

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA GENERADORA DE HIDRÓGENO
MEDIANTE ELECTRÓLISIS PARA UTILIZARLO COMO
VECTOR ENERGÉTICO EN UN AUTO ELÉCTRICO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

DANIEL ANTONIO VASQUEZ POLO

ASESOR

LUIS ALBERTO GONZALES BAZAN
<https://orcid.org/0000-0003-3941-9581>

Chiclayo, 2022

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA GENERADORA DE
HIDRÓGENO MEDIANTE ELECTRÓLISIS PARA
UTILIZARLO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN UN
AUTO ELÉCTRICO**

PRESENTADA POR:
DANIEL ANTONIO VASQUEZ POLO

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR:

Wilson Alejandro Jimenez Zuloeta
PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza
SECRETARIO

Luis Alberto Gonzales Bazan
VOCAL

Dedicatoria

A mis padres, por su apoyo continuo e incondicional durante todos los años que duro esta hermosa vida universitaria. A mis hermanos, que fueron una inspiración para seguir adelante y enseñame que el esfuerzo trae grandes recompensas. A mis docentes, que con aportaron constantemente grandes fuentes de información y ética profesional a mi formación.

Agradecimiento

A mi familia, por haberme alentado a perseguir mis sueños. Confiando y apoyando mi decisión profesional. A mis docentes de la escuela de IME, por formarme como estudiante y persona a lo largo de mi vida universitaria. Además de demostrar su apoyo cuando la situación lo requirió. A mis compañeros que a lo largo de la vida universitaria demostraron señales de verdadera amistad y camaradería.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | 8 |
| ABSTRACT | 9 |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| II. JUSTIFICACIÓN..... | 11 |
| III. OBJETIVOS | 12 |
| 3.1 Objetivo General | 12 |
| 3.2 Objetivos Específicos..... | 12 |
| IV. METODOLOGÍA..... | 13 |
| V. MARCO TEÓRICO..... | 15 |
| 4.1. Antecedentes | 15 |
| 4.2. Bases Teóricas Científicas | 16 |
| 4.2.1. Hidrógeno..... | 16 |
| Electrólisis del agua..... | 20 |
| 4.2.2. Componentes de un electrolizador y materiales utilizados..... | 22 |
| 4.2.3. Leyes de Faraday en electrólisis | 26 |
| 4.2.3.1. Ley de Faraday aplicada | 26 |
| 4.2. Parque automotor del Perú | 27 |
| 4.2.3. Situación de los vehículos eléctricos e híbridos en el Perú..... | 29 |
| 4.3. Definición de términos básicos | 30 |
| VI. DISEÑO METODOLÓGICO | 31 |
| 5.1. Nivel de investigación..... | 31 |
| 5.1.1. Tipo y diseño de la investigación | 31 |
| 5.1.2. Según el nivel de profundización en el objetivo de estudio..... | 31 |
| 5.1.3. Según el grado de manipulación de las variables | 31 |
| 5.2. Población y muestra de estudio..... | 31 |
| 5.3. Variables operacionales | 32 |
| VII. DESARROLLO | 33 |
| 6.1. Determinación de la situación actual del parque automotor peruano | 33 |
| 6.2. Matriz morfológica y selección tentativa de los materiales | 34 |
| 6.2.1. Matriz morfológica..... | 34 |
| 6.2.2. Selección tentativa de los materiales del electrolizador | 38 |
| 6.2.2.4. Cúpula de recepción de hidrógeno | 43 |
| 6.3. Parámetros de funcionamiento de la máquina generadora de hidrógeno | 44 |
| 6.3.1. Reacción Química..... | 44 |

| | |
|---|----|
| 6.3.2. Voltaje | 44 |
| 6.3.3. Corriente | 46 |
| 6.3.4. Potencia | 46 |
| 6.3.6. Eficiencia energética..... | 48 |
| 6.3.7. Producción de hidrógeno | 49 |
| 6.4. Diseño de la máquina generadora de hidrógeno..... | 52 |
| 6.5. Autonomía brindada por la máquina generadora de hidrogeno al vehículo Hyundai NEXO Fuel Cell | 54 |
| VII. CONCLUSIONES | 56 |
| VIII. RECOMENDACIONES | 57 |
| IX. BIBLIOGRAFÍA | 58 |
| X. ANEXOS... .. | 60 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1. Relación masa- volumen de líquido - volumen de gas del hidrógeno | 16 |
| Tabla 2. Propiedades físicas y termodinámicas del hidrógeno | 17 |
| Tabla 3. Registro de bienes inmuebles inscritos en la SUNARP Periodo 2019 | 28 |
| Tabla 4. Variables Operacionales..... | 32 |
| Tabla 5. Matriz morfológica del electrolizador | 34 |
| Tabla 6. Matriz de evaluación del diseño del electrolizador | 37 |
| Tabla 7. Matriz de evaluación de recipiente de solución..... | 39 |
| Tabla 8. Matriz de evaluación Aceros inoxidables | 40 |
| Tabla 9. Matriz de evaluación Aceros Inoxidable Austeníticos | 42 |
| Tabla 10. Matriz de evaluación de electrólito a utilizar | 43 |
| Tabla 11. Eficiencia energética de electrolizadores | 48 |

LISTA DE ILUSTRACIÓN

| | |
|---|-----------|
| Ilustración 1. Procesos de obtención de hidrógeno | 19 |
| Ilustración 2. Electrolizador Común..... | 21 |
| Ilustración 3. Importación de Vehículos Eléctricos e Híbridos | 29 |
| Ilustración 4. Comparación vehículos convencionales inscritos y vehículos eléctricos e híbridos importados en el año 2019..... | 33 |
| Ilustración 5. Diagrama de funcionamiento del electrolizador..... | 38 |
| Ilustración 6 Demanda energética a presión y temperatura ambiente | 46 |
| Ilustración 7 Conductividad vs Concentración de electrolito | 47 |
| Ilustración 8 Voltaje y Corriente de prueba | 50 |
| Ilustración 9 Temperatura máxima de prueba..... | 51 |
| Ilustración 10 Máquina generadora de Hidrógeno..... | 53 |
| Ilustración 11 Tarifa BT5B..... | 55 |

RESUMEN

La contaminación ambiental es un problema en la era actual y el ser humano se ha convertido dependiente de este, por lo cual se volvió necesario la creación de formas alternas de generación de energía. Teniendo como ejemplo la celda de combustible que se encarga energizar a los vehículos eléctricos y utiliza como combustible el hidrógeno.

El parque automotor del Perú es el responsable por el 70% de la contaminación ambiental. En nuestro país entre el año 2016 y 2018 se han importado vehículos eléctricos equivalentes al 0.01038% del parque automotor. Esto se debe a que los peruanos no adquieren estos vehículos porque no existen electrolinerías que son las encargadas de la distribución del combustible para dichos vehículos.

Por ello la presente tesis tiene como objetivo diseñar una máquina generadora de hidrógeno mediante electrolisis, para ser utilizado como combustible de los autos eléctricos. Dicha máquina contara con un tamaño discreto, modo de uso simple y un impacto mínimo en el medio ambiente.

El proceso de electrolisis que se llevara a cabo consiste en la separación de los elementos de un compuesto que este caso será agua, mediante la electricidad se separaran de elementos obteniendo como resultado hidrogeno en forma gaseoso para ser utilizado como combustible en los vehículos eléctricos.

El software utilizado para el modelado CAD CAE será SolidWorks, mediante este programa se diseñará la máquina que se encargará de la generación de hidrogeno.

Palabras clave: Celda de combustible, Hidrógeno, SolidWorks, Electrólisis.

ABSTRACT

Environmental pollution is a problem in the current era and the human being has become dependent on it, for which it became necessary to create alternative forms of energy generation. Taking as an example the fuel cell that is in charge of energizing electric vehicles and uses hydrogen as fuel.

The Peruvian fleet is responsible for 70% of environmental pollution. In our country between 2016 and 2018 electric vehicles have been imported equivalent to 0.01038% of the vehicle fleet. This is due to the fact that Peruvians do not purchase these vehicles because there are no electric stations that are responsible for the distribution of fuel for said vehicles.

For this reason, the present thesis aims to design a hydrogen generating machine through electrolysis, to be used as fuel for electric cars. This machine will have a discreet size, simple use mode and a minimal impact on the environment.

The electrolysis process that will be carried out consists of the separation of the elements of a compound, which in this case will be water, by means of electricity they will be separated from elements, resulting in hydrogen in gaseous form to be used as fuel in electric vehicles.

The software used for CAD CAE modeling will be SolidWorks, through this program the machine that will be in charge of generating hydrogen will be designed.

Keywords: Fuel cell, Hydrogen, SolidWorks, electrolysis.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental en el Perú producida en su mayoría por el parque automotor generan altos niveles de Óxido Nitroso (NO), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂) los cuales además de ocasionar daños a las personas también dañan medio ambiente deteriorando la capa de ozono. En el 2014 se contaba con un total de 4 421 000 vehículos de motor de combustión interna [1].

Una posible solución para reducir el impacto ambiental ocasionado por los vehículos de motor de combustión interna es el uso de vehículos eléctricos, aunque entre 2016 y 2018 solo fueron importados 23 de ellos [2]. Una de las razones principales para su ingreso al mercado peruano es el precio elevado con respecto a sus similares, mientras que el otro más punto más importante es la falta de suministro de energía para estos vehículos.

La presente tesis pretende diseñar una máquina generadora de hidrogeno mediante electrolisis para su uso como combustible de los vehículos eléctricos, el hidrogeno cuenta con un alto contenido energético además por ser un gas ligero, incoloro, inodoro [3] y al encontrarse en abundancia permite ser usado como fuente de combustible ecológica después de haber pasado por el proceso de electrolisis.

La electrólisis del agua se realiza mediante una fuente de alimentación conectada a dos electrodos de platino o acero inoxidable que representan los electrodos positivo y negativo. Coloque estos electrodos en agua para que el electrodo positivo sea responsable de extraer oxígeno y el electrodo negativo sea responsable de extraer hidrógeno. De esta forma, las moléculas se descomponen. [4].

Esta tesis tiene como objetivo la generación del hidrogeno a partir de la electrólisis utilizando la máquina señalada, se obtendría el combustible para los vehículos eléctricos que permitiría su ingreso de manera aumentada en el parque automotor peruano.

II. JUSTIFICACIÓN

Económico:

La investigación del hidrógeno como vector energético facilitara la producción de máquinas basados en este elemento como combustible.

Social:

La investigación del hidrogeno como vector energético de una pila de combustible le brindara al público peruano una opción nueva de energía.

Tecnológico:

Se investigará al hidrógeno que es considerado el combustible del futuro llevando así al país a una nueva época energética.

Ambiental:

La investigación acerca del hidrógeno realizara su importancia como fuente de energía lo que conllevara a reducir la producción de gases contaminantes.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General:

- Diseñar una máquina generadora de hidrógeno mediante electrólisis para usarlo como vector energético en un auto eléctrico.

3.2 Objetivos Específicos:

- Determinar la situación actual del parque automotor de autos eléctricos en el Perú para demostrar su importancia en nuestro país.
- Elaborar una matriz morfológica para el diseño de la máquina generadora de hidrógeno y los materiales de sus componentes.
- Determinar los parámetros de operación de la máquina generadora de hidrógeno.
- Diseñar la máquina generadora de hidrógeno utilizando el software SolidWorks.
- Establecer la autonomía brindada a un vehículo eléctrico por parte de la máquina generadora de hidrógeno, además de consumo eléctrico que presenta.

IV. METODOLOGÍA

Objetivo 1: ¿Cuántos vehículos eléctricos e híbridos existen en el Perú y cuál es su proporción con respecto al parque automotor del país?

Fase 1: Búsqueda y adquisición de información:

-Se generó un gráfico de la importación de vehículos eléctricos e híbridos al Perú usando como base los datos obtenidos en la SUNAT.

-Se generó una tabla donde se muestra todos los vehículos registrados en el año 2019 según la SUNARP, obteniéndose así la cantidad de vehículos en el parque automotor peruano.

Fase 2: Ejecución:

-Habiendo realizado los gráficos en la fase 1 se procedió a realizar un cruce de información donde se obtiene el porcentaje de los vehículos eléctricos e híbridos con respecto al parque automotor peruano.

Objetivo 2: Elaboración de una matriz morfológica para el diseño de la maquina generadora de hidrogeno y los materiales de sus componentes.

Fase 1: Búsqueda y adquisición de información:

-Los elementos variables de los distintos componentes fueron obtenidos mediante investigación propia

-Las propiedades de los posibles materiales de los componentes de la maquina será obtenido a través de informes o catálogos

Fase 2: Ejecución:

-Analizando las diferentes opciones que existen en el mercado se procedió a realizar la matriz morfológica que consta de 4 alternativas, las cuales fueron comparadas mediante una matriz de evaluación escogiendo la mejor alternativa teniendo en cuenta los factores económicos, la disponibilidad de piezas en el mercado, el funcionamiento conjunto de los elementos y su facilidad de uso.

-Una vez obtenido el diseño preliminar mediante la matriz morfológica se procedió a realizar diferentes matrices de evaluación para obtener materiales tentativos de los diferentes componentes.

Objetivo 3: Determinar la tasa de producción de hidrógeno, la reacción del hidrógeno en la máquina y definir los parámetros de operación de la máquina generadora de hidrógeno.

Fase 1: Búsqueda y adquisición de información:

- Revisando informes y documentos de investigación pasados se pudieron conocer las ecuaciones necesarias para obtener los parámetros requeridos.
- Mediante la información obtenida en el objetivo 2 se obtuvieron los posibles elementos de la máquina.

Fase 2: Ejecución:

- Obtenidas las ecuaciones reemplazamos los valores necesarios para obtener los parámetros establecidos.
- Seleccionados los elementos de la máquina se realizó un prototipo con la finalidad de medir los parámetros previamente establecidos y compararlos con los valores teóricos.

Objetivo 4: Diseñar la máquina generadora de hidrógeno utilizando el software SolidWorks.

Fase 1: Búsqueda y adquisición de información:

- El diseño se obtuvo mediante la información recopilada en el objetivo 2 y 3.

Fase 2: Ejecución:

- Se generó el modelo CAD CAE en el software SolidWorks utilizando conocimientos previos además de ceñirnos de los parámetros obtenidos anteriormente.

- **Objetivo 5:** Establecer la autonomía brindada a un vehículo eléctricos por parte de lamáquina generadora de hidrógeno.

Fase 1: Búsqueda y adquisición de información:

-Se obtuvo la cantidad de hidrogeno producido por hora mediante la maquina diseñada, gracias a los objetivos anteriores.

Fase 2: Ejecución:

-Al tener la cantidad de hidrogeno producido se puede comparar con las especificaciones técnicas del vehículo Hyundai nexo fuel cell lo que nos brindara la autonomía brindara al vehículo.

V. MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes:

- Según I. Herraiz Cardona en su tesis titulada Desarrollo de nuevos materiales de electrodo para la obtención de Hidrógeno a partir de la electrólisis alcalina del agua, se indica que el hidrógeno como fuente de energía del futuro llega a su punto más alto de eficacia cuando es obtenida de manera electrolítica extrayéndola del agua, siempre y cuando la electricidad provenga de una fuente renovable. Esto respalda la selección del método de generación de hidrogeno que será utilizado en esta máquina. [5]
- Según A. Bailón Martínez en su tesis titulada Desarrollo de un sistema de generación de hidrógeno acoplado al tratamiento electroquímico de aguas superficiales utilizando energía solar. Se identifica el acero inoxidable como el electrodo más activo para la producción de hidrógeno, por lo que se le considerara como principal candidato a electrodo para el proceso de electrólisis. [6]
- Según J. Velásquez Piedrahíta y J. Quiceno Castañeda en su tesis titulada Diseño de un sistema de generación de hidrógeno por electrólisis. Al momento de realizarse el proceso de la electrolisis es de suma importancia que los gases producidos no lleguen a mezclarse puesto que esto puede causar una reacción química altamente peligrosa. [7]

- Según R. Montagne Velásquez en su tesis titulada Diseño de un generador de hidrógeno como combustible para los motores de combustión de ciclo otto en la región puno. Indica que de no ser por el costo del producto el níquel es la mejor alternativa para ser utilizado como electrodo, lo que nos lleva a investigar como posibles electrodos a los materiales que estén compuestos por níquel o recubiertos de níquel que cuenten con un precio más accesible. [3]
- Según K. Cruz Castellot en su trabajo monográfico titulado Generación de hidrógeno, estado del arte. Indica en uno de sus apartados donde habla de la economía del hidrogeno que este elemento cuenta con un gran potencial energético y que entre sus usos en el futuro se encuentra su uso dentro de pilas de combustibles, también su uso para generar potencia estacionario y más importante su uso como combustible de vehículos, puesto que esto significa un cambio positivo para el planeta dejando atrás los combustibles fósiles que generangran cantidad de contaminación. [8]

4.2. Bases Teóricas Científicos:

4.2.1. Hidrógeno:

4.2.1.1 Propiedades del hidrógeno:

Las moléculas de hidrógeno presentan diferentes características tales como la ausencia de olor, color y ser inflamable.

El hidrogeno es considerado el elemento más ligero y a su vez el más abundante en la corteza terrestre presente en hidrocarburos, organismos, ácidos y muchos minerales. [9]

A continuación, se presentan las diferentes propiedades del hidrógeno:

Tabla 1. Relación masa- volumen de líquido - volumen de gas del hidrógeno

| Masa (kg) | Volumen de Liquido (l) | Volumen de Gas (m ³) |
|-----------|------------------------|----------------------------------|
| 1 | 14.08 | 11.74 |
| 0.071 | 1 | 0.83 |
| 0.08 | 1.20 | 1 |

Fuente [9]

Elaboración: Propia

Tabla 2. Propiedades físicas y termodinámicas del hidrógeno

| | p-hidrógeno | | | n-hidrógeno | | |
|--|------------------|--------------|------------|------------------|--------------|------------|
| Punto de ebullición (K) | 20.268 | | | 20.39 | | |
| Calor de vaporización (J/mol) | 898.3 | | | 899.1 | | |
| Punto triple: Temperatura(k) Presión (kPa) | 13.803 7.04 | | | 13.957 7.2 | | |
| | Propiedades a CN | Fase Liquida | Fase Vapor | Propiedades a CN | Fase Liquida | Fase Vapor |
| CP (J/kmol) | 30.35 | 19.7 | 24.49 | 2859 | 19.7 | 24.66 |
| CV (J/kmol) | 21.87 | 11.6 | 13.1 | 20.3 | 11.6 | 13.2 |
| Viscosidad (mPa.s) | 0.00834 | 0.0132 | 0.00113 | 0.00834 | 0.0133 | 0.00111 |
| Conductividad. Térmica | 0.1826 | 0.09862 | 0.01694 | 0.1739 | 0.1 | 0.0165 |
| Factor compresibilidad | 1.0005 | 0.01712 | 0.906 | 1.00042 | 0.01698 | 0.906 |
| Densidad (kg/m3) | 0.0899 | | | 0.0899 | | |
| Constante Dieléctrica | 1.00027 | | | 1.000271 | | |

Fuente [9]

Elaboración: Propia

Las moléculas de H₂ pueden existir en las siguientes formas: ortohidrógeno, o-H₂ (rotación paralela "orto"), parahidrógeno p-H₂ (rotación antiparalela "para") y el hidrógeno normal n-H₂ que está compuesto a un 75% de ortohidrógeno y un 25% de parahidrógeno cuando se encuentra en temperatura ambiente.

La solubilidad del hidrógeno en los líquidos es limitada mientras que con metales es alta, además de ser el elemento con mayor capacidad de difusión.

Los átomos de hidrógeno reaccionan entre sí y con otros elementos distintos de los gases nobles. Reacciona con halógenos para formar haluros, con metales para formar hidruros, con carbono e hidrocarburos para formar metano y compuestos saturados, con nitrógeno para formar amoníaco y oxígeno para formar agua.

A temperatura ambiente, la reacción para producir agua es inusualmente lenta, pero si la acelera un catalizador como el platino o chispas eléctricas, procederá con una fuerza explosiva.

A temperatura normal, el hidrógeno es una sustancia menos reactiva a menos que sea activado, por ejemplo, por un catalizador adecuado. Es muy activo a altas temperaturas y el hidrógeno molecular se descompondrá en átomos libres a altas temperaturas. Incluso a temperatura ambiente, el hidrógeno atómico es un poderoso agente reductor y genera peróxido de hidrógeno (H₂O) con oxígeno. [9]

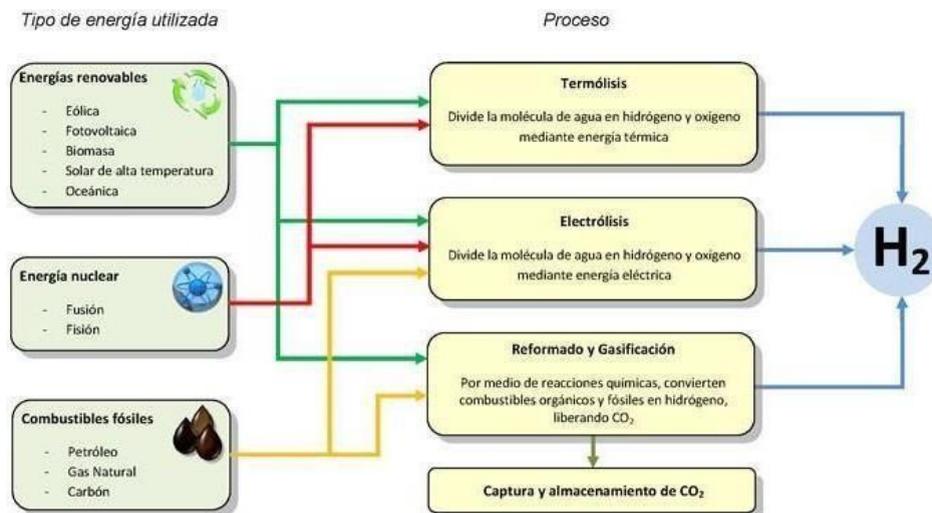
4.2.1.2. Ventajas del hidrógeno como combustible:

- El valor calorífico del hidrógeno es el más alto de todos: 141,86 MJ / kg o 39,41 kWh / kg y cuenta con el contenido energético más alto de cualquier otro combustible por unidad de peso. Esta es la principal ventaja del hidrógeno, que hace del hidrógeno un combustible reconocido en aplicaciones donde el peso es más importante que el volumen, como en los transbordadores espaciales. La alta densidad energética contenida en 1Kg de hidrógeno es de 11,74 Nm³ (en condiciones normales con una temperatura de 15°C y una presión de 1at o 1.013bar), y el valor es de 175MJ / Nm³ o 3.54kWh / Nm³. En otras palabras, 1 kg de hidrógeno contiene la misma energía que 3,5 litros de aceite, 1 kg de gas natural u 8 kg de gasolina. La densidad del hidrógeno es de 0,0899 g/l (0,0899 kg / Nm³), que es aproximadamente 14,4 veces menor que el aire a presión y temperatura normales (15°C).
- Cuando se combina con oxígeno, el hidrógeno puede generar electricidad directamente en el proceso electroquímico, superando el límite de eficiencia del ciclo de Carnot, que afecta el ciclo termodinámico que se utiliza actualmente en la mayoría de las centrales eléctricas.
- Es un portador de energía que respeta el medio ambiente y reduce la contaminación. Debido a su naturaleza libre de carbono, puede reducir el daño al medio ambiente y debido a que el hidrógeno genera solo vapor de agua cuando se quema con oxígeno, no emite hidrocarburos, CO₂, compuestos de azufre u otros contaminantes. Sin embargo, el sistema energético actual emite oxidantes (O₃, HO₂, PAH), aerosoles (SO₄) y otros gases (aldehídos y olefinas).

4.2.1.3. Obtención del hidrógeno:

Hoy en día, la mayor parte del hidrógeno producido en la industria se produce a partir de combustibles fósiles, porque actualmente no se utiliza como portador de energía, sino para otros tipos de usos industriales.

Ilustración 1. Procesos de obtención de hidrógeno



Fuente: [10]

1) Hidrógeno residual:

En el pasado, el exceso de hidrógeno generalmente se vaciaba, pero hoy en día, muchas fábricas recolectan este hidrógeno para su uso porque se puede congelar, comprimir y purificar para su uso posterior en otros procesos en la misma instalación o para la venta a otros clientes mediante gaseoductos, camiones, cilindros de gas. Sin embargo, en industrias donde la producción de hidrógeno residual es muy baja y su uso no es rentable, suele quemarse.

2) Hidrógeno a partir de hidrocarburos:

En la producción industrial de hidrógeno, aunque recientemente se están popularizando métodos como la electrólisis o la pirólisis que no dependen de la disponibilidad de hidrocarburos, el método más utilizado en la actualidad es el de

reformar los hidrocarburos con vapor. Otro problema con estos métodos es que la mayoría de los métodos emiten grandes cantidades de CO₂. Actualmente, aproximadamente el 95% de la producción mundial de hidrógeno proviene de los hidrocarburos porque puede producirse a partir de gas natural con una eficiencia de aproximadamente el 80% u otros hidrocarburos con eficiencia variable. La principal desventaja de estos métodos es que el hidrógeno obtenido contiene monóxido de carbono y otras impurezas elementales y, por lo tanto, no puede usarse en aplicaciones que requieren hidrógeno puro a menos que se purifique primero.

Electrólisis del agua:

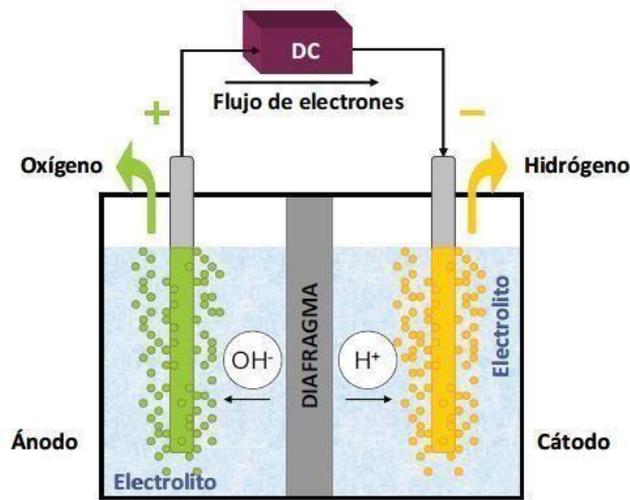
4.2.2.1. Principio de funcionamiento:

La fuente de alimentación está conectada a dos electrodos o placas, y generalmente se colocan en agua, generalmente de algún metal inerte (como platino o acero inoxidable). Conectar la fuente generará hidrógeno (con carga negativa) en el cátodo y oxígeno (con carga positiva) en el ánodo. Suponiendo una eficiencia de Faraday ideal, la cantidad de hidrógeno producida es el doble de la cantidad de moles de oxígeno (relación 2: 1), ambos proporcionales a la carga total que fluye a través de la solución.

Sin embargo, en muchas células, las reacciones secundarias juegan un papel dominante, dando lugar a diferentes productos y una eficiencia de Faraday subóptima.

La electrólisis del agua pura requiere un exceso de energía en forma de oleadas para superar varias barreras de activación. En ausencia de un exceso de energía, la electrólisis del agua pura es muy lenta o no ocurre en absoluto, debido a la limitada auto ionización del agua y su baja conductividad, que es aproximadamente una millonésima parte de la del agua de mar. Esto se debe al hecho de que el agua de mar contiene sal diluida, que actúa como electrolito, que es el requisito básico para una reacción rápida. Además, el uso de electro-catalizadores facilita la reacción. [5]

Ilustración 2. Electrolizador Común



Fuente: [5]

4.2.2.2 Tipos de electrolizadores:

Los componentes básicos del electrolizador (ver ilustración 1) son comunes en todos los sistemas de electrólisis. Sin embargo, según el electrolito utilizado, la celda de electrólisis se puede dividir en celda de electrólisis alcalina y celda de electrólisis de membrana de intercambio de protones.

Electrolizadores Alcalinos:

Son la primera opción para la producción de hidrógeno a gran escala porque la tecnología funciona bien en la producción a gran escala. En los electrolizadores alcalinos, se utilizan electrolitos líquidos (generalmente solución de hidróxido de potasio al 25% o hidróxido de sodio al 15%). La eficiencia de estos electrolizadores alcanzó el 80%. [11]

Un electrolizador alcalino con eficiencia ideal requiere 3.245 kW-h de energía eléctrica para la producción de 1 Nm³ de hidrógeno.

La relación que existe entre la temperatura y la eficiencia energética son directamente proporcionales mientras que la relación entre la temperatura y la los materiales del electrolizador son inversamente proporcionales, además que las temperaturas para trabajar con hidróxido de potasio son de entre 70 a 80°C y para el hidróxido de sodio son de 50 a 70°C. [12]

4.2.2. Componentes de un electrolizados y materiales utilizados

4.2.2.1. Recipiente de solución

El recipiente encargado de contener la solución debe estar construido de un material que no conduzca la electricidad para mantener la seguridad del usuario. Además, que debe soportar temperaturas de hasta 90°C y se debe tener en cuenta que debe contar con un costo de producción accesible.

Se ha tenido en cuenta como materiales a ser comparados los cerámicos y los vidrios. A continuación, se presentan las diferentes propiedades de los materiales previamente mencionados.

a) Cerámicos:

Se puede decir que la definición amplia de materiales cerámicos son sólidos inorgánicos no metálicos producidos por tratamiento térmico. En comparación con los metales y plásticos, son duros, no inflamables y no oxidables, y pueden usarse en ambientes de alta temperatura, corrosivos y de fricción. En este entorno, muchas cerámicas exhiben buenas propiedades electromagnéticas, ópticas y mecánicas. La característica básica del término "material" incluye que se le pueda dar una forma con un cierto tamaño. [13]

b) Vidrio:

Materiales cerámicos amorfos, desde la fusión y enfriamiento rápido de materiales inorgánicos hasta un estado rígido (estructura amorfa e isotrópica). Se obtiene a partir de la sílice al incluir otros óxidos en su estructura. Una vez que se derrite, el vidrio se calienta fácilmente y se pueden obtener diferentes productos. Las gafas permiten que pase hasta el 90% de la radiación solar, por lo que son transparentes a la luz visible y a la radiación infrarroja de onda corta. [14]

4.2.2.2. Ánodo y Cátodo:

Estos componentes del electrolizador serán expuestos a procesos de oxidación, además de que deben contar con un gran nivel de conducción eléctrica. Por lo tanto, se considera el acero inoxidable como la principal opción, a continuación, se presentará las características del acero inoxidable y sus diferentes tipos, que cuentan con propiedades distintas cada una.

Acero Inoxidable:

La mayoría de los metales se oxidarán, por ejemplo, la plata se volverá negra, el aluminio se volverá blanco, el cobre se volverá verde y, por lo general, el acero se volverá rojo. En el caso del acero, el hierro presente se combina con el oxígeno del aire para formar óxido de hierro u "herrumbre". A principios del siglo XX, algunos metalúrgicos descubrieron que el contenido de cromo agregado al acero no superaba el 10% y no se oxidaría en condiciones normales. La razón es que el cromo tiende a combinarse primero con el oxígeno en el aire, formando así una película transparente de óxido de cromo en la superficie del acero y evitando una mayor oxidación del acero inoxidable. Esta película se llama capa pasiva. En caso de daño mecánico o químico, la membrana se reparará automáticamente en presencia de oxígeno. El acero inoxidable es esencialmente un acero con bajo contenido de carbono que contiene al menos aproximadamente un 10,5% en peso de cromo, lo que lo convierte en un material resistente a la corrosión.

Clasificación de los aceros inoxidables:

El acero inoxidable se puede dividir en cinco categorías. Cuatro de ellos corresponden a la estructura cristalina específica formada en la aleación: austenita, ferrita, martensita y dúplex (austenita más ferrita); y el quinto son las aleaciones de endurecimiento por precipitación, que está basado en el tipo de tratamiento térmico utilizado en lugar de la estructura cristalina.

a) Aceros Inoxidables Martensíticos:

Los martensíticos son básicamente una aleación de cromo y carbono. El contenido de cromo es generalmente del 10,5 al 18% y el contenido de carbono es muy alto, alcanzando valores tan altos como el 1,2%.

b) Aceros Inoxidables Ferríticos:

Los ferríticos son básicamente una aleación de cromo. El contenido de cromo suele ser del 10,5% al 30%, pero el contenido de carbono limitado es de aproximadamente el 0,08%. Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que promueven diferentes propiedades.

c) Aceros Inoxidables Austeníticos:

Los austeníticos se obtienen agregando elementos formadores de austenita como níquel, manganeso y nitrógeno. El contenido de cromo suele ser del 16 al 26% y el de carbono del 0,03 al 0,08%. En varios ambientes, el cromo es resistente a la oxidación a una temperatura de alrededor de 650°C.

d) Aceros Inoxidables Dúplex:

El contenido de cromo del dúplex es del 18 al 26% y el contenido de níquel es del 4,5 al 6,5%. La adición de los elementos nitrógeno, molibdeno, cobre, silicio y tungsteno confiere ciertas propiedades de resistencia a la corrosión.

e) Aceros Inoxidables Endurecibles Por Precipitación:

Cuando se requieren altas propiedades mecánicas y trabajabilidad, esta serie puede reemplazar el acero inoxidable austenítico. Son aleaciones de hierro-cromo-níquel, que se caracterizan por la resistencia mecánica obtenida por endurecimiento por tratamiento térmico de envejecimiento. El acero endurecible por precipitación ha sido patentado y generalmente se designa con la abreviatura de la empresa fabricante.

4.2.2.3. Electrolito:

Existen 2 electrolitos que son utilizados de forma recurrente, estos son el hidróxido de potasio (KOH) y el hidróxido de sodio (NaOH). La función de este componente es de brindarle propiedades de conducción eléctrica al agua destilada, esta será la solución que será utilizada para la electrolisis del agua. A continuación, se presentarán las propiedades de los 2 diferentes hidróxidos que luego serán evaluados para escoger el más adecuado.

a) Hidróxido de Sodio:

El hidróxido de sodio es un hidróxido de metal alcalino fuerte en forma sólida de color blanco. El hidróxido de sodio está disponible comercialmente en forma de gránulos, escamas, gránulos y solución acuosa saturada al 50% (p / p). El hidróxido de sodio se denomina "sosa cáustica" en aplicaciones industriales. Es muy soluble en agua, parcialmente soluble en etanol y metanol e insoluble en disolventes no polares. Cuando el hidróxido de sodio sólido se disuelve en agua, libera mucho calor. Esto se debe a que es una reacción altamente exotérmica.

b) Hidróxido de Potasio:

El hidróxido de potasio es un compuesto de metal inorgánico con la fórmula química KOH, también conocido como "potasio cáustico". Para los químicos, esta es una base valiosa y poderosa y tiene muchas aplicaciones industriales. El compuesto está disponible comercialmente en forma de partículas de color amarillo pálido o blanco. Es muy pegajoso cuando absorbe agua porque es muy higroscópico y difícil de deshidratar.

Similar al NaOH, una solución de KOH en agua producirá una reacción exotérmica. La solución de hidróxido de potasio de alta concentración es extremadamente peligrosa. Incluso la concentración más baja (0,5%) puede irritar la piel, mientras que las concentraciones superiores al 2,0% son corrosivas.

4.2.2.4. Cúpula de recepción de hidrógeno

Para esta cúpula de recepción se necesitan materiales ligeros y no porosos, puestos que se utilizaran para recibir el hidrógeno en forma gaseosa que es obtenido en la solución mediante la electrolisis.

Las condiciones a las cuales se verá expuesta esta cúpula de recepción son similares a las del recipiente que contendrá la solución por lo tanto los posibles materiales son los mismos.

4.2.3. Leyes de Faraday en electrólisis:

1. Primera ley de Faraday en electrólisis:

La masa de la sustancia depositada en el electrodo durante la electrólisis es proporcional a la cantidad de electricidad transferida al electrodo. La electricidad se refiere a la cantidad de carga eléctrica, generalmente en culombios.

2. Segunda Ley de Faraday en electrólisis:

Para una determinada cantidad de electricidad (carga), la masa depositada de la sustancia química en el electrodo es proporcional al equivalente del elemento. El peso equivalente de una sustancia es su masa molar dividida por un número entero, que depende de la reacción que tenga lugar en el material, y el número representa el número de moles de electrones que juegan un papel en la reacción de reducción de óxido.

4.2.3.1. Ley de Faraday aplicada:

La densidad utilizada en el proceso de electrólisis es un parámetro clave en la operación porque determina directamente la cantidad de hidrógeno obtenido. La siguiente ecuación ilustra la relación entre el hidrógeno producido y la corriente utilizada en el proceso electroquímico:

$$H_{2prod.} = \left(\frac{M}{F \cdot z}\right) I \quad (4.1)$$

Donde:

$H_{2\text{prod.}}$ = Hidrogeno producido

M = Peso molecular

F = Contante de Faraday (96.500 C/mol)

z = Numero de electrones involucrados

I = Corriente aplicada

Se puede apreciar que la cantidad de hidrógeno producido depende directamente de la corriente aplicada.

4.2. Parque automotor del Perú:

Hasta 2013, el volumen de importación de automóviles nuevos ha ido en aumento, pero a partir de 2014, el volumen de importación ha disminuido. El año pasado, debido al aumento del impuesto selectivo al consumo (ISC) de la nueva unidad, ingresaron alrededor de 176.561 automóviles.

La congestión se produce porque tenemos pocas carreteras e infraestructura vial subdesarrollada, además, desde 1991 se implementaron los regímenes de Ceticos y Zofratacna, que permiten el ingreso de vehículos usados y averiados.

Casi 800.000 unidades han entrado en este estado. Hace cinco años, la edad promedio de nuestra flota era de 16 años, ahora tiene alrededor de 13.6 años, que es de 10.7 habitantes por vehículo en circulación (1.9 millones de autos y 31 millones de peruanos). En Argentina, México y Chile, el promedio de residentes por vehículo está entre 3 y 3.3.

Debido a la congestión ardiente, la infraestructura vial sin desarrollar ha causado pérdidas a nuestro país (\$ / 10 mil millones). Nuestra tasa de renovación es del 5,5% en lugar del 10%. [15]

Tabla 3. Registro de bienes inmuebles inscritos en la SUNARP Periodo 2019

| DEPARTAMENTOS | Ene-19 | Feb-19 | Mar-19 | Abr-19 | May-19 | Jun-19 | Jul-19 | Ago-19 | Set-19 | Oct-19 | Nov-19 | Dic-19 |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|---------------|----------------|
| AMAZONAS | 21 | 19 | 25 | 22 | 31 | 23 | 26 | 36 | 16 | 33 | 19 | 24 |
| ANCASH | 228 | 237 | 270 | 230 | 214 | 245 | 261 | 243 | 297 | 280 | 239 | 249 |
| APURIMAC | 33 | 29 | 47 | 43 | 52 | 43 | 33 | 32 | 50 | 33 | 15 | 34 |
| AREQUIPA | 1,131 | 1,023 | 1,137 | 1,141 | 1,150 | 1,076 | 1,071 | 874 | 1,195 | 1,286 | 1,225 | 1,011 |
| AYACUCHO | 1 | 23 | 28 | 22 | 42 | 18 | 26 | 38 | 38 | 37 | 20 | 9 |
| CAJAMARCA | 359 | 423 | 277 | 352 | 432 | 406 | 641 | 598 | 561 | 540 | 523 | 499 |
| CUSCO | 628 | 556 | 401 | 441 | 275 | 248 | 467 | 457 | 618 | 517 | 728 | 578 |
| HUANCAVELICA | 0 | 4 | 1 | 0 | 5 | 1 | 4 | 5 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| HUANUCO | 145 | 117 | 108 | 152 | 146 | 165 | 207 | 158 | 240 | 295 | 301 | 320 |
| ICA | 131 | 108 | 114 | 155 | 168 | 181 | 194 | 208 | 163 | 176 | 185 | 150 |
| JUNIN | 361 | 303 | 346 | 326 | 338 | 306 | 378 | 385 | 440 | 497 | 447 | 519 |
| LA LIBERTAD | 761 | 835 | 843 | 868 | 902 | 819 | 916 | 0 | 811 | 893 | 847 | 823 |
| LAMBAYEQUE | 1,118 | 1,004 | 801 | 929 | 1,089 | 1,022 | 903 | 1,014 | 1,025 | 1,143 | 1,056 | 1,047 |
| LIMA | 7,008 | 7,478 | 7,968 | 7,985 | 9,409 | 8,642 | 9,240 | 8,462 | 9,338 | 9,951 | 8,458 | 8,429 |
| LORETO | 13 | 9 | 22 | 9 | 20 | 8 | 19 | 18 | 26 | 41 | 40 | 43 |
| MADRE DE DIOS | 15 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 33 | 16 | 11 | 8 | 5 | 36 |
| MOQUEGUA | 70 | 49 | 66 | 77 | 72 | 68 | 76 | 73 | 68 | 65 | 56 | 66 |
| PASCO | 17 | 2 | 11 | 12 | 21 | 22 | 16 | 15 | 27 | 35 | 35 | 43 |
| PIURA | 383 | 358 | 324 | 448 | 539 | 452 | 528 | 557 | 561 | 587 | 543 | 439 |
| PUNO | 185 | 191 | 164 | 207 | 217 | 166 | 213 | 247 | 265 | 314 | 298 | 152 |
| SAN MARTIN | 126 | 64 | 274 | 120 | 84 | 81 | 120 | 963 | 110 | 145 | 159 | 133 |
| TACNA | 146 | 86 | 147 | 166 | 147 | 159 | 141 | 184 | 223 | 214 | 207 | 183 |
| TUMBES | 20 | 21 | 40 | 25 | 16 | 20 | 30 | 25 | 36 | 34 | 20 | 12 |
| UCAYALI | 29 | 8 | 54 | 28 | 24 | 27 | 31 | 45 | 17 | 41 | 36 | 60 |
| TOTAL | 12,929 | 12,950 | 13,468 | 13,758 | 15,395 | 14,200 | 15,574 | 14,653 | 16,138 | 17,167 | 15,466 | 14,863 |
| NOTA: Las cifras del departamento de Lima han sido consolidadas con las cifras de la Provincia Constitucional del Callao | | | | | | | | | | TOTAL, AÑO 2019 | | 176,561 |

Fuente: SUNARP

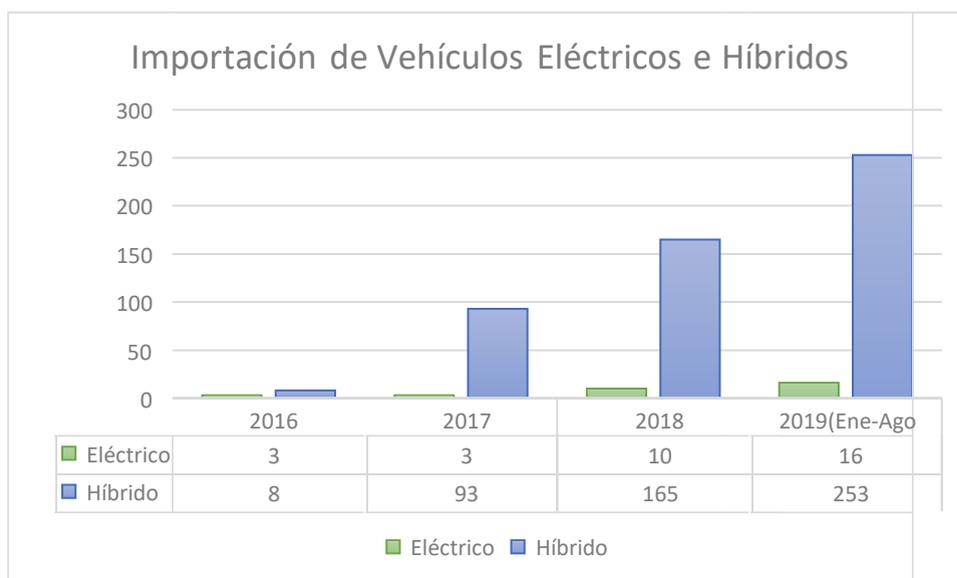
Elaboración: SUNARP

4.2.3. Situación de los vehículos eléctricos e híbridos en el Perú:

Según los datos disponibles, en Perú se importaron 175 vehículos eléctricos e híbridos en 2018, cifra muy superior al récord de años anteriores. Asimismo, en los ocho primeros meses de 2019 se importaron 269 vehículos de este tipo, más de un 50% más que el total de 2018. En los próximos años, se espera que el número de vehículos importados aumente significativamente y cada vez a un ritmo mayor. Lo que implica mucha inversión. Sin embargo, una cuestión a tener en cuenta es que los precios de este tipo de vehículos siguen siendo elevados y, como mencionamos, estos precios se reducirán en los próximos años. Para ello, se deben formular regulaciones, tarifas e incentivos fiscales, que son similares a otros países y los discutiremos en el siguiente apartado. [16]

Ilustración 3. Importación de Vehículos Eléctricos e Híbridos

Periodo 2018 – agosto 2019



Fuente: SUNAT

Elaboración: Propia

4.3. Definición de términos básicos:

Electrólisis aplicada a la generación de hidrógeno:

La electrólisis permite obtener hidrógeno y oxígeno a través de un proceso electroquímico, obteniendo así HHO. Las características moleculares del HHO pueden reducir los gases tóxicos al medio ambiente y ahorrar combustible de hidrocarburos en los motores de combustión interna. [17]

Celda de combustible:

Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico que puede convertir directamente la energía química en una reacción en energía eléctrica. Por ejemplo, puede combinar electroquímicamente hidrógeno y oxígeno sin combustión para generar electricidad. Estas baterías no se agotan como las baterías y no es necesario recargarlas, porque mientras proporcionen combustible, generarán energía en forma de electricidad y calor. De hecho, la corrosión y la degradación de los materiales y componentes de la batería pueden limitar su vida útil. [18]

Vehículos eléctricos alimentados por hidrógeno:

Los coches de hidrógeno utilizan motores eléctricos para funcionar, por lo que también se consideran coches eléctricos. Al citarlos, la abreviatura FCEV se usa generalmente para "Vehículo eléctrico de celda de combustible" (Fuel Cell en inglés), y lo opuesto a BEV es "Vehículo eléctrico de batería".

La diferencia fundamental con otros vehículos eléctricos es que los vehículos de hidrógeno generan electricidad por sí mismos. No obtienen energía de una batería integrada, al igual que los vehículos eléctricos o híbridos enchufables que se pueden cargar desde una fuente de energía externa. Por el contrario, los coches de hidrógeno llevan sus propias plantas de energía de alta eficiencia en forma de pilas de combustible. [19]

VI. DISEÑO METODOLOGICO

5.1. Nivel de investigación

5.1.1. Tipo y diseño de la investigación

Esta investigación es del tipo aplicada dado que se emplearán ciertos conocimientos adquiridos con anterioridad para ser aplicados en los diferentes objetivos planteados con el fin de obtener su solución.

5.1.2. Según el nivel de profundización en el objetivo de estudio

Esta tesis tiene un alcance descriptivo y exploratorio porque se describirá el funcionamiento completo del electrolizador y se explorarán diferentes alternativas de modelos y materiales.

5.1.3. Según el grado de manipulación de las variables

Consistirá en una investigación no experimental.

5.2. Población y muestra de estudio

La unidad de estudio es el electrolizador y la población serán todos los diferentes maquinas generadoras de hidrógeno que existen en el mercado.

5.3. Variables operacionales

Tabla 4. Variables Operacionales

| VARIABLES | DEFINICION CONCEPTUAL | DEFINICION OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ITEMS |
|---|---|---|-------------------------------------|---|--|
| Variable independiente Diseño de una máquina generadora de hidrógeno. | Máquina que genera hidrógeno mediante la aplicación de energía eléctrica a una mezcla de agua con electrolitos. | Diseño de una máquina que pueda generar hidrógeno a partir del proceso de electrólisis, siendo esta de bajo costo, segura y accesible. | Estabilidad por rigidez. | Esfuerzos | N/m ² |
| | | | | Desplazamientos | mm |
| | | | | Energía de deformación | |
| | | | | Factor de seguridad | |
| Variable dependiente Producción de hidrógeno mediante electrólisis | Es la cantidad de hidrógeno producido después del proceso de electrólisis aplicado en la mezcla. | El diseño de la máquina permitirá la generación de hidrógeno a partir del proceso de electrólisis utilizando la menor cantidad de mezcla. | Capacidad volumétrica del reactivo. | Cantidad de mezcla en la máquina. | Litros de reactivo |
| | | | Producción de hidrógeno. | Cantidad de hidrógeno producido por unidad de solución. | M ³ de Hidrógeno / Litro de mezcla. |
| | | | | Cantidad de hidrogeno obtenido por unidad de tiempo. | M ³ de Hidrógeno / Minuto. |

Elaboración: Propia

VII. DESARROLLO

6.1. Determinación de la situación actual del parque automotor peruano

Como se ha detallado ya la cantidad de vehículos convencionales inscritos el año 2019 en la SUNARP es de 176561 vehículos, esta cantidad es mucho mayor que la cantidad de vehículos eléctricos e híbridos importados ese mismo año.

A continuación, se mostrará un gráfico donde se realiza una comparación entre los vehículos inscritos y los vehículos eléctricos e híbridos importados en el año 2019.

Ilustración 4. Comparación vehículos convencionales inscritos y vehículos eléctricos e híbridos importados en el año 2019



Fuente: SUNARP, SUNAT.

Elaboración: Propia

Este gráfico demuestra la gran falta de vehículos no convencionales en el parque automotor en el Perú. Una de las principales causas es que no se cuenta con la infraestructura que permita el funcionamiento continuo de estos vehículos.

Este punto en específico es donde el electrolizador interviene generando un impacto positivo, permitiendo la apertura del parque automotor peruano a los vehículos no convencionales brindado la disponibilidad del hidrógeno como combustible a ser utilizado.

6.2. Matriz morfológica y selección tentativa de los materiales:

6.2.1. Matriz morfológica:

En la siguiente matriz morfológica se mostrará lo que será la idea del diseño del electrolizador:

Tabla 5. Matriz morfológica del electrolizador

| MATRIZ MORFOLÓGICA | | | |
|---|---|--|---|
| DISEÑO DE MAQUINA GENERADORA DE HIDRÓGENO | | | |
| PARTES | ELEMENTOS | | |
| | A | B | C |
| Fuente de Poder |  |  | |
| Recipiente de solución |  |  | |
| Electrodos |  |  |  |
| Cúpula de recepción |  |  | |

Elaboración: Propia

6.2.1.1. Descripción de las diferentes alternativas de diseño

Una vez realizada la matriz morfológica y se han establecido las diferentes posibilidades que existen de diseños se procede a realizar una descripción de estas.

a) Alternativa 1 (Línea Azul):

En la primera alternativa se utiliza una fuente de poder que convierte la corriente alterna a corriente continua utilizando un voltaje y corriente único. Esta fuente de poder se conectará a las placas de acero inoxidable que funcionan como ánodo y cátodo, estos se encuentran en el recipiente de forma ovoide que contendrá a la solución. Una vez el recipiente cuente con la solución y la fuente de poder esté funcionando comenzará el proceso de electrolisis donde el hidrogeno se empezará generar en el cátodo. La cúpula en forma de tubo que está ubicada por encima del cátodo se encargara de recibir el hidrógeno producido en forma de gas.

Desventajas: La fuente de poder limita a una sola posibilidad de diferencia de potencial y corriente, las placas de acero por su forma impiden el correcto funcionamiento en relación con el recipiente en forma ovoide y con la cúpula de recepción que cuenta con forma de tubo.

b) Alternativa 2 (Línea Amarilla):

En la segunda alternativa se utiliza una fuente de poder que convierte la corriente alterna a corriente continua utilizando un voltaje y corriente único. Esta fuente de poder se conectará a los tornillos de acero inoxidable que funcionan como ánodo y cátodo, estos se encuentran en el recipiente de forma cubica que contendrá a la solución. Una vez el recipiente cuente con la solución y la fuente de poder esté funcionando comenzará el proceso de electrolisis donde el hidrogeno se empezará generar en el cátodo. La cúpula en forma de tubo que está ubicada por encima del cátodo se encargara de recibir el hidrógeno producido en forma de gas.

Desventajas: La fuente de poder nos limita a una sola posibilidad de voltaje y corriente.

c) Alternativa 3 (Línea Verde):

En la tercera alternativa se utiliza una fuente de poder que convierte la corriente alterna a corriente continua con la posibilidad de tener diferentes combinaciones de voltaje y corriente. Esta fuente de poder se conectará a los clavos de acero inoxidable que funcionan como ánodo y cátodo, estos se encuentran en el recipiente de forma ovoide que contendrá a la solución. Una vez el recipiente cuenta con la solución y la fuente de poder esté funcionando comenzará el proceso de electrolisis donde el hidrogeno se empezará generar en el cátodo. La cúpula en forma de domo que está ubicada por encima del cátodo se encargara de recibir el hidrógeno producido en forma de gas.

Desventajas: La fuente de poder lleva un uso más complejo puesto que necesita un conocimiento previo sobre el funcionamiento de una fuente de poder de este tipo, los clavos de acero tendrían que ser soldados en el recipiente lo que complicaría el reemplazo de estos en el caso de una renovación de electrodos y además que por su forma puntiaguda podría quebrar la cúpula de recepción que cuenta con una altura baja debido a su forma de domo.

d) Alternativa 4 (Línea Naranja):

En la tercera alternativa se utiliza una fuente de poder que convierte la corriente alterna a corriente continua con la posibilidad de tener diferentes combinaciones de voltaje y corriente. Esta fuente de poder se conectará a las placas de acero inoxidable que funcionan como ánodo y cátodo, estos se encuentran en el recipiente de forma cubica que contendrá a la solución. Una vez el recipiente cuenta con la solución y la fuente de poder esté funcionando comenzará el proceso de electrolisis donde el hidrogeno se empezará generar en el cátodo. La cúpula en forma de domo que está ubicada por encima del cátodo se encargara de recibir el hidrógeno producido en forma de gas.

Desventajas: La fuente de poder lleva un uso más complejo puesto que necesita un conocimiento previo sobre el funcionamiento de una fuente de poder de este tipo, las placas de acero por su forma ocuparían un gran espacio en el recipiente y presentaría un gran problema con respecto a la cúpula de recepción, puesto que las placas no cabrían dentro de las cúpulas de recepción en forma de domo.

6.2.1.2. Matriz de evaluación del diseño del electrolizador

Una vez descrito la alternativa de la matriz morfológica y expuesta sus desventajas se procede a realizar una matriz de evaluación para escoger el modelo óptimo para el electrolizador.

Tabla 6. Matriz de evaluación del diseño del electrolizador

| Evaluación: Diseño del electrolizador | | | | | | | | | | | | |
|---|--|----|-------------------------------|----|-----------------------------------|----|--------------------------------|----|----------------------------------|----|----------------------|-----|
| P: Puntaje | | | | | | | | | | | | |
| 1=Muy bajo 2=Bajo 3=Medio 4=Alto 5=Muy Alto | | | | | | | | | | | | |
| Pc: Ponderación de criterio | | | | | | | | | | | | |
| Variantes de evaluación | | | Alternativa 1 (Línea Azul) | | Alternativa 2 (Línea Amarilla) | | Alternativa 3 (Línea Verde) | | Alternativa 4 (Línea Naranja) | | Alternativa Ideal | |
| N° | Criterios de evaluación | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc |
| 1 | Económico | 5 | 5 | 25 | 5 | 25 | 2 | 10 | 2 | 10 | 5 | 25 |
| 2 | Funcionamiento conjunto de las partes | 5 | 2 | 10 | 4 | 20 | 3 | 15 | 2 | 10 | 5 | 25 |
| 3 | Disponibilidad de piezas en el mercado | 5 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 |
| 4 | Facilidad de uso | 5 | 4 | 20 | 4 | 20 | 3 | 15 | 3 | 15 | 5 | 25 |
| PUNTAJE | | 20 | 16 | 80 | 18 | 90 | 13 | 65 | 12 | 60 | 20 | 100 |
| Orden de Selección | | - | 2 | | 1 | | 3 | | 4 | | - | |

Elaboración: Propia

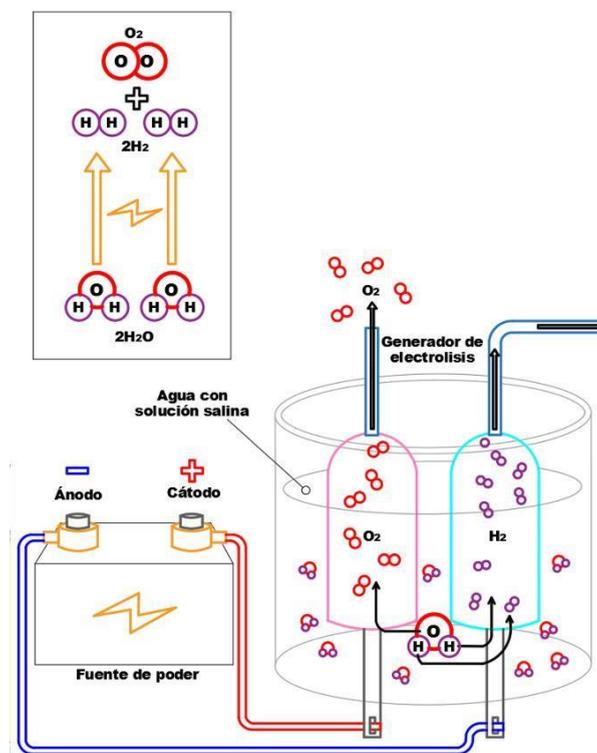
6.2.2. Selección tentativa de los materiales del electrolizador:

El electrolizador cuenta con diferentes elementos los cuales pueden ser de diferentes materiales, estos necesitan ser evaluados para escoger la mejor alternativa que sea atractiva tanto en su funcionamiento como en su precio. A continuación, se enlistarán los elementos del electrolizador que serán evaluados:

- Recipiente de Solución
- Ánodo y Cátodo
- Electrolito
- Cúpula de recepción de Hidrógeno

A continuación, se presenta un diagrama del funcionamiento:

Ilustración 5. Diagrama de funcionamiento del electrolizador



6.2.2.1. Comparación entre candidatos de recipiente de solución:

Una vez presentadas las propiedades de los cerámicos y los vidrios se procede a realizar una matriz de evaluación para la elección apropiada del material a utilizar para el recipiente de solución.

Tabla 7 Matriz de evaluación de recipiente de solución

| Evaluación: Material a utilizar para recipiente de solución | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|----|-----------|------|--------|------|-------------------|----|
| P: Puntaje | | | | | | | | |
| 1=Muy bajo 2=Bajo 3=Medio 4=Alto 5=Muy Alto | | | | | | | | |
| Pc: Ponderación de criterio | | | | | | | | |
| Variantes de evaluación | | | Cerámicos | | Vidrio | | Alternativa Ideal | |
| Nº | Criterios de evaluación | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc |
| 1 | Aislamiento térmico | 5 | 5 | 25 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| 2 | Aislamiento eléctrico | 5 | 4 | 20 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| 3 | Resistencia a agentes químicos | 5 | 4.5 | 22.5 | 3.5 | 17.5 | 5 | 25 |
| 4 | Resistencia a la fractura | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 3 | 9 |
| PUNTAJE | | 18 | 14.5 | 70.5 | 12.5 | 60.5 | 18 | 84 |
| Orden de Selección | | - | 1 | | 2 | | - | |

Fuente: [13] [14]

Elaboración: Propia

Una vez realizada la matriz de evaluación donde comparamos los cerámicos con los vidrios se obtuvo que los materiales a ser utilizados serán los cerámicos. En específico la porcelana puesto que presenta las mejores características entre su clase: Una alta resistencia a la temperatura, un buen aislamiento eléctrico y resistencia a los agentes químicos.

6.2.2.2. Comparación entre candidatos para ánodos y cátodos del electrolizador:

Entre los diferentes tipos de aceros inoxidable presentados anteriormente se han considerado los martensíticos, ferríticos y austeníticos como candidatos para ser los materiales utilizados como ánodos y cátodos. A continuación, se presentará la matriz de ponderación donde se evaluarán diferentes aspectos y propiedades de estos aceros, comparándolos con un candidato ideal. El material que más se acerque a la alternativa ideal será el escogido como acero inoxidable escogido.

Tabla 8. Matriz de evaluación Aceros inoxidables

| Evaluación: Acero Inoxidable a utilizar en el ánodo y cátodo | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|----|----------------------------------|----|-------------------------------|----|---------------------------------|----|-------------------|----|
| P: Puntaje | | | | | | | | | | |
| 1=Muy bajo 2=Bajo 3=Medio 4=Alto 5=Muy Alto | | | | | | | | | | |
| Pc: Ponderación de criterio | | | | | | | | | | |
| Variantes de evaluación | | | Aceros Inoxidables Martensíticos | | Aceros Inoxidables Ferríticos | | Aceros Inoxidables Austeníticos | | Alternativa Ideal | |
| N° | Criterios de evaluación | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc |
| 1 | Resistencia a la corrosión | 5 | 2 | 10 | 3 | 15 | 5 | 25 | 5 | 25 |
| 2 | Dureza | 3 | 3 | 9 | 2 | 6 | 3 | 9 | 3 | 9 |
| 3 | No Magnéticos | 5 | 2 | 10 | 2 | 10 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| 4 | Endurecibles por tratamiento térmico | 3 | 3 | 9 | 1 | 3 | 1 | 3 | 3 | 9 |
| 5 | Soldabilidad | 3 | 1 | 3 | 2 | 6 | 3 | 9 | 3 | 9 |
| PUNTAJE | | 19 | 11 | 41 | 10 | 40 | 16 | 66 | 19 | 77 |
| Orden de Selección | | - | 2 | | 3 | | 1 | | - | |

Fuente: [20]

Elaboración: Propia

Una vez realizada la matriz de evaluación de los diferentes tipos de acero inoxidable y se ha definido que el material escogido será un acero inoxidable austenítico se procede a realizar una nueva matriz de evaluación en donde se compararan 3 diferentes tipos de aceros inoxidables austeníticos.

a) Acero Inoxidable 304:

Es versátil y tiene características adecuadas para un gran número de aplicaciones. Se recomienda para estructuras soldadas ligeras que requieren una buena resistencia a la corrosión. Tiene buen comportamiento a alta temperatura (800 a 900°C) y tiene buenas propiedades mecánicas. Se recomienda su uso al soldar materiales de alto espesor. Algunas aplicaciones son equipos de procesamiento químico, accesorios de aviones, remaches, equipos hospitalarios, etc.

b) Acero Inoxidable 309:

Tienen alta resistencia mecánica, tenacidad y excelente resistencia a la oxidación a temperaturas de hasta 1000 ° C. Calentadores de aire, equipos de procesamiento químico, partes de quemadores de turbinas de gas e intercambiadores de calor son las aplicaciones más comunes de este tipo de acero.

c) Acero Inoxidable 316:

Resistente a diversos productos químicos corrosivos, ácidos y atmósferas salinas y alcalinas. Se utiliza para decoración arquitectónica, equipos de procesamiento de alimentos, productos farmacéuticos, fotografía, textiles, etc.

A continuación, se muestra la matriz de evaluación de los aceros inoxidable nombrados anteriormente.

Tabla 9. Matriz de evaluación Aceros Inoxidables Austeníticos

| Evaluación: Acero Inoxidable Austeníticos a utilizar en el ánodo y cátodo | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|----|----------------------------|----|----------------------------|------|----------------------------|------|-------------------|----|
| P: Puntaje | | | | | | | | | | |
| 1=Muy bajo 2=Bajo 3=Medio 4=Alto 5=Muy Alto | | | | | | | | | | |
| Pc: Ponderación de criterio | | | | | | | | | | |
| Variantes de evaluación | | | Aceros Inoxidable AISI 304 | | Aceros Inoxidable AISI 309 | | Aceros Inoxidable AISI 316 | | Alternativa Ideal | |
| N° | Criterios de evaluación | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc |
| 1 | Resistencia a la corrosión | 5 | 3 | 15 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 |
| 2 | Dureza | 3 | 3 | 9 | 2.5 | 7.5 | 2.5 | 7.5 | 3 | 9 |
| 3 | No Magnéticos | 5 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 | 5 | 25 |
| 4 | Económico | 4 | 4 | 16 | 4 | 16 | 1 | 4 | 4 | 16 |
| 5 | Soldabilidad | 4 | 4 | 16 | 4 | 16 | 4 | 16 | 4 | 16 |
| PUNTAJE | | 21 | 19 | 81 | 20.5 | 89.5 | 17.5 | 77.5 | 21 | 91 |
| Orden de Selección | | - | 2 | | 1 | | 3 | | - | |

Fuente: [21]

Elaboración: Propia

Una vez realizada la matriz de evaluación de los aceros inoxidable austeníticos comparando aspectos como la resistencia a la corrosión, su soldabilidad y su precio, etc. Se llegó a la conclusión que se utilizará el acero inoxidable 309 para el ánodo y cátodo del electrolizador.

6.2.2.3. Comparación entre candidatos para electrolito de electrolizador:

Una vez presentadas las propiedades del hidróxido de potasio (KOH) y del hidróxido de sodio (NaOH) se procede a realizar la matriz de evaluación que nos permitirá obtener el material más adecuado para ser utilizado como electrolito.

Tabla 10. Matriz de evaluación de electrolito a utilizar.

| Evaluación: Electrolito a utilizar en la electrólisis | | | | | | | | |
|---|-------------------------|----|----------------------|----|--------------------|----|-------------------|-----|
| P: Puntaje | | | | | | | | |
| 1=Muy bajo 2=Bajo 3=Medio 4=Alto 5=Muy Alto | | | | | | | | |
| Pc: Ponderación de criterio | | | | | | | | |
| Variantes de evaluación | | | Hidróxido de Potasio | | Hidróxido de Sodio | | Alternativa Ideal | |
| N° | Criterios de evaluación | Pc | P | Pc | P | Pc | P | Pc |
| 1 | Conductividad Eléctrica | 5 | 5 | 25 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| 2 | Solubilidad | 5 | 4 | 20 | 3 | 15 | 5 | 25 |
| 3 | Seguridad | 5 | 3 | 15 | 2 | 10 | 5 | 25 |
| 4 | Precio | 5 | 2 | 10 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| PUNTAJE | | 20 | 14 | 70 | 13 | 65 | 20 | 100 |
| Orden de Selección | | - | 1 | | 2 | | - | |

Fuente: [22]

Elaboración: Propia

Al realizarse la comparación utilizando una matriz de evaluación EL hidróxido de potasio obtuvo una puntuación de 70 siendo el más cercano al ideal. Por lo tanto, este será el empleado como electrolito.

6.2.2.4. Cúpula de recepción de hidrógeno

Al considerar que la cúpula de recepción estará expuesta a las mismas condiciones que el recipiente que sostendrá a la solución se decidió que el material será el mismo.

Esto quiere decir que el material utilizado en la cúpula de recepción será de porcelana por su ya mencionada resistencia térmica, aislamiento eléctrico y su resistencia con respecto a los agentes químicos.

6.3. Parámetros de funcionamiento de la maquina generadora de hidrógeno.

Dentro del cálculo de parámetros que se establecerán para el funcionamiento del electrolizador tenemos el voltaje, la corriente y la concentración de electrolito en la solución.

Además, se brindarán datos aproximados de la producción del hidrógeno en relación a la solución y en relación al tiempo, también una eficiencia aproximada.

Datos que serán corregidos mediante un estudio a un prototipo de la máquina.

6.3.1. Reacción Química

El proceso consiste en pasar una corriente eléctrica entre dos electrodos sumergidos en agua. El principio de electrólisis fue propuesto por primera vez por Michael Faraday en 1820.

La ecuación se expresa así:



Gracias a esta ecuación podemos deducir que por cada mol de agua en la solución se obtendrá un mol de hidrógeno y medio mol de oxígeno

6.3.2. Voltaje

El electrolizador cuenta con dos voltajes clave para su funcionamiento, el voltaje reversible y el voltaje termoneutral. El primero es el voltaje mínimo necesario para su funcionamiento y el segundo es el voltaje mínimo necesario cuando la única fuente de energía que ingresa es la eléctrica.

6.3.2.1. Voltaje Reversible

El voltaje reversible se define como el voltaje mínimo aplicado entre el ánodo y el cátodo requerido para que ocurra la electrólisis.

Desde un punto de vista termodinámico, el trabajo requerido para realizar el proceso a temperatura y presión constantes es igual al aumento de la energía libre de Gibbs (ΔG). Si la celda electrolítica utilizada solo puede intercambiar electricidad sin agregar calor, se verifica la siguiente

ecuación:

$$U_{rev} = \frac{\Delta G}{ZxF} \quad (6.1) \quad [23]$$

Donde:

U_{rev} = Voltaje reversible

ΔG = Energía libre de Gibbs

Z = Número de electrones transferidos

F = Constante de Faraday = 96.5C/mol

6.3.2.2. Voltaje Termoneutral

Cuando el proceso electrolítico se lleva a cabo bajo condiciones adiabáticas la entalpía total de la reacción es provista únicamente por la corriente eléctrica, al ocurrir esto la variación de entalpía permite definir el voltaje termoneutral en la siguiente ecuación:

$$U_{rev} = \frac{\Delta H}{ZxF} \quad (6.1) \quad [23]$$

Donde:

U_{rev} = Voltaje reversible

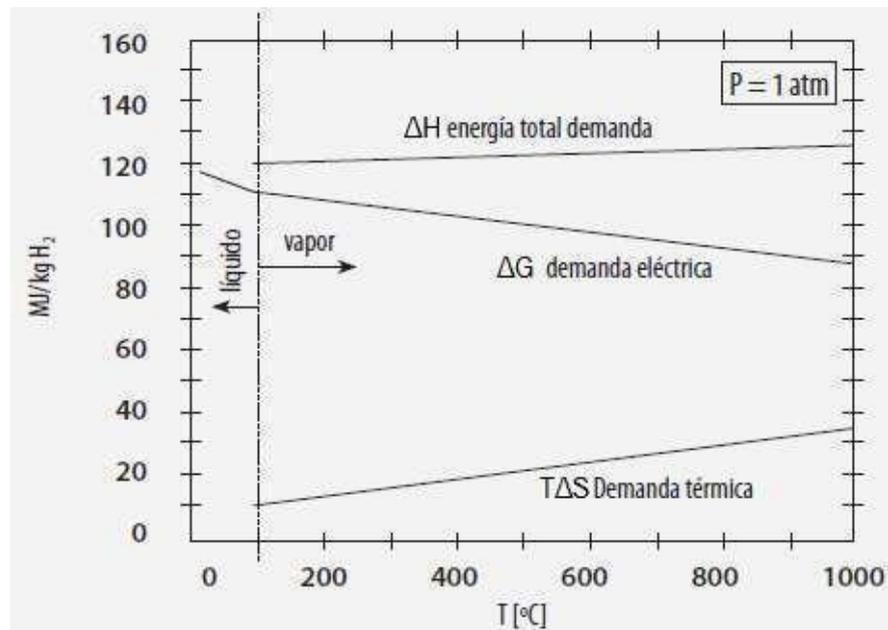
ΔH = Entalpía

Z = Número de electrones transferidos

F = Constante de Faraday = 96.5C/mol

En condiciones de equilibrio el voltaje termoneutral es 1.48 V. La diferencia de tensión el voltaje termoneutral y el voltaje reversible representa el sobrevoltaje mínimo necesaria para la separación del agua, en condiciones de equilibrio esa variación es de 0.25 V.

Ilustración 6 Demanda energética a presión y temperatura ambiente



Fuente [24]

6.3.2.3. Voltaje Real

Al ser el electrolizador de uso doméstico el voltaje que se maneja es pequeño, 12 V. Valor escogido puesto que es el voltaje donde se alcanza la máxima eficiencia según Díaz Lotero [25].

6.3.3. Corriente

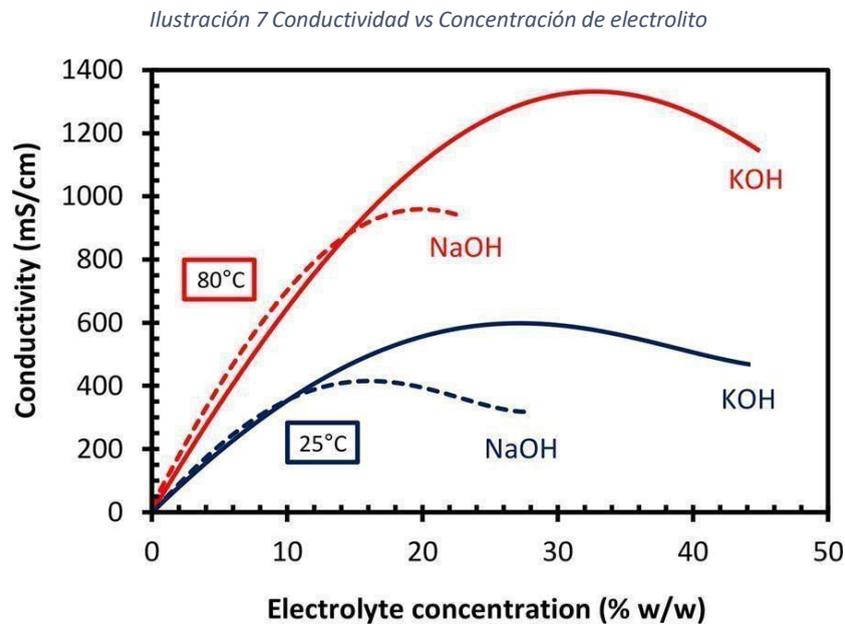
Al ser el electrolizador de uso doméstico la corriente que se maneja es pequeña, 2 A. Valor escogido puesto que es la corriente donde se alcanza la máxima eficiencia según Díaz Lotero [25].

6.3.4. Potencia

La máquina contará con una potencia mínima de 24 W.

6.3.5. Concentración de electrolito

El electrolito provee los iones responsables de la conductividad eléctrica en el electrolizador. En este caso, habiendo sido considerado el hidróxido de potasio (KOH) como electrolito la concentración comúnmente usada es de 30% a 35% (como se muestra en la Ilustración 7) puesto que de esta forma se minimizan las pérdidas por resistencia al flujo de corriente, además la conductividad aumenta a medida que aumenta la temperatura de trabajo (60°).



Fuente [23]

Se debe tener en consideración que la concentración de electrolitos aumenta a medida que la electrolisis ocurre, puesto que solo el agua y no el hidróxido de potasio se electroliza por lo que el agua debe ser suministrada continuamente durante el proceso.

6.3.6. Eficiencia energética

Debido a que para demostrar el verdadero valor de la eficiencia energética es necesario realizar el estudio del prototipo de la máquina se presentaran posibles valores basándonos en las eficiencias de los electrolizadores actuales en el mercado.

Tabla 11 Eficiencia energética de electrolizadores

| FABRICANTE: MODELO | Energía requerida por el sistema | HHV de Hidrógeno | Eficiencia del sistema | Presión de producción |
|----------------------------------|--|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| | kW-h/kg | kW-h/kg | % | psig |
| Stuart: IMET 1000 | 53,4 | 39 | 73 | 360 |
| Teledyne: EC-750 | 62,3 | 39 | 63 | 60 – 115 |
| Proton: HOGEN 380 | 70,1 | 39 | 56 | 200 |
| Norsk Hydro: Atmospheric 5040 | 53,5 | 39 | 73 | 435 |
| Avalance: Hydrofiller 175 | 60,5 | 39 | 64 | >10000 |

Fuente: National Renewable Energy Laboratory

Elaboración: Propia

Como se puede apreciar en la tabla 12 donde ha señalado las eficiencias energéticas de los diferentes electrolizadores se puede concluir que el valor de eficiencia mínima es del 56% mientras que el mayor es de 73% y obteniendo un valor promedio de 65,8%.

6.3.7. Producción de hidrógeno

La producción del hidrógeno por hora dicta la relación entre la potencia total del electrolizador y el consumo energético por litro. Esta relación queda especificada en la siguiente ecuación:

$$LPH = \frac{W_T}{C_l} = \frac{V_T A_T}{C_l} l \quad (6.3) \quad [26]$$

Donde:

LPH = Litros de hidrógeno producido por hora

W_T = Potencia Total

V_T = Voltaje Total

A_T = Corriente Total

C_l = Consumo energético por litro de H₂

Según Gámez Franco el consumo promedio por litro es de 2.75 Wh/l [26], por lo que tomaremos ese valor como C_l para efectos prácticos de cálculo.

6.3.7.1. Producción ideal de hidrógeno:

$$LPH = \frac{12V \times 2A}{2.75 \text{ Wh/l}}$$

$$LPH = \frac{24W}{2.75 \text{ Wh/l}}$$

$$LPH = 8.73 \text{ l/h}$$

Habiendo hallado los parámetros iniciales se halló la producción ideal de hidrógeno que es 8.73 litros por hora.

6.3.7.2. Producción real de hidrógeno:

Al haberse establecido la generación ideal de hidrógeno en el objetivo anterior (8.73 litros) se realiza una prueba en las condiciones de trabajo indicadas previamente.

Voltaje y Corriente:

Se utilizó una corriente de aproximadamente 2 A y un voltaje de 10 V, en la Ilustración 7 se muestra la corriente deseada y el voltaje aun regulándose para llegar al deseado.

Ilustración 8 Voltaje y Corriente de prueba



Concentración de electrolito y temperatura:

Se realizó la prueba con una duración de 30 minutos, en la que se utilizó una solución al 32% de KHO, alcanzando temperaturas de hasta 78.5°C (Ilustración 9).

Ilustración 9 Temperatura máxima de prueba



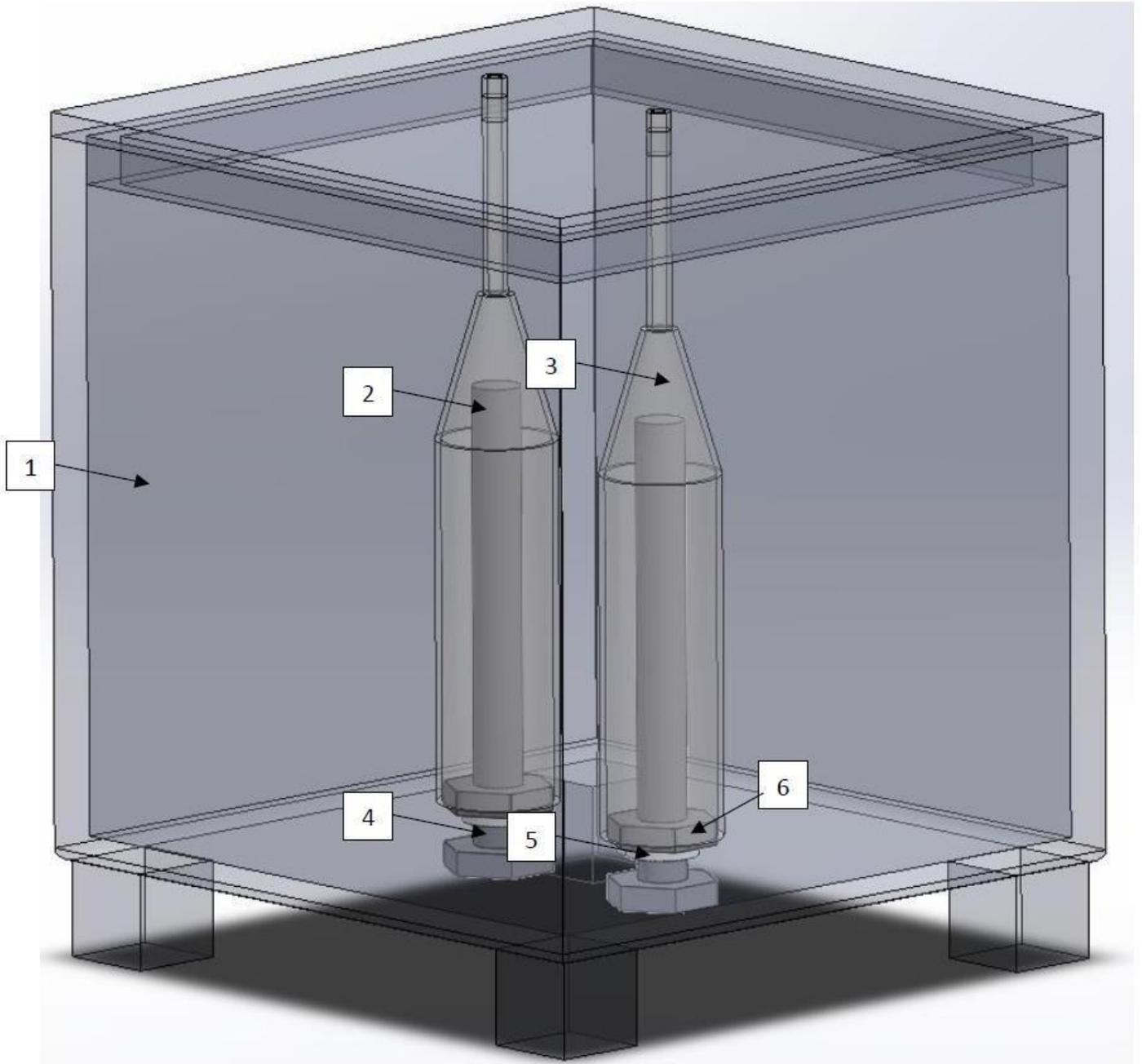
Los resultados mostraron que se produjo 2748 centímetros cúbicos de hidrogeno, es decir 2.748 litros. Obteniendo así 5.496 litros/hora.

6.4. Diseño de la máquina generadora de hidrógeno:

Una vez hallados los parámetros de funcionamiento de la maquina procedemos a realizar un diseño preliminar utilizando software CAD/CAE.

- 1) Recipiente: Como se puede apreciar en la imagen el recipiente que contendrá la solución es de forma cubica de medidas internas 28cmx28cmx28cm.
- 2) Ánodo y Cátodo: 2 tornillos de acero inoxidable AISI 309 que funcionan como ánodo y cátodo. 20 cm de longitud y 1 cm de diámetro.
- 3) Cúpulas de recepción: Cúpulas de 28 cm de longitud hechas de cerámica que se encargaran de recibir el hidrógeno producido por la electrolisis.
- 4) Conexión a la corriente: La parte inferior de los tornillos que se encuentra expuesta al ambiente será por donde se conecte a la fuente de alimentación.
- 5) Impermeabilización: En la parte interna de la maquina entre la tuerca y piso del recipiente se ubicará una arandela de jebe de caucho que impedirá la filtración de solución del recipiente al exterior.
- 6) Tuercas: 2 tuercas de acero inoxidable AISI 309 que se encargaran de mantener al ánodo y al cátodo en su posición.

Ilustración 10 Máquina generadora de Hidrógeno



Fuente: Propia

6.5. Autonomía brindada por la máquina generadora de hidrogeno al vehículo Hyundai NEXO Fuel Cell y costo de producción.

Una vez hallada la cantidad de hidrogeno producida por hora por parte de la máquina generadora de hidrógeno procedemos a realizar el cálculo de autonomía brindada hacia un vehículo eléctrico, específicamente el Hyundai NEXO Fuel Cell.

Este vehículo cuenta con un tanque de hidrógeno de 156.6 L. [29] por lo que podemos hallar cuanto tiempo de trabajo es necesario por parte del electrolizador para poder obtener una carga completa del tanque del Hyundai NEXO.

$$Tiempo = \frac{156.6L}{5.496L/h}$$

$$Tiempo = 28.49h$$

$$Tiempo = 28h29m24s$$

El electrolizador necesitara de un trabajo continuo de aproximadamente 28.5 horas para producir el hidrógeno necesario para obtener una carga llena en el vehículo.

El vehículo Hyundai NEXO Fuel Cell, gracias a la pila de combustible, rinde 611.55 Km [29] con el tanque lleno, esto quiere que decir que para un uso diario aproximado del vehículo (75 Km), se necesitara el uso de la máquina generadora de hidrógeno durante 3.5 horas.

Con respecto al costo monetario de la producción de hidrógeno, sabiendo que la potencia con la que cuenta es 24W y que al transformar CA en CC se tiene una pérdida de aproximadamente (25%), se puede hallar utilizando la siguiente forma.

$$Energía \left(\frac{kW}{h} \right) = (24W) / (0.75 * 1000)$$

$$Energía consumida = 0.32 \frac{kW}{h}$$

Una vez hallada la energía que consume la máquina, se aplica la tarifa BT5B (Ilustración 11)

Ilustración 11 Tarifa BT5B

| TARIFA BT5B | TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E | | |
|--------------------|---|--------------|-------|
| Residencial | a) Para usuarios con consumos menores o iguales a 100 kW.h por mes | | |
| | 0 - 30 kW.h | | |
| | Cargo Fijo Mensual | S./mes | 2.91 |
| | Cargo por Energía Activa | ctm. S./kW.h | 46.65 |
| | 31 - 100 kW.h | | |
| | Cargo Fijo Mensual | S./mes | 2.91 |
| | Cargo por Energía Activa - Primeros 30 kW.h | S./mes | 14.00 |
| | Cargo por Energía Activa - Exceso de 30 kW.h | ctm. S./kW.h | 62.20 |
| | b) Para usuarios con consumos mayores a 100 kW.h por mes | | |
| | Cargo Fijo Mensual | S./mes | 3.04 |
| | Cargo por Energía Activa | ctm. S./kW.h | 64.87 |

Fuente: OSINERMINING

Por lo que el gasto sería aproximadamente 1.5 soles por hora de uso.

VII. CONCLUSIONES

- Se recopiló la información del parque automotor peruano y las importaciones de vehículos eléctricos e híbridos al país en el año 2019, realizándose un gráfico comparativo entre estos 2 datos demostrando la falta de los vehículos eléctricos e híbridos dentro del parque automotor.

Esto afecta tremendamente a nuestro país en forma de contaminación ambiental, los gases producidos por los vehículos se encargan de llenar la ciudad de gases dañinos para la salud, esta situación puede cambiar progresivamente al introducirse nuevos vectores energéticos al consumo de las personas que le permitan alimentar sus vehículos sin depender del petróleo.

- Se llegó a un diseño preliminar utilizando la metodología de la matriz morfológica que nos permitió ver los diferentes pros y contras de las distintas posibilidades de diseño.

Obtenido el diseño preliminar del electrolizador se procedió a realizar matrices de evaluación para definir cuál es el material más conveniente para cada elemento del electrolizador, los candidatos fueron escogidos entre estudios propios y materiales analizados en diferentes tesis que los posicionaban como posibles materiales elegibles para el electrolizador.

- Con respecto a los cálculos de los parámetros de funcionamiento del electrolizador se realizaron cálculo de producción de hidrogeno, esto nos permitió obtener el tiempo de trabajo que debe ser realizado por el electrolizador para alimentar al vehículo Hyundai NEXO.

VIII. RECOMENDACIONES

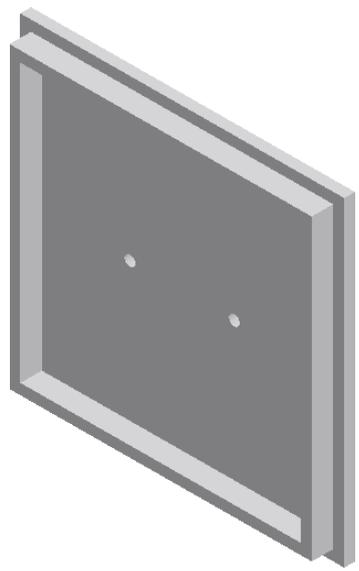
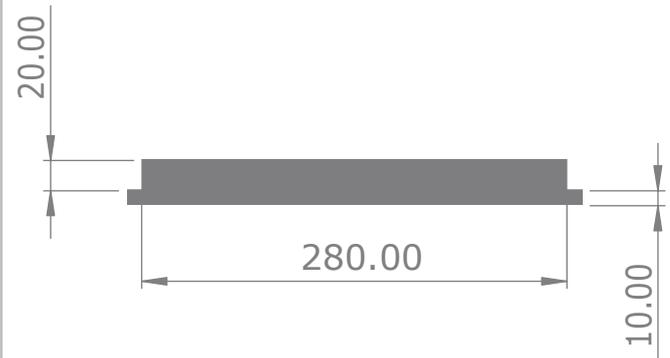
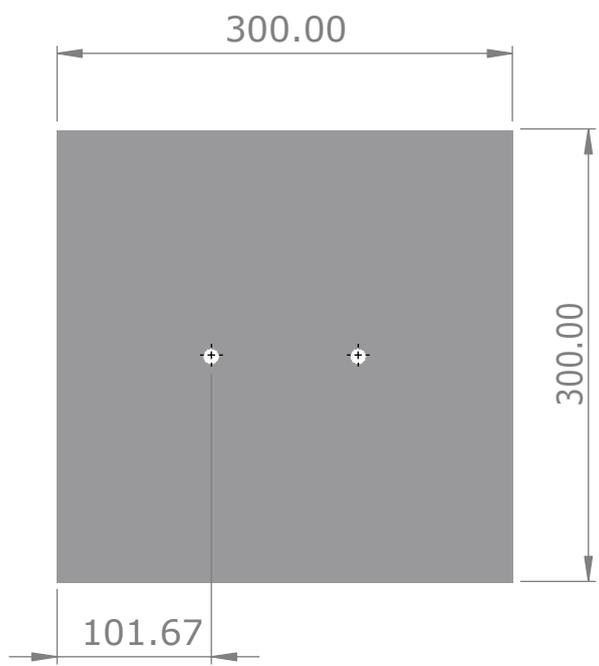
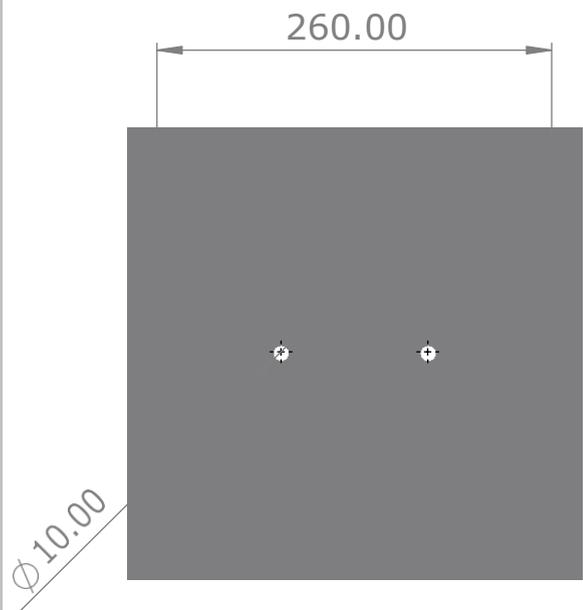
- Aunque la relación de producción de hidrógeno y corriente utilizada en el proceso de electrolisis es directamente proporcional no se recomienda utilizar corrientes mayores a los 3 A puesto que las temperaturas elevadas empiezan a mostrar pérdida de energía en forma de calor lo que se refleja como una menor eficiencia.
- Al utilizar un material como KOH se recomienda el uso de EPP puesto que su uso puede significar un riesgo hacia la persona encargada de realizar la solución.

IX. BIBLIOGRAFÍA

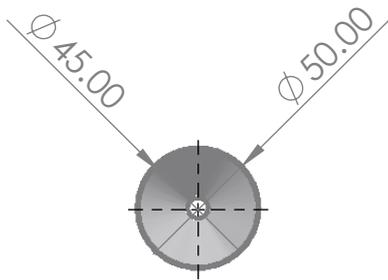
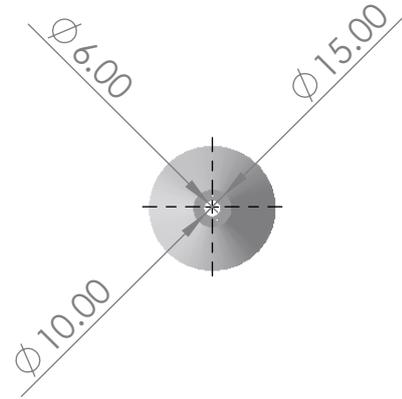
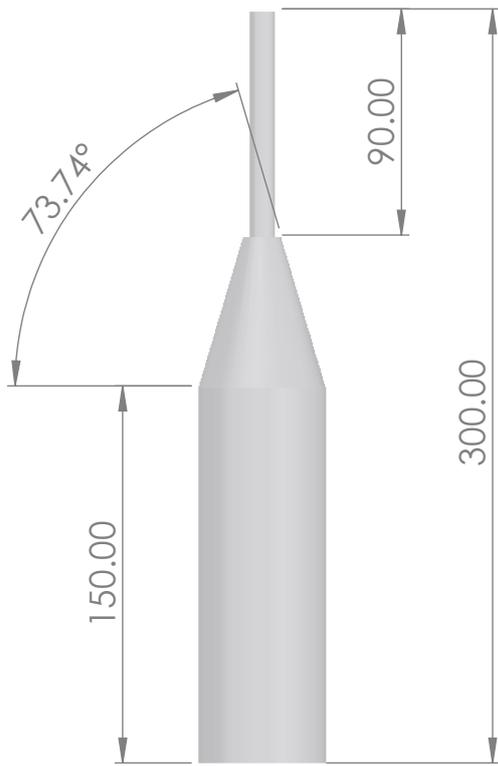
- [1] Comunidad Andina, «Parque Vehicular En la Comunidad Andina 2005 - 2014,» 2015. [En línea Available: <http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/DEstadisticos/SGde707.pdf>.
- [2] GESTION, «gestion.pe,» 31 07 2019. [En línea]. Available: <https://gestion.pe/tecnologia/se-abre-el-paso-a-autos-electricos-en-peru-importacion-de-hibridos-se-duplicaria-este-ano-noticia/?ref=gesr>.
- [3] R. A. Montagne Velásquez, «DISEÑO DE UN GENERADOR DE HIDROGENO COMO COMBUSTIBLE PARA LOS MOTORES DE COMBUSTION DE CICLO OTTO EN LA REGIÓN PUNO,» UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, PUNO, 2015.
- [4] Net Interlab S.A., «net-interlab.es,» 2020. [En línea]. Available: <https://net-interlab.es/electrolisi-del-agua/>.
- [5] P. V. Dr. Pérez Herranz y E. M. Dra. Ortega Navarro, «Desarrollo de nuevos materiales de electrodo para la obtención de Hidrógeno a partir de la electrólisis alcalina del agua,» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2012.
- [6] A. Bailon Martinez, «Desarrollo de un sistema de generación de hidrógeno acoplado al tratamiento electroquímico de aguas superficiales utilizando energía solar,» Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, 2013.
- [7] J. Velásquez Piedrahíta y J. Quiceno Castañeda, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO POR,» UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, Pereira, 2013.
- [8] K. R. Cruz Castellot, «Generación de hidrógeno, estado del arte,» Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, 2018.
- [9] M. E. G. Sánchez, *El hidrógeno como alternativa energética de futuro*, 2003.
- [10] Centro Nacional del Hidrógeno, «Centro Nacional del Hidrógeno,» 6 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>. [Último acceso: 4 Mayo 2021].
- [11] Escuela Técnica Superior de Ingenieros, «Aprovechamiento de recursos energéticos renovables integrables en la red eléctrica,» de *El caso de la producción del Hidrógeno*, Sevilla, Universidad de Sevilla, 2009, pp. 26-35.
- [12] R. Luque Berruezo, «La producción de hidrógeno mediante energías renovables,» Universitat de Girona, Girona.
- [13] J. Alarcón, «Introducción a la química de los materiales cerámicos,» Universidad de Valencia, Valencia.
- [14] G. Barluenga, «Materiales cerámicos y vidrios,» Universidad de Alcalá, Alcalá, 2008.
- [15] Asociación Automotriz del Perú, «Asociación Automotriz del Perú: Fundada en 1926,» 2019. [En línea]. Available: <https://aap.org.pe/aap-los-efectos-de-un-parque-automotor-escaso-y-antiguo-2> [Último acceso: 13 Octubre 2020].
- [16] Actualízate con la AAP, «LOS PROTAGONISTAS DE LA NUEVA ERA AUTOMOTRIZ: VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS EN EL PERÚ,» Asociación Automotriz del Perú, Lima, 2019.
- [17] Universidad Industrial de Santander, «Análisis de un generador de HHO de celda seca para su aplicación,» *Revista UIS Ingenierías*, vol. 17, nº 1, pp. 143-154, 2018.
- [18] U. C. Castillo, «Las celdas de combustible: verdades sobre la generación de electricidad limpia y eficiente vía electroquímica,» *Boletín IIE*, pp. 208-2015, 1999.
- [19] Bayerische Motoren Werke, «BMW,» BMW AG, 17 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.bmw.com/es/innovation/coches-de-hidrogeno-asi-funcionan.html#pwjt-1>.
- [20] BONNET Suministros y Maquinaria S.L., «CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES».

- [21] Irestal Group, «TABLAS TECNICAS DEL ACERO INOXIDABLE».
- [22] bccrwp, «bccrwp.org,» 22 Febrero 2020. [En línea]. Available: [https://es.bccrwp.org/compare/difference-between-sodium-hydroxide-and-potassium-hydroxide/#:~:text=El%20hidróxido%20de%20potasio%20\(KOH\)%20es%20más%20soluble%20en%20agua,hidróxido%20de%20sodio%20\(NaOH\).&text=Aproximadamente%20121%20g%20%20KOH,en%20100%20.](https://es.bccrwp.org/compare/difference-between-sodium-hydroxide-and-potassium-hydroxide/#:~:text=El%20hidróxido%20de%20potasio%20(KOH)%20es%20más%20soluble%20en%20agua,hidróxido%20de%20sodio%20(NaOH).&text=Aproximadamente%20121%20g%20%20KOH,en%20100%20.) [Último acceso: 24 Octubre 2020].
- [23] S. Dutta y C. Mustansar Hussain, Sustainable Fuel Technologies Handbook, Academic Press, 2020.
- [24] J. I. Linaes Hurtado y B. Y. Moratilla Soria, El hidrógeno y la energía, Madrid: Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI, 2006.
- [25] D. L. Díaz Lotero, «HIDRÓGENO: COMBUSTIBLE AL ALCANCE DE TODOS,» Universidad de los Andes, Bogotá, 2009.
- [26] D. Gámez Franco, *El hidrógeno y sus aplicaciones energéticas*, Moncada y y Reixach, 2010.
- [27] E. Castaños, «cienciaonthecrest.com,» 13 08 2015. [En línea]. Available: <https://cienciaonthecrest.com/2015/08/13/procesos-electroliticos/>. [Último acceso: 17 07 20].
- [28] S. Dutta y C. Mustansar Hussain, Sustainable Fuel Technologies Handbook, Academic Press, 2020.
- [29] Hyundai, «Hyundai USA,» 18 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.hyundaiusa.com/us/es/vehicles/nexo>.

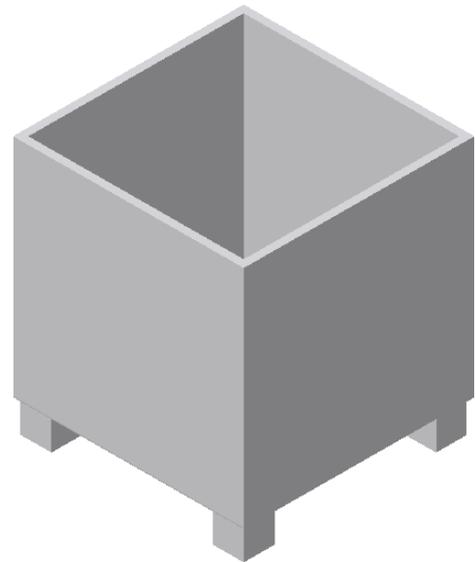
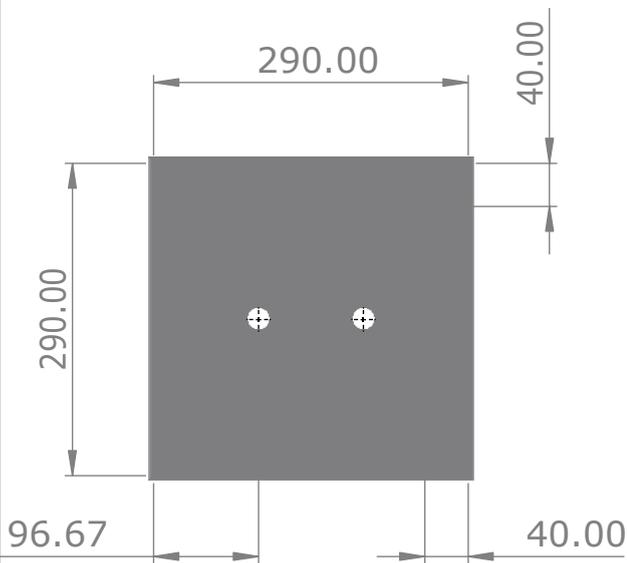
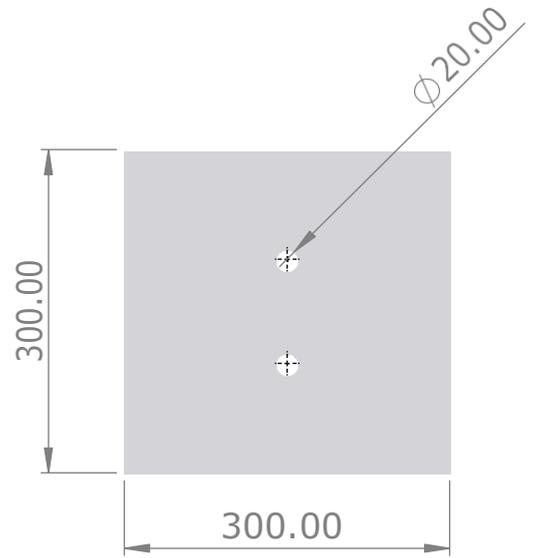
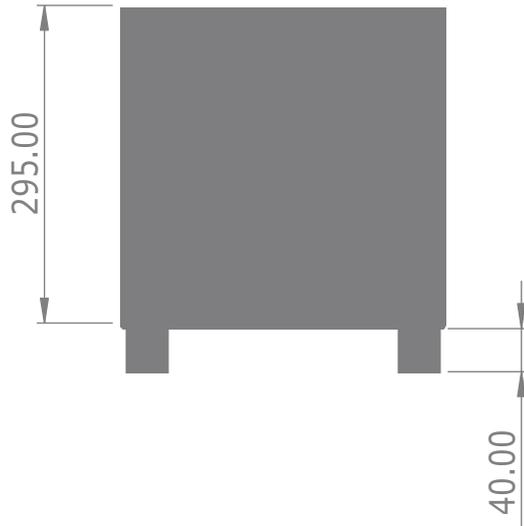
X. ANEXOS



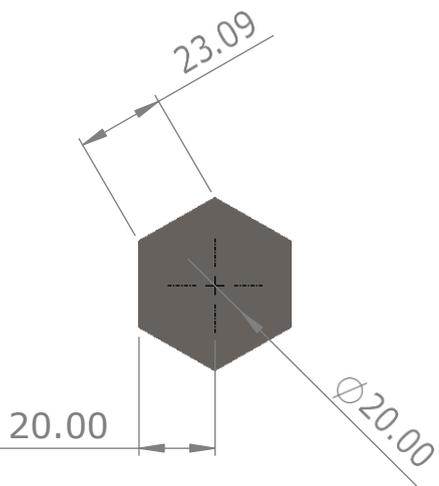
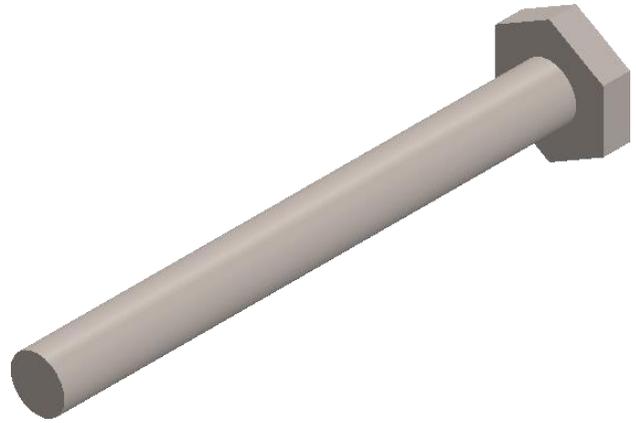
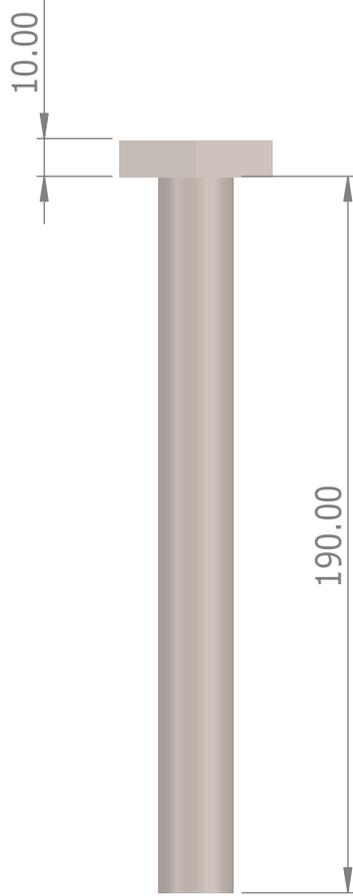
| | | | | | |
|---|---|--------------|--|-----------|------------|
|  | MATERIAL: | TÍTULO | | PLANO N°: | 001 |
| | CERAMICA | TAPA | | HOJA N°: | |
| | Un. dim. mm | ESCALA: 1:5 | DIBUJADO POR: VÁSQUEZ POLO, DANIEL ANTONIO | FECHA: | 28/05/2021 |
| |  | ESPECIFICADA | COMPROBADO POR: | FECHA: | |



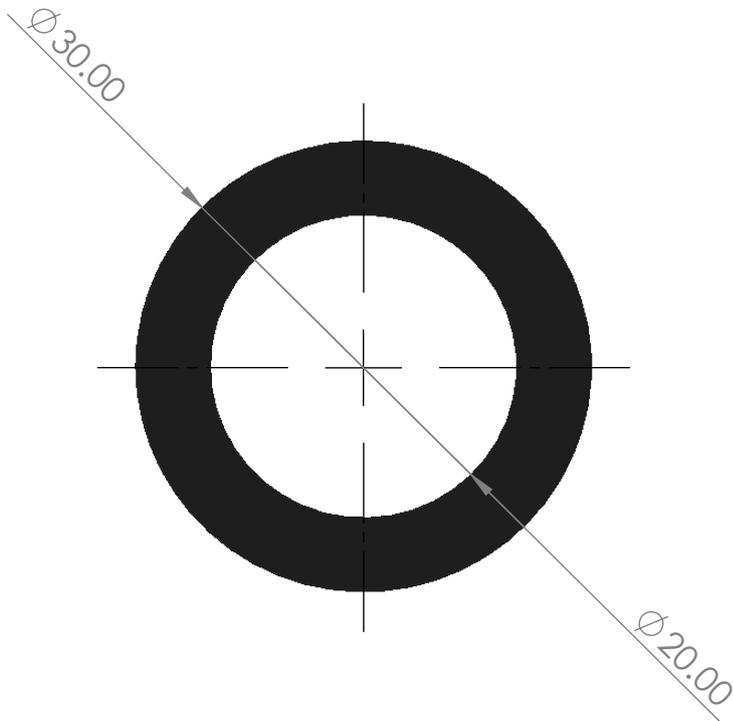
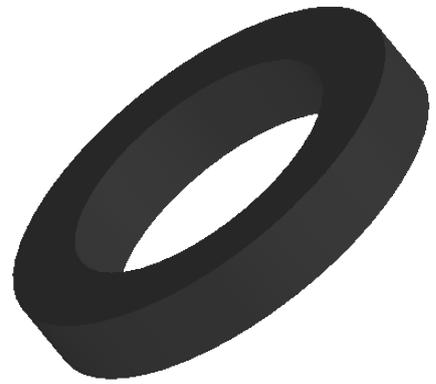
| | | | | |
|---|---|--------------------------------------|--|---------------|
|  | MATERIAL: CERAMICA | TÍTULO CUPULA DE RECEPCIÓN | | PLANO N°: 002 |
| | Un. dim. mm | ESCALA: 1:3 | DIBUJADO POR: VÁSQUEZ POLO, DANIEL ANTONIO | HOJA N°: |
| | ESPECIFICADA | COMPROBADO POR: | FECHA: 28/05/2021 | FECHA: |
| |  | | | |



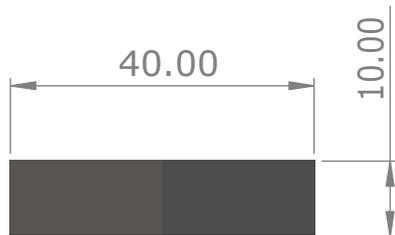
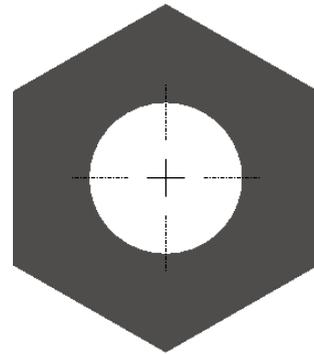
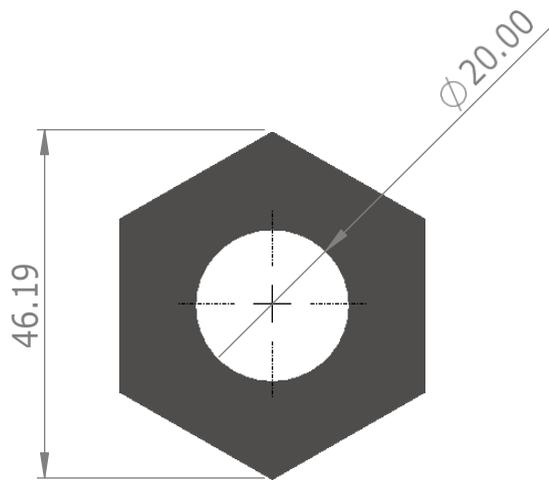
| | | | | |
|---|---|-----------------------------|--|-------------------|
|  <p>USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo</p> | MATERIAL: CERAMICA | TÍTULO RECIPIENTE | | PLANO N°: 003 |
| | Un. dim. mm | ESCALA: 1:7 | DIBUJADO POR: VÁSQUEZ POLO, DANIEL ANTONIO | HOJA N°: |
| |  | ESPECIFICADA | COMPROBADO POR: | FECHA: 28/05/2021 |
| | | | | FECHA: |



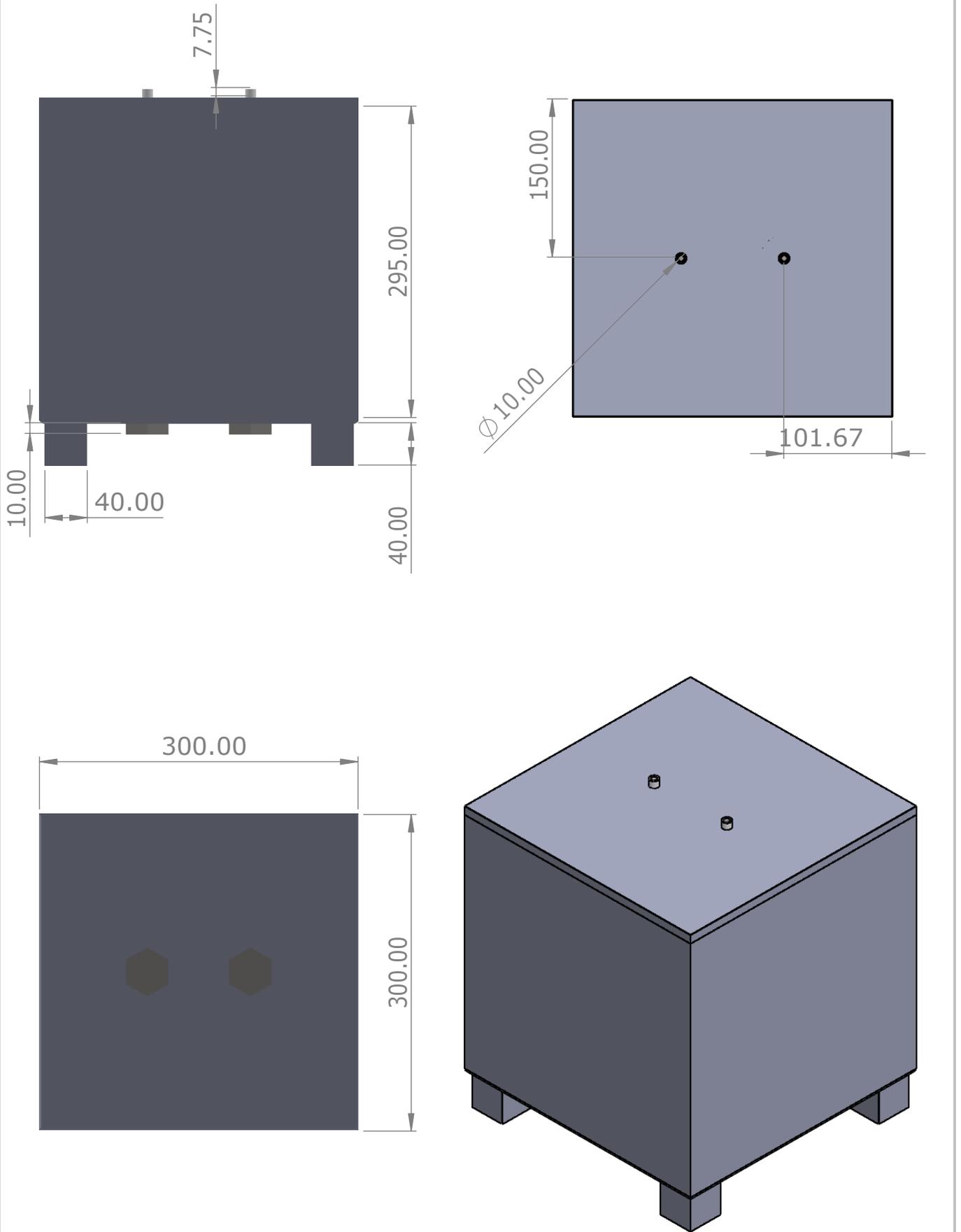
| | | | | |
|---|---|--------------|--|-------------------|
|  | MATERIAL: | TÍTULO | | PLANO N°: 004 |
| | ACERO AISI 309 | TORNILLO | | HOJA N°: |
| | Un. dim. mm | ESCALA: 1:2 | DIBUJADO POR: VÁSQUEZ POLO, DANIEL ANTONIO | FECHA: 28/05/2021 |
| |  | ESPECIFICADA | COMPROBADO POR: | FECHA: |



| | | | | |
|---|---|--------------|--|-------------------|
|  | MATERIAL: | TÍTULO | | PLANO N°: 005 |
| | CAUCHO | JEBE | | HOJA N°: |
| | Un. dim. mm | ESCALA: 2:1 | DIBUJADO POR: VÁSQUEZ POLO, DANIEL ANTONIO | FECHA: 28/05/2021 |
| |  | ESPECIFICADA | COMPROBADO POR: | FECHA: |



| | | | | |
|---|---|--------------|--|-------------------|
|  | MATERIAL: AISI 309 | TÍTULO | | PLANO N°: 006 |
| | | TUERCA | | HOJA N°: |
| | Un. dim. mm | ESCALA: 1:1 | DIBUJADO POR: VÁSQUEZ POLO, DANIEL ANTONIO | FECHA: 28/05/2021 |
| |  | ESPECIFICADA | COMPROBADO POR: | FECHA: |



| | | | | |
|---|---|------------------------|--|-------------------|
|  <p>USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo</p> | OBSERVACIONES: | TÍTULO | | PLANO N°: 007 |
| | | MAQUINA ELECTROLIZADOR | | HOJA N°: |
| | Un. dim. mm | ESCALA: 1:5 | DIBUJADO POR: VÁSQUEZ POLO, DANIEL ANTONIO | FECHA: 28/05/2021 |
| |  | ESPECIFICADA | COMPROBADO POR: | FECHA: |