía eólica.

Figura 1.6 *Energía eólica [13]*

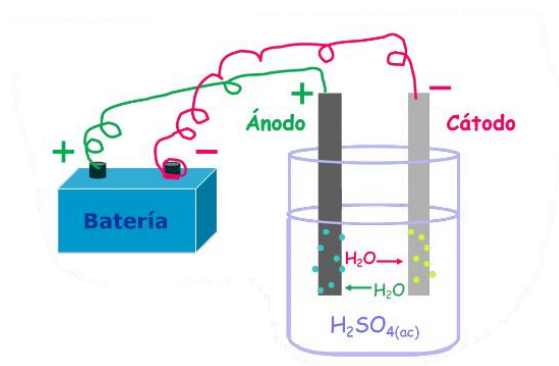


Energía mareomotriz. – Se produce por medio de las corrientes de agua, en la biomasa marina, en las mareas, inclusive en las olas que levanta el viento, para aprovechar la energía almacenada en las olas se tiene dispositivos que se encargan de captar la energía cinética y/o potencial de estas y las convierten en energía eléctrica [10].

1.5.4 *Electrólisis del agua*

En este procedimiento no se utiliza agua pura debido a que no es un buen conductor iónico, por eso se le agrega un ácido o una base, aumentando así la concentración de protones o grupos de hidroxilo, generando que la movilidad iónica sea grande o al menos lo suficiente para aminorar la resistencia eléctrica y no contribuir al sobrepotencial. Se acostumbra a usar como base al hidróxido de sodio o de potasio, en la Figura 1.7 se muestra la realización de la electrólisis de agua.

Figura 1.7 Electrólisis del agua [14]



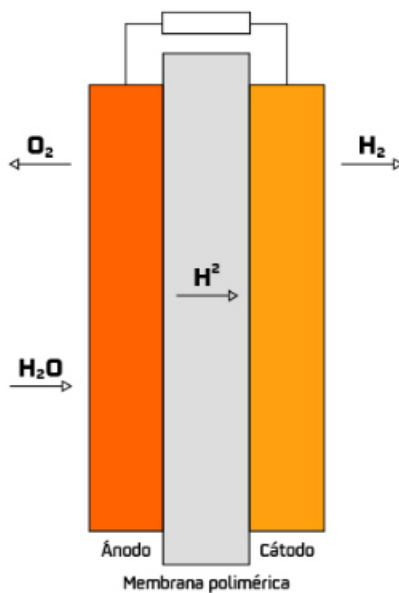
A lo largo de la electrólisis, en el cátodo se forma el hidrógeno y el oxígeno en el ánodo, también se fuerza la circulación del electrolito en la celda electrolítica para asegurar una misma temperatura de operación y disminuir el tiempo de adherencia de las burbujas de gases sobre los electrodos.

Las zonas catódica y anódica están separadas mediante un diafragma evitando así que el oxígeno y el hidrógeno producidos se mezclen, además que posee poros del tamaño de las burbujas más pequeñas posibles de gas como en el caso del hidrógeno siendo de unos 0,01 milímetros y en la práctica, los electrolizadores alcalinos trabajan a potenciales de entre 1,8 y 2,2 V, una densidad de corriente alrededor de $0,4 \text{ A/cm}^2$ [15].

1.5.5 Electrolizador PEM

Es un dispositivo usado con corriente continua y agua para producir hidrógeno. Un electrolizador tipo PEM (Proton Exchange Membrane o Polymer Electrolyte Membrane) es polimérico, quiere decir que, el electrolito por el que viajan los portadores de carga desde el ánodo al cátodo del electrolizador es sólido siendo una membrana polimérica, su tiempo de respuesta es menor y su densidad de corriente es mayor asimismo su costo es elevado puesto que se fabrica con materiales nobles [16], se muestra en la siguiente Figura 1.7 un dispositivo PEM.

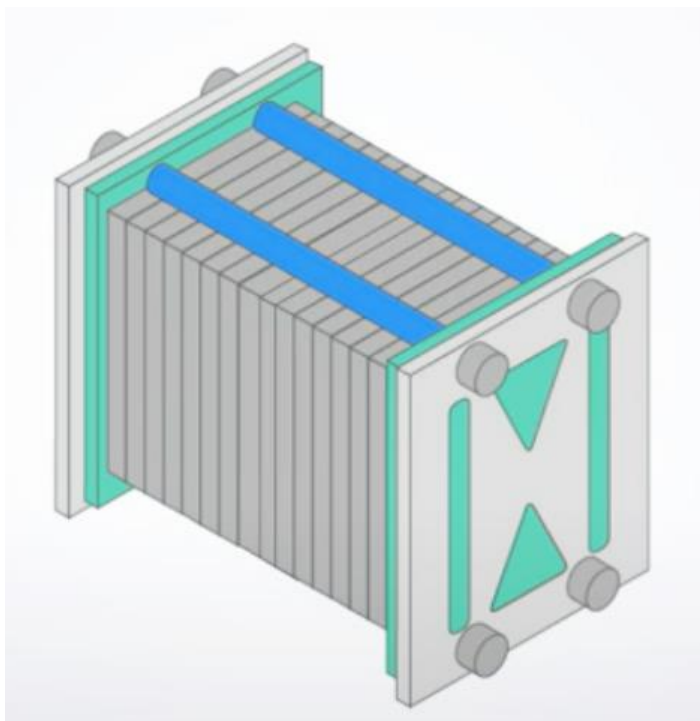
Figura 1.8 *Electrolizador tipo PEM [17]*



1.5.6 *Electrolizador de pila seca*

Tiene un diseño y prototipo más eficiente, la misma pila o celda viene a ser el contenedor, en el interior de dicha pila seca transita el agua. En primera instancia, para hacer uso de este electrolizador se requiere de agua destilada y una fuente de alimentación de 12V DC, durante el proceso de electrólisis, el electrolizador entrega por separado hidrógeno y oxígeno, donde el gas hidrógeno se envía al ingreso del aire del motor combinándose con la mezcla estequiométrica y posteriormente combustiona en el motor [18].

Figura 1.9 *Electrolizador tipo pila seca [19]*



Capítulo 2

2.1 Metodología

En base a la teoría de electrólisis del agua, además del electrolizador de pila seca. Se realizaron análisis de selección, además de cálculos logrando el desarrollo de un diseño óptimo para un generador de HHO aparte del diseño electrónico para que el dispositivo funcione de manera adecuada teniendo en cuenta variables como la corriente, ppm; conteniendo todo en una caja.

2.2 Requerimientos

Según lo que necesita el cliente se basan los requerimientos que se muestran en la siguiente Tabla 2.1, resaltando las necesidades más importantes.

Tabla 2.1 *Requerimientos en base a las necesidades*

Requerimientos	
Resistente	El material del dispositivo debe ser resistente tanto a la corrosión como a la vibración debido que trabajará con agua y estará cerca del motor.
Poco mantenimiento	Es necesario que su mantenimiento no se requiera muy seguido con el fin de evitar que el dispositivo este deshabilitado por mucho tiempo.
Ligero	Es de vital importancia, puesto que al momento de montarlo al carro se tiene en cuenta para los ajustes de su fijación.
Compacto	Es necesario que no ocupe demasiado espacio debido a que esto complicaría que se lo monte en el automóvil.

Económico	El coste de implementación del diseño debe ser accesible para el cliente, siendo lo más funcional posible.
Viabilidad	Es esencial que el dispositivo sea posible de realizar en la vida real considerando diferentes características.

2.3 Matriz de decisión de material

La matriz de decisión para seleccionar el material generador de hidrógeno adecuado, incluidas opciones como plata, acero inoxidable y cobre, implica evaluar las diversas propiedades y características de cada material. A continuación, se muestra una descripción detallada de la matriz de decisión.

1. Conductividad:

- Se sabe que la plata es altamente conductora, seguida del cobre y luego del acero inoxidable.
- Aunque la plata es superior en este sentido, el acero inoxidable sigue proporcionando suficiente conductividad para que el generador de hidrógeno sea eficaz.

2. Anticorrosión:

- El acero inoxidable es más resistente a la corrosión que la plata y el cobre.
- La formación de óxidos de cobre y plata puede afectar negativamente al rendimiento a largo plazo del generador.

3. Costo:

- El material más caro entre las opciones consideradas es la plata, seguida del acero inoxidable y el cobre, que generalmente son más económicos.
- El acero inoxidable ofrece un buen equilibrio entre coste y rendimiento.

4. Fiabilidad:

- El acero inoxidable se caracteriza por su destacada durabilidad gracias a su resistencia a la corrosión y a las condiciones ambientales desfavorables.
- La plata es duradera, pero puede empañarse con el tiempo, mientras que el cobre es más susceptible a la corrosión.

5. Disponibilidad de materiales:

- Tanto el cobre como el acero inoxidable son materiales ampliamente disponibles en comparación con la plata, que puede ser más rara y, por tanto, difícil de obtener en grandes cantidades.

6. Peso:

- La plata y el cobre son más ligeros que el acero inoxidable, lo que puede ser un factor importante si quieres reducir el peso de tu generador.

7. Impacto en el medio ambiente:

- El acero inoxidable, aunque reciclable y duradero, tiene un impacto ambiental menor que la plata, ya que puede requerir procesos de extracción y refinado más intensivos.

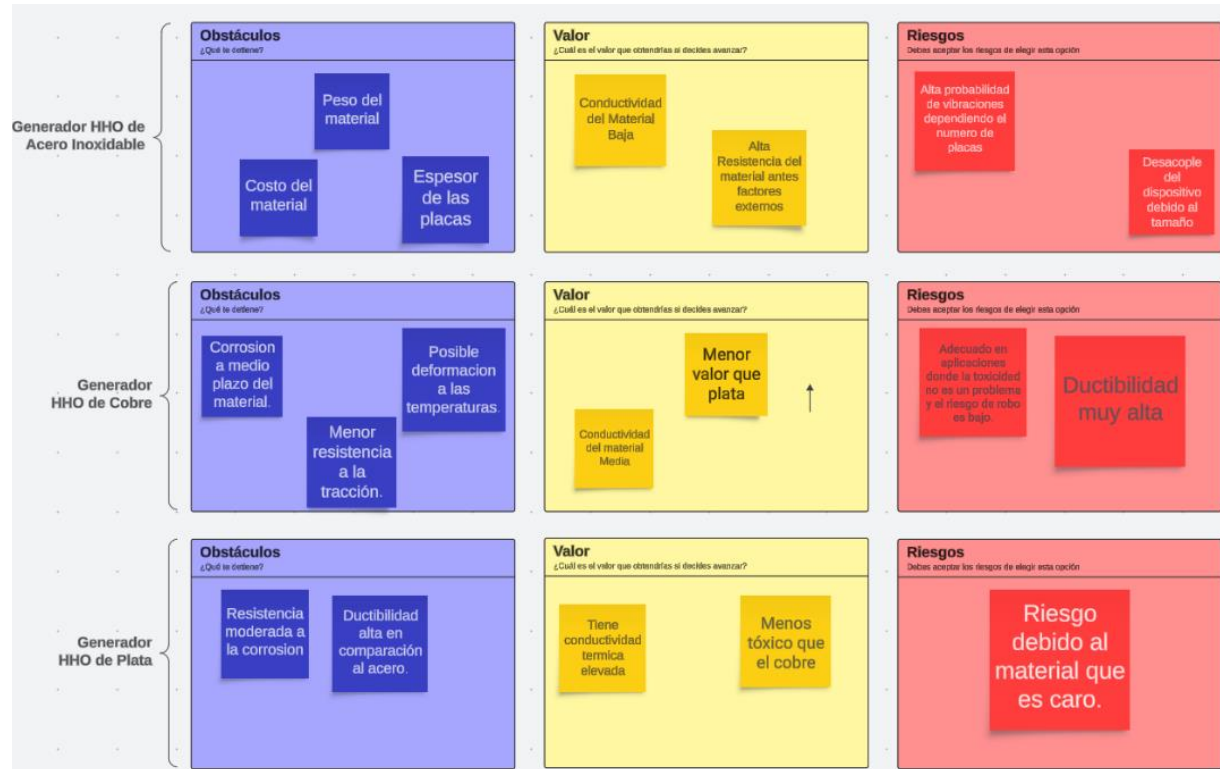
8. Compatibilidad química:

- El acero inoxidable es químicamente estable y resistente a reacciones no deseadas con productos químicos utilizados en la producción de hidrógeno.
- La plata y el cobre pueden reaccionar con ciertos compuestos, afectando el rendimiento y la vida útil del generador.

La matriz de decisiones muestra que el acero inoxidable es la opción más sostenible para el diseño de generadores de hidrógeno, teniendo en cuenta factores clave como la conductividad,

la resistencia a la corrosión, el costo, la durabilidad, la disponibilidad, el peso, el impacto ambiental y la compatibilidad química.

Figura 2.1 Matriz de decisión del generador HHO



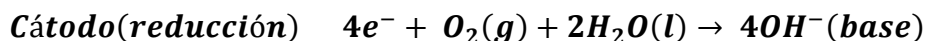
2.4 Voltaje mínimo para electrólisis

De acuerdo con la reacción de oxidación-reducción producido al momento de la electrólisis se pasa a resolver para de ahí con la ayuda de la Tabla 2.2 de potencial estándar se aplica la ecuación 2.2 de potencial estándar de celda.

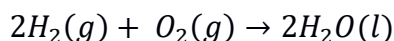
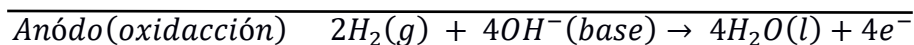
Tabla 2.2 Potencial estándar de reducción en agua [20]

TABLA 20.1 Potenciales estándar de reducción en agua a 25°C

Potencial (V)	Media reacción de reducción
+2.87	$\text{F}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{F}^-(\text{ac})$
+1.51	$\text{MnO}_4^-(\text{ac}) + 8\text{H}^+(\text{ac}) + 5\text{e}^- \longrightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{ac}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
+1.36	$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{Cl}^-(\text{ac})$
+1.33	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{ac}) + 14\text{H}^+(\text{ac}) + 6\text{e}^- \longrightarrow 2\text{Cr}^{3+}(\text{ac}) + 7\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
+1.23	$\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{ac}) + 4\text{e}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
+1.06	$\text{Br}_2(\text{l}) + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{Br}^-(\text{ac})$
+0.96	$\text{NO}_3^-(\text{ac}) + 4\text{H}^+(\text{ac}) + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{NO}(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
+0.80	$\text{Ag}^+(\text{ac}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}(\text{s})$
+0.77	$\text{Fe}^{3+}(\text{ac}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{ac})$
+0.68	$\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}^+(\text{ac}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2(\text{ac})$
+0.59	$\text{MnO}_4^-(\text{ac}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{MnO}_2(\text{s}) + 4\text{OH}^-(\text{ac})$
+0.54	$\text{I}_2(\text{s}) + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{I}^-(\text{ac})$
+0.40	$\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4\text{e}^- \longrightarrow 4\text{OH}^-(\text{ac})$
+0.34	$\text{Cu}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{s})$
0	$2\text{H}^+(\text{ac}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2(\text{g})$
-0.28	$\text{Ni}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Ni}(\text{s})$
-0.44	$\text{Fe}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{s})$
-0.76	$\text{Zn}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Zn}(\text{s})$
-0.83	$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{ac})$
-1.66	$\text{Al}^{3+}(\text{ac}) + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{Al}(\text{s})$
-2.71	$\text{Na}^+(\text{ac}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Na}(\text{s})$
-3.05	$\text{Li}^+(\text{ac}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Li}(\text{s})$



(2.1)



$$E_{celda}^{\circ} = E_{red}^{\circ}(catodo) - E_{red}^{\circ}(anodo) \quad (2.2)$$

$$E_{celda}^{\circ} = 0.40 - (-0.83) = +1.23 \text{ V}$$

2.5 Diseño de las placas

Para esta parte se cumplió con distintos criterios de diseño para el generador siendo el gasto de aire y la producción de H₂ en estado gaseoso.

2.5.1 Cálculo para el gasto de aire

Se procedió a utilizar la ecuación 2.3 para obtener el gasto de aire siendo el caudal másico admitido por unidad de tiempo [21].

$$\dot{m}_a = \rho \cdot V_T \cdot n \cdot i \quad (2.3)$$

Donde:

$\dot{m}_a$ = flujo másico

ρ = densidad del fluido

V_T = cilindrada total del motor

n = régimen de giro del motor

i = número de ciclos por revolución

De manera siguiente, para hallar el gasto másico de combustible en función a la altitud que se encuentra la ciudad de Guayaquil a 6 msnm, por ello es necesario conocer la presión atmosférica ya que esta con respecto a la altitud, así que se hará uso de la siguiente Tabla 2.3, suponiendo que se tiene un motor de 1.0 L, 995 CC a 5400 rpm:

Tabla 2.3 Presión atmosférica según la variación de la altura [22]

Altura	Temperatura	Presión		Densidad
(m)	(K)	(mmHg)	Bar	(Kg/m ³)
0	288	760	1,013	1,225
200	286,8	742	0,989	1,202
400	285,4	725	0,966	1,179
600	284,4	707	0,942	1,156
800	282,9	690	0,920	1,134
1000	281,6	674	0,898	1,112
1400	279	642	0,856	1,070
1600	277,7	626	0,834	1,048
2000	275,1	596	0,794	1,007
2200	273,8	582	0,776	0,987
2400	272,5	567	0,756	0,967
2600	271,2	553	0,737	0,947
2800	269,9	539	0,718	0,928
3000	268,6	526	0,701	0,909

$$\dot{m}_a = 1.225 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.000995 m^3 \cdot 5400 rpm \cdot \frac{1}{2}$$

$$\dot{m}_a = 3.29 \frac{kg}{min}$$

Se pasó a encontrar el gasto del combustible del hidrógeno referente a las revoluciones del motor para lo cual se aplicó, la ecuación 2.2

$$m_f = \frac{\dot{m}_a}{AFR} \quad (2.4)$$

Donde:

m_f = gasto del combustible

$\dot{m}_a$ = gasto del aire

AFR = 14.7

$$m_f = \frac{3.29 \text{ kg/min}}{14.7}$$

$$m_f = 0.22 \text{ kg}$$

2.5.2 Cálculos para la producción de gas

Para aproximar los cálculos a valores reales se tuvo en cuenta los siguientes aspectos tales como: dimensiones de las placas, conductividad del electrolito y el volumen de hidrógeno.

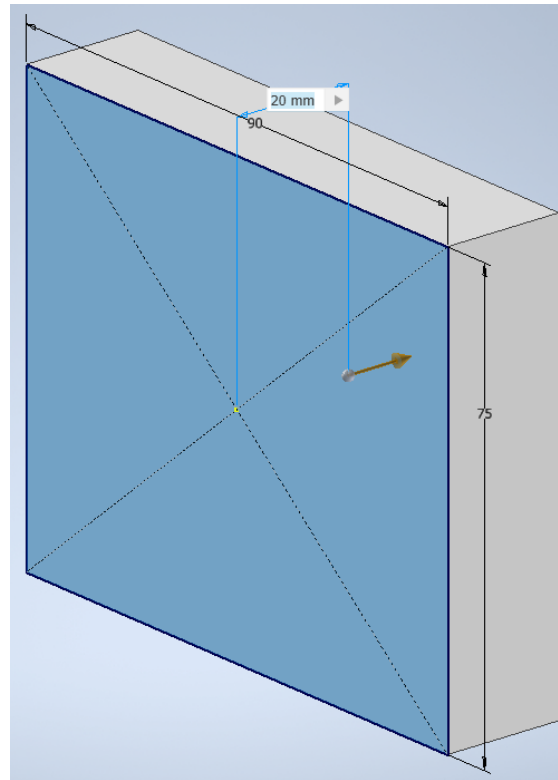
Tabla 2.4 *Datos Generales*

Especificación	Unidad
Tiempo de gas producido [min]	1
Presión atmosférica [atm]	1
Temperatura [°C]	25
Corriente [A]	3
Electrolito	NaOH + H_2O
Concentración	20%

Dimensionamiento de las placas:

En la Figura 2.2 se muestra la disposición de las medidas en la placa siendo la parte superior del gráfico el largo, la parte derecha representa la altura y el espesor de la placa es la que está situada hacia dentro de la imagen, los valores de las medidas están en mm.

Figura 2.2 *Disposición de las medidas en placa*



$$l = 9 \text{ cm}$$

$$a = 7.5 \text{ cm}$$

$$e = 0.2 \text{ cm}$$

$$n = 13$$

Volumen de placa:

(2.5)

$$V_p = l \cdot a \cdot e$$

Donde:

V_p = Volumen de placa

l = largo

a = altura

e = espesor

$$V_p = 9 \cdot 7.5 \cdot 0.2$$

$$V_p = 13.5 \text{ cm}^3$$

Volumen total de las placas:

$$V_{tp} = (V_p \cdot n) \quad (2.6)$$

Donde:

V_{tp} = volumen total de las placas

V_p = volumen de placa

n = número de placas del generador

$$V_{tp} = (13.5 \cdot 13)$$

$$V_{tp} = 175.5 \text{ cm}^3$$

- Área de la placa:

$$A_p = l \cdot a \quad (2.7)$$

Donde:

A_p = área de la placa

l = largo

a = altura

$$A_p = 67.5 \text{ cm}^2$$

- Área total de la placa:

$$A_t = (A_p \cdot n) \quad (2.8)$$

Donde:

A_t = área total de la placa

A_p = área de la placa

n = número de placas del generador

$$A_t = (67.5 * 13)$$

$$A_t = 877.5 \text{ cm}^2$$

- **Conductividad del electrolito**

$$C = \frac{I_{eto} \cdot e}{V \cdot A_t} \quad (2.9)$$

Donde:

C = Conductividad del electrolito

I_{eto} = Corriente a disipar del electrolito

e = espesor de la placa

V = voltaje de la batería

$$C = \frac{3(A) \cdot 0,2(\text{cm})}{13.3(V) \cdot 877.5(\text{cm}^2)}$$

$$C = 0,00005141 \text{ S/cm}$$

- **Cálculo de moléculas de agua**

En este caso se encuentra la cantidad de moléculas de agua inmersos en 170 mL de solución, destacando el 20% existente de hidróxido de sodio. Por ello se tiene que la cantidad de agua pura es de 136 mL y se conoce que el peso molecular del agua es de $18 \frac{g}{mol}$.

$$n \text{ mol} = \frac{m}{PM} \quad (2.10)$$

Donde:

n mol = cantidad de moles de agua

m = masa

PM = peso molecular

$$n \text{ mol} = \frac{136 \text{ g}}{18 \frac{g}{mol}} = 7.6 \text{ mol}$$

Para saber los gramos de hidrógeno que hay en 136 g de agua se realiza una conversión conociendo que la masa atómica del hidrógeno es $1 \frac{g}{mol}$ como se muestra a continuación:

$$g_H = 7.6 \text{ mol} \cdot 2 \frac{1 \text{ g}}{\text{mol}} = 15.2 \text{ g}_H$$

- Cálculo de moles de hidrógeno

Al calcular el voltaje mínimo requerido para que se realice la electrolisis se halló un intercambio de $4e^-$ logrando así la producción de 1 mol y 2 moles, de oxígeno e hidrógeno, respectivamente. Para calcular los moles de hidrógeno antes se hallará la cantidad de moles de hidrógeno consumida en Ah.

$$n \text{ mol } e^- = \frac{1 \text{ Ah}}{1 \text{ mol } e^-} \quad (2.11)$$

Donde:

$$\text{Ah} = 3600 \text{ C}$$

$$1 \text{ mol } e^- = 96500 \text{ C}$$

$$n \text{ mol } e^- = \frac{3600 \text{ C}}{96500 \frac{\text{C}}{\text{mol}}}$$

$$n \text{ mol } e^- = 0.03731 \text{ mol}$$

Luego de obtener la cantidad de moles de hidrógeno por Ah, se pasa a calcular la cantidad de moles de hidrógeno obtenido de la reacción al momento de la electrolisis.



$$\frac{2 \cdot (0.03731 \text{ mol } e^-)}{4}, \frac{1 \cdot (0.03731 \text{ mol } e^-)}{4} \rightarrow \frac{4 \cdot (0.03731 \text{ mol } e^-)}{4}$$

$$0.01866 \text{ mol } H_2, 0.00933 \text{ mol } O_2 \rightarrow 0.03731 \text{ mol } e^-$$

Posteriormente, se pasa a realizar conversiones a gramos considerando que el oxígeno tiene un peso atómico de 16 y el hidrógeno un peso atómico de 1.

$$0.00933 \text{ mol } O_2 \cdot \frac{2 \cdot (16 \text{ g})}{\text{mol}} = 0.29856 \text{ g oxígeno}$$

$$0.01866 \text{ mol } O_2 \cdot \frac{2 \cdot (1 \text{ g})}{\text{mol}} = 0.03732 \text{ g hidrógeno}$$

- **Cálculo de la potencia requerida por cada kg de hidrógeno**

Para ello, se debe calcular la cantidad de moles que se encuentra en 1000 g de hidrógeno realizando una conversión.

$$1000 \text{ g}_H \cdot \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ g hidrógeno}} = 1000 \text{ mol } e^-$$

Luego, se debe aplicar la segunda ley de Faraday y despejando la carga eléctrica se obtiene la ecuación 2.13, a continuación:

$$Q = F \cdot n \quad (2.13)$$

Donde:

Q = carga eléctrica o cantidad de corriente

F = 96500 C

n = mol e^-

$$Q = 96500 \frac{\text{C}}{\text{mol}} \cdot 1000 \text{ mol}$$

$$Q = 96'500'000 \text{ C}$$

Finalmente, se procede a sacar la potencia requerida que se produce por cada kg de hidrógeno haciendo uso del voltaje mínimo.

$$P_{req} = Q \cdot E_{placa}^\circ \quad (2.14)$$

$$P_{req} = Q \cdot E_{placa}^{\circ}$$

$$P_{req} = \left(96'500'000 \text{ C} \cdot \frac{1 \text{ Ah}}{3600 \text{ C}} \right) \cdot 1.23 \text{ V} = 32.97 \text{ kWh}$$

- **Cálculo del volumen de hidrógeno**

Se hace uso de la fórmula de gases ideales donde se procede a despejar el volumen tal como se muestra en la ecuación 2.15.

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (2.15)$$

Donde:

V = volumen

n = moles del elemento químico = 0.01866 mol

R = constante universal de los gases ideales = $0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

T = 25°C = 298.15 K

$$V_{H_2} = \frac{0.01866 \text{ mol} \cdot 0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 298.15 \text{ K}}{1 \text{ atm}}$$

$$V_{H_2} = 0.4567 \text{ L} \cdot \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ L}} = 0.0004567 \text{ m}^3$$

Posteriormente, se calcula el volumen del oxígeno cambiando los valores en la ecuación 2.15.

$$V = \frac{nRT}{P}$$

Donde:

V = volumen

$n = \text{moles del elemento químico} = 0.00933 \text{ mol}$

$R = \text{constante universal de los gases ideales} = 0.0821 \frac{L \cdot atm}{K \cdot mol}$

$T = 25^\circ C = 298.15 K$

$$V_{O_2} = \frac{0.00933 mol \cdot 0.0821 \frac{L \cdot atm}{K \cdot mol} \cdot 273 K}{1 atm}$$

$$V_{O_2} = 0.2283 L \cdot \frac{0.001 m^3}{1 L} = 0.0002283 m^3$$

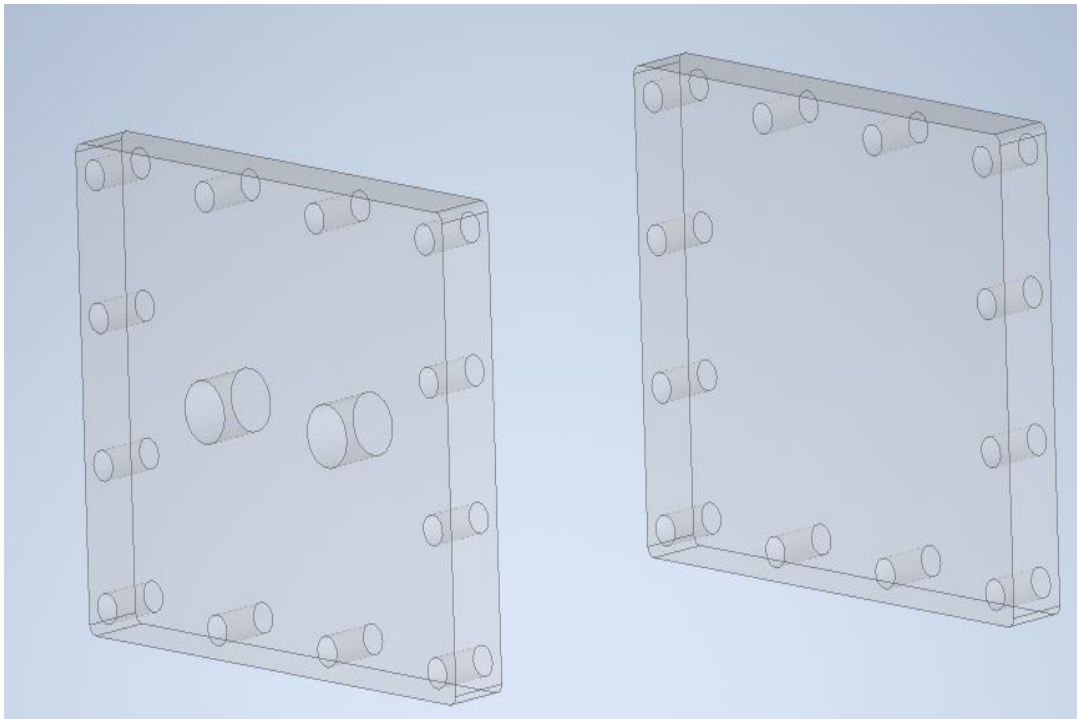
2.6 Diseño de las partes del generador

Para realizar el diseño del generador, antes se tuvo que diseñar sus partes, en donde se resalta tanto las dimensiones, forma geométrica y material. Además, se hizo uso del software de diseño conocido como Autodesk Inventor versión 2022.

En primer lugar, se comenzó diseñando las dos placas ubicadas en los extremos del generador para que obstruyan el paso de corriente, ya que, se necesitaba de un material que sea buen aislante como resistente se eligió al material resina fenólica (baquelita) de 15 mm de espesor, además que nos permite visualizar el proceso interno que transcurre en el generador.

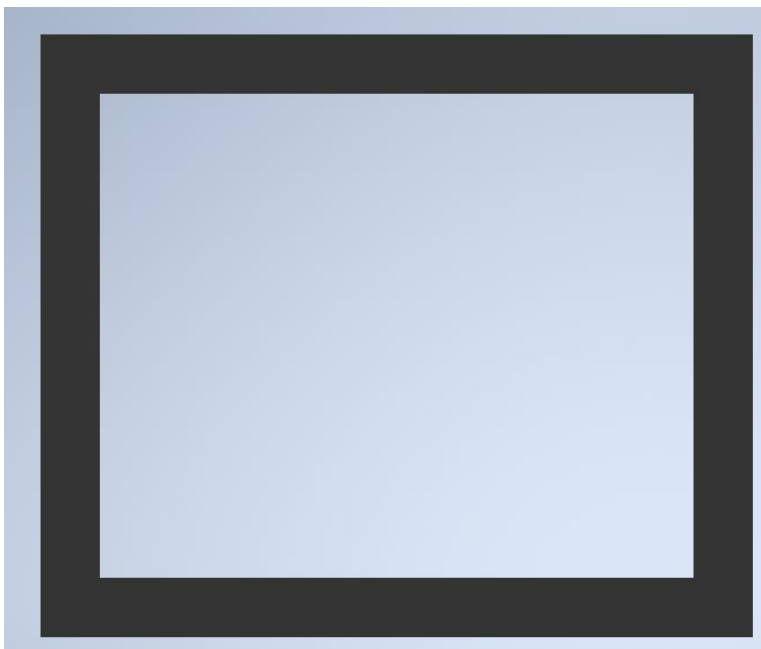
En lo que respecta a las dimensiones de las placas de los extremos (tapas) son 120 x 100 x 15 mm, la tapa delantera cuenta con 12 agujeros para los pernos de diámetro 1/4", dos agujeros tanto para la manguera de entrada como de salida de 13 mm y en la tapa trasera solo cuenta con los agujeros para los pernos, así como se muestra a continuación en la Figura 2.3.

Figura 2.3 Tapa delantera y tapa trasera



La junta utilizada es del material de caucho, elegida principalmente porque es bueno para adherirse logrando unirse correctamente a las uniones de los pernos formando un gran sellado, permitiendo que el sistema del generador este completamente hermético para así disminuir el riesgo de fugas y logrando que trabaje de manera eficiente, se muestra en la Figura 2.4.

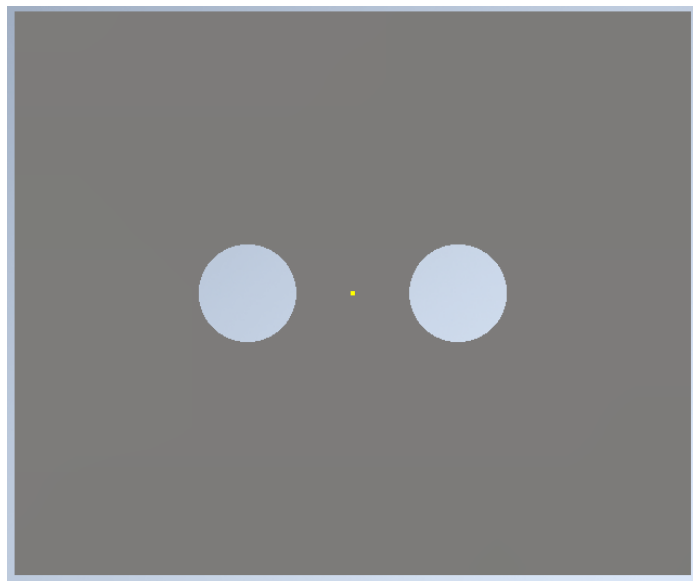
Figura 2.4 Junta de caucho



En las planchas utilizadas como electrodos inertes, los cuales no participan en la reacción, sino que solo dan el paso a la corriente eléctrica se hace uso del material acero inoxidable AISI 316, puesto que es común en el mercado y su costo es relativamente económico, además de tener buenas propiedades tanto corrosiva como en conductividad eléctrica, con respecto a las medidas son 90 x 75 x 2 mm se puede observar sus propiedades en la Tabla 2.5 y su representación gráfica en la Figura 2.5.

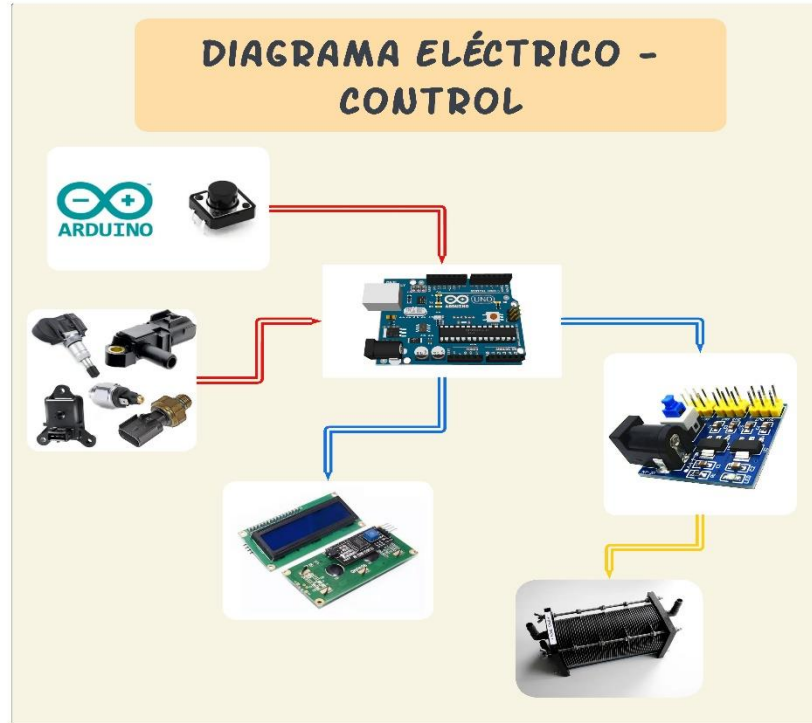
Tabla 2.5 Propiedades físicas, eléctricas y mecánicas del acero inoxidable AISI 316 [23]

FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE			
TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE
PROPIEDADES FÍSICAS	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	($\times 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	16.02 – 16.5
	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	13711398
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1.008
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	($\mu\Omega\text{m}$)	0.73 – 0.74
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130185 / –
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7085 / –
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm ²)	540690 / –
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm ²)	205410 / –
	ELONGACIÓN (A5) MIN	(%)	
	RESILIENCIA KCUL / KVL	(J/cm ²)	160 / 180
* Son aceptables tolerancias de un 1%			

Figura 2.5 Placa de electrodo de acero inoxidable.

2.7 Diseño electrónico para controlar la mezcla aire-combustible.

Figura 2.6 Controlador para sensor MAF realizado en PROTEUS 8.13.



La introducción de hidrógeno en la admisión de aire requiere un control preciso para mantener una mezcla óptima de combustible y aire. Un Sensor de Hidrógeno se convierte en un componente esencial en este escenario, monitoreando los niveles de hidrógeno y comunicándose con la ECU para ajustar la inyección de combustible. La integración de este sensor asegura una respuesta dinámica a las variaciones en la producción de HHO, permitiendo una gestión eficiente de la mezcla y optimizando así la eficiencia del motor.

El Sensor MAF es un componente crítico en el sistema de admisión de un vehículo, siendo responsable de medir la cantidad de aire que ingresa al motor. Su función principal es proporcionar información en tiempo real a la unidad de control del motor (ECU) para ajustar la mezcla de combustible y aire de manera precisa. Este control es vital para optimizar la combustión interna, maximizar la eficiencia del motor y reducir las emisiones.

La modificación del Sensor MAF para integrarse con un generador de HHO implica ajustar los valores de medición para tener en cuenta la introducción adicional de hidrógeno en la mezcla. Esto podría lograrse mediante la recalibración de los parámetros del Sensor MAF, permitiendo una lectura precisa del flujo de aire en presencia de hidrógeno.

Para ello se usaron los siguientes componentes en la simulación de Proteus que se plantea en esta solución:

Tabla 2.6 *Componentes usados en PROTEUS 8.13.*

Componentes
Arduino UNO
BUTTON
CAPACITOR
INDUCTOR
LED-RED
LM016L
MQ-3 GAS SENSOR
POT-HG

Modificar los valores de los sensores de un coche mediante un controlador que se conecte a través del puerto OBD-II implica acceder a la unidad de control del motor (ECU) y realizar ajustes en los parámetros específicos.

Este controlador debe estar funcional y ser compatible con el automóvil para poder obtener un funcionamiento correcto y eficiente a la hora de realizar la mezcla de combustible- aire, por esa razón hemos desarrollado algunos pasos para la correcta instalación y funcionamiento del controlador.

Paso 1: Fabricación de un Controlador OBD-II para control de sensores:

Fabricación de un controlador OBD-II que sea compatible con tu vehículo.

Paso 2: Conexión al Puerto OBD-II:

Localiza el puerto OBD-II en tu vehículo, que generalmente se encuentra debajo del tablero, cerca del volante. Conecta el controlador al puerto OBD-II utilizando el cable suministrado con el dispositivo.

Paso 3: Encender el Vehículo y Conectar el Controlador:

Arranca el vehículo para proporcionar alimentación al controlador. Asegúrate de que el controlador esté encendido y que se haya establecido una conexión adecuada con la ECU del automóvil.

Paso 4: Acceder a la ECU y Seleccionar Parámetros:

Usa la interfaz del controlador para acceder a la ECU del vehículo. La interfaz debe poder seleccionar parámetros específicos de acuerdo con los sensores importantes que se involucran en este proyecto como MAF, MAP.

Paso 5: Modificar los Valores:

Dentro de la interfaz del controlador, podrás ver y ajustar los valores de los sensores, junto con los botones. Dependiendo del modelo del controlador, podrías tener la opción de ingresar nuevos valores o realizar ajustes mediante el LCD poder visualizar menús.

Paso 6: Confirmar y Aplicar Cambios:

Una vez que hayas realizado los ajustes deseados, confirma los cambios a través del controlador. Algunos dispositivos pueden requerir una confirmación adicional antes de aplicar las modificaciones.

Paso 7: Monitoreo y Diagnóstico:

Algunos controladores OBD-II también ofrecen funciones de monitoreo en tiempo real y diagnóstico para evaluar el rendimiento del vehículo después de los ajustes. Si este fuera el caso utiliza estas funciones para asegurarte de que el vehículo esté funcionando de manera óptima.

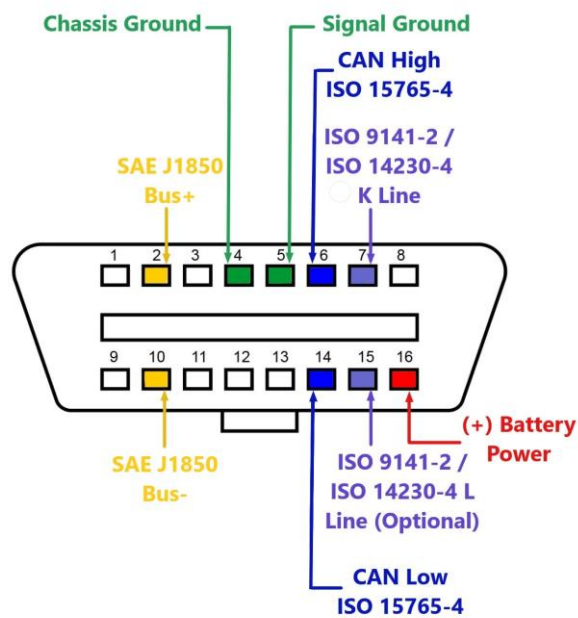
Paso 8: Desconectar y Almacenar Configuración Original (Opcional):

Si lo deseas, algunos controladores permiten almacenar la configuración original del vehículo antes de realizar modificaciones. Esto puede ser útil si decides revertir los cambios en el futuro.

Es fundamental destacar que la modificación de los valores de los sensores debe realizarse con responsabilidad y conocimiento, ya que cambios inapropiados pueden afectar negativamente

el rendimiento del vehículo y violar las garantías del fabricante. Además, es esencial cumplir con las leyes y regulaciones locales relacionadas con las modificaciones de vehículos, a continuación, en la Figura 2.7, se muestra el tipo de configuración del puerto OBD - II.

Figura 2.7 Configuración del puerto OBD-II dentro de un automóvil



Capítulo 3

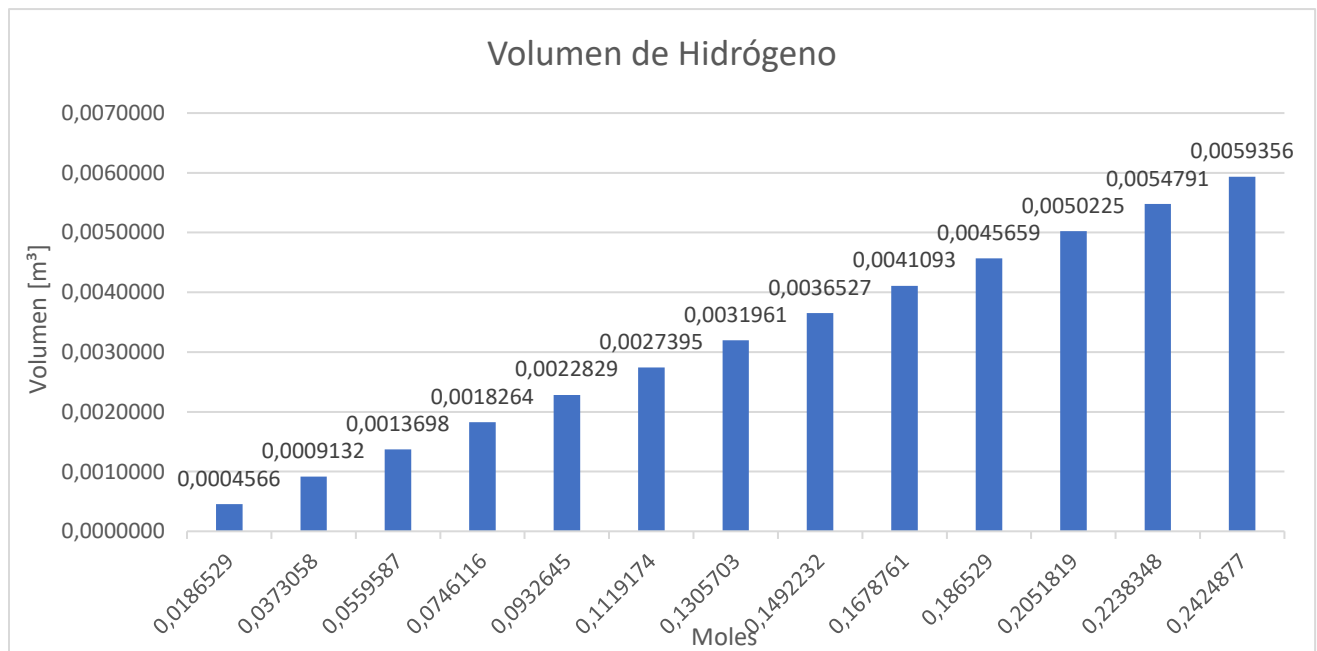
3.1 Resultados y Análisis

A continuación, se presenta en este capítulo las gráficas obtenidas mediante los cálculos teóricos sobre el hidrógeno y el oxígeno que se tendrá a partir de 1 kg, además de la simulación del funcionamiento del sensor MAF e Hidrógeno junto con la parte que controla el suministro de voltaje que se le envía al generador de oxihidrógeno.

3.1.1 Volumen del Oxígeno e Hidrógeno

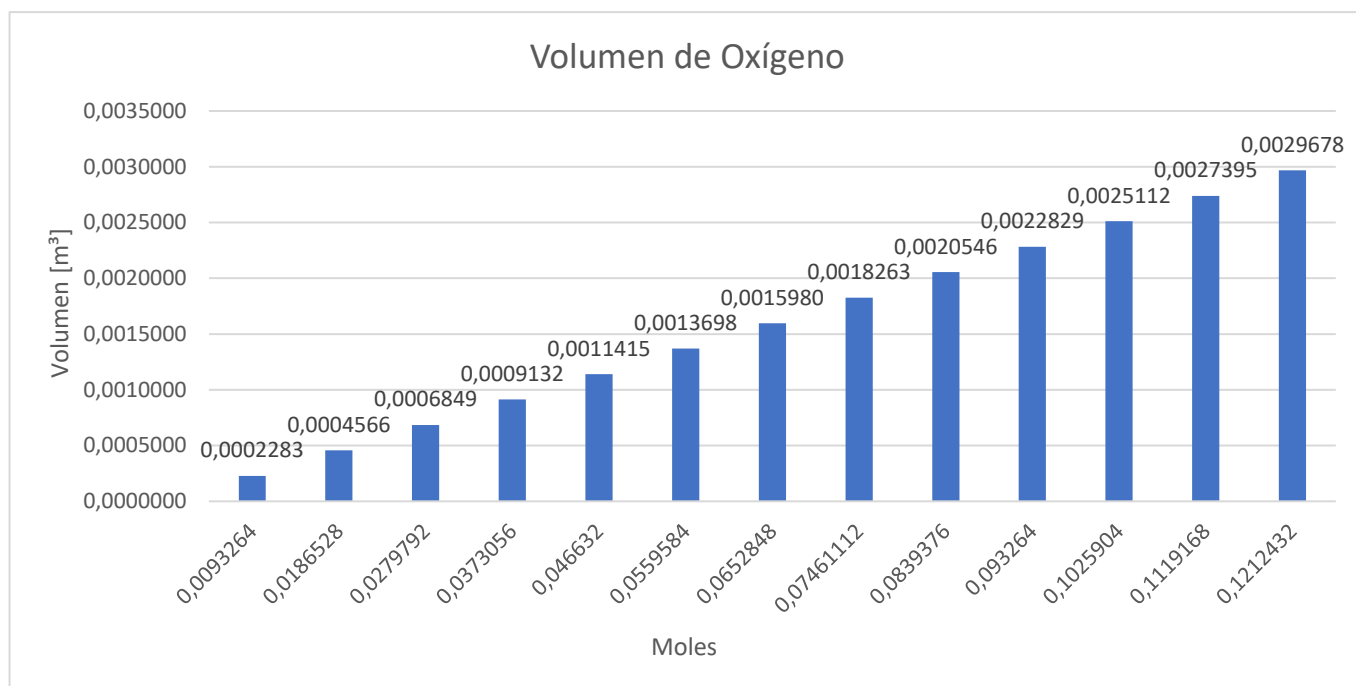
De acuerdo, a lo anteriormente realizado en el capítulo dos, se obtuvo de los cálculos el volumen de hidrógeno que se tendrá a raíz de 1 kg dependiendo su número de moles como se muestra en la Figura 3.1 destacando un crecimiento lineal.

Figura 3.1 Volumen de Hidrógeno a raíz de 1 kg



También se obtuvo la cantidad de volumen de oxígeno que se encuentra según el número de moles, y se muestra en la Figura 3.2, donde destaca su forma lineal.

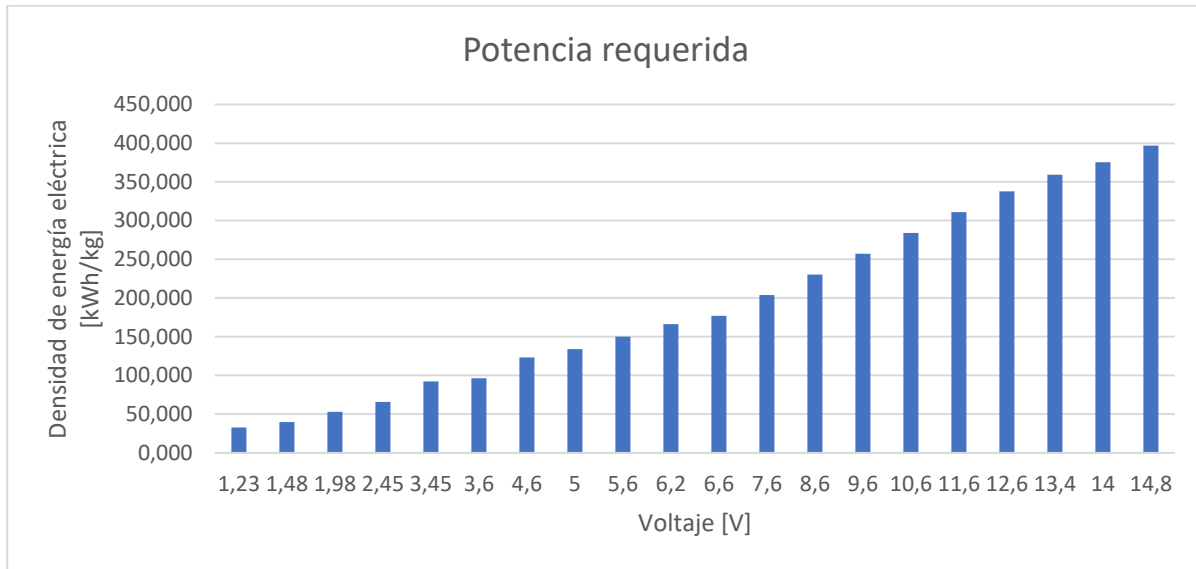
Figura 3.2 Volumen de Oxígeno con respecto a 1 kg



3.1.2 Potencial requerido

Teniendo en cuenta el potencial Estándar tanto de reducción como de oxidación en la reacción de la soda cáustica con el agua se halló el voltaje mínimo (1.23 V) que es necesario para descomponer la molécula de agua. Luego se calculó la carga eléctrica para producir 1 kg de hidrógeno para finalmente tener como respuesta la potencia requerida por cada kg de hidrógeno, iniciando con el voltaje mínimo mencionado y culminando con 14.8 V, así como se observa en la Figura 3.3 tomando una escala de voltajes arbitraria.

Figura 3.3 Potencia requerida producida por cada kg de hidrógeno



3.1.3 Diseño Mecánico

3.1.4 Generador de HHO

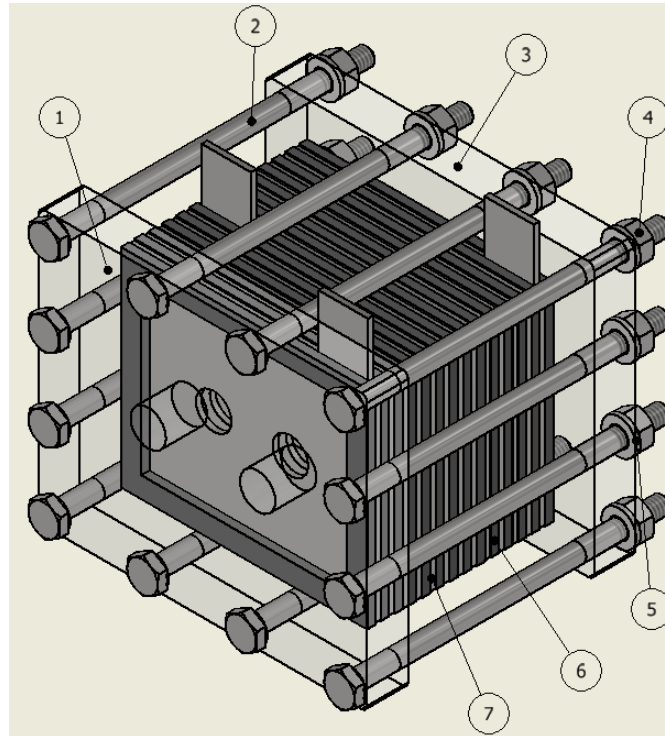
En el capítulo anterior, se realizó el diseño de las distintas partes que componen el generador de HHO, destacando que habrá tres placas por las cuales pasará el voltaje siendo en tipo de conexión npn para que así se produzca la electrólisis, en la Figura 3.4 se muestra el diseño final del generador HHO.

En el cual se tiene etiquetado las partes que lo conforman como son:

- 1- Tapa delantera con orificios de salida y entrada, además de los orificios para los pernos.
- 2- Perno hexagonal teniendo un total de 12 para una adecuada sujeción.
- 3- Tapa trasera con orificios para la ubicación de los pernos.
- 4- Tuerca para hacer presión entre los extremos del generador con la misma cantidad que los pernos.

- 5- Arandela plana para mejorar la fijación de las piezas con un total de 12.
- 6- Juntas para que sirva de separador entre electrodos.
- 7- Placas de electrodos, en donde se destacan 3 por su tipo de conexión en npn para que fluya el voltaje y se realice la descomposición de las moléculas de agua.

Figura 3.4 Generador de HHO



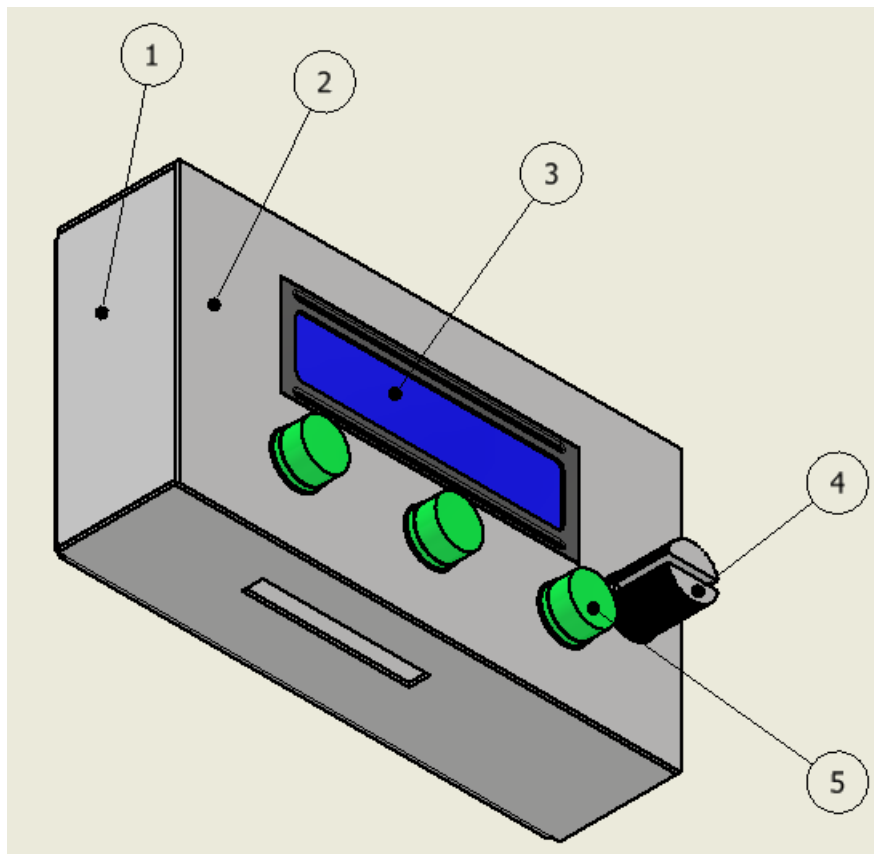
3.1.5 Caja de control

Para que se pueda contener de manera segura y habilitar su uso se hizo el diseño de una caja que contenga tanto los componentes electrónicos como al microcontrolador de un material de metal para que sea duradera, además de contar con una abertura por debajo para que vayan los cables que serán conectados con el vehículo, tal como se muestra en la Figura 3.5, se tiene etiquetado las partes siendo:

- 1- La parte que recubre toda la caja para que así estén protegido los componentes.
- 2- La cara de la caja donde están los componentes principales para el control.

- 3- La pantalla LCD 16x2 para visualizar los datos.
- 4- El potenciómetro para regular el brillo de la pantalla para que el usuario tenga una mayor comodidad al momento de usarlo.
- 5- El pulsador o botón que se encargara en modificar los parámetros según lo requiera el usuario.

Figura 3.5 Vista Isométrica de la caja de control



3.1.6 Dispositivo Electrónico

Se ha logrado diseñar un controlador eléctrico para los sensores encargados de gestionar la entrada de aire o admisión en el vehículo. Este dispositivo permite regular el porcentaje y

estandarizar la forma de procesar los valores provenientes del vehículo, permitiendo un funcionamiento óptimo.

El controlador está creado para operar con un Arduino Uno como Microcontrolador principal, conectado directamente a la batería del vehículo. Este Arduino regula tanto la entrada de voltaje como la corriente, mediante una fuente de alimentación específicamente diseñada, detallada posteriormente en las Figuras 3.6 y 3.7.

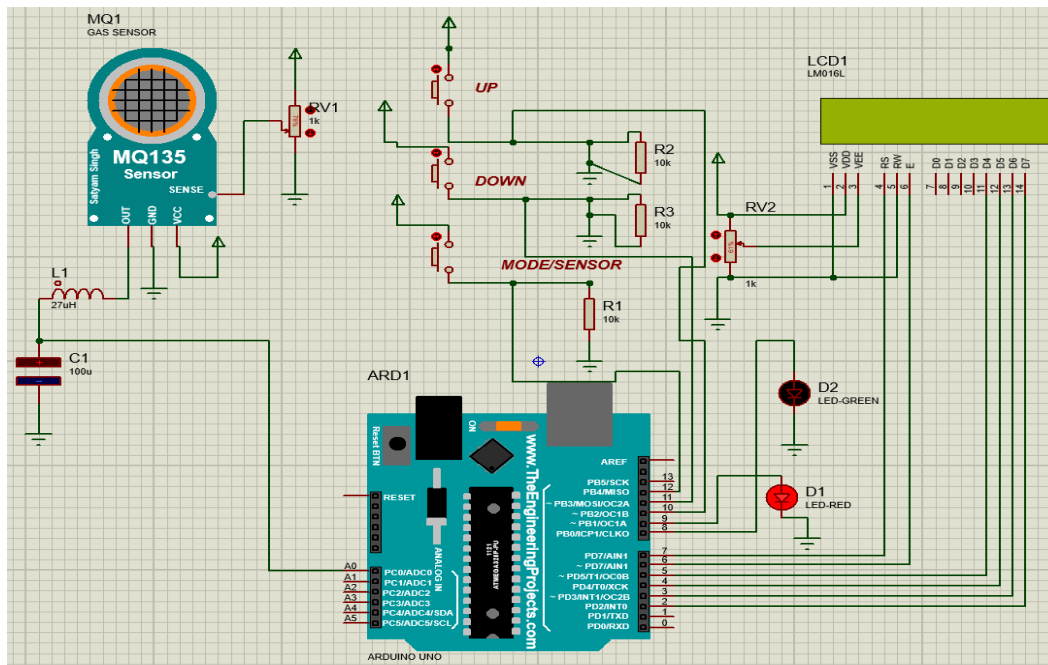
Es crucial destacar que el Arduino no solo actúa como un regulador de voltaje y corriente, sino que también controla la salida de corriente dirigida hacia el generador de hidrógeno. La cantidad de corriente que recibe el generador influye directamente en la producción de hidrógeno, permitiendo ajustes precisos según las necesidades del sistema. Esta capacidad de control brinda eficiencia al proceso, ya que se puede modular la producción de hidrógeno en función de la demanda del vehículo.

En este sistema, se incorpora un sensor de hidrógeno conectado al Arduino para medir el porcentaje de flujo generado. Esto proporciona datos esenciales para ajustar otros sensores, como el Medidor de Flujo de Aire (MAF), presentes en el vehículo. Estos sensores se pueden conectar directamente al puerto OBD-II del automóvil.

El proceso de ajuste y optimización se realiza de manera manual por el usuario, utilizando tres botones dedicados a cada tipo de sensor. Este enfoque permite calibrar los sensores de acuerdo con las necesidades específicas, garantizando un rendimiento optimizado del sistema.

El controlador eléctrico se categoriza en el proyecto como una pieza central en la gestión de sensores del vehículo, facilitando la regulación y la optimización del rendimiento, gracias a su integración con Arduino Uno, la interfaz con diversos sensores y el control de la producción de hidrógeno.

Figura 3.6 Dispositivo para controlar el sensor MAF e Hidrógeno



3.1.7 Control del sensor MAF e Hidrógeno

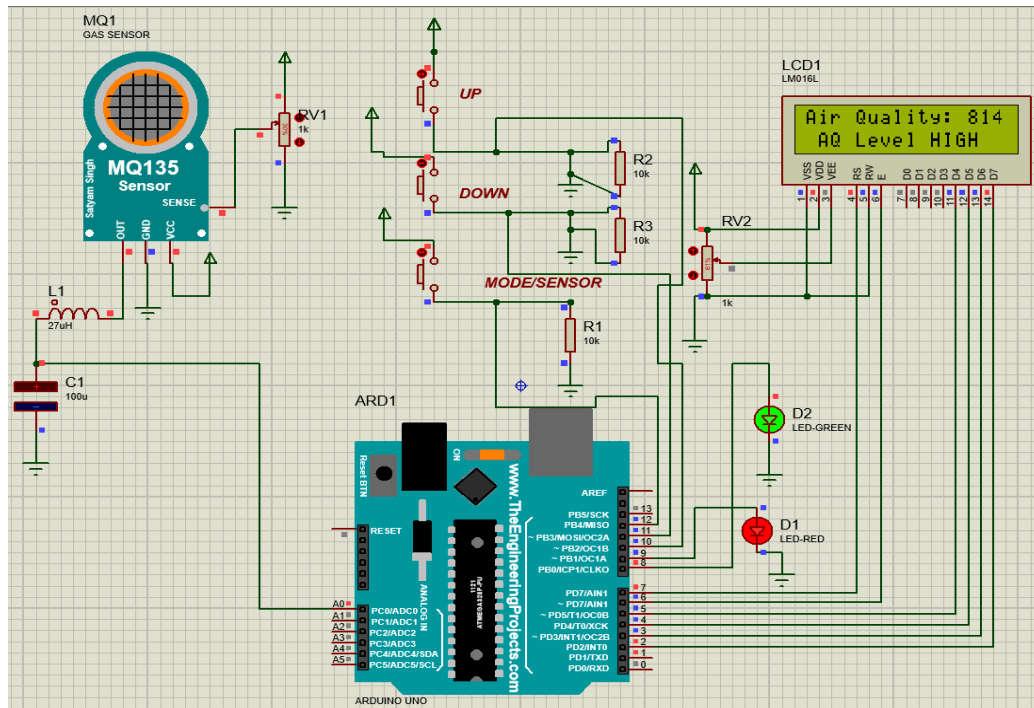
En esta fase inicial, hemos logrado realizar una simulación mediante el programa Proteus. En dicha simulación, se observa la iluminación de los Leds (rojo y verde) como indicadores visuales en el LCD que utilizamos. Este fenómeno se debe a la representación de valores elevados de flujo de aire que circula a través del sensor.

La activación de los Leds rojo y verde actúa como una alerta visual ante la presencia de un flujo de aire significativamente alto. Este enfoque permite identificar inmediatamente situaciones en las que se excede el rango deseado de flujo.

Este enfoque de simulación nos brinda una herramienta valiosa para validar y ajustar el comportamiento del sistema en un entorno virtual antes de la implementación física en el vehículo. Además, la retroalimentación visual a través de los Leds y el LCD contribuye significativamente

a la comprensión y control del flujo de aire, mejorando la eficiencia y optimización del sistema en su conjunto.

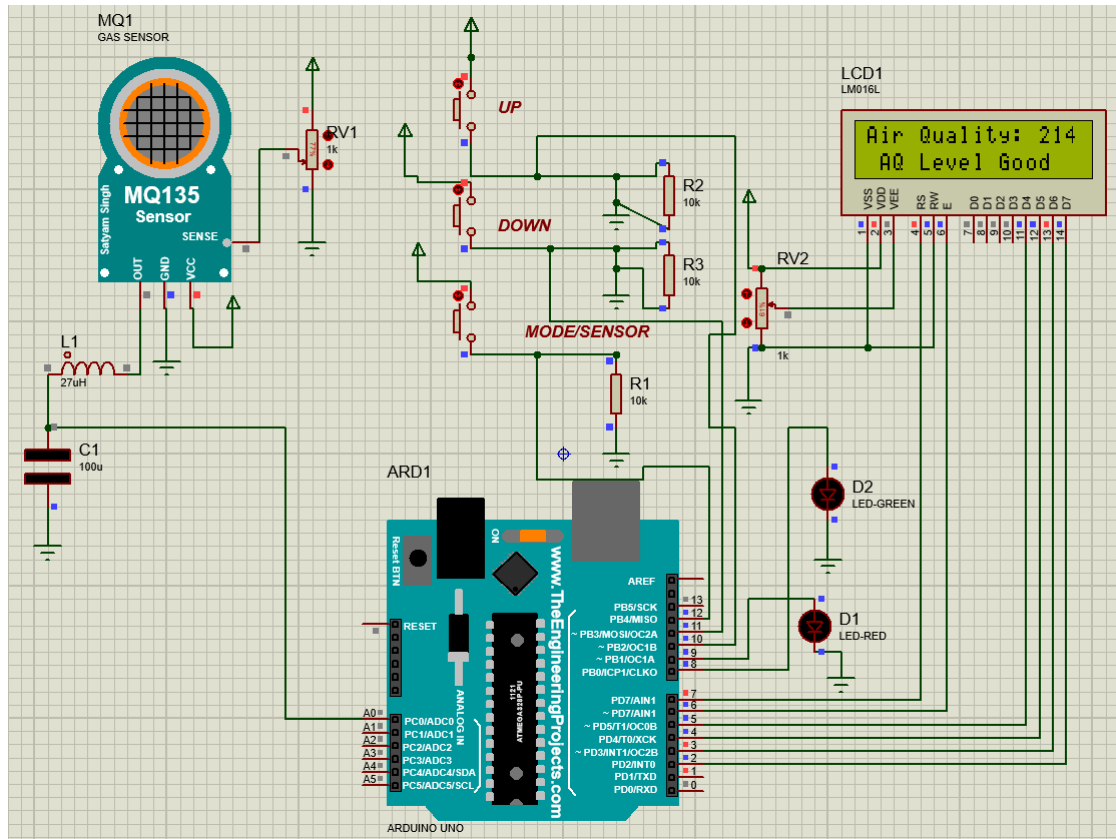
Figura 3.7 Dispositivo simulando cuando la salida de flujo de hidrógeno es elevada.



En una parte alternativa, cuando el flujo de aire es bajo o está en el rango permitido o ajustado, se evidencia que los Leds (rojo y verde) permanecen apagados en la simulación realizada con el programa Proteus. Esta condición indica que los valores de flujo de aire se encuentran dentro de los parámetros controlados y deseados.

Este enfoque nos proporciona una retroalimentación visual clara para confirmar que el sistema opera dentro de los límites predefinidos y, por ende, no requiere ajustes inmediatos. La simulación en este contexto brinda una herramienta efectiva para validar y verificar que representa un estado óptimo y controlado, contribuyendo así a la eficiencia y optimización general del sistema.

Figura 3.8 Dispositivo simulando cuando la salida de flujo de hidrógeno es óptima



3.1.8 Dispositivo de suministro de energía

Como parte de la conexión del suministro de energía para alimentar el sistema de este proyecto, se ha implementado un circuito eléctrico que incorpora un Transistor capaz de manejar el voltaje y la corriente provenientes de la batería de un vehículo (12V - 60A). Este componente se ha seleccionado cuidadosamente para garantizar que pueda operar de manera eficiente y segura ante la demanda de corriente específica de este proyecto.

Adicionalmente, se ha incorporado un potenciómetro en el circuito, permitiendo la regulación precisa de la cantidad de amperaje suministrado al generador de hidrógeno. Esta funcionalidad es esencial, ya que la producción de hidrógeno mediante el proceso de electrólisis

está directamente relacionada con la corriente eléctrica aplicada. Ajustar el amperaje a través del potenciómetro permite un control efectivo sobre la producción de hidrógeno, asegurando así una operación eficiente y adaptada a las necesidades específicas del sistema.

La implementación de este circuito, con un Transistor y la inclusión de un potenciómetro para regular corriente, constituye una estrategia integral para garantizar un suministro eléctrico seguro y controlado, fundamental para generar hidrógeno mediante electrolisis.

Figura 3.9 Dispositivo de suministro de voltaje

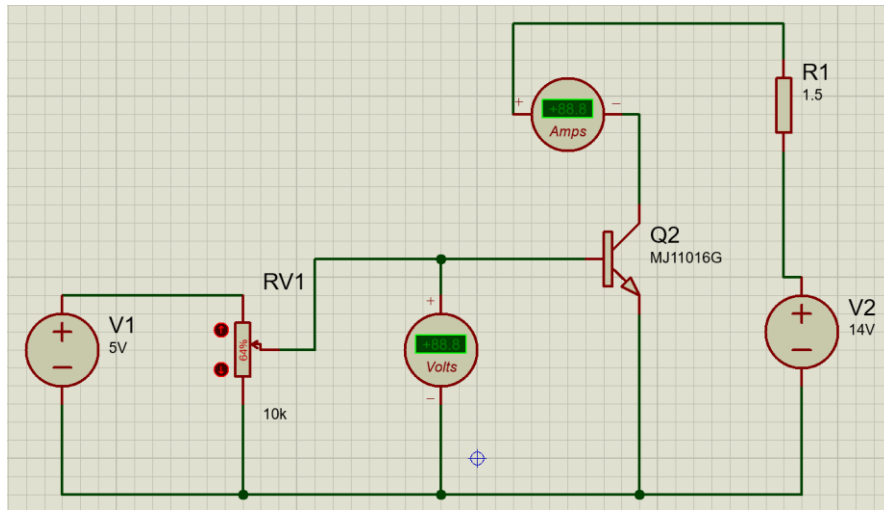
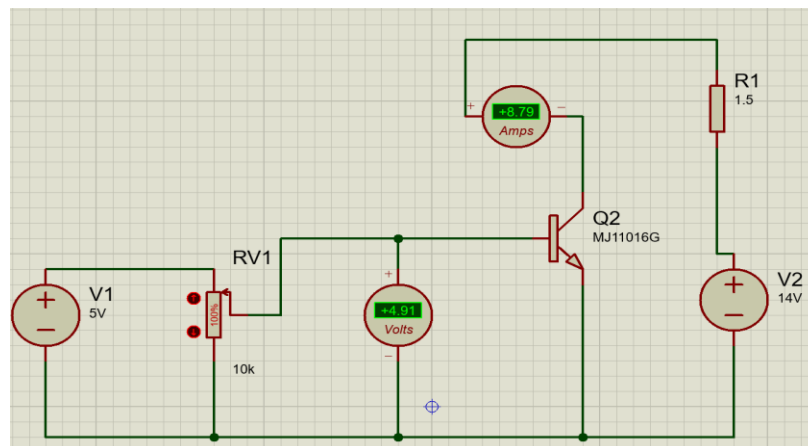


Figura 3.10 Simulación de dispositivo de suministro de voltaje.



3.1.9 Análisis de costos

En esta sección se nombrarán y analizarán los costos para obtener un valor total aproximado para el proyecto desarrollado según las secciones descritas anteriormente.

3.1.10 Costos de ingeniería

En la tabla 3.1, se procede a la descripción de los ámbitos correspondientes a los viáticos, además de la elaboración tanto del diseño mecánico como del diseño electrónico y el diseño de software. Se toma en cuenta este precio, ya que se parte de que se trabaja un estimado de 200 horas con un precio de \$7,50 por hora.

Tabla 3.1 *Costos de viáticos e ingeniería impartida*

Rubros	Pago	Precio [USD]
Viáticos	Único	\$200
Diseño mecánico del generador	Único	\$500
Diseño electrónico de los componentes	Único	\$250
Diseño del programa para controlar el flujo de hidrógeno	Único	\$250
Total		\$1200

3.1.11 Costos del prototipo

En esta sección, se detalla el costo de los materiales tanto para la parte mecánica como de la parte electrónica teniendo en cuenta que los precios dispuestos son para llevar a cabo un prototipo. Además, destaca que su método de fabricación al igual que la obtención de los materiales resulta beneficioso con respecto al precio, ya que abarata considerablemente los costos del prototipado, tal como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 *Costo estimado del prototipado*

Componente			Precio [USD]	
Nombre	Cantidad	Descripción	Precio/unidad	Precio/Total
Plancha de acero inoxidable	1	AISI 316	\$250	\$250
Lámina de resina fenólica	1	acabado liso	\$160	\$160
Arandela plana	12	1/4 - Fino - tipo B	\$0,06	\$0,72
Perno hexagonal	12	1/4 x 4 1/2 UNC	\$0,42	\$5,04
Tuerca	12	1/4 UNC	\$0,02	\$0,24
Junta de caucho	14	rectangular	\$1,50	\$21
Microcontrolador	1	Arduino UNO	\$21	\$21
LED	2	Verde, Rojo	\$0,10	\$0,20
LCD	1	16x2	\$2,50	\$2,50
Pulsador	3	2 pin	\$0,10	\$0,10
Potenciómetro	3	1kohm	\$0,40	\$1,20
Capacitor	1	electrolítico de 100 uF	\$0,15	\$0,15
Inductor	1	27 uH	\$0,15	\$0,15
Transistor	1	MJ11016	\$5,50	\$5,50
Resistencia	4	10 k, 1.5 ohm	\$0,05	\$0,20
Jumper	1	Paquete macho-macho y macho-hembra	\$2,50	\$2,50
Soda cáustica	1	kg al 20%	\$10	\$10
Sal	1	kg de NaCl	\$1,10	\$1,10
Agua destilada	3	litros	\$1,00	\$3
Total			\$456,55	\$484,60

Capítulo 4

4.1. Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- Los cálculos teóricos detallaron diferentes ámbitos de interés como el voltaje mínimo para que se descomponga la molécula de agua siendo 1.23 V, además de moles de oxígeno e hidrógeno que tras producirse la reacción química siendo 0.0093264 y 0,0186529 moles, respectivamente, lo que serviría para obtener el volumen del oxígeno y del hidrógeno a raíz de 1 kg, igual que el potencial requerido de 1 kg.
- En la selección de los materiales se basó los requerimientos del cliente teniendo como material predilecto el acero inoxidable AISI 316 que muestra características relevantes ante la corrosión y un precio no tan elevado, de tal manera que teniendo esas especificaciones se pasó a la realización del diseño 3D del dispositivo mecánico que ayuda a regular el combustible fósil mediante la generación de oxihidrógeno (HHO).
- El diseño y desarrollo de la electrónica de control para el sistema de mezcla de combustible- HHO permitirá que el automóvil se beneficie ampliamente, ya que mediante las investigaciones realizadas se sabe que el motor aumenta su beneficencia aparte ayuda a la descarbonización del motor por dentro y al ahorro de combustible, aunque también depende de otros factores.
- La utilización de la plataforma Arduino IDE y la generación de código integrado con Proteus han sido importantes para la simulación, ya que se garantiza su correcto funcionamiento recalcando que, si el flujo del hidrógeno sobrepasa el porcentaje especificado por el usuario, en este caso se usó un valor de 250 ppm como límite, y si se sobrepasa ese valor salga una advertencia para ajustarlo manualmente y así que el amperaje suministrado al generador sea de unos 8A.

4.1.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar el impacto a largo plazo de la implementación de la tecnología HHO en motores de combustión interna, considerando aspectos como el desgaste de componentes, la durabilidad del sistema y el comportamiento en condiciones variables de operación.
- Por la interdisciplinaria del proyecto, se sugiere realizar investigaciones futuras que aborden la optimización de la electrónica de control para el sistema de mezcla de combustible fósil y HHO, para maximizar la eficiencia y minimizar efectos secundarios en el funcionamiento del motor.
- Para ampliar el alcance de la investigación, se recomienda explorar la posibilidad de adaptar la tecnología HHO a diferentes tipos de motores y aplicaciones, lo que podría requerir el desarrollo de estrategias específicas de implementación y control para cada caso particular.

Referencias

- [1] S. F. y. D. Elzinga, “Naciones Unidas,” Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>. [Último acceso: 22 Octubre 2023].
- [2] Bizkaia, “Bizkaia,” 2019. [En línea]. Available: <https://www.bizkaia.eus/es/cambio-climatico/que-es>. [Último acceso: 22 octubre 2023].
- [3] Acciona S.A., “Acciona,” 2019. [En línea]. Available: https://www.acciona.com/es/hidrogeno-verde/?_adin=02021864894. [Último acceso: 25 octubre 2023].
- [4] La hora web, “la hora,” 6 julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.lahora.com.ec/pais/parque-automotor-aumento-2023-mano-bajos-precios-vehiculos-chinos/#:~:text=De%20acuerdo%20a%20la%20Asociaci%C3%B3n,entre%20auto m%C3%B3viles%2C%20SUVs%20y%20camionetas..> [Último acceso: 23 octubre 2023].
- [5] El Universo S.A., “el universo,” 22 septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/09/22/nota/7986952/medio-transporte-contaminacion-movilidad-sostenible-ecuador/>. [Último acceso: 23 octubre 2023].
- [6] Primicias Editorial, “Primicias,” 14 enero 2024. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/precio-gasolina-super-galon-enero/#:~:text=El%20precio%20del%20gal%C3%B3n%20de%20la%20gasolina%20S%C3%BAper%20ser%C3%A1%20de,2024%2C%20inform%C3%B3%20la%20Oestatal%20Petroecuador..> [Último acceso: 18 enero 2024].
- [7] S. Alcalde, “National Geographic,” 3 Enero 2023. [En línea]. Available: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo_14897. [Último acceso: 26 Octubre 2023].
- [8] P. F. Payri y P. J. M. Desantes, “Clasificación de los MCIA,” de *Motores de combustión interna alternativa*, Barcelona, Editorial Reverté, 2011, pp. 28-29.

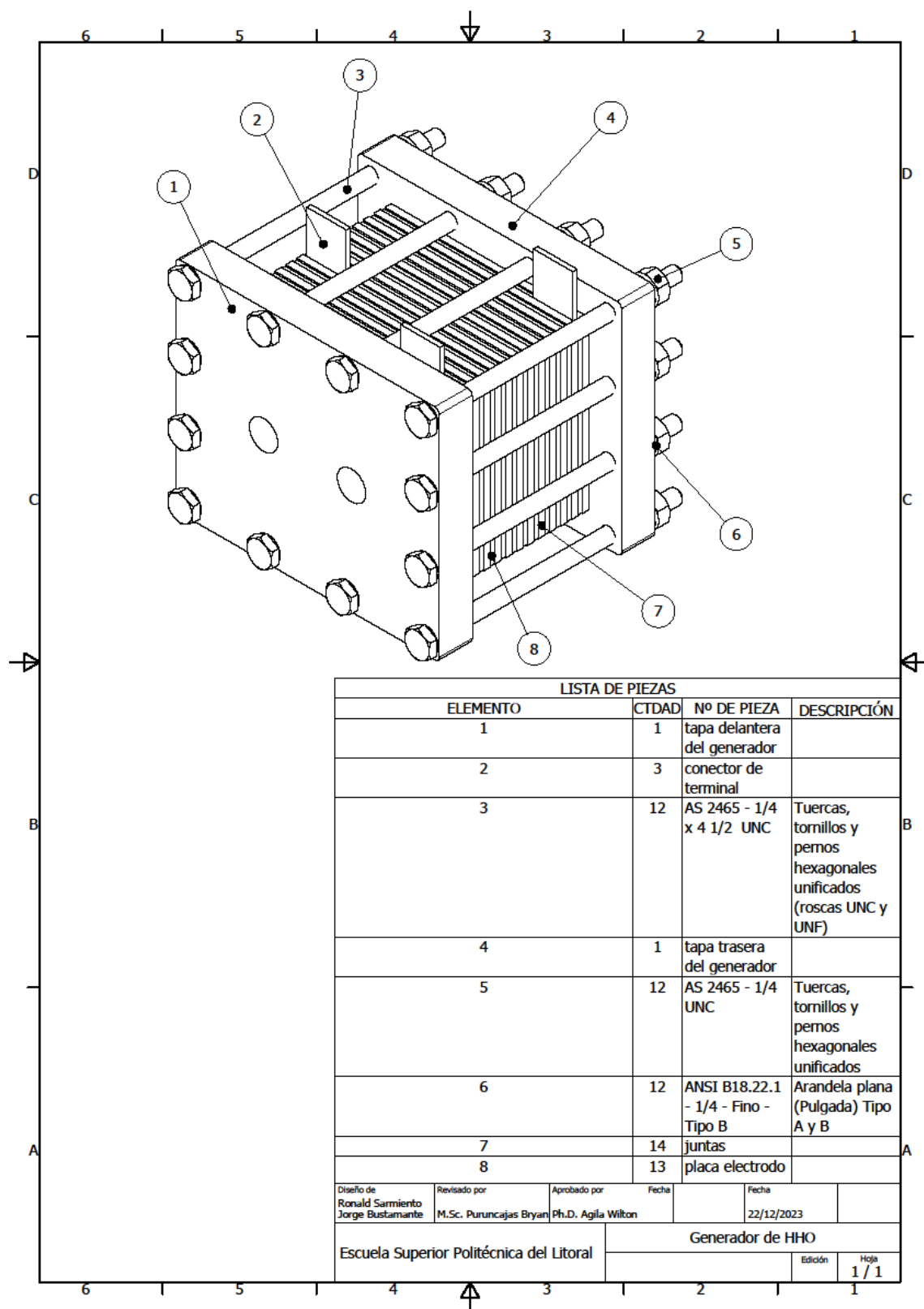
- [9] M. F, “EasyTechJunkie,” 28 enero 2024. [En línea]. Available: <https://www.easytechjunkie.com/what-is-browns-gas.htm>. [Último acceso: 31 enero 2024].
- [10] M. Fàbrega Ramos, *Hidrógeno aplicación en motores de combustión interna*, Barcelona, 2009, pp. 13-42.
- [11] Rincón Educativo Organización, “Rincon Educativo,” 2019. [En línea]. Available: <https://rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/introduccion-la-energia-geotermica/>. [Último acceso: 26 octubre 2023].
- [12] Y. Matter, “You Matter,” 7 febrero 2019. [En línea]. Available: <https://youmatter.world/en/solar-energy-green-sustainable-27596/>. [Último acceso: 26 octubre 2023].
- [13] J. Roca, “El Periódico de la Energía,” 14 julio 2023. [En línea]. Available: <https://elperiodicodelaenergia.com/la-energia-eolica-terrestre-en-latinoamerica-crecera-un-122-hasta-2032/>. [Último acceso: 24 octubre 2023].
- [14] J. Cedrón, V. Landa y J. Robles, “Química general. Material de enseñanza. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú,” 2011. [En línea]. Available: <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/432-electrolisis-del-agua.html>. [Último acceso: 25 octubre 2023].
- [15] J. Llorca, “¿Cómo se obtiene el hidrógeno?,” de *El hidrógeno y nuestro futuro energético*, Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, 2010, pp. 46-48.
- [16] M. Mora Nieto y C. Bordons, *Desarrollo y validación experimental del modelo dinámico de un electrolizador PEM de 1kW para su integración con generación renovable*, Sevilla: XLIII Jornadas de Automática: libro de actas , 2022, pp. 560-567.
- [17] R. S.A, 11 septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/electrolizador/index.cshtml>. [Último acceso: 23 octubre 2023].

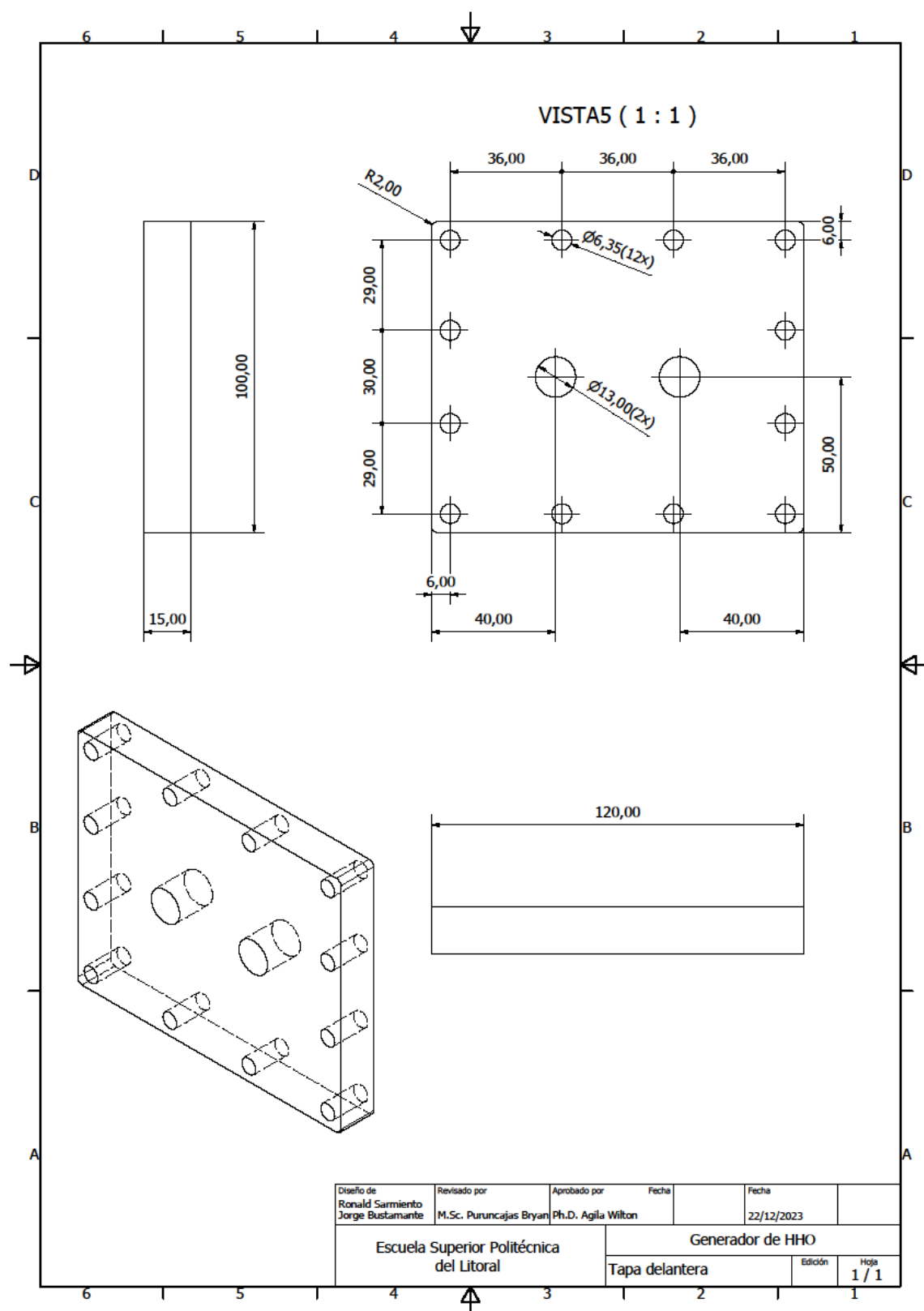
- [18] J. N. Pesántez Morocho y J. V. Tacuri Morocho, *Adaptación de un generador de hidrógeno tipo celda seca en un motor endotérmico 150 cc de 4 tiempos como fuente alternativa de combustible*, Cuenca, 2021.
- [19] D. Nuevo, “es hidrógeno,” 9 octubre 2023. [En línea]. Available: <https://eshidrogeno.com/celda-combustible/>. [Último acceso: 24 octubre 2023].
- [20] T. Brown, H. E. LeMay, B. Bursten y J. Burdge, “Electroquímica,” de *Química. La ciencia central*, Naucalpan de Juárez, Pearson Educación, 2004, pp. 789-791.
- [21] P. F. Payri y P. J. M. Desantes, “Parámetros básicos,” de *Motores de combustión interna alternativa*, Barcelona, Editorial Reverté, 2011, pp. 50-52.
- [22] Y. Cengel y M. Boles, “Ciclos de potencia de gas,” de *Termodinámica*, Ciudad de México, McGraw-Hill, 2012, pp. 498-503.
- [23] I. S. Aceros, 21 enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/acero-inoxidable-316/>. [Último acceso: 10 noviembre 2023].
- [24] P. Landín, “Pelandintecno-tecnología ESO,” 26 marzo 2011. [En línea]. Available: <https://pelandintecno.blogspot.com/2011/03/motor-de-explosion-de-cuatro-tiempos.html>. [Último acceso: 23 octubre 2023].
- [25] D. Torroche y C. Agila, “Prototipo de un sistema de alimentación universal mediante un sistema flex fuel gasolina e hidrógeno controlado por arduino uno para vehículos de motor encendido provocado,” 17 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25600/1/UPS-CT010720.pdf>. [Último acceso: 26 Octubre 2023].
- [26] E. Co., “Eman,” 2016. [En línea]. Available: <https://emaningenieria.com/la-biomasa-rentable-y-ecologica/>. [Último acceso: 25 Diciembre 2023].
- [27] J. A. García Roldán, “La Combinación Explosiva: ¿Qué pasa si se mezcla Hidrógeno con Gasolina?,” 23 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/la-combinaci%C3%B3n-explosiva-qu%C3%A9-pasa-si-se-mezcla-con-rold%C3%A1n-garc%C3%ADa/?originalSubdomain=es>. [Último acceso: 28 octubre 2023].

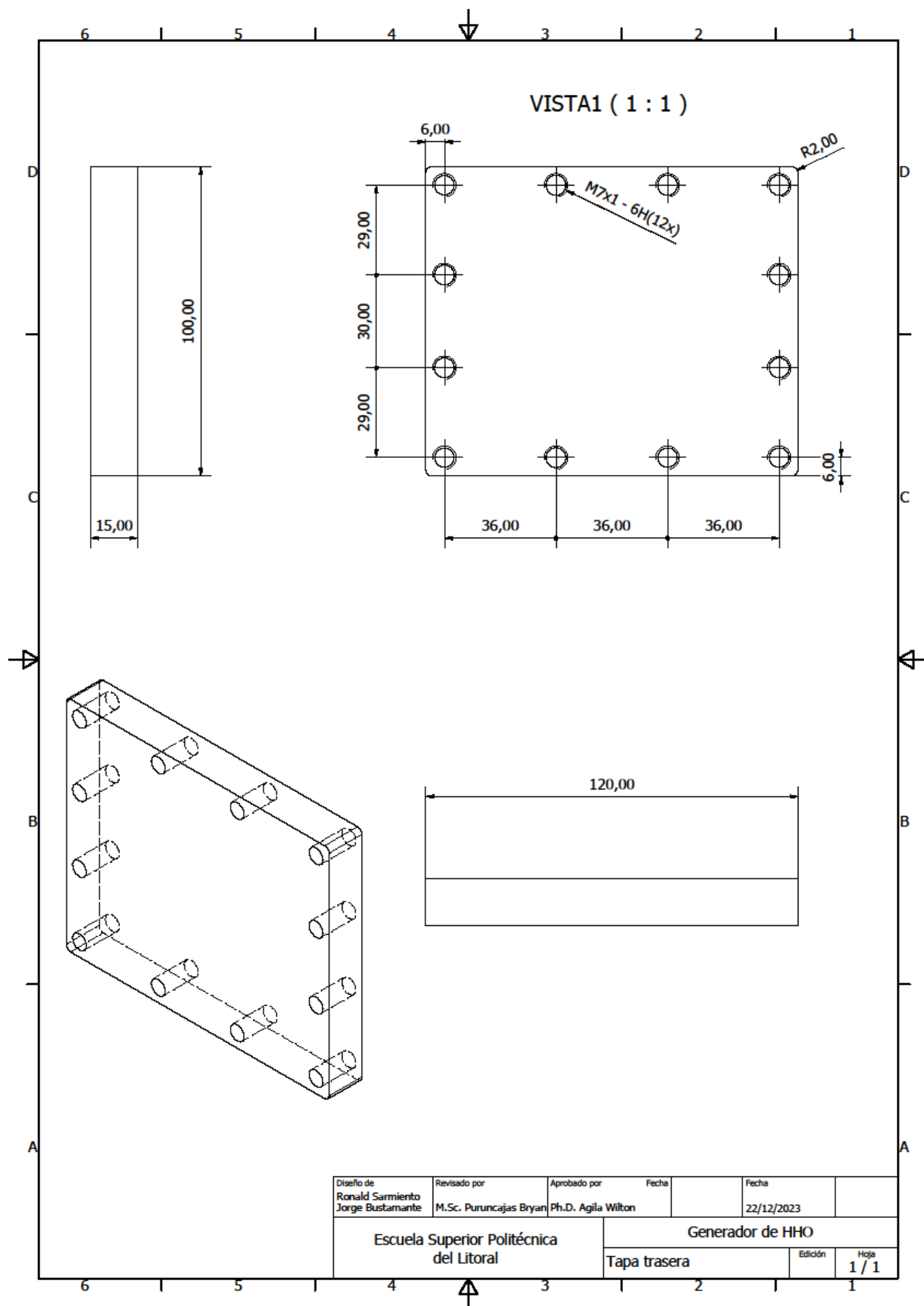
- [28] J. E. García, F. Rodríguez, M. C. Solís y F. Balenilla, “Investigando el problema del uso de la energía,” octubre 2007. [En línea]. [Último acceso: 23 octubre 2023].

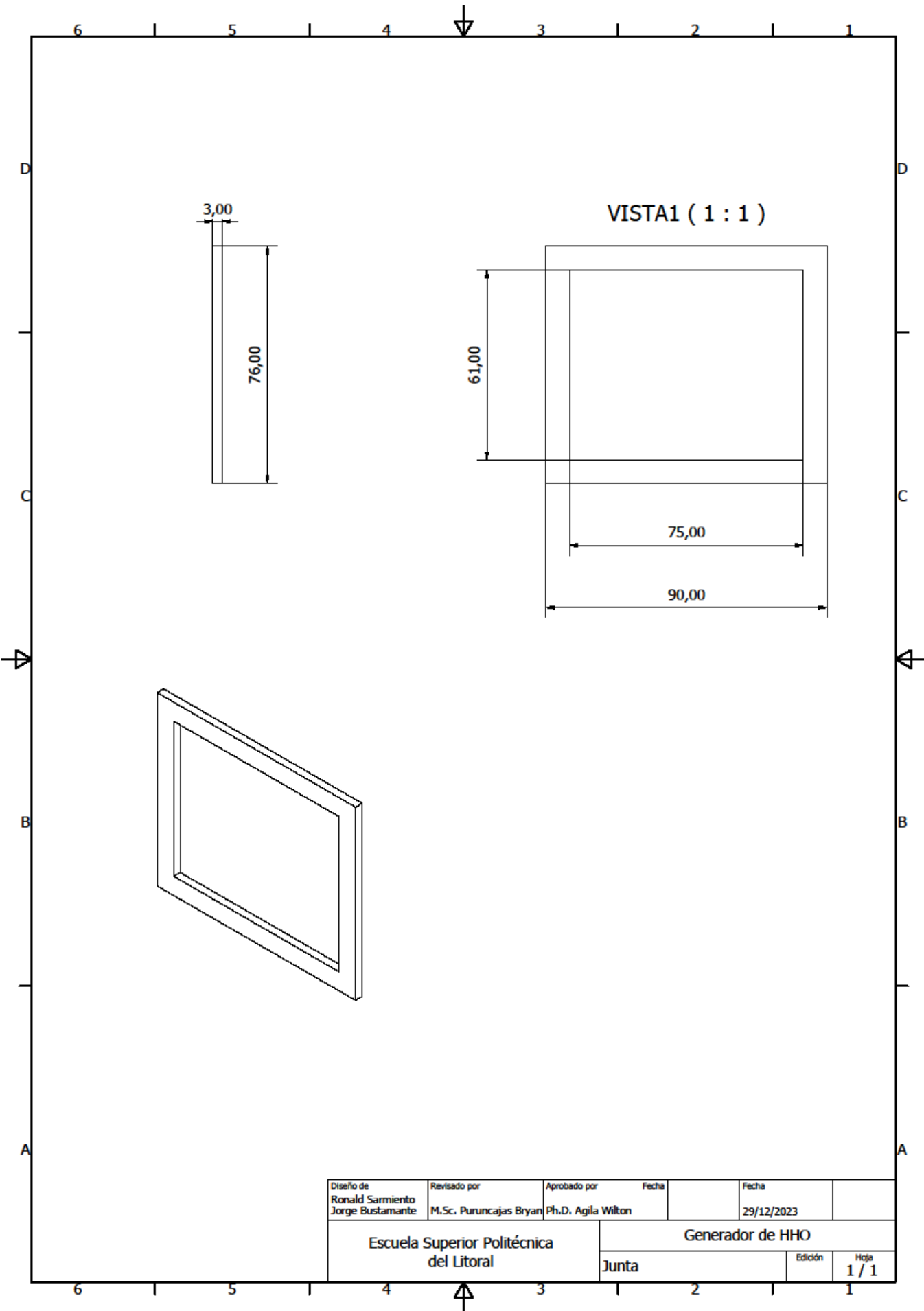
Apéndices

Apéndice A

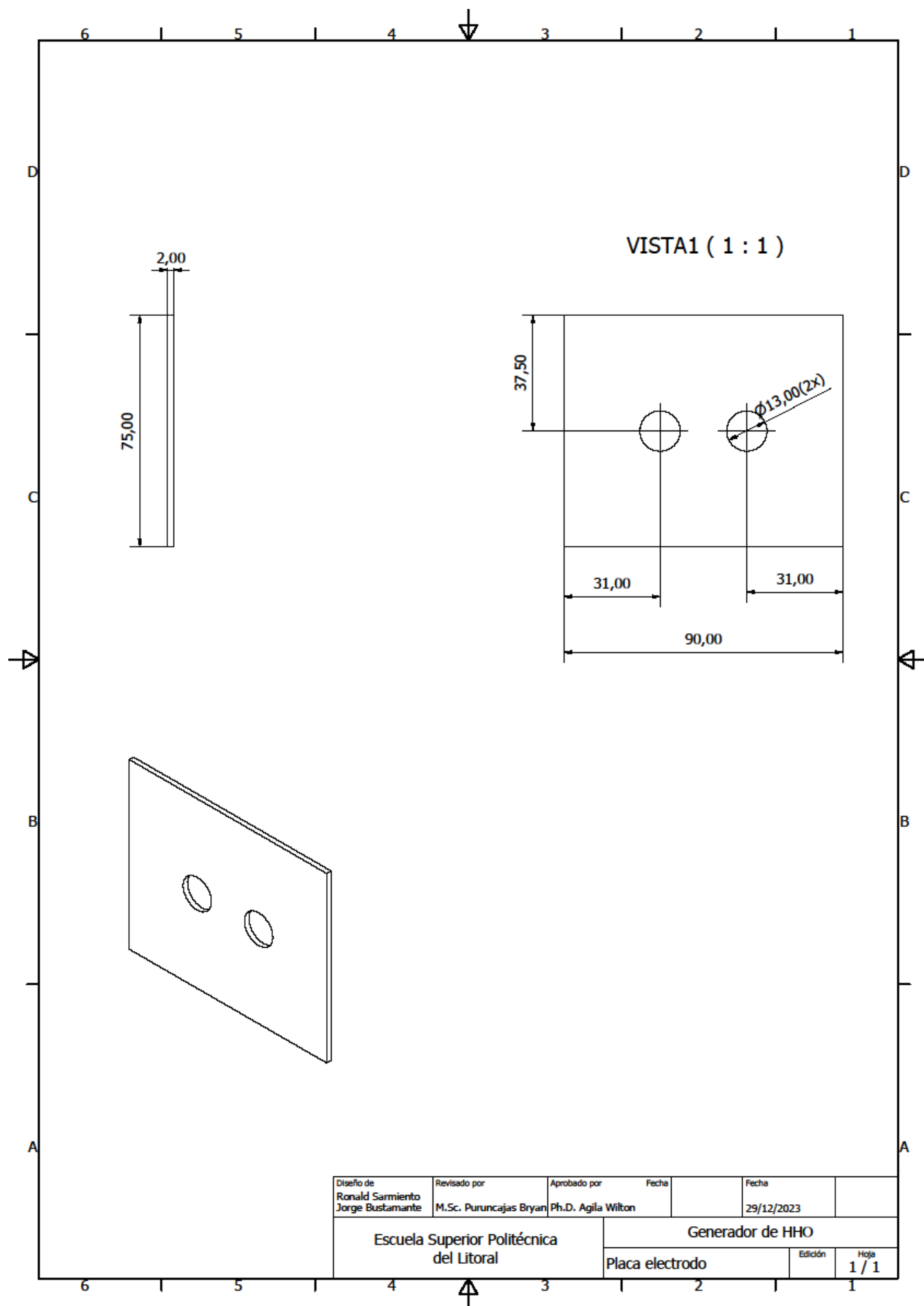


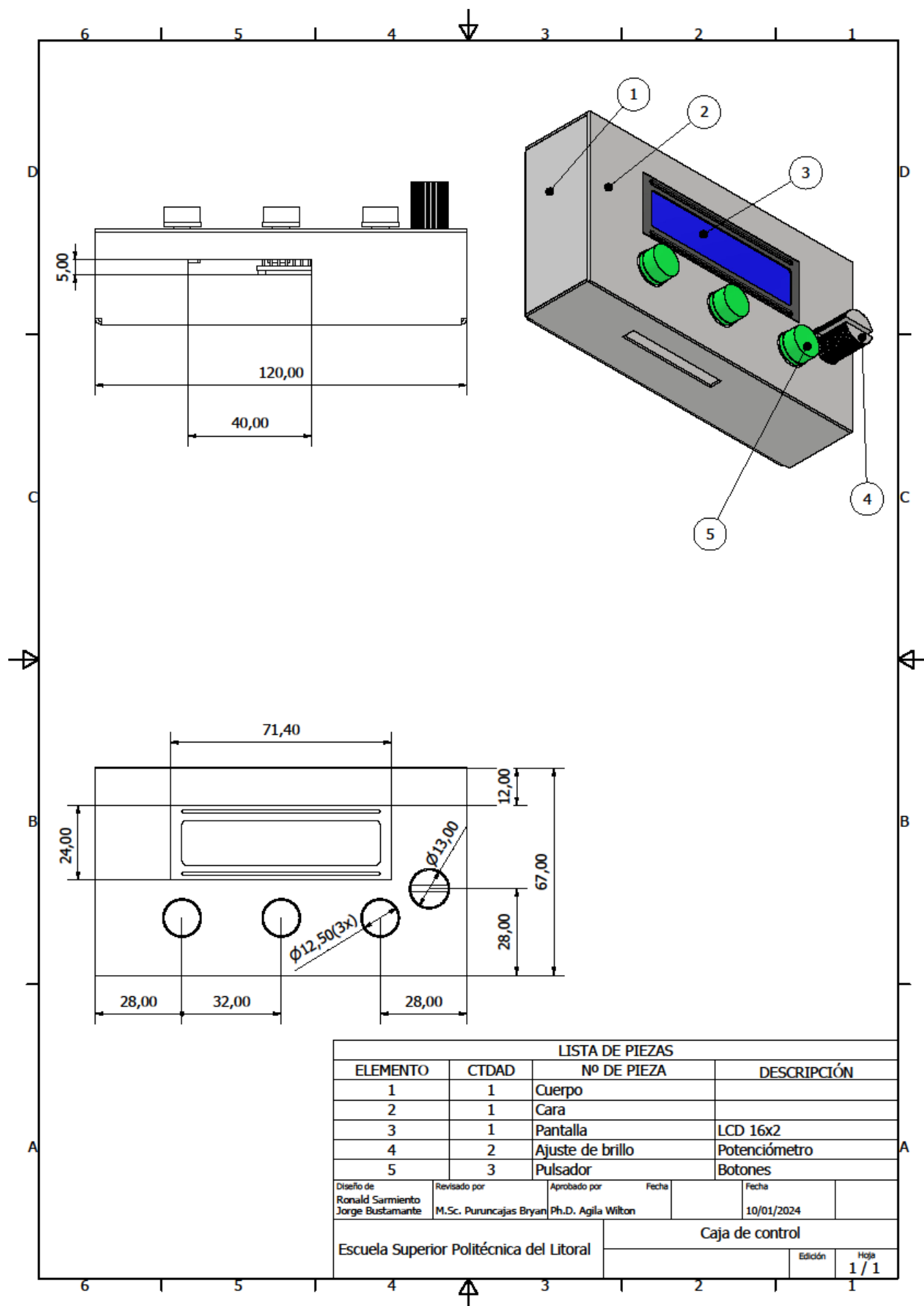






Diseño de Ronald Sarmiento Jorge Bustamante	Revisado por M.Sc. Puruncajas Bryan	Aprobado por Ph.D. Agila Wilton	Fecha 29/12/2023	
Escuela Superior Politécnica del Litoral			Generador de HHO	
Junta			Edición	Hoja 1 / 1





Apéndice B

```
#include <Button.h>
#include <LiquidCrystal.h>

const int rs = 7, en = 6, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

int buz = 8;
int led = 9;
int upButton = 10 ;
int downButton = 11 ;

boolean estUp = false ;
boolean estUp_Last = false ;
boolean estDown = false ;
boolean estDown_Last = false ;
const int aqsensor = A0;
int threshold = 250;
int threshold2 = 0;
int threshold3 = 0;
int ppm;

Button modeButton(12);

void setup() {
  pinMode(buz, OUTPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(aqsensor, INPUT);
  pinMode(upButton, INPUT_PULLUP);
  pinMode(downButton, INPUT_PULLUP);
```

```

Serial.begin(9600);
lcd.clear();
lcd.begin(16, 2);
}

void loop() {
  // Manejar entrada de botones
  delay(80);
  estUp = digitalRead(upButton);
  if (estUp != estUp_Last) {
    if (estUp== HIGH){
      threshold2 = threshold + 100; // Incrementar al presionar UP
      threshold = threshold2;
      estUp= estUp_Last;
    }
  }
  delay(80);

  estDown = digitalRead(downButton);
  if (estDown != estDown_Last) {
    if (estDown== HIGH){
      digitalWrite(buz, HIGH);
      threshold3 = threshold - 100; // Disminuir al presionar Down
      threshold = threshold3;
      estDown = estDown_Last;
    }
  }
  delay(80);
  if (modeButton.pressed()) {
    // Cambiar entre diferentes variables de medición al presionar MODE/SENSOR

```

// Por ejemplo, se podría cambiar entre mostrar ppm y otra variable de las mediciones de sensor del carro.

```
}
```

```
ppm = analogRead(aqsensor);
```

```
Serial.print("Air Quality: ");
```

```
Serial.println(ppm);
```

```
lcd.setCursor(0, 0);
```

```
lcd.print("Air Quality: ");
```

```
lcd.print(ppm);
```

```
if (ppm > threshold) {
```

```
    lcd.setCursor(1, 1);
```

```
    lcd.print("AQ Level HIGH");
```

```
    Serial.println("AQ Level HIGH");
```

```
    tone(led, 1000, 200);
```

```
} else {
```

```
    digitalWrite(led, LOW);
```

```
    lcd.setCursor(1, 1);
```

```
    lcd.print("AQ Level Good");
```

```
    Serial.println("AQ Level Good");
```

```
}
```

```
delay(500);
```

```
} lcd.print("AQ Level Good");
```

```
    Serial.println("AQ Level Good");
```

```
}
```

```
delay(500);
```

```
}
```