



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

Diseño e implementación de un electrolizador de membrana
polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrógeno,
Chimbote – 2024

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Rodriguez Perez, Manuel Antonio (orcid.org/0009-0003-8786-6009)

ASESOR:

Mg. Cuadros Camposano, Edwin Huber (orcid.org/0000-0001-6478-8130)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi señor Jesucristo por haberme dado la vida y la fuerza espiritual para culminar esta tesis. A mi padre por el apoyo emocional y a mi madre por sus oraciones; estando ahí cuando más los he necesitado. A mi novia por ser la mayor motivación para no rendirme en mis estudios. A mis suegros por la ayuda y consejos para seguir adelante; sin ellos no hubiera sido posible terminar esta carrera. Culmino dedicando mi tesis a todos ustedes.

Agradecimiento

Agradezco al primero en mi vida, al que me ha amado más que a nadie en este universo, ¡a mi señor Jesucristo! por darme un día más de vida y fortalecer mi espíritu en esta nueva etapa de mi vida.

A mis familiares por los consejos y buenos deseos hacia mi vida, a mi familia política por el amor brindado, por la paciencia, por la confianza en el logro de mis metas; a mis suegros, no solo por haber sido columna económica; sino también apoyo emocional y espiritual.

El haber llegado a la meta es gracias a todos ustedes, especialmente a mi novia, por haber sido ayuda idónea para mí. Cuando más he necesitado, han estado ahí, esperándome con los brazos abiertos.

Por ello les agradezco de todo corazón, esperando retribuirles la confianza y apoyo que me han brindado, por el cual, hasta los últimos de mis días no olvidaré todo lo que han hecho por mí. ¡Gracias!

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CUADROS CAMPOSANO EDWIN HUBER, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Diseño e implementación de un electrolizador de membrana polimérica protónica

(PEM) para la producción de hidrógeno, Chimbote – 2024", cuyo autor es RODRIGUEZ PEREZ MANUEL ANTONIO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de

16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 03 de Abril del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
EDWIN HUBER CUADROS CAMPOSANO DNI: 09599387 ORCID: 0000-0001-6478-8130	Firmado electrónicamente por: EHCUADROS el 16- 05-2024 17:23:19

Código documento Trilce: TRI – 0741652

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, RODRIGUEZ PEREZ MANUEL ANTONIO estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Diseño e implementación de un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrógeno, Chimbote – 2024", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
RODRIGUEZ PEREZ MANUEL ANTONIO DNI: 62604666 ORCID: 0009-0003-8786-6009	Firmado electrónicamente por: ROPEREZMA el 09-04-2024 19:14:10

Código documento Trilce: INV – 1636453

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor	iv
Declaratoria de Originalidad del Autor.....	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	12
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	12
3.2. Variables y operacionalización	12
3.3. Población, muestra y muestreo	13
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	14
3.5. Procedimientos	14
3.6. Método de análisis de datos	14
3.7. Aspectos éticos.....	15
IV. RESULTADOS.....	17
V. DISCUSIÓN	44
VI. CONCLUSIONES	48
VII. RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS.....	50
ANEXOS	56

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz morfológica	18
Tabla 2 Evaluación del diseño del electrolizador.....	21
Tabla 3 Evaluación del diseño del electrolizador.....	23
Tabla 4 Matriz de evaluación Aceros inoxidable.....	24
Tabla 5 Matriz de evaluación Aceros Inoxidable Austeníticos.....	25
Tabla 6 Valores del agua e hidrogeno.....	26
Tabla 7 Costos de materiales e implementación.....	42

Índice de figuras

Figura 1 Esquema simplificado de un electrolizador PEM	22
Figura 2 Electrolizador vista explosionada	29
Figura 3 Electrolizador vista explosionada	30
Figura 4 Marcado del separador de caucho de 2 mm de espesor	30
Figura 5 Corte de los separadores de caucho.....	31
Figura 6 Corte de plancha de acero inoxidable AISI 302 de 0.12 mm espesor....	31
Figura 7 Cuba de plástico de 1.50 litros de almacenamiento	32
Figura 8 Químico para mejorar conductividad eléctrica del agua - hidróxido de sodio o soda cáustica (NaOH).....	33
Figura 9 Perforación de los sujetadores base del electrolizador	34
Figura 10 Colocación y sujeción de nipples escamados de 1/4"	34
Figura 11 Armado del electrolizador.....	35
Figura 12 Esquema simplificado de un electrolizador PEM.....	35
Figura 13 Pesado de soda cáustica que se usará en el electrolizador.....	36
Figura 14 Medición de corriente de consumo del electrolizador al usar 40g de soda cáustica	36
Figura 15 Corriente en función al voltaje a una separación de 2 mm.....	37
Figura 16 Corriente en función al voltaje a una separación de 5 mm.....	38
Figura 17 Corriente en función al voltaje a una separación de 8 mm.....	38
Figura 18 Corriente en función al voltaje a una separación de 11 mm.....	39
Figura 19 Producción de hidrogeno a una separación de 2 mm	40
Figura 20 Producción de hidrogeno a una separación de 5 mm	40
Figura 21 Producción de hidrogeno a una separación de 8 mm	41
Figura 22 Producción de hidrogeno a una separación de 11 mm	41

Resumen

La contaminación ambiental ha sido un desafío fundamental para la humanidad a lo largo de la historia, con los combustibles convencionales contribuyendo significativamente a la degradación ambiental. El trabajo de investigación, tuvo como objetivo principal Diseñar e implementar un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrógeno, Chimbote - 2024. La investigación, de tipo aplicada y diseño experimental, así como la muestra estuvo constituida 120 datos de producción de hidrogeno durante el funcionamiento del electrolizador. Como resultado, se obtuvo que en la producción de hidrogeno al variar la corriente, en donde se obtuvo que a una separación de 2 mm la mayor corriente de 2828 μA a 12 V. Como conclusión, el electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) requirió una inversión de S/ 643.90 para la producción de hidrógeno, en donde se evidencia que a mayor corriente mayor hidrógeno se obtuvo.

Palabras clave: Electrólisis del agua, electrolizador, electrolito, hidrógeno, energía limpia.

Abstract

Environmental pollution has been a fundamental challenge for humanity throughout history, with conventional fuels contributing significantly to environmental degradation. The main objective of the research was to Design and implement a polymeric proton membrane electrolyzer (PEM) for hydrogen production, Chimbote - 2024. The research, applied type and experimental design, as well as the sample was constituted 120 hydrogen production data during the operation of the electrolyser. As a result, it was obtained that in the production of hydrogen by varying the current, where it was obtained that at a separation of 2 mm the greatest current of 2828 μA to 12 V. In conclusion, the protonic polymeric membrane electrolyser (PEM) required an investment of S/ 643.90 for the production of hydrogen, where it is evidenced that the greater the current greater hydrogen was obtained.

Keywords: Water electrolysis, electrolyzer, electrolyte, hydrogen, clean energy.

I. INTRODUCCIÓN

La rápida expansión de las plantas de generación de electricidad solar a escala comercial en los últimos años ha sido impulsada por la naturaleza sostenible de la electricidad solar, su gran potencial de recursos y la disminución de los costos asociados. Sin embargo, este crecimiento conlleva el desafío de mitigar la intermitencia del recurso solar mediante tecnologías rentables para el almacenamiento de energía solar, lo cual es esencial para mantener la estabilidad de la red eléctrica (Awad et al., 2023). Por otro lado, la energía del hidrógeno se considera ampliamente como una de las fuentes de energía renovable más prometedoras debido a sus ventajas ambientales, como la limpieza y la emisión de carbono cero (Menad, Gomri y Bouchahdane, 2018). En este contexto, el desarrollo de la energía del hidrógeno se ha convertido en una opción estratégica importante a nivel mundial para abordar el cambio climático y garantizar la seguridad energética. Sin embargo, la producción de hidrógeno mediante tecnologías solares enfrenta desafíos técnicos que limitan su eficiencia y viabilidad.

La eficiencia de los electrolizadores, una tecnología comúnmente utilizada para la producción de hidrógeno solar, se ve afectada por parámetros de diseño y operación específicos (Nasser et al. 2022). A pesar de los análisis paramétricos realizados para investigar el efecto de estos parámetros en la eficiencia de conversión de energía, persisten problemas técnicos que requieren atención, especialmente en la integración con sistemas de energía solar fotovoltaica (Jathar et al., 2023).

La producción de hidrógeno verde mediante fuentes de energía renovable, como la solar fotovoltaica, ofrece un potencial considerablemente mayor en términos de descarbonización y sostenibilidad en comparación con los combustibles fósiles, tanto desde una perspectiva económica como tecnológica (Kamil, Samuel y Khan, 2024). Sin embargo, es crucial superar obstáculos significativos para desarrollar electrolizadores rentables y eficientes con miras a esta aplicación, particularmente en lo que concierne a su integración con sistemas de paneles solares fotovoltaicos (Marouani et al. 2023). La energía del hidrógeno emerge como una fuente renovable con notables perspectivas en este contexto, dada su importancia

estratégica. Se la considera fundamental para mitigar el cambio climático y garantizar la seguridad energética a nivel global (Sharma et al. 2023).

En la actualidad, se han realizado relativamente pocas investigaciones exhaustivas sobre la producción de hidrógeno en el extranjero, y el análisis de su sistema de suministro energético es insuficientemente completo. Por ello, se centra en el acoplamiento entre los sistemas de producción de hidrógeno mediante pilas electrolíticas y los sistemas de suministro de energía solar, así como en las funciones respectivas de los sistemas fotovoltaicos dentro de este sistema. Por lo expuesto, la presente investigación se contextualiza bajo la necesidad de desarrollar un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) que permita obtener hidrogeno, ya que es importante investigar nuevas soluciones que permitan contribuir en nuevas fuentes de energía.

Con lo expuesto anteriormente, se formula el siguiente problema general: ¿Cómo diseñar e implementar un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrógeno, Chimbote - 2024? Asimismo, el problema específico en ¿Cuál es el tipo de electrolizador necesario para la producción de hidrógeno?, ¿De qué manera se diseña y construye un electrolizador para la producción de hidrogeno? ¿Cuál es la producción de hidrogeno mediante un electrolizador posterior a las pruebas realizadas?, y ¿Cuál es el costo de la construcción de un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrogeno.

En cuanto a la justificación por conveniencia, debido a que es importante las investigaciones relacionadas a la producción de hidrogeno como fuente de energía alternativa, la cual permitirá reducir la contaminación ambiental. Relevancia social, puesto que el diseño e implementación de un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) servirá como fuente de información para aquellos investigadores o interesados que opten por soluciones que produzcan energía limpia. Implicancias prácticas, debido a que favorece en la creación de nuevos electrolizadores que permitan la producción de hidrogeno, por tanto, ser una fuente aprovechable de energía renovable, la cual es un tópico que se debe seguir estudiando para luchar contra la contaminación ambiental. Utilidad metodológica,

la investigación presenta un procedimiento documentado que garantiza su replicación en otros escenarios de similares características.

Por consiguiente, el objetivo general fue: Diseñar e implementar un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrógeno, Chimbote - 2024. Así mismo, los objetivos específicos son: i) Seleccionar un electrolizador para la producción de hidrogeno; ii) Diseñar y construir el electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrogeno; iii) Evaluar la producción de hidrogeno mediante el electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM); iv) Determinar los costos de construcción del electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrogeno.

II. MARCO TEÓRICO

En los antecedentes internacionales, Franco y Giovannini (2023) en su investigación “Recent and Future Advances in Water Electrolysis for Green Hydrogen Generation: Critical Analysis and Perspectives” tuvo como objetivo estudiar sobre la electrólisis de agua a fin de generar hidrogeno verde a través de energía renovable, para ello busco evaluar el sistema energético, la física de las células electrolíticas y el análisis energético de la electrolisis. Como resultado, se identificó que la tecnología AEM obtiene una producción de 18 MW (Kg H₂/H)/MW de hidrogeno, así como se establece la arquitectura de solución lógica del sistema WE para baja temperatura y el sistema WE de óxido sólido simplificado. En conclusión, se ha identificado que un sistema de electrolisis cuenta con una eficiencia del 65% al convertir el 60% de la energía eléctrica de entrada en energía química almacenada en gas hidrógeno, así como en el proceso de electrolisis se busca acercarse al valor de 33 kWh de energía mediante 9 Kg por hidrogeno producido.

Ehlers et al. (2023) en su investigación “Affordable Green Hydrogen from Alkaline Water Electrolysis: Key Research Needs from an Industrial Perspective” tuvo como objetivo identificar las oportunidades del hidrogeno desde una perspectiva industrial a partir de la electrólisis de agua alcalina, ya que es importante la electrolisis para la transición energética. Como resultado, se ha identificado que las temperaturas elevadas permiten una reducción de la cinética del sobrepotencia de 2.3 a 3.6 mV/°C a un rango de 50°C a 200 °C, siendo identificada las tecnologías SOEC, PEMWE y AWE, siendo el ARE la que funciona de 120 °C a más y cuenta con mayor conductividad y estabilidad, ya que los separadores de diafragma permitirán una conducción con mayor eficiencia.

Wang, Lu y Zhong (2021) en su artículo “Hydrogen production from water electrolysis: role of catalysts” tuvo como objetivo estudiar sobre la electrólisis del agua (WE) en la producción de hidrógeno verde, destacando su importancia como una alternativa limpia y renovable a los combustibles fósiles, siendo enfocado en el desarrollo de catalizadores electroquímicos eficientes y económicos para mejorar la producción de hidrógeno a partir de la división del agua, con especial atención en los procesos de electrólisis en medios ácidos y alcalinos. Como resultado, se

diseñó electrocatalizadores para la división del agua, especialmente mediante estrategias de ingeniería a nanoescala, siendo resaltado el potencial del hidrógeno como sustituto de los combustibles fósiles debido a su mayor densidad energética y cero emisiones contaminantes. Asimismo, se observa una mejora en la eficiencia de la electrólisis del agua, aunque aún existen desafíos significativos en términos de sobrepotenciales y cinética de reacción. Como conclusión, se destaca la necesidad de desarrollar electrocatalizadores no nobles eficientes y estables para las reacciones de HER y OER en medios ácidos; además, de comprender los mecanismos catalíticos y de establecer protocolos de evaluación estándar para comparar diferentes materiales catalizadores.

Rodriguez, Silva y Urbina (2022) en su investigación “Estudio del proceso de electrólisis para la producción de Hidrógeno Verde, a partir del agua de mar” tuvo como objetivo proponer una solución que permita producir hidrogeno a través de agua de océano mediante el proceso de hidrolisis, para ello realizó la comparación de distintas tecnologías, identifico problemas de corrosión y selecciono los componentes idóneos. Como resultado, se obtiene un electrolizador hibrido $Ni - NiO - Cr_2O_3$ y un ánodo $NiFe/NiSx - Ni$ en agua de mar, asimismo, se contará con una celda solar como fuente de alimentación a fin de garantizar la eficiencia y alta durabilidad del sistema propuesto.

Bai et al. (2019), publicaron un artículo en la revista Energy Procedia denominado “Research on the implementation of hydrogen energy to reduce air pollution in China”, el propósito era analizar la viabilidad de la energía del hidrógeno como solución para reducir la contaminación del aire en China. Se evaluó el impacto potencial de su adopción en la mejora de la calidad del aire y la reducción de emisiones contaminantes. El objetivo principal fue examinar cómo su utilización podría disminuir la dependencia de China de los combustibles fósiles y mitigar los problemas de contaminación asociados. La investigación se basó en un enfoque exploratorio y descriptivo, utilizando entrevistas a expertos, revisión de documentos gubernamentales y técnicos, análisis estadísticos y modelos de simulación para recopilar información relevante sobre políticas energéticas, tecnología del hidrógeno y perspectivas de implementación a gran escala. La población objetivo incluyó representantes gubernamentales, investigadores, ingenieros y empresas

del sector energético, seleccionados intencionalmente para incluir expertos en energía del hidrógeno y contaminación del aire en China. Las conclusiones del artículo indicaron que la implementación de la energía del hidrógeno en China tiene el potencial de ser una estrategia efectiva para reducir la contaminación del aire y promover una economía baja en carbono.

En los antecedentes nacionales, Carhuatocto y Carrasco (2022) en su investigación “Diseño de sistema de generación de hidrógeno verde con energía fotovoltaica, para uso en cocinas de inducción, Nambelle - Cajamarca 2022” tuvo como objetivo realizar un diseño de un sistema de generación de hidrógeno verde empleando un sistema fotovoltaico. Como resultado, se obtuvo los parámetros energéticos que son una potencia necesaria de 11.5 kW y una eficiencia de 84% de su sistema propuesto. Asimismo, obtuvo que se requiere un tanque de 84 x 73.25 para satisfacer una demanda de hidrógeno de 1.8 Kg/día. Como conclusión, el proyecto es viable al presentar un TIR del 35% y un retorno de la inversión de 2.2 años

Polo (2022) en su investigación “Diseño de una máquina generadora de hidrógeno mediante electrólisis para utilizarlo como vector energético en un auto eléctrico” tuvo como objetivo diseñar una máquina que genere hidrógeno a través de la electrólisis a fin de que sea utilizado como vector energético. Para ello, realiza una matriz morfológica, parámetros de operación, diseño utilizando software y la identificación consumo eléctrico requerido para el consumo eléctrico. Como resultado, se requiere una producción ideal de hidrógeno de 8.373 litros por hora para una autonomía de 28 horas teniendo en consideración un tanque de 156.6 L, así como la energía consumida de 0.32 kW/h. Como conclusión, el diseño de la máquina propuesta garantiza satisfacer la demanda requerida para un vehículo eléctrico.

Mendoza (2022) en su investigación “Factibilidad de la generación de hidrógeno verde en microrredes renovables distribuidas” tuvo como objetivo determinar la factibilidad del uso de hidrógeno dentro de una micro red, para lo cual tuvo que identificar las dimensiones y la viabilidad económica del proyecto. Como resultado, se identificó que es necesario una capacidad de almacenamiento de 0.5 KW/h y una presión intermedia de 10 a 20 Bar en los tanques de biogás, mientras que se

requiere el uso de una pila de combustible para convertir el hidrogeno verde a electricidad.

Campos (2022) en su investigación “Propuesta del sistema de generación de hidrógeno mediante la electrólisis para la obtención de energía eléctrica, 2022” tuvo como objetivo evaluar un sistema de generación de hidrogeno a través de la electrolisis a fin de obtener energía eléctrica. Como resultado, se obtuvo que mediante el uso de energías renovables es viable la producción de hidrogeno, por lo que se debe dimensionar correctamente las celdas electrolíticas y electrodos empleados en el diseño del generador de hidrogeno. Como resultado, mediante una correcta selección y dimensionamiento de las tecnologías para el aprovechamiento de recursos energéticos renovables.

Riojas y Pazos (2022) en su investigación “Prospectivas del hidrógeno verde en la locomoción peruana, enfoque de numes mediano y largo plazo” tuvo como objetivo principal evaluar la relevancia del hidrógeno verde en el contexto peruano, especialmente en lo que respecta a su potencial como combustible y su producción mediante fuentes de energía renovables no convencionales. Como resultado, se demuestra la viabilidad y el potencial del hidrógeno verde como recurso energético en el país, sino que también identifica las tecnologías más adecuadas para su generación, así como los desafíos y oportunidades que implica su implementación a nivel nacional. Como conclusión, este trabajo ofrece un análisis exhaustivo que aborda aspectos medioambientales, económicos y tecnológicos relevantes para el desarrollo del hidrógeno verde en el Perú. Destaca las principales perspectivas y obstáculos asociados con su avance, al tiempo que sugiere posibles enfoques para optimizar su capacidad como fuente de energía sostenible en el país.

En las bases teóricas, la electrolisis del agua implica el uso de corriente continua para descomponer las moléculas de agua en oxígeno e hidrógeno. Este proceso se realiza en condiciones controladas dentro de un dispositivo llamado electrolizador. El electrolizador está compuesto por dos electrodos metálicos -ánodo y cátodo- sumergidos en una solución o electrolito, separados por una distancia específica. El ánodo, conectado al terminal positivo de la batería o fuente de alimentación de corriente continua, es el polo positivo del electrolizador, mientras que el cátodo, conectado al terminal negativo, es el polo negativo. Cuando se aplica una tensión

continúa a estos electrodos, se desencadena una reacción electroquímica en sus superficies. En el cátodo se produce hidrógeno, mientras que en el ánodo se produce oxígeno (Soto, 2020).

Asimismo, aunque el hidrógeno es el elemento más abundante del universo, rara vez se encuentra en estado libre en la Tierra. El hidrógeno no es un recurso natural; a diferencia del carbón, el petróleo y el gas, no puede extraerse ni minarse de la Tierra, como ocurre con los combustibles fósiles en general. El hidrógeno, al igual que la electricidad, es un vector energético que debe generarse a partir de materias primas alternativas (como el agua, la biomasa o los recursos fósiles). Para convertir estos recursos en hidrógeno se requieren transformaciones que implican el consumo de fuentes de energía primaria, ya sean nucleares, renovables o fósiles (Carhuatocto y Carrasco, 2022).

El hidrógeno verde es producido a partir de fuentes de energía renovables y agua. Para obtenerlo se emplea la electrólisis, un proceso de energía renovable. Esto implica la descomposición de las moléculas de agua (H_2O) en hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2) (Puig, 2021).

Los contenedores de combustible de hidrógeno son receptáculos distintivos construidos a partir de compuestos de polipropileno expandido y aluminio, que se eligen por sus propiedades mecánicas superiores y su capacidad para soportar bajas temperaturas (Milner, 2021). Una pila de combustible se compone de un ánodo y un cátodo, separados por un electrolito que favorece la transferencia iónica. Entre los electrodos se produce una corriente eléctrica sostenida; a diferencia de una pila o batería tradicional, esta corriente permanece constante mientras dura el suministro de reactivo (Helena, 2021).

Existen diferentes tipos de electrolizadores que se clasifican de acuerdo al electrolito empleado, los cuales pueden ser electrolizadores alcalinos, de óxido sólido o los de membrana de intercambio protónico llamado también de membrana polimérica (PEM) (Rodríguez, Da Silva, Urbina, 2022).

Referente a los electrolizadores diseñadas de membrana polimérica protónica, estas representan una fuente de energía eléctrica alternativa, sin embargo, el costo de su implementación, además de su durabilidad, impiden actualmente su uso para la generación de electricidad (Schlittler, Filippín y Narciso, 2022, p.66).

El electrolizador de membrana de intercambio protónico emplea agua líquida como fuente de alimentación, utilizando un polímero sólido que presenta elevada conductividad de carga; este tipo de electrolizador presenta componentes relativamente costosos, sin embargo, no requiere de mantenimiento a lo largo de su vida útil, el cual puede ser de cien mil horas si se utiliza agua sumamente pura. Otra característica es que puede operar a presiones relativamente bajas que rondan los 30 bares, permitiendo así un consumo de energía menor. Cabe resaltar que esta tecnología es sumamente sensible a las impurezas que pueden provocar deterioros irreversibles (Rodríguez, Da Silva, Urbina, 2022, p.10).

Según Soto (2020), en la construcción de un electrolizador para la obtención de hidrógeno de manera limpia, es crucial optimizar los procesos de generación. El electrolizador no debería estar vinculado a los altos costos de los metales utilizados para el recubrimiento de los electrodos en los electrolizadores PEM. Por lo tanto, en el proceso de construcción, es fundamental considerar el diseño, modelado, construcción y elaboración de los parámetros para la obtención de hidrógeno con el propósito de maximizar la eficiencia y minimizar los costos.

El acero inoxidable AISI 302 es una variedad austenítica de acero que contiene un máximo de 0,15% de carbono y aproximadamente un 17-19% de cromo y un 8-10% de níquel. Esta variedad de acero se distingue por su elevada resistencia a la tracción y dureza, que son resultado de su mayor contenido en carbono en comparación con otros aceros inoxidables de la serie 300. Además, el AISI 302 es adecuado para entornos no extremadamente agresivos debido a su excelente resistencia a la corrosión. Además, este acero es extremadamente dúctil y tiene una conformabilidad excepcional, lo que lo convierte en una opción ideal para procesos de conformado y embutición. Debido a su excepcional combinación de propiedades, el acero inoxidable AISI 304 es uno de los más empleados en todo el mundo. Con un máximo de 0,08% de carbono, este acero está compuesto aproximadamente por un 18-20% de cromo y un 8-10,5% de níquel, y ofrece una excepcional resistencia a la corrosión en una gran variedad de entornos. Es idóneo para una amplia gama de aplicaciones industriales y comerciales debido a su excepcional soldabilidad y conformabilidad. El acero inoxidable AISI 316 es famoso por su excepcional resistencia a la corrosión, especialmente en presencia de

cloruros y entornos agresivos. Con un máximo de 0,08% de carbono, este acero austenítico contiene aproximadamente un 16-18% de cromo, un 10-14% de níquel y un 2-3% de molibdeno. En comparación con el AISI 304, la inclusión de molibdeno le confiere una resistencia superior a la corrosión por cloruros y a las picaduras. El AISI 316 también es adecuado para aplicaciones exigentes debido a su elevada resistencia a la tracción y a la fatiga (Soto, 2020).

En el proceso de la obtención de hidrógeno, por medio de un electrolizador de membrana polimérica, surgen algunos procesos en la superficie del electrolito de membrana polimérica, los cuales son, la oxidación y reducción del hidrógeno y oxígeno, respectivamente. El proceso de reducción se genera en el cátodo, mientras que el proceso de oxidación se da en el ánodo. El proceso de oxidación de hidrógeno (ROH) presenta las características de un bajo sobrepotencial de oxidación y rápida cinética, mientras que, el proceso de reducción de oxígeno (RRO) dispone de ser una lenta reacción electroquímica. Esto hace que se realicen estudios centrados en reducir el sobrepotencial que se tiene en la RRO además de pretender una mejora en su cinética. Cabe resaltar que los estudios determinan que al platino como el mejor electrocatalizador debido sus propiedades permiten la reducción de O_2 en cuatro electrones presentando un bajo sobrepotencial (Schlittler, Filippín y Narciso, 2022, p.66).

Por último, definimos los términos básicos como la gasolina; la cuál es un combustible fósil que se extrae del petróleo, lo que significa que su producción y consumo contribuyen significativamente al cambio climático. El hidrógeno, como elemento químico, posee la característica de ser el más liviano y abundante. Es un gas sin color ni olor, altamente inflamable; y se considera el elemento base para la formación de moléculas de agua (H_2O) y es esencial para la vida en la Tierra. El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro e insípido. Se forma principalmente como resultado de la combustión incompleta de materiales orgánicos, como el carbón, la madera, el petróleo y el gas natural. El CO es tóxico para los seres vivos, ya que se une a la hemoglobina en la sangre y dificulta el transporte de oxígeno a los tejidos. La exposición prolongada al CO puede ser mortal. Por otro lado, el dióxido de carbono (CO_2) es un gas incoloro y ligeramente soluble en agua. Se produce principalmente como resultado de la respiración de

organismos vivos y la combustión completa de materiales orgánicos. El CO₂ es un gas de efecto invernadero, lo que significa que contribuye al calentamiento global y al cambio climático al atrapar el calor en la atmósfera terrestre. Su concentración en la atmósfera ha aumentado significativamente debido a la combustión de recursos fósiles y la destrucción de los bosques. El hidrógeno verde es aquel que se produce utilizando fuentes de energía renovable, lo que lo convierte en un combustible limpio y sostenible. Además, este tipo de hidrógeno no genera emisiones contaminantes, lo que lo hace especialmente importante tanto como fuente de energía como materia prima. Los gases de escape son los subproductos resultantes de la combustión de gasolina y oxígeno en los motores, que luego son expulsados a través del sistema de escape. Estos gases residuales incluyen dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua y oxígeno. La contaminación del ambiente o atmosférica implica la existencia de elementos físicos, químicos o biológicos en distintas ubicaciones y niveles de concentración que pueden resultar dañinos para la salud, la seguridad y el bienestar de la población, así como para los organismos vivos en su conjunto. Dicha contaminación puede manifestarse en diversas formas, como la contaminación del aire y del agua, la contaminación acústica, las emisiones químicas, la contaminación de los recursos alimentarios, la degradación de la capa de ozono y los impactos derivados del cambio climático.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo es aplicado. Según Ñaupas et al. (2018) al realizar la búsqueda de un problema que afecta a una empresa, comunidad o país mediante el uso de teorías o conocimiento existente. La naturaleza de investigación fue aplicada Calle (2023), debido a que el proyecto se centró en el ámbito tecnológico y buscó adquirir un profundo conocimiento sobre el funcionamiento del electrolizador. Este enfoque permitió desarrollar soluciones prácticas y concretas que abordaron el desafío de la generación de hidrogeno mediante un electrolizador.

3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño es experimental, la cual se entiende como la presencia o ausencia de una variable interviniente a fin de alterar o afectar a una variable dependiente (Gómez y Bolaños, 2022). El diseño implicó llevar a cabo un estudio en el mundo real para analizar, determinar y recopilar información detallada de los resultados obtenidos a partir de datos reales. Este enfoque permitió una comprensión más profunda de los fenómenos involucrados en la obtención de hidrógeno y brindó la oportunidad de evaluar su viabilidad y eficiencia en condiciones reales.

El nivel es descriptivo, ya que se busca describir el contexto o escenario en el que se encuentra una variable dependiente sin realizar ninguna modificación en su entorno (Castro, Gómez y Camargo 2023). Al respecto, se realizó un electrolizador capaz de producir hidrogeno sin la necesidad de modificar el contexto del escenario, esto quiere decir que se obtendrá hidrogeno a condiciones de laboratorio.

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: Electrolizador alcalino / Cuantitativo

Un electrolizador alcalino es un dispositivo diseñado para descomponer el agua (H_2O) en sus elementos constituyentes, hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2), mediante la aplicación de energía eléctrica. Este proceso se lleva a cabo mediante la electrólisis, que implica el paso de una corriente eléctrica a través de una solución

acuosa de electrolito, generalmente una base como el hidróxido de potasio o el hidróxido de sodio (Rincón et al. 2018).

Variable dependiente: Producción de hidrogeno / Cuantitativo

El hidrógeno es un elemento químico inflamable, incoloro, inodoro y gaseoso. Su nombre, que Henry Cavendish identificó por primera vez en 1781, denota su capacidad para generar agua al combinarse con el oxígeno. El hidrógeno es un gas ligero cuando se encuentra a temperatura ambiente; a temperaturas extremadamente bajas o presiones elevadas, puede transformarse en líquido o sólido. De acuerdo con los principios de la termodinámica, esto implica que las fuerzas repulsivas rebasan las fuerzas atractivas entre moléculas de hidrógeno a temperatura ambiente; de lo contrario, la expansión enfriaría el hidrógeno (Brijaldo et al., 2021)

En el anexo N° 1 se detalla la tabla de operacionalización de la variable independiente y dependiente de la presente investigación.

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

Se entiende como población al conjunto de procesos, personas o información que tiene como similitud rasgos característicos que permiten asociarlo como un conjunto (Hernández y Mendoza, 2018). Además, se entiende como la totalidad de sujetos que forman parte de interés de análisis (Pantoja et al., 2022). Al respecto, la población del presente estudio es finita y está conformado por 120 datos de producción de hidrogeno durante el funcionamiento del electrolizador.

3.3.2. Muestra

Es definida la muestra como la porción representativa que aun contiene rasgos característicos y sigue siendo una unidad de análisis (Ñaupas et al. 2018). Ante ello, la muestra es igual a los 120 datos de producción de hidrogeno durante el funcionamiento del electrolizador.

3.3.3. Muestreo

Es no probabilístico, de tipo censal, puesto que se evalua la totalidad de hidrogeno obtenido.

3.3.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis es el hidrogeno, ya que a partir de la cantidad obtenida se presenta los resultados obtenidos.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

La técnica que se utilizó fue tanto la observación como la medición para recopilar datos relevantes. La observación implicó visualizar y registrar de manera sistemática los diferentes aspectos relacionados con la desarrollo del electrolizador. Por otro lado, la medición implicó cuantificar aspectos específicos, como la producción de hidrogeno. Además, se analizó la reacción del electrolizador instalado.

Como instrumento de recolección de datos, se utilizó una guía o ficha que sirvió como una herramienta estructurada para recopilar información relevante. Esta guía contenía campos para registrar datos como el nombre del observador, la cual es la producción de hidrogeno. Estos detalles se encontraron en el anexo 2. Instrumento de recolección de datos.

3.5. Procedimientos

El presente estudio inicia con la recopilación de la información acerca de la electrolisis con el fin de plantear una solución, siendo para ello el sustento de la problemática a resolver, su justificación y el empleo de un procedimiento debidamente ordenado para que pueda ser replicado el estudio. Para el registro de la información se empleó instrumentos que permitieron evaluar la producción de hidrogeno, siendo importante el registro en todo momento.

Mediante el análisis de la situación se procede a seleccionar el electrolizador que mejor se adecue a las necesidades en la producción de hidrogeno para posteriormente diseñar y construir el electrolizador, asimismo, una vez se encuentre lista se procedió a recopilar información a través de los instrumentos.

3.6. Método de análisis de datos

El método de análisis de datos es descriptivo, ya que a través de la generación de gráficos y tablas se obtiene una visión sobre los procedimientos con el propósito de presentar los resultados obtenidos.

3.7. Aspectos éticos

La implementación de un electrolizador con el fin de producir hidrogeno implicó considerar una serie de aspectos éticos tanto a nivel nacional como internacional. A continuación, se presentan algunos de estos aspectos éticos y los criterios correspondientes:

En cuanto a la responsabilidad ambiental, se reconoció la importancia de proteger y preservar el medio ambiente. La implementación del electrolizador se alineó con este principio ético al buscar reducir las emisiones contaminantes y mitigar el impacto negativo en el entorno natural. En el ámbito nacional, se cumplieron las regulaciones y normativas ambientales establecidas por las autoridades en cuanto a emisiones contaminantes y estándares de calidad del aire. A nivel internacional, se mantuvo la adhesión a acuerdos y tratados relacionados con la reducción de emisiones y la protección ambiental, como el Protocolo de Kioto o el Acuerdo de París.

En términos de equidad y justicia social, se garantizó que la implementación del electrolizador fuera accesible y asequible para diferentes grupos sociales, evitando así la generación de desigualdades socioeconómicas. Tanto a nivel nacional como internacional, se promovió una equidad global en la adopción de tecnologías limpias, evitando una brecha tecnológica y económica entre naciones, especialmente en países en desarrollo.

En relación a la transparencia y divulgación de información, se mantuvo la importancia de proporcionar información clara y confiable sobre los beneficios reales del electrolizador, así como sobre su impacto ambiental y posibles limitaciones. Esto se aplicó tanto a nivel nacional como internacional, fomentando la colaboración y el intercambio de información entre países y organizaciones internacionales para mejorar la comprensión y difusión de las mejores prácticas en la implementación de tecnologías limpias.

En términos de evaluación de impacto, se consideró esencial realizar estudios integrales de los impactos ambientales, sociales y económicos de la implementación del electrolizador para la producción de hidrógeno. A nivel nacional, se llevaron a cabo evaluaciones de impacto ambiental y social antes de implementar el electrolizador, evaluando los beneficios y las posibles implicaciones a largo plazo. A nivel internacional, se compartieron las lecciones aprendidas y las mejores prácticas en la evaluación de impacto entre diferentes países y organismos internacionales, con el objetivo de establecer criterios comunes y mejorar continuamente las prácticas de implementación de tecnologías limpias.

IV. RESULTADOS

Para los resultados obtenidos se tiene como población y muestra la producción de hidrogeno como objeto de estudio basado en razones estadísticas y de representatividad; se obtuvo los datos mediante la observación durante la experimentación y se registraron en una ficha de observación.

4.1. Selección de un electrolizador como generador de hidrógeno

Para la selección del electrolizador es importante conocer su clasificación, en donde según la configuración de sus electrodos, y debido a que estas configuraciones pueden variar en su forma constructiva. Referente a los electrolizadores de celda, también conocidos como electrolizadores monopolares, operan de la siguiente manera: cada celda dentro del electrolizador cuenta con su propio cátodo y ánodo, así como con el espacio necesario para el electrolito. Estos espacios están separados por un diafragma, que comúnmente adopta la forma de una bolsa que rodea al electrodo; por lo tanto, este tipo de electrolizador posee un diafragma doble. El hidrógeno y el oxígeno se recolectan en tanques o módulos conectados a los espacios del cátodo y del ánodo, respectivamente.

El electrolizador de membrana de intercambio protónico es el tipo de electrolizador que posee alta eficiencia que se atribuye a su capacidad para soportar altas densidades de corriente y opera a presiones más elevadas que otros tipos de electrolizadores alternativos. Además, su construcción sencilla contribuye a sus ventajas.

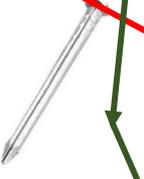
El consumo de electricidad asociado a la síntesis de hidrógeno mediante un electrolizador de membrana de intercambio protónico puede representar hasta el 70% del gasto total de producción de este elemento. Además, su vida útil media es de aproximadamente cinco años; por lo tanto, los avances en estas dos áreas pueden dar lugar a una reducción sustancial de los costos cuando se considera la producción en masa. Las pequeñas cantidades de hidrógeno producidas por estos electrolizadores son más frecuentes, lo que los hace óptimos para su uso en laboratorio.

4.1.1. Selección del electrolizador

Para la selección se utiliza la matriz morfológica a fin de identificar el electrolizador que mejor satisfaga la generación de hidrógeno, como se muestra a continuación:

Tabla 1

Matriz morfológica

Aspecto	Alternativa		
	A	B	C
Alimentación	Cargador 	Alimentación directa 	Regulador de voltaje 
Recipiente de solución	Recipiente cilíndrico tipo I 	Recipiente membrana 	Recipiente forma ovoide 
Electrodos	Electrodo tipo perno 	Electrodo con clavo de acero inoxidable 	Electrodo rectangular 
Cúpula de recepción	Cúpula cilíndrica 	Cúpula conica 	

Nota. Elaboración propia

Descripción de las diferentes alternativas de diseño

La matriz morfológica evidencia distintas alternativas, como se muestra a continuación:

a) Alternativa 1 (Línea Azul):

Una alternativa consiste en emplear un convertidor conectado a las placas de acero inoxidable, las cuales actúan como ánodo y cátodo dentro de un recipiente con forma ovoide. Una vez que la solución es transferida al contenedor y se pone en funcionamiento la fuente de alimentación, se inicia el proceso de electrólisis, que conduce a la generación de hidrógeno en el cátodo. Este hidrógeno, en forma gaseosa, es dirigido hacia una estructura tubular ubicada sobre el cátodo.

Limitaciones: La fuente de alimentación está restringida a una única diferencia de potencial y posibilidad de corriente. Además, el mal funcionamiento del recipiente ovoide y la cúpula receptora en forma de tubo puede ser obstaculizado por la configuración de las placas de acero.

b) Alternativa 2 (Línea amarilla):

En la segunda opción, se emplea una fuente de alimentación que convierte la corriente alterna en corriente continua utilizando un único voltaje y amperaje. Esta fuente de alimentación se conecta a electrodos rectangulares a una determinada distancia abajo de un recipiente de forma ovoide que contiene el agua, las cuales actúan como ánodo y cátodo respectivamente. El proceso de electrólisis se inicia una vez que la solución está contenida en el recipiente y la fuente de alimentación está en funcionamiento, lo que provoca la generación de hidrógeno en el cátodo. El hidrógeno producido en forma gaseosa es dirigido hacia una estructura tubular ubicada sobre el cátodo.

Una limitación de esta configuración es que la fuente de alimentación restringe tanto el potencial de voltaje como el de corriente.

c) Alternativa 3 (Línea verde):

La tercera alternativa consiste en la utilización de una fuente de alimentación que transforma la corriente alterna en corriente continua, lo que permite la existencia potencial de diversas combinaciones de tensión y corriente. La fuente de alimentación estará conectada a los clavos de acero inoxidable situados en el recipiente ovoide que contiene la solución, que sirven de ánodo y cátodo, respectivamente. El proceso de electrólisis comenzará una vez que la solución esté contenida en el recipiente y la fuente de alimentación esté operativa; durante esta fase, se producirá hidrógeno en el cátodo. La estructura

en forma de cúpula situada sobre el cátodo será la encargada de recibir el hidrógeno gaseoso que se produzca.

Entre los aspectos negativos cabe citar la mayor complejidad de la fuente de energía, que requiere un conocimiento previo de su funcionamiento, la necesidad de soldar clavos de acero en el recipiente, lo que complica su sustitución en caso de que haya que renovar los electrodos, y el riesgo de rotura de la cúpula receptora, de poca altura por su forma puntiaguda.

d) Alternativa 4 (Línea roja):

La cuarta opción implica el uso de una fuente de alimentación capaz de convertir corriente alterna en corriente continua, lo que posibilita diversas combinaciones de voltaje y amperaje. Esta fuente de energía se conecta a las placas de acero inoxidable dispuestas en un recipiente con forma de cubo que contiene la solución, actuando como ánodo y cátodo respectivamente. El proceso de electrólisis se inicia una vez que la solución está dentro del recipiente y la fuente de alimentación está activada, lo que conduce a la generación de hidrógeno en el cátodo. La emisión gaseosa de hidrógeno es dirigida hacia una estructura en forma de cúpula ubicada sobre el cátodo.

Inconvenientes: El uso de esta fuente de energía requiere un conocimiento previo de su funcionamiento, lo que agrega complejidad a su aplicación. Además, la forma de las placas de acero podría requerir un espacio significativo dentro del recipiente y plantearía un desafío considerable en cuanto a la disposición de la cúpula receptora, ya que no cabrían en las cúpulas receptoras de forma convencional.

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 2*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 Roja)		Alternativa Ideal	
Nº	Criterios de evaluación	Pc	P	Pc	P	Pc	P	Pc	P	Pc	P	Pc
1	Económico	5	4	20	4	20	3	15	3	15	5	25
2	Funcionamiento conjunto de las partes	5	3	15	3	15	2	10	4	20	5	25
3	Disponibilidad de piezas en el mercado	5	4	20	4	20	4	20	3	15	5	25
4	Facilidad de uso	5	3	15	5	25	3	20	2	10	5	25
	PUNTAJE	20	16	70	18	80	13	65	12	60	20	100
	Orden de Selección	-	2		1		3		4		-	

Nota. Elaboración propia

Selección tentativa de los materiales del electrolizador

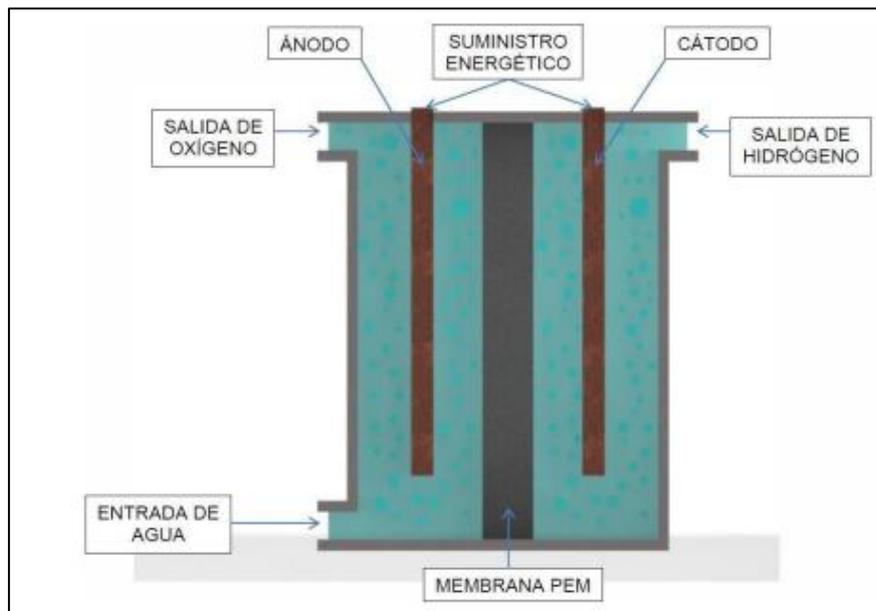
El electrolizador está compuesto por diversos componentes que pueden estar fabricados con una variedad de materiales. Es crucial evaluar estos componentes para seleccionar la alternativa más rentable y eficiente en términos de rendimiento. A continuación se detallan los elementos del electrolizador que requieren evaluación:

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

El funcionamiento del electrolizador se basa en el principio de la electrólisis, que es un proceso químico en el cual una corriente eléctrica se utiliza para descomponer una sustancia en sus componentes básicos. En el caso del electrolizador utilizado para la producción de hidrógeno mediante la combinación de los elementos descritos anteriormente.

Figura 1

Esquema simplificado de un electrolizador PEM



Nota. Se muestra los elementos que intervienen en la electrólisis. Tomado de Velásquez y Quiceno (2013)

4.1.2. Selección del recipiente de la solución

Después de describir las características, se procede a desarrollar una matriz de evaluación con el fin de determinar qué material sería más adecuado para el recipiente que contendrá la solución.

Tabla 3

Evaluación del diseño del electrolizador

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		Ideal	
Nº	Criterios de evaluación	Pc	P	Pc	P	Pc	P	Pc
1	Resistencia a la fractura	5	5	25	4	20	5	25
2	Resistencia a agentes químicos	5	5	25	5	25	5	25
3	Aislamiento eléctrico	5	4	20	3	15	5	25
4	Aislamiento térmico	3	3	9	2	6	3	9
	Puntaje	18	14.5	79	12.5	66	18	84
Orden de Selección		-	1		2		-	

Nota. Elaboración propia

Después de completar la matriz de evaluación en la que se compararon la cerámica y el vidrio, se llegó a la conclusión de que la cerámica sería el material preferido para su utilización. Específicamente, la porcelana fue seleccionada debido a que exhibe las mejores cualidades dentro de su categoría: resistencia a altas temperaturas, excelente aislamiento eléctrico y resistencia química.

4.1.3. Selección de ánodos y cátodos del electrolizador

Los tipos considerados para su uso como ánodos y cátodos incluyen una variedad de aceros inoxidables, como los martensíticos, ferríticos y austeníticos. En la siguiente sección, se presentará una matriz de ponderación que se utilizará para evaluar diversas propiedades y características de estos aceros en comparación con un candidato óptimo. Se elegirá el material de acero inoxidable que mejor se asemeje a la alternativa óptima.

Tabla 4*Matriz de evaluación Aceros inoxidable*

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										
Nº	Variantes de evaluación	Pc	Aceros Inoxidables Martensíticos		Aceros Inoxidables Ferríticos		Aceros Inoxidables Austeníticos		Alternativa Ideal	
			P	Pc	P	Pc	P	Pc	P	Pc
1	Endurecibles por tratamiento térmico	5	3	15	1	5	3	15	5	25
2	No Magnéticos	3	2	6	3	9	1	3	3	9
3	Dureza	5	4	20	2	10	4	20	5	25
4	Resistencia a la corrosión	3	2	6	3	9	5	15	3	9
5	Soldabilidad	3	1	3	3	9	2	6	3	9
	PUNTAJE	19	11	50	10	42	16	59	19	77
	Orden de Selección	-	2		3		1		-	

Nota. Elaboración propia

Después de establecer que el material seleccionado es el acero inoxidable austenítico y completar la matriz de evaluación de los distintos tipos de acero inoxidable, se procederá a generar una matriz de evaluación adicional para comparar tres variedades diferentes de acero inoxidable austenítico:

a) Acero inoxidable 302:

Este tipo de acero cuenta con cualidades adaptables y es adecuado para una amplia gama de aplicaciones. Se recomienda para estructuras soldadas ligeras que requieren una resistencia excepcional a la corrosión. Presenta un comportamiento térmico favorable (entre 800 y 900 grados Celsius) y posee excelentes propiedades mecánicas. Se aconseja su uso especialmente al soldar materiales densos. Algunos ejemplos de aplicaciones incluyen equipos de procesamiento químico, accesorios aeronáuticos, elementos de fijación y equipos hospitalarios.

b) Acero inoxidable 309:

Este tipo de acero destaca por su durabilidad, resistencia mecánica y resistencia a la oxidación excepcionales a temperaturas de hasta 1000 grados

Celsius. Se utiliza comúnmente en intercambiadores de calor, radiadores de aire, equipos de procesamiento químico y componentes de quemadores de turbinas de gas.

c) Acero inoxidable 316:

El acero inoxidable 316 es conocido por su resistencia a una amplia gama de sustancias corrosivas, ácidos, ambientes salinos y alcalinos. Se utiliza en diversas aplicaciones, como textiles, productos farmacéuticos, embellecimiento arquitectónico y equipos de procesamiento de alimentos.

A continuación, se presenta la matriz de evaluación de los aceros inoxidables mencionados anteriormente.

Tabla 5

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 302		Aceros Inoxidable AISI 304		Aceros Inoxidable AISI 316		Alternativa Ideal	
Nº	Criterios de evaluación	Pc	P	Pc	P	Pc	P	Pc	P	Pc
1	Endurecibles por tratamiento térmico	5	4	20	4	20	4	20	5	25
2	No Magnéticos	3	3	9	4	12	3	9	3	9
3	Dureza	5	4	20	4	20	4	20	5	25
4	Resistencia a la corrosión	4	4	16	4	16	2	8	4	16
5	Soldabilidad	4	5	20	5	20	5	20	4	16
	PUNTAJE	21	20	85	21	88	18	77	21	91
	Orden de Selección	-	1		2		3		-	

Nota. Elaboración propia

Después de llevar a cabo una evaluación de los aceros inoxidables austeníticos, que abarcó una comparación de diversos factores como el coste, la soldabilidad y la resistencia a la corrosión, se optó por seleccionar el acero inoxidable 309 tanto para el ánodo como para el cátodo del electrolizador.

4.2. Diseño y construcción del electrolizador

4.2.1. Diseño del electrolizador

El diseño del electrolizador tipo membrana de intercambio protónico (PEM) es necesario conocer el área de la membrana de intercambio de protones, y además, el consumo necesario de la celda a fin de identificar la corriente a requerir, en ese sentido, se busca identificar los parámetros mínimos para el diseño del electrolizador considerando la siguiente información:

Tabla 6

Valores del agua e hidrogeno

Parámetro	Información
Peso molecular H ₂ O (g/mol)	18,01
Nº de moles de H ₂	1
Peso molecular H ₂ (g/mol)	2,01
Capacidad membrana nafion (A/cm ²)	1
To (K)	273,15
Po (kPa)	100
Constante de Faraday (C/mol)	96474,71
Corriente de 1 mol_H ₂ /s (A/s)	192949,4
Número de Avogadro	6,02E+23
Carga del electrón (e-)	1,60E-19
Constante particular del hidrógeno	4124.7 J/Kg*K

Nota. Se muestra información del agua e hidrogeno obtenida en material de consulta

Para la producción de hidrogeno se va utilizar una fuente de alimentación alimentada con energía procedente de la concesionaria eléctrica, la cual al regularse debe generar un total de 10 amperios, por lo que el electrolizador cuenta con 50 A de corriente generada. Para calcular el área necesaria se empleó la siguiente fórmula:

$$A_c = \frac{I_H}{C_n}$$

Donde:

A_c: Es representa por el área requerida

I_H: Corriente generada por hidrogeno producido

C_n: Capacidad de la membrana

Reemplazando en la fórmula anterior, se obtiene:

$$A_c = \frac{10 A}{1 \frac{A}{cm^2}} = 50 cm^2$$

Asimismo, es importante conocer cuando hidrogeno se puede generar a través de la corriente utilizada, siendo utilizada la siguiente fórmula:

$$H_g = \frac{I_H * N_m * P_H}{I_M}$$

Donde:

H_g : Hidrógeno generado

I_M : Corriente generado por cada mol de H_2 en cada segundo

P_H : Peso molecular del H_2

N_m : Número de moles de hidrógeno

Al reemplazar, se obtiene:

$$H_g = \frac{10 A * 1 mol * 2.01594 g/mol}{192949.423 A/s} = 0.0001 g/s$$

El hidrogeno generador en centímetros cúbicos estándar (scm^3) es el siguiente:

$$H_G = \frac{scm^3}{min} = Hg \frac{g}{s} * R_{H_2} \frac{KJ}{Kg} * K * \frac{T_0 K}{P_0 KPa}$$

Donde:

H_G : Hidrógeno generado

R_{H_2} : Constante de gas del hidrógeno

T_0 : Temperatura estándar

P_0 : Presión estándar

Reemplazando, se obtiene

$$H_G = 0.0001 \frac{g}{s} * 4.124 \frac{KJ}{Kg * K} * \frac{273.15 K}{101.325 kPa} = 0.011 \frac{scm^3}{min}$$

Por otro lado, mediante el ingreso del agua al electrolizador se obtiene el flujo másico de agua mediante la siguiente fórmula:

$$C_{H_2O} \frac{g}{s} = \frac{I_H * N_{H_2O} * P_{H_2O}}{I_H}$$

Donde:

C_{H_2O} : Consumo de agua

P_{H_2O} : N° de moles de agua

N_{H_2O} : Peso molecular del agua

Reemplazando se obtiene:

$$C_{H_2O} = \frac{10 A * 1 mol * 18.01534 g/mol}{192949.423 A/s} = 0.93 * 10^{-3} g/s$$

Al determinar el consumo de agua, caudal del hidrogeno y el flujo de masa, así como el área en los electrodos se procede a diseñar el generador de hidrógeno por electrolisis.

La eficiencia de la celda, es obtenida de la siguiente manera:

$$Eficiencia = \frac{moles\ de\ hidrógeno\ producido * HHV\ de\ H_2}{I * V * t}$$

Donde:

Moles de hidrógeno producido: Es el hidrógeno generado

*HHV de H2: Es el valor calorifico (141.86 MJ * Kg*

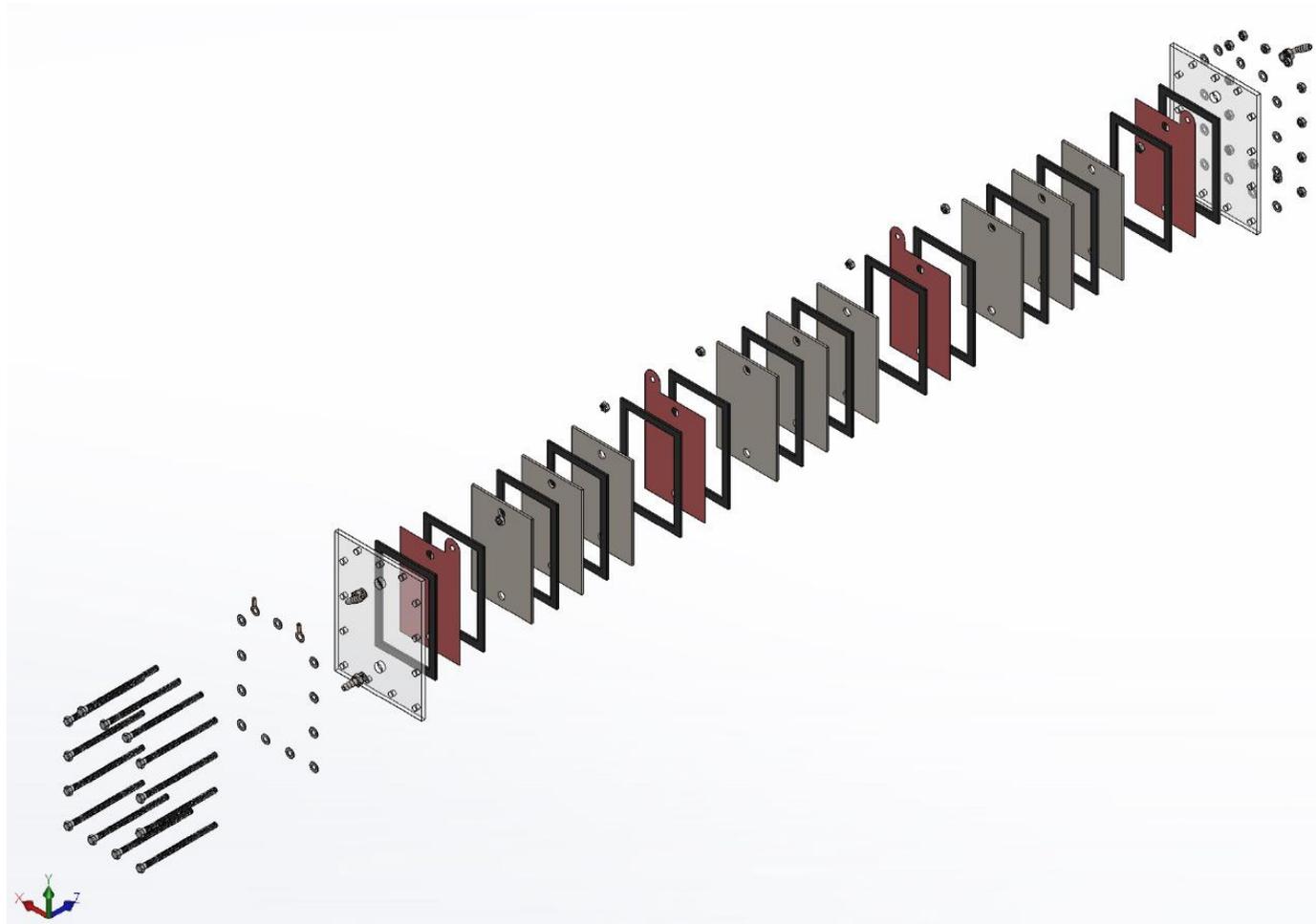
Reemplazando, se obtiene:

$$Eficiencia = \frac{0.011 \frac{scm^3}{min} * 141.86 MJ/Kg}{10 * 12 * 60} * 100\%$$

$$Eficiencia = 0.26\%$$

Figura 2

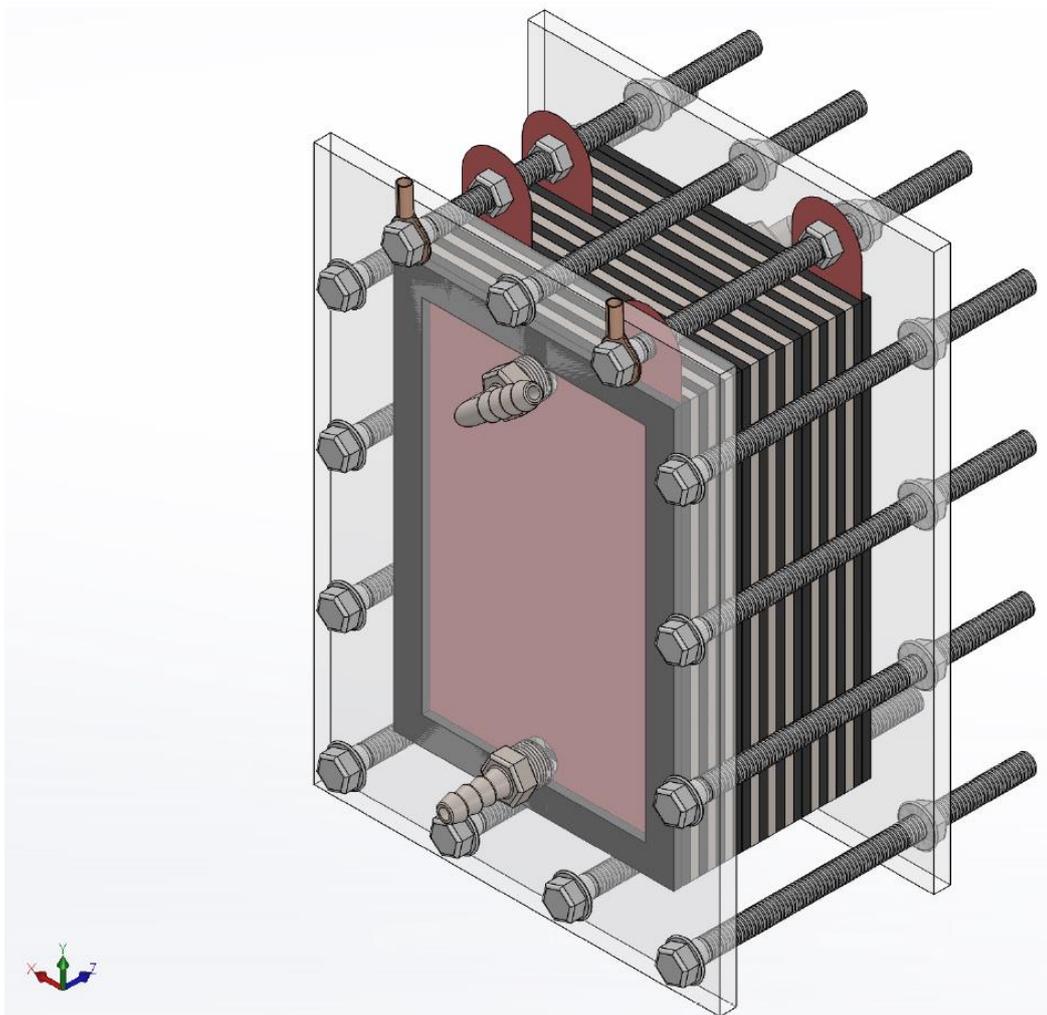
Electrolizador vista explosionada



Nota. Elaboración propia

Figura 3

Electrolizador vista explosionada



Nota. Elaboración propia

4.2.2. Construcción del electrolizador

Para la construcción del electrolizador se requiere el marcado del separador de caucho de 2 mm de espesor, en donde se utiliza un instrumento de medición adecuado un calibrador, para marcar la ubicación y las dimensiones del separador de caucho sobre el material, siendo la marca con precisión la longitud y el ancho del separador, asegurándose de que se ajuste correctamente a las dimensiones requeridas para el electrolizador.

Figura 4

Marcado del separador de caucho de 2 mm de espesor



Nota. Elaboración propia

En el corte de los separadores de caucho, se utilizó herramientas de corte adecuadas, como tijeras de corte o un cuchillo de uso general, para cortar el caucho según las marcas realizadas previamente, para lo cual se procede con cuidado para garantizar cortes limpios y precisos, evitando dañar el material.

Figura 5

Corte de los separadores de caucho



Nota. Elaboración propia

En el corte de plancha de acero inoxidable AISI 302 de 0.12 mm de espesor, se utiliza herramientas de corte específicas para metales, como una sierra de arco con hoja fina o una cizalla de metal, para cortar la plancha de acero inoxidable, en donde se asegúrate de tomar las medidas adecuadas y marca el área a cortar antes de proceder con el corte, para lo cual se corta con cuidado para evitar deformaciones o rebabas en el metal.

Figura 6

Corte de plancha de acero inoxidable AISI 302 de 0.12 mm espesor



Nota. Elaboración propia

Adicionalmente, se contó con una cuba de plástico de 1.50 litros de almacenamiento, siendo que se selecciona una cuba de plástico adecuada que cumpla con las dimensiones y capacidades requeridas para el almacenamiento del electrolito, en ese sentido, se limpia la cuba para asegurarte de que esté libre de cualquier contaminante que pueda afectar el proceso.

Figura 7

Cuba de plástico de 1.50 litros de almacenamiento



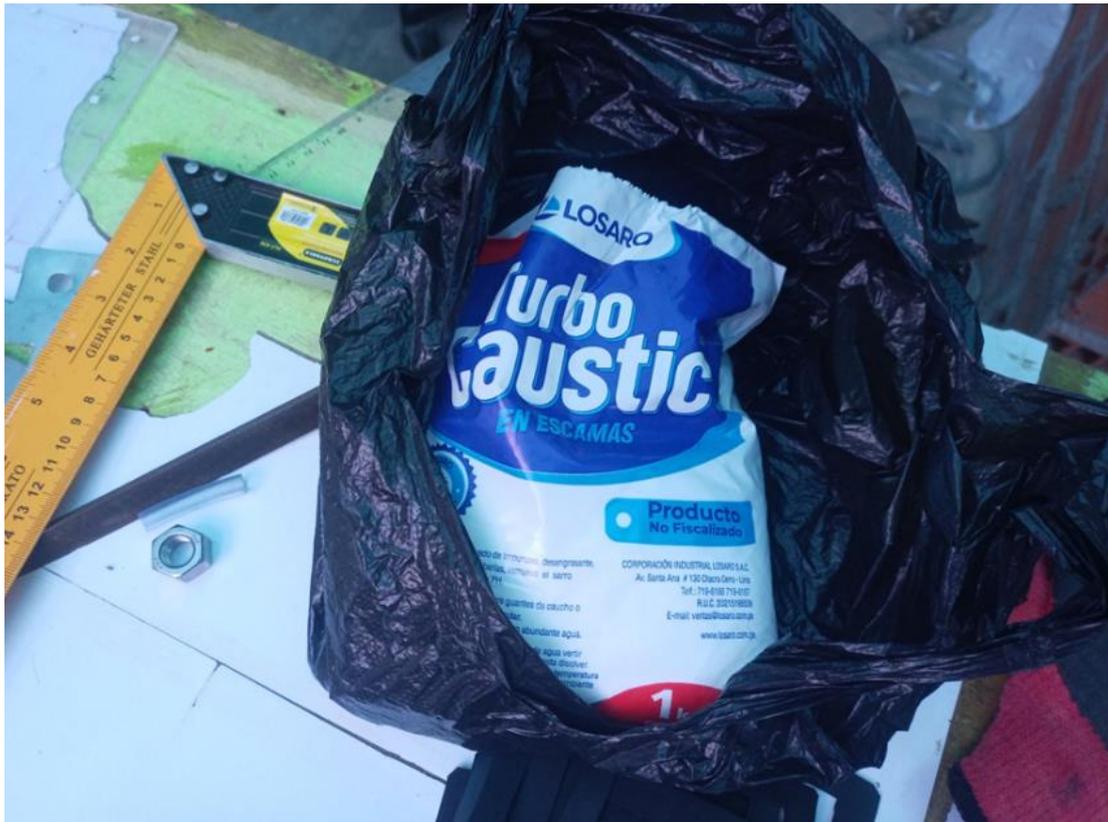
Nota. Elaboración propia

Además, el químico para mejorar la conductividad eléctrica del agua - hidróxido de sodio o soda cáustica (NaOH), la cual se prepara una solución de hidróxido de sodio disolviendo una cantidad específica en agua, de acuerdo con las concentraciones requeridas para el electrolizador para que se añada el

hidróxido de sodio gradualmente al agua, removiendo con cuidado para asegurar una disolución homogénea. En este paso es importante la precaución al manipular la soda cáustica, ya que es un compuesto corrosivo y debe tratarse con cuidado.

Figura 8

Químico para mejorar conductividad eléctrica del agua - hidróxido de sodio o soda cáustica (NaOH)



Nota. Elaboración propia

En la perforación de los sujetadores base del electrolizador, se utiliza una herramienta de perforación adecuada, como un taladro con una broca del tamaño adecuado, para hacer los agujeros en los sujetadores base del electrolizador, para lo cual se marca la ubicación de los agujeros con precisión antes de perforar para garantizar una alineación adecuada.

Figura 9

Perforación de los sujetadores base del electrolizador



Nota. Elaboración propia

Referente a la colocación y sujeción de niples escamados de 1/4", se inserta los niples escamados en los agujeros perforados en los sujetadores base del electrolizador, siendo utilizado herramientas de sujeción, como una llave inglesa, para asegurar los niples en su lugar con firmeza.

Figura 10

Colocación y sujeción de niples escamados de 1/4"



Nota. Elaboración propia

En el armado del electrolizador se ensambla todas las partes del electrolizador, incluyendo los separadores de caucho, las placas de acero inoxidable y los sujetadores base, de acuerdo con el diseño previamente establecido, siendo

importante asegurar de que todas las conexiones estén bien ajustadas y que no haya fugas de ningún tipo de líquido.

Figura 11

Armado del electrolizador



Nota. Elaboración propia

En la medición de voltaje se consideró un regulador de voltaje, en donde se conecta los terminales del voltímetro a los terminales y registra la lectura del voltaje.

Figura 12

Esquema simplificado de un electrolizador PEM



Nota. Elaboración propia

Así también, se realiza el pesado de soda cáustica que se usará en el electrolizador mediante una balanza de precisión para pesar la cantidad

específica de soda cáustica requerida para el electrolizador, siendo vertida cuidadosamente la cantidad medida en el electrolizador, evitando derrames o contaminación.

Figura 13

Pesado de soda cáustica que se usará en el electrolizador



Nota. Elaboración propia

En la medición de corriente de consumo del electrolizador al usar 40g de soda cáustica, se conecta un amperímetro en serie con el circuito eléctrico del electrolizador para medir la corriente de consumo, siendo registrada la lectura del amperímetro mientras el electrolizador está en funcionamiento utilizando la cantidad especificada de soda cáustica.

Figura 14

Medición de corriente de consumo del electrolizador al usar 40g de soda cáustica



Nota. Elaboración propia

Cada paso requiere atención en los detalles y el uso adecuado de herramientas e instrumentos específicos para resultados favorables durante la construcción del electrolizador.

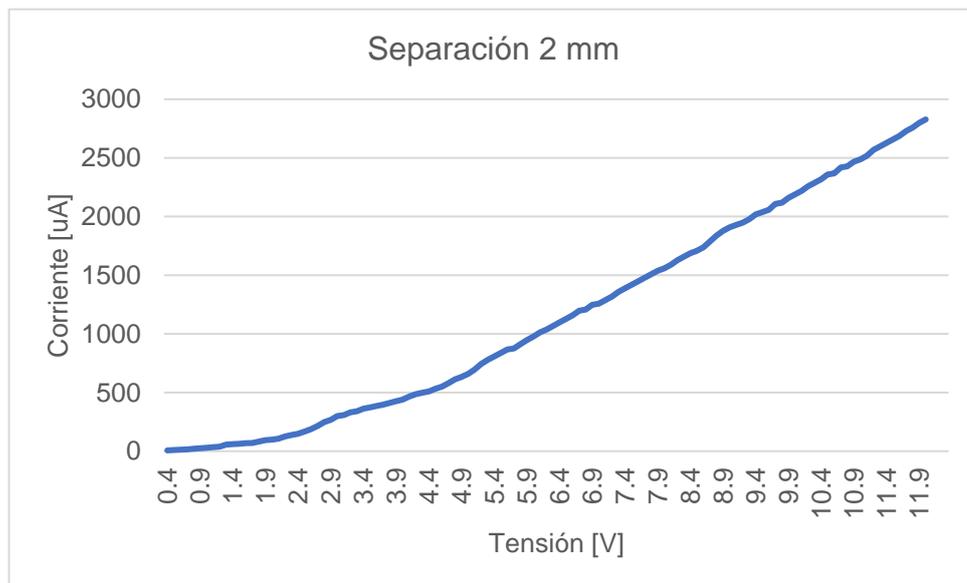
4.3. Evaluación de generación de hidrogeno mediante el electrolizador

Mediante pruebas realizadas a la celda electrolizadora se busca identificar su comportamiento en distintas condiciones a fin de obtener la curva de voltaje-corriente y la eficiencia de producción del H_2 :

Prueba 1: En la presente prueba se cuenta con una corriente dependiente del voltaje y acero inoxidable 302.

Figura 15

Corriente en función al voltaje a una separación de 2 mm

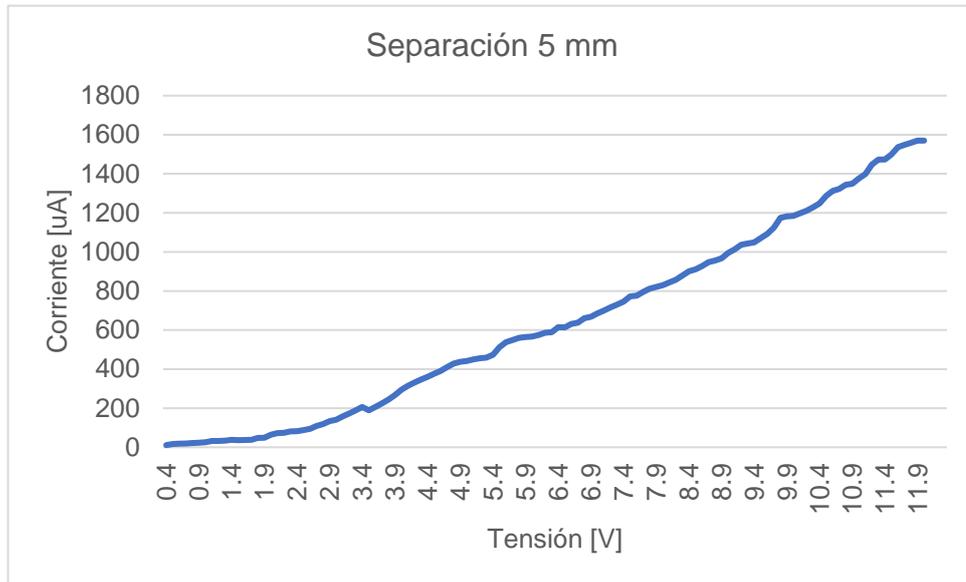


Nota. Elaboración propia

En la figura 15 se muestra la separación en función de la tensión, para celdas de agua a una separación de 2 mm, siendo el aumento de la corriente en función al voltaje, en donde con un voltaje de 12 v se obtiene una corriente de 2828 μA .

Figura 16

Corriente en función al voltaje a una separación de 5 mm

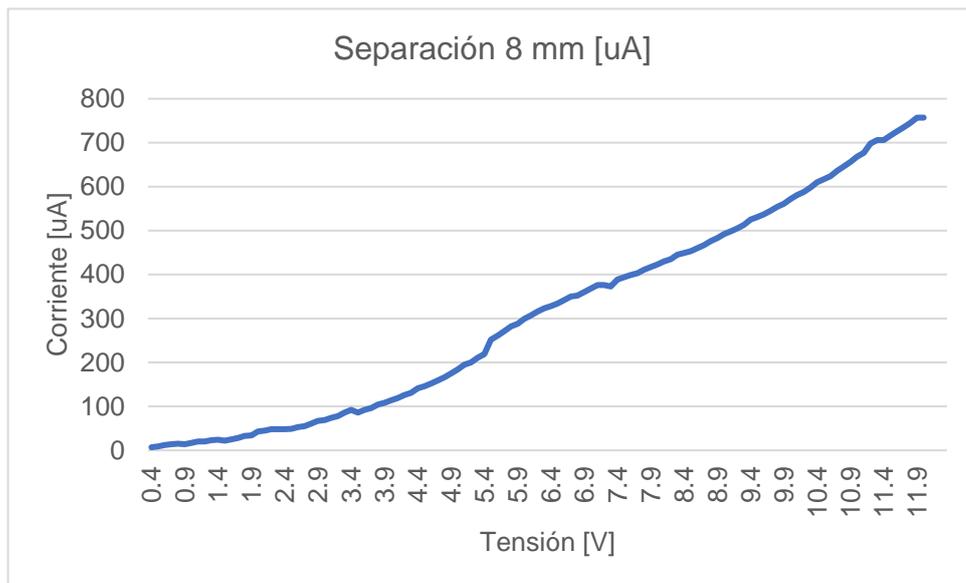


Nota. Elaboración propia

En la figura 16 se muestra la separación en función de la tensión, para celdas de agua a una separación de 5 mm, siendo el aumento de la corriente en función al voltaje, en donde con un voltaje de 12 v se obtiene una corriente de 1570 μA ,

Figura 17

Corriente en función al voltaje a una separación de 8 mm

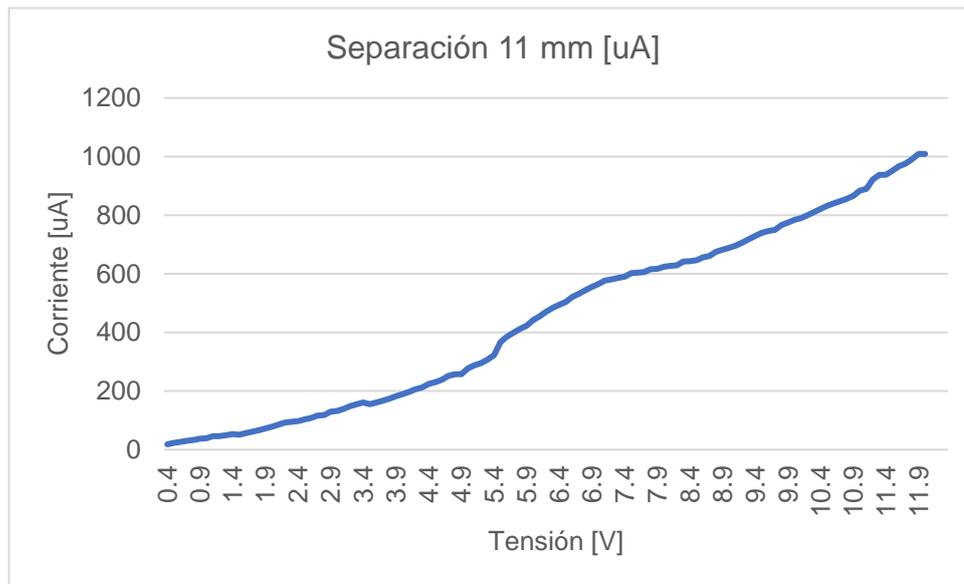


Nota. Elaboración propia

En la figura 17 se muestra la separación en función de la tensión, para celdas de agua a una separación de 8 mm, siendo el aumento de la corriente en función al voltaje, en donde con un voltaje de 12 v se obtiene una corriente de 757 μA ,

Figura 18

Corriente en función al voltaje a una separación de 11 mm



Nota. Elaboración propia

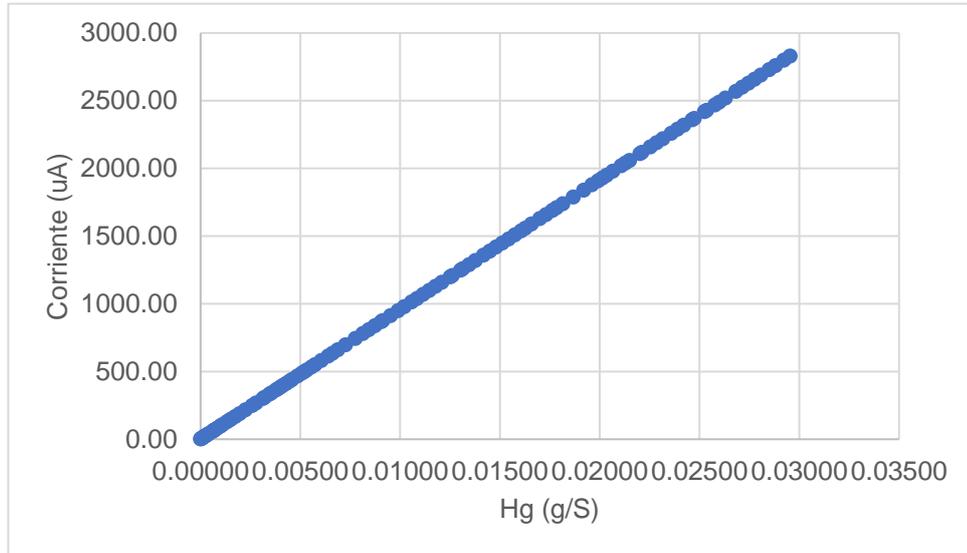
En la figura 18 se muestra la separación en función de la tensión, para celdas de agua a una separación de 8 mm, siendo el aumento de la corriente en función al voltaje, en donde con un voltaje de 12 v se obtiene una corriente de 1009 μA ,

Prueba 2: Producción de hidrogeno en función al incremento de corriente

Una forma distinta de obtener la producción del hidrogeno es en función del incremento de la corriente en el electrolizador, por lo que se procede a identificar el hidrogeno producido mediante el incremento de la corriente, como se muestra a continuación.

Figura 19

Producción de hidrogeno a una separación de 2 mm

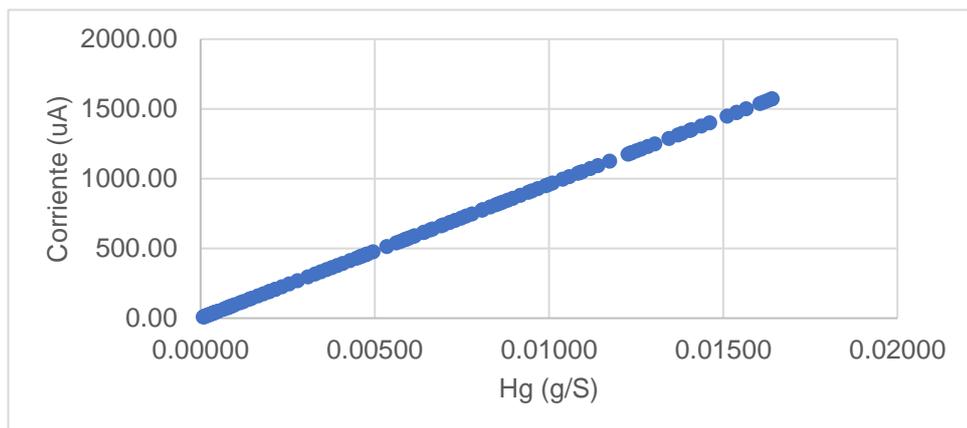


Nota. Elaboración propia

Se muestra en la figura 19, que a una corriente de 2828 μA se logra generar 0.02955 g/s de hidrogeno, por lo que la distancia de separación de 2 mm es óptima durante la obtención de hidrogeno y se evidencia que a mayor corriente mayor hidrógeno se obtuvo.

Figura 20

Producción de hidrogeno a una separación de 5 mm



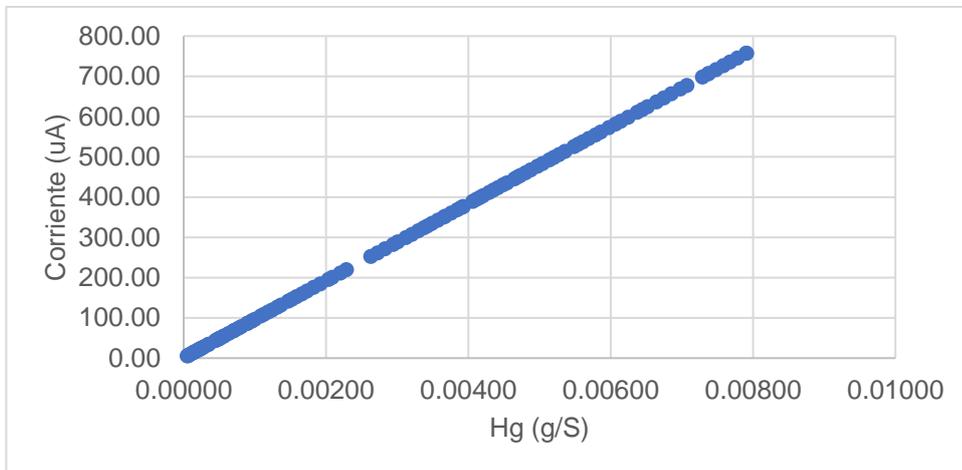
Nota. Elaboración propia

Se muestra en la figura 20, que a una corriente de 1570 μA se logra generar 0.01640 g/s de hidrogeno, por lo que la distancia de separación de 5 mm es

óptima durante la obtención de hidrogeno y se evidencia que a mayor corriente mayor hidrógeno se obtuvo.

Figura 21

Producción de hidrogeno a una separación de 8 mm

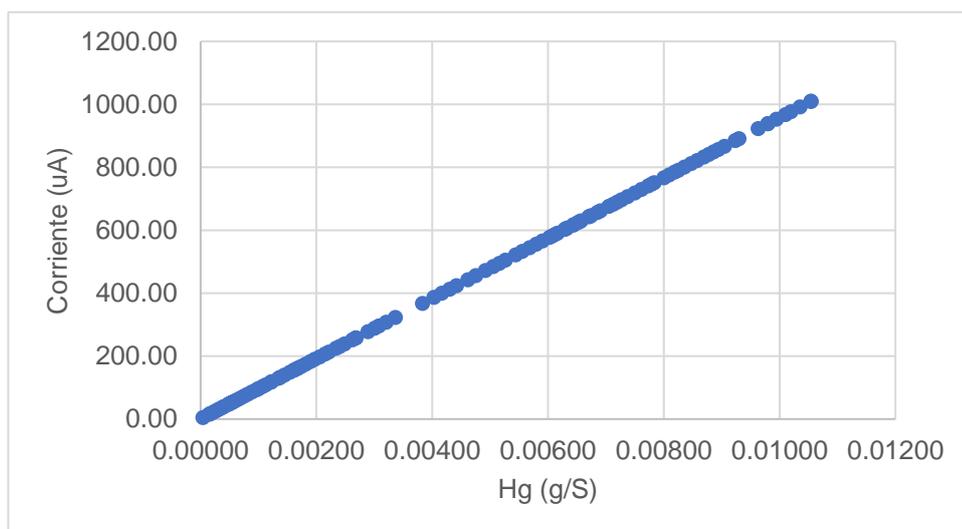


Nota. Elaboración propia

Se muestra en la figura 21, que a una corriente de 757 μA se logra generar 0.00797 g/s de hidrogeno, por lo que la distancia de separación de 8 mm es óptima durante la obtención de hidrogeno y se evidencia que a mayor corriente mayor hidrógeno se obtuvo.

Figura 22

Producción de hidrogeno a una separación de 11 mm



Nota. Elaboración propia

Se muestra en la figura 22, que a una corriente de 1009 μA se logra generar 0.01054 g/s de hidrogeno, por lo que la distancia de separación de 11 mm es óptima durante la obtención de hidrogeno y se evidencia que a mayor corriente mayor hidrógeno se obtuvo.

4.4. Costos de construcción del electrolizador

Se presenta la tabla 7 de gastos totales de materiales e insumos que se hicieron en el transcurso del armado e implementación fueron de S/.643.90.

Tabla 7

Costos de materiales e implementación

Cod. Presupuestal	Material e insumo	Unidad	Cantidad	Importe
2.3. 1 6. 1 3	Placa de Acero Inoxidable AISI 302 - 0.12 mm	m2	1.20	S/.150.00
2.3. 1 7. 1 1	Cuba de PVC y vidrio	ud.	1	S/.20.00
2.3. 1 7. 1 1	Acrílico de plástico 30cm x 20cm x 7mm	ud.	1	S/.15.00
2.3. 1 5. 4 1	Cable 10-AWG	m	3	S/.24.00
2.3. 1 7. 1 1	Varilla roscada inoxidable 1/4"	m	2	S/.14.00
2.3. 1 7. 1 1	Abrazaderas	ud.	12	S/.6.00
-	Codo inoxidable de 1/4"	ud.	3	S/.18.00
-	Niple escamado de bronce de 5/16" a 1/4"	ud.	4	S/.20.00
-	Niple escamado de bronce 5/8" a 5/16"	ud.	2	S/.12.00
-	Niple inoxidable 1/4" x 1"	ud.	3	S/.12.00
-	Tee escamado de bronce de 5/16"	ud.	1	S/.8.00
-	Manguera transparente 5/16"	m	5	S/.10.00
-	Tuercas de metal de 1/4"	ud.	26	S/.5.20
-	Anillos de metal de 1/4"	ud.	26	S/.5.20
-	Conector rápido hembra de acero cromado 1/4"	ud.	1	S/.9.00
-	Brocas para fierro de 1/4" y 7/16"	ud.	2	S/.24.00
-	Unión roscada inoxidable de 5/8"	ud.	1	S/.7.00
-	Cinta teflón de 1/2"	ud.	4	S/.6.00
-	Cinta aislante 3M	ud.	1	S/.5.00
-	Pegamento en frío (SoldiMix)	ud.	1	S/.8.50
-	Conector neumático 5/16" a 1/4"	ud.	2	S/.16.00
2.3. 1 5. 4 1	Fuente de alimentación DC	ud.	1	S/.220.00

-	Porta-fusible	ud.	1	S/4.00
-	Interruptor 35A 12VDC de 2 polos	ud.	1	S/7.00
-	Terminales de anillo no aislado 10-AWG 5/16	ud.	4	S/2.00
-	Terminal aislado hembra espiga ¼"	ud.	2	S/1.00
2.3. 1 99. 1 2	Soda Cáustica	kg	1	S/15.00
			TOTAL	S/643.90

Nota. Elaboración propia

En un análisis de los costos de implementación del electrolizador se tiene un valor máximo del costo de: 643.90 soles.

Como interpretación, siendo la fuente de alimentación y la plancha de acero inoxidable las que presentan los mayores valores del costo total, se debe a que son más costosas que los demás insumos y materiales que se requiere para armar el electrolizador, esto provoca que el costo sea elevado para implementar el electrolizador.

V. DISCUSIÓN

En el objetivo general de la investigación, que se enfoca en diseñar e implementar un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrógeno, Chimbote - 2024, se obtuvo como resultado que el electrolizador diseñado permite la producción de hidrogeno en función de la corriente, esto quiere decir que mayor corriente se obtendrá mayor hidrogeno, por lo que se demuestra que es una solución viable, por lo que se ha demostrado que el electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) favorece en obtener hidrogeno de manera segura. Lo expuesto, es concordante con Franco y Giovannini (2023) quienes al utilizar la tecnología AEM obtuvieron 18 MW (Kg H₂/H)/MW de hidrogeno, así como se establece la arquitectura de solución lógica del sistema WE para baja temperatura y el sistema WE de óxido sólido simplificado. Asimismo, Ehlers et al. (2023) menciona que las tecnologías SOEC, PEMWE y AWE son idóneas para la producción de hidrogeno, siendo el ARE la que funciona de 120 °C a más y cuenta con mayor conductividad y estabilidad, ya que los separadores de diafragma permitirán una conducción con mayor eficiencia.

Respecto al primer objetivo específico de la investigación, que se enfoca en seleccionar un electrolizador como generador de hidrogeno, se consideró una matriz morfológica que permita la selección de una alternativa idónea, en donde se eligió la alternativa 2 al presentar un mayor puntaje, por lo que se diseñó un electrolizador PEM debido a que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto. Bajo lo expuesto, el procedimiento realizado concuerda con Polo (2022) quien en el diseño de su electrolizador empleó una matriz morfológica, así como obtuvo los parámetros de funcionamiento, la cantidad de hidrogeno y el tiempo de autonomía para un tanque de 156.6 L. Asimismo, se concuerda con Bai et al. (2019) quien analizó la viabilidad de la energía del hidrógeno como solución para reducir la contaminación del aire en China, en donde recopiló información relevante sobre políticas energéticas, tecnología del hidrógeno y perspectivas de implementación a gran escala, siendo que el hidrogeno tiene el potencial de ser una estrategia efectiva para reducir la contaminación del aire y promover una economía baja en carbono.

En el segundo objetivo específico de la investigación, que se enfoca en diseñar y construir un electrolizador PEM para la producción de hidrogeno, se obtuvo muestra un área requerida de 50 cm^2 , 0.001 g/s de hidrogeno generador y un consumo de agua de $0.93 * 10^{-3} \text{ g/s}$, por lo que se pudo identificar los parámetros necesarios para su construcción. Referente a la construcción fue necesario utilizar 25 electrodo rectangular. Lo expuesto, es concordante con Riojas y Pazos (2022), quienes identifican las tecnologías adecuadas y evidencian que la construcción de electrolizadores son viables para la producción de hidrogeno, siendo que tiene un elevado potencial en el futuro debido a que el Perú cuenta con alto potencial de energía sostenible.

En el tercer objetivo específico de la investigación, que es evaluar la generación de hidrogeno mediante electrolizador se obtuvo que a una separación de 2 mm uA se obtiene la mayor corriente de $2828 \mu\text{A}$, a 12 V a comparación de separaciones de 5 mm que con un voltaje de 12 v se obtiene una corriente de $1570 \mu\text{A}$, a 8 mm en con un voltaje de 12 v se obtiene una corriente de $757 \mu\text{A}$, y a 11 mm con un voltaje de 12 v se obtiene una corriente de $1009 \mu\text{A}$. Lo expuesto, es concordante con Franco y Giovannini (2023) quien en su investigación ha identificado que un sistema de electrolisis cuenta con una eficiencia del 65% al convertir el 60% de la energía eléctrica de entrada en energía química almacenada en gas hidrógeno, así como en el proceso de electrolisis se busca acercarse al valor de 33 kWh de energía mediante 9 Kg por hidrogeno producido. Asimismo, Rodriguez, Silva y Urbina (2022) lograron un electrolizador hibrido $\text{Ni} - \text{NiO} - \text{Cr}_2\text{O}_3$ y un ánodo $\text{NiFe/NiSx} - \text{Ni}$ en agua de mar que contará con una celda solar como fuente de alimentación a fin de garantizar la eficiencia y alta durabilidad del sistema propuesto.

Respecto al cuarto objetivo específico de la investigación, que se enfoca en determinar los costos de implementación del electrolizador, se obtuvo que con un costo de S/ 643.90 se logra la construcción del electrolizador PEM a fin de producir hidrogeno, siendo la fuente de alimentación y la plancha de acero inoxidable las que presentan los mayores valores del costo total, se debe a que son más costosas que los demás insumos y materiales que se requiere para armar el electrolizador, esto provoca que el costo sea elevado para

implementar el electrolizador. Lo expuesto, es concordante con Carhuatocto y Carrasco (2022), quien en su investigación para una potencia de 11.5 kW y una eficiencia de 84% de su sistema propuesto demostró que es viable al arrojar un TIR del 35% y un retorno de 2.2 años de la inversión.

No obstante, las conclusiones propuestas por otros investigadores presentan ciertas similitudes con los resultados proporcionados por el autor, cuyo enfoque investigativo se centró en la evaluación de producción de hidrógeno a través de electrolisis, destinado a ser empleado como combustible. A pesar de estas coincidencias, los resultados obtenidos por ambas partes resaltan, una vez más, la eficacia de la utilización del hidrógeno como fuente de energía, destacando que la emisión de contaminantes está directamente vinculada a la cantidad de gas hidrógeno utilizado. Adicionalmente, se evidencia que la obtención de hidrógeno no está limitada a una única metodología, sino que existen numerosas formas rentables y accesibles que cualquier investigador puede explorar. Estos hallazgos subrayan la diversidad de enfoques disponibles para la producción de hidrógeno, reforzando la idea de que este recurso puede ser obtenido de maneras diversas y efectivas.

Como limitación de esta investigación, el tamaño y alcance del estudio; con el número limitado de muestras pueden ser resultados completamente no representativos, en un estudio pequeño puede no aplicarse a una escala más amplia. La infraestructura y almacenamiento adecuada para producir, almacenar, y distribuir hidrógeno puede ser una limitación importante para la implementación. Seguridad y almacenamiento de hidrógeno, el hidrógeno es altamente inflamable y requiere precauciones de seguridad especiales en su manejo y almacenamiento, la falta de protocolos de seguridad adecuados puede limitar su uso. Además, estas limitaciones pueden ser áreas de enfoque para futuras investigaciones en el campo del hidrógeno como combustible.

La realización de este estudio de investigación aplicada y experimental, con el objetivo de abordar la contaminación ambiental mediante la construcción de un electrolizador, plantea una serie de fortalezas y debilidades que son esenciales para comprender y evaluar la validez y las implicaciones de los resultados obtenidos. Entre las fortalezas de este enfoque de investigación, destacó la

alta capacidad de control sobre las variables del estudio. Además, la reproducibilidad de los experimentos fue una ventaja significativa, lo que demostró que los efectos observados son consistentes y no aleatorios. La metodología que fue utilizada se presta especialmente bien para establecer relaciones de causa y efecto, lo que facilitó la identificación de si la introducción del electrolizador tuvo un impacto directo en la producción de hidrógeno. Además, el experimento permitió realizar mediciones precisas y cuantificables de los datos, lo cuales fueron esenciales al evaluar emisiones y otros parámetros críticos. Sin embargo, se reconoció que esta metodología experimental también presentó debilidades que deben ser consideradas al interpretar los resultados. Una de las debilidades radicó en que, a pesar de ofrecer un alto control, a veces los experimentos pueden simplificar la realidad y no reflejar completamente las condiciones del mundo real. Esta falta de correspondencia con situaciones reales puede limitar la aplicabilidad práctica de los resultados.

Esta investigación aporta contribuciones significativas en comparación con otros estudios de implementación de hidrógeno, ya que aborda múltiples aspectos clave relacionados con la viabilidad y los beneficios del uso de hidrógeno como combustible en este contexto específico. Uno de los principales aportes de este estudio es la evidencia sólida de la reducción significativa de las emisiones de gases contaminantes al utilizar hidrógeno como combustible alternativo.

Esta investigación tiene una alta relevancia en el contexto científico y social en el que se desarrolla. A continuación, se describen las razones clave de su relevancia:

La investigación tiene una relevancia destacada tanto en el ámbito científico como en el contexto social en el que se desarrolla. Aborda un problema actual y apremiante, contribuye a la sostenibilidad, puede influir en políticas públicas y promover la conciencia sobre la importancia de reducir la contaminación ambiental. La aplicación de tecnologías limpias, como el uso del hidrógeno como combustible, es esencial para abordar los desafíos ambientales y mejorar la calidad de vida en entornos urbanos y más allá.

VI. CONCLUSIONES

1. Se logra diseñar e implementar un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrógeno, Chimbote - 2024, en donde se obtuvo resultados óptimos en la producción de hidrogeno al variar la corriente, en donde se obtuvo que a una separación de 2 mm la mayor corriente de 2828 μA a 12 V.
2. En el objetivo específico 1, se logró seleccionar el electrolizador para la producción de hidrogeno, siendo la solución óptima que obtuvo un puntaje de 80 de 100, por lo que el tipo de electrolizador fue de membrana polimérica protónica (PEM), así como se detalla aspectos como el tipo de material del electrodo, recipiente, entre otros.
3. En el objetivo específico 2, La construcción del electrolizador fue realizada siguiendo un procedimiento, por lo que logró la construcción del electrolizador PEM, así como su diseño mecánico en SolidWorks que permitió validar su óptimo funcionamiento en la producción de hidrógeno.
4. En el objetivo específico 3, se realizó la evaluación del electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM), siendo que a una separación de 2 mm de las placas logra producir 0.02955 g/s de hidrogeno a una corriente de 2828 μA , por lo tanto, se demostró que el electrolizador implementado favorece en la producción de hidrogeno.
5. En el objetivo específico 4, se realizó determinó el costo de la inversión del electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrogeno sistema fotovoltaico, el cual requiere 643.90 soles, por lo tanto, se concluye que es viable económicamente el proyecto.

VII. RECOMENDACIONES

Se sugiere seguir investigando sobre electrolizadores, ya que permite la generación de hidrogeno.

Se presentan algunas recomendaciones para mejorar el rendimiento e implementación del dispositivo.

Durante la selección del electrolizador, así como su construcción es importante considerar las diferentes variaciones que se podría dar a fin de que se realice la que mejor afinidad tenga a la necesidad del proyecto.

Es importante considerar la utilización de un dispositivo de seguridad durante el funcionamiento de un electrolizador, así como realizar una evaluación de los riesgos a fin de evitar accidentes.

Es recomendable inspeccionar minuciosamente los elementos para asegurarse de que estén en condiciones adecuadas, bien asegurados, libres de daños, y sin ningún tipo de golpes que puedan interferir con el funcionamiento del generador de hidrógeno.

Es fundamental que las entidades responsables y el gobierno del Perú brinden respaldo a investigaciones futuras y consideren la propuesta de emplear agua como materia prima para la generación de hidrógeno, de manera que pueda sustituir de forma progresiva a los combustibles fósiles.

El investigador debe considerar el propósito de la producción de hidrogeno, ya que según las necesidades puede incrementar la producción de hidrogeno, por ende, la inversión es mayor.

REFERENCIAS

- ARIAS, José y COVINOS, Mitsu. Diseño y Metodología de la Investigación. Arequipa: Enfoques Consulting EIR, 2021. 93 pp. ISBN: 978-612-48444-2-3.
- AWAD, Mohamed, MAHMOUD, Mohamed, ELBARBARY, Loai, FAHMY, Shazly y Ahmed, Omar. Design and analysis of photovoltaic/wind operations at MPPT for hydrogen production using a PEM electrolyzer. Towards innovations in green technology. PLOS ONE [en línea]. Julio 2023, n.º 7. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en: DOI 10.1371/journal.pone.0287772.
- BRIJALDO, María, CASTILLO, Cristian, PÉREZ, Gerónimo. Main Routes in Hydrogen Production. Ingeniería y competitividad [en línea]. Abril 2021, nº 2. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-30332021000200302&lng=en&nrm=iso&tlng=es.
- CALLE, Secundino. Diseños de investigación cualitativa y cuantitativa. *Ciencia Latina*. Revista Multidisciplinar [en línea]. Julio 2023, n.º 7. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/7016>
- CAMPOS, Jonathan. Propuesta del sistema de generación de hidrógeno mediante la electrólisis para la obtención de energía eléctrica. Tesis (Licenciado en ingeniería Electricista). Huancayo: Universidad Continental, 2022. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12310>.
- CARHUATOCTO, Eliot y CARRASCO, Simeon. Diseño de sistema de generación de hidrógeno verde con energía fotovoltaica, para uso en cocinas de inducción, Nambelle - Cajamarca 2022. Tesis (Licenciado en Ingeniería Mecánico Electricista). Chiclayo: Universidad César Vallejo, 2022. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/116926/Carhuatocto_CEA-Carrasco_PSR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- CASTRO, John, GÓMEZ, Leidy y CAMARGO, Esperanza. La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Revista Udistrital* [en línea]. Setiembre 2022, n°. 75. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.14483/22487638.19171.
- EHLERS, Johan, FEIDENHANS'L, Anders, THERKILDSEN, Kasper y LARRAZÁBAL, Gastón. Affordable Green Hydrogen from Alkaline Water Electrolysis: Key Research Needs from an Industrial Perspective. *ACS Energy Letters* [en línea]. Junio 2024, n°. 3. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.1021/acseenergylett.2c02897.
- EL-HOUARI, Haytham, ALLOUHI, Allouhi, REHMAN, Shafiqur, BUKER, Mahmut, KOUSKSOU, Tarik, JAMIL, Abdelmajid y EL AMRANI, Bouchta. Design, Simulation, and Economic Optimization of an Off-Grid Photovoltaic System for Rural Electrification. *Energies* [en línea]. Diciembre 2019, n°. 24. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.3390/EN12244735.
- ESPINOZA, Jorge y ZANONI, Felipe. Diseño de sistema fotovoltaico off-grid, red secundaria y conexiones domiciliarias para suministro eléctrico al caserío Tallapampa, distrito Salas, provincia Lambayeque. Tesis (Licenciado en Ingeniería Mecánico Electricista). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2021. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8082>
- FRANCO, Alessandro y GIOVANNINI, Caterina. Recent and Future Advances in Water Electrolysis for Green Hydrogen Generation: Critical Analysis and Perspectives. *Sustainability*. [en línea]. Diciembre 2023, n°. 24. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.3390/su152416917.
- GÓMEZ, Gloria. Métodos y técnicas de investigación utilizados en los estudios sobre comunicación en España. *Revista Mediterránea de Comunicación: Mediterranean Journal of Communication*. [en línea]. Enero 2021, n°. 1. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.14198/MEDCOM000018.

- GÓMEZ, Gustavo y BOLAÑOS, Carlos. Metodología para la implementación de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento para pequeñas industrias | Revista Tecnología en Marcha. Revista Tecnológico de Costa Rica. [en línea]. Diciembre 2022 n°. 1. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/5843
- HERNÁNDEZ, Roberto y MENDOZA, Christian. Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México: Editorial Mc Graw Hill Education, S.I., 2018. 130 pp. ISBN 9781456260965.
- GÓMEZ, Gustavo y BOLAÑOS, Carlos. Metodología para la implementación de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento para pequeñas industrias | Revista Tecnología en Marcha. Revista Tecnológico de Costa Rica. [en línea]. Diciembre 2022 n°. 1. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/5843
- JATHAR, Loren, GANESAN, Sophie, AWASARMOL, Uriel, NIKAM, Khan, SHAHAPURKAR, Khorn, SOUDAGAR, Melva, FAYAZ, Hitsu, EL-SHAFAY, Alfán, KALAM, Marie, BOUADILA, Sophie, BADDADI, Sillu, TIRTH, Viani, NIZAMI, Ald, LAM, Steve. y REHAN, Marie. Comprehensive review of environmental factors influencing the performance of photovoltaic panels: Concern over emissions at various phases throughout the lifecycle. Environmental Pollution. [en línea]. Junio 2023 n°. 1. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.1016/j.envpol.2023.121474.
- KAMIL, Kehinde, SAMUEL, Basse y KHAN, Umar. Green hydrogen production from photovoltaic power station as a road map to climate change mitigation. Clean Energy. [en línea]. Marzo 2024 n°. 2. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.1093/ce/zkae020.
- MAROUANI, Ismail, GUESMI, Tawfik, ALSHAMMARI, Badr, ALQUNUN, Khalid ALZAMIL, Ahmed, ALTURKI, Mansoor y ABDALLAH, Hsan. Integration of Renewable-Energy-Based Green Hydrogen into the Energy Future. Processes. [en línea]. Setiembre 2023 n°. 9. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.3390/pr11092685.

- MENAD, Chawki, GOMRI, Rabah y BOUCHAHDANE, Mohamed. Data on safe hydrogen production from the solar photovoltaic solar panel through alkaline electrolyser under Algerian climate. Data in Brief. [en línea]. Setiembre 2021 n°. 9. [Fecha de consulta: 4 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.1016/j.dib.2018.10.106.
- MENDOZA, Carlos. Factibilidad de la generación de hidrógeno verde en microrredes renovables distribuidas. Tesis (Licenciado en Ingeniería Mecánico Electricista). Chiclayo: Universidad César Vallejo. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/116925/Mendoza_VCH-SD.pdf?sequence=1.
- NASSER, Mohamed, MEGAHED, Tamer, OOKAWARA, Shinichi. y HASSAN, Hamdy. A review of water electrolysis–based systems for hydrogen production using hybrid/solar/wind energy systems. Environmental Science and Pollution Research. [en línea]. Octubre 2022 n°. 58. [Fecha de consulta: 7 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.1007/s11356-022-23323-y.
- ÑAUPAS, Humberto, VALDIVIA, Marcelino, PALACIOS, Jesús y ROMERO, Hugo. Metodología de la investigación. México: Ediciones de la U, 2018. 67 pp. ISBN: 978-958-762-876-0.
- PANTOJA, Miriam, ARCINIEGAS, Olga y Álvarez, Sary. Desarrollo de una investigación a través de un plan de estudio. Revista Conrado. [en línea]. Octubre 2022 n°.3. [Fecha de consulta: 15 mayo 2024]. Disponible en: <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/2649>
- POLO, Daniel. Diseño de una máquina generadora de hidrógeno mediante electrólisis para utilizarlo como vector energético en un auto eléctrico. Tesis (Licenciado en Ingeniería Mecánico Electricista). Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Disponible en: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4422/1/TL_VasquezPolodaniel.pdf.

- RAMOS, Marco. Easibility evaluation of a photovoltaic system in a family home, in San Aantonio de Oriente Francisco Morazán, Honduras. Universidad y Sociedad, [en línea]. Mayo 2023 n°. 3. [Fecha de consulta: 7 abril 2024]. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3736>
- RINCÓN, Erick, BERNÚDEZ, José, VERA, Luis. y GARCÍA, Juan. 2018. Modeling and simulation of an electrolyser for the production of HHO in Matlab-Simulink®. Journal of Engineering Sciences. Mayo 2019 n°. 2. [Fecha de consulta: 10 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.22463/0122820X.1826.
- RIOJAS, Cristhyan. y PAZOS, Fernando. Prospectivas del hidrógeno verde en la locomoción peruana, enfoque de numes mediano y largo plazo. Tesis (Licenciado en Ingeniería Mecánico Electricista). Chiclayo: Universidad César Vallejo. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/117255/Riojas_FCR-Pazos_HFA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- RODRIGUEZ, Rosa, SILVA, Gabriel y URBINA, Laura. Estudio del proceso de electrólisis para la producción de Hidrógeno Verde, a partir del agua de mar. Tekhné. Noviembre 2022 n°. 3. Fecha de consulta: 15 abril 2024]. Disponible en: <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/5542>
- SHARMA, Gagan, VERMA, Mahesh, TAHERI, Babak, CHOPRA, Ritika y PARIHAR, Jaya, 2023. Socio-economic aspects of hydrogen energy: An integrative review. Technological Forecasting and Social Change. Noviembre 2022 n°. 1. Fecha de consulta: 15 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.1016/j.techfore.2023.122574.
- SCHLITTLER, Ernesto, FILIPPÍN, Francisco A y Narciso, Eliseo. Estudio Electroquímico de la Reacción de Reducción de Oxígeno (RRO) sobre electrodos de Ti modificados con Pd en solución ácida diluida. Revista Tecnología Y Ciencia. Julio 2022 n° 1. Fecha de consulta: 15 abril 2024]. Disponible en: <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/972>

WANG, Shan, LU, Aolin. y ZHONG, Chuan. Hydrogen production from water electrolysis: role of catalysts. Nano Convergence. Febrero 2021 n° 4. Fecha de consulta: 15 abril 2024]. Disponible en: DOI 10.1186/s40580-021-00254-x.

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de operacionalización de variables

Variables de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Un electrolizador (Variable Independiente)	Dispositivo diseñado para un proceso químico conocido como electrólisis, el cual utiliza electricidad para separar las moléculas de hidrógeno y oxígeno presentes en el agua.	Operacionalmente, implica seleccionar un modelo apropiado, ubicar y fijar el dispositivo en el lugar designado, conectarlo adecuadamente a la electricidad y al suministro de agua necesario, y asegurarse de que esté listo y funcionando correctamente para llevar a cabo el proceso de electrólisis y producir hidrógeno de manera eficiente.	Energía eléctrica	Potencia W = Vatios kW = Kilovatios Voltaje V = Voltios Corriente A = Amperios	Razón
Producción de hidrogeno (Variable Dependiente)	Es el proceso de obtener hidrógeno molecular (H ₂) a partir de diferentes fuentes de energía primaria.	Mediante la electrolisis se realiza la producción de hidrógeno.	Producción de hidrógeno	Cantidad de hidrógeno (g/s)	Razón

Anexo 3. Modelo de Consentimiento y/o asentimiento informado UCV.

Consentimiento Informado (*)

Título de la investigación:

.....

Investigador (es):

.....

Propósito del estudio

Le invitamos a participar en la investigación titulada “.....”,
cuyo objetivo es..... Esta investigación
es desarrollada por estudiantes de pregrado de la carrera profesional

..... o programa, de la Universidad César Vallejo del
campus, aprobado por la autoridad correspondiente de la
Universidad y con el permiso de la institución

.....

Describir el impacto del problema de la investigación.

.....

.....

Procedimiento

Si usted decide participar en la investigación se realizará lo siguiente (enumerar
los procedimientos del estudio):

1. Se realizará una encuesta o entrevista donde se recogerán datos
personales y algunas preguntas sobre la investigación titulada:

”.....

.....”.

2. Esta encuesta o entrevista tendrá un tiempo aproximado de minutos y
se realizará en el ambiente de de la institución

..... Las respuestas al cuestionario o guía de entrevista serán
codificadas usando un número de identificación y, por lo tanto, serán anónimas.

* Obligatorio a partir de los 18 años

Participación voluntaria (principio de autonomía):

Puede hacer todas las preguntas para aclarar sus dudas antes de decidir si desea participar o no, y su decisión será respetada. Posterior a la aceptación no desea continuar puede hacerlo sin ningún problema.

Riesgo (principio de No maleficencia):

Indicar al participante la existencia que NO existe riesgo o daño al participar en la investigación. Sin embargo, en el caso que existan preguntas que le puedan generar incomodidad. Usted tiene la libertad de responderlas o no.

Beneficios (principio de beneficencia):

Se le informará que los resultados de la investigación se le alcanzará a la institución al término de la investigación. No recibirá ningún beneficio económico ni de ninguna otra índole. El estudio no va a aportar a la salud individual de la persona, sin embargo, los resultados del estudio podrán convertirse en beneficio de la salud pública.

Confidencialidad (principio de justicia):

Los datos recolectados deben ser anónimos y no tener ninguna forma de identificar al participante. Garantizamos que la información que usted nos brinde es totalmente Confidencial y no será usada para ningún otro propósito fuera de la investigación. Los datos permanecerán bajo custodia del investigador principal y pasado un tiempo determinado serán eliminados convenientemente.

Problemas o preguntas:

Si tiene preguntas sobre la investigación puede contactar con el Investigador (a) (es) (Apellidos y Nombres) email:
..... y Docente asesor (Apellidos y Nombres)
email:

Consentimiento

Después de haber leído los propósitos de la investigación autorizo participar en la investigación antes mencionada.

Nombre y apellidos:

Fecha y hora:

Para garantizar la veracidad del origen de la información: en el caso que el consentimiento sea presencial, el encuestado y el investigador debe proporcionar: Nombre y firma. En el caso que sea cuestionario virtual, se debe solicitar el correo desde el cual se envía las respuestas a través de un formulario Google.



Anexo 4. Matriz Evaluación por juicio de expertos, formato UCV

Juez experto n°1: Mg. Alva Burgos, Ruber Gueorgui



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo **RUBER GUEORGUI ALVA BURGOS** con DNI N° 71467575... **MAGISTER.... EN REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA...**CIP N° 183304 ... de profesión ...**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA** ... desempeñándome como ... **INGENIERO CONSULTOR** ... en ... **LA EMPRESA RUYALBY SAC** ...

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- **FICHA DE OBSERVACIÓN**

Del trabajo de PLAN DE TESIS titulado: “**Diseño e implementación de un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrógeno, Chimbote - 2024**”.

Elaborado y presentado por los estudiantes:

- RODRIGUEZ PEREZ MANUEL ANTONIO

INDICADORES	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de ... **Chimbote** ... el día ... **9** ... del mes de ... **Setiembre** ... del año ... **2023** ...

Mg. : **RUBER GUEORGUI ALVA BURGOS**
DNI : **71467575**
Especialidad : **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**
E-mail : rg29_jg@hotmail.com

RUBER GUEORGUI ALVA BURGOS
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
Reg. CIP N° 183304

Juez experto n°2: Mg. Cuadros Camposano, Edwin Huber



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo ... **EDWIN HUBER CUADROS CAMPOSANO** ... con DNI N° ... 09599387.... **MAGISTER**....
EN ... **ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE NEGOCIOS** ... CIP N° 208704 ... de profesión ...
INGENIERO MECÁNICO ... desempeñándome como ... **DOCENTE UNIVERSITARIO** ... en ... **LA**
UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO ...

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- **FICHA DE OBSERVACIÓN**

Del trabajo de PLAN DE TESIS titulado: "**Diseño e implementación de un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrógeno, Chimbote - 2024**".

Elaborado y presentado por los estudiantes:

- **RODRIGUEZ PEREZ MANUEL ANTONIO**

INDICADORES	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad				X	
2. Objetividad				X	
3. Actualidad				X	
4. Organización				X	
5. Suficiencia				X	
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología				X	

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de ... **Trujillo** ... el día ... **6** ... del mes de ... **Agosto** ... del año ... **2023** ...

Mg. : **EDWIN HUBER CUADROS CAMPOSANO**
DNI : **09599387**
Especialidad : **INGENIERÍA MECÁNICA**
E-mail : ecuadros@pucp.pe

Edwin Huber Cuadros Camposano
ING. MECANICO
R. CIP. N° 208704

Juez experto n°3: Mg. Ibáñez Echevarría, Joseph Gerald



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN

Yo **JOSEPH GERALD IBAÑEZ ECHEVARRIA** con DNI N° 41433872 **MAGISTER EN ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS** CIP N° 170911 de profesión **INGENIERO NAVAL** desempeñándome como **JEFE DE PROYECTO** en **SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA MARINA S.A.**

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación los instrumentos:

- **FICHA DE OBSERVACIÓN**

Del trabajo de PLAN DE TESIS titulado: "**Diseño e implementación de un electrolizador de membrana polimérica protónica (PEM) para la producción de hidrógeno, Chimbote - 2024**".

Elaborado y presentado por los estudiantes:

- **RODRIGUEZ PEREZ MANUEL ANTONIO**

INDICADORES	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1. Claridad					X
2. Objetividad				X	
3. Actualidad		X			
4. Organización			X		
5. Suficiencia			X		
6. Intencionalidad				X	
7. Consistencia				X	
8. Coherencia				X	
9. Metodología					X

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de ... **Chimbote** ... el día ... **9** ... del mes de ... **Setiembre** ... del año ... **2023** ...

Mg. : **JOSEPH GERALD IBAÑEZ ECHEVARRIA**

DNI : **41433872**

Especialidad : **INGENIERÍA NAVAL**

E-mail : jjbanezechevarria@gmail.com

Joseph Gerald Ibañez Echevarría
ING. NAVAL
R. CIP. N° 170911

Anexo 6. Evidencia de envío para la publicación del artículo científico

Revista: *Enfoque UTE*

Link: <https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute>

The screenshot shows the 'Envíos' (Submissions) page of the Enfoque UTE journal website. The page is titled 'Envíos' and has a sub-tab 'Mi lista' with a count of 1. The main content area is 'Mis envíos asignados' (My assigned submissions). A search bar is present with the text 'Buscar'. Below the search bar, there is a submission entry for '1018 RODRIGUEZ PEREZ' with the title 'Mototaxi ecológico: Reduciendo la Contaminación con un Electrolizador'. The submission status is 'Envío' (Submission) and it has 1 discussion. Below the submission entry, there is a section for 'Discusiones abiertas' (Open discussions) with 1 discussion. The last activity is recorded on Thursday, December 21, 2023. A 'Ver Envío' (View Submission) button is located at the bottom right of the submission entry. The footer of the page mentions 'Platform & workflow by OJS / PKP'.

The screenshot shows an email received from the 'Comité Editorial' (Editorial Board) of Enfoque UTE. The email is addressed to 'MANUEL ANTONIO RODRIGUEZ PEREZ' and is dated 10:57 (11 minutes ago). The email content is as follows:

[Enfoque UTE] Recepción Artículo Científico Enfoque UTE

Comité Editorial <enfoque@ute.edu.ec>
para mi

Estimado/a MANUEL ANTONIO RODRIGUEZ PEREZ:

Por medio del presente tengo a bien informarle que hemos recibido el manuscrito titulado "Mototaxi ecológico: Reduciendo la Contaminación con un Electrolizador" del cual usted consta como autor correspondiente.

Iniciaremos a continuación el proceso de revisión contemplado en nuestro reglamento, dentro del cual es parte primordial la lectura y evaluación del material por expertos en el tema en cuestión.

En cuanto el material a nosotros confiado haya pasado por las etapas reglamentarias, emitiremos un informe, el cual se le hará llegar con la brevedad del caso. En dicho informe se le comunicará la decisión tomada por este Comité en cuanto a la publicación de su artículo, así como cualquier comentario adicional que pueda ser de utilidad.

Puede hacer el seguimiento identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito: <https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/authorDashboard/submission/1018>
Nombre de usuario/o: rmanuel

Cordialmente,
Comité Editorial
Enfoque UTE
<http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>

Editorial Board
Enfoque UTE
<http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>

Anexo 7. Fotos y videos del proyecto de investigación



Anexo 7. Corriente en función al voltaje para el electrodo a distintas separaciones

Tensió n	Separació n 2 mm [uA]	Separació n 5 mm [uA]	Separació n 8 mm [uA]	Separació n 11 mm [uA]	Tensió n	Separació n 2 mm [uA]	Separació n 5 mm [uA]	Separació n 8 mm [uA]	Separació n 11 mm [uA]
0.1	1	8	8	4	6	977	567	299	442
0.2	3	11	5	14	0	0	0	0	0
0.3	5	11	6	16	6.2	1038	586	316	471
0.4	7	11	7	18	6.3	1068	589	323	484
0.5	10	17	9	23	6.4	1098	615	328	494
0.6	13	18	12	26	6.5	1128	613	334	504
0.7	16	19	14	30	6.6	1158	631	342	521
0.8	21	22	15	33	6.7	1198	638	350	532
0.9	25	23	14	37	6.8	1208	661	352	544
1	29	26	17	39	6.9	1248	668	360	555
1.1	34	32	20	46	7	1258	685	368	565
1.2	39	32	20	46	7.1	1288	700	376	577
1.3	56	34	23	49	7.2	1318	716	376	581
1.4	61	38	24	53	7.3	1358	730	373	586
1.5	63	36	22	51	7.4	1388	746	389	590
1.6	68	37	25	56	7.5	1418	773	394	602
1.7	70	38	28	61	7.6	1448	776	399	604
1.8	82	48	33	66	7.7	1478	796	403	606
1.9	95	49	34	72	7.8	1508	812	411	616
2	99	64	43	78	7.9	1538	821	417	617
2.1	107	72	45	85	8	1558	830	423	624
2.2	126	74	48	92	8.1	1588	844	430	627
2.3	138	81	48	95	8.2	1628	858	435	629
2.4	149	82	48	97	8.3	1658	879	445	642
2.5	168	88	49	103	8.4	1688	901	449	643
2.6	188	94	53	108	8.5	1708	911	453	646
2.7	216	109	55	116	8.6	1738	927	460	656
2.8	248	119	61	118	8.7	1788	948	467	661
2.9	267	134	67	129	8.8	1838	956	476	675
3	300	141	69	132	8.9	1878	967	483	682
3.1	308	158	74	139	9	1908	995	492	689
3.2	331	173	78	148	9.1	1928	1013	498	696
3.3	341	189	86	155	9.2	1948	1037	505	706
3.4	362	206	92	161	9.3	1978	1043	513	718
3.5	373	189	86	155	9.4	2018	1049	525	729
3.6	386	206	92	161	9.5	2038	1071	531	740
3.7	396	224	96	167	9.6	2058	1092	537	746
3.8	411	244	104	174	9.7	2108	1124	545	750
3.9	427	267	108	182	9.8	2118	1175	554	766
4	440	295	114	189	9.9	2158	1182	561	775
4.1	466	315	119	197	10	2188	1185	572	784
4.2	486	331	126	206	10.1	2218	1198	581	790
4.3	498	347	131	212	10.2	2258	1211	588	800
4.4	510	361	141	224	10.3	2288	1229	598	811
4.5	532	376	146	230	10.4	2318	1248	610	821
4.6	550	391	152	238	10.5	2358	1287	617	832
4.7	580	411	159	251	10.6	2368	1312	624	840
4.8	613	429	166	257	10.7	2418	1323	636	848
4.9	633	438	175	257	10.8	2428	1344	646	856
5	659	442	184	277	10.9	2468	1349	656	866
5.1	696	450	195	288	11	2488	1376	668	884
5.2	743	456	200	295	11.1	2518	1399	677	890
5.3	779	459	211	307	11.2	2568	1447	698	922
5.4	808	474	219	322	11.3	2598	1473	706	938
5.5	837	512	252	367	11.4	2628	1473	706	938
5.6	867	538	261	386	11.5	2658	1499	716	952
5.7	875	549	271	399	11.6	2688	1537	726	967
5.8	912	560	282	412	11.7	2728	1548	735	976
5.9	948	564	288	423	11.8	2758	1559	745	991
6	977	567	299	442	11.9	2798	1570	757	1009
					12	2828	1570	757	1009

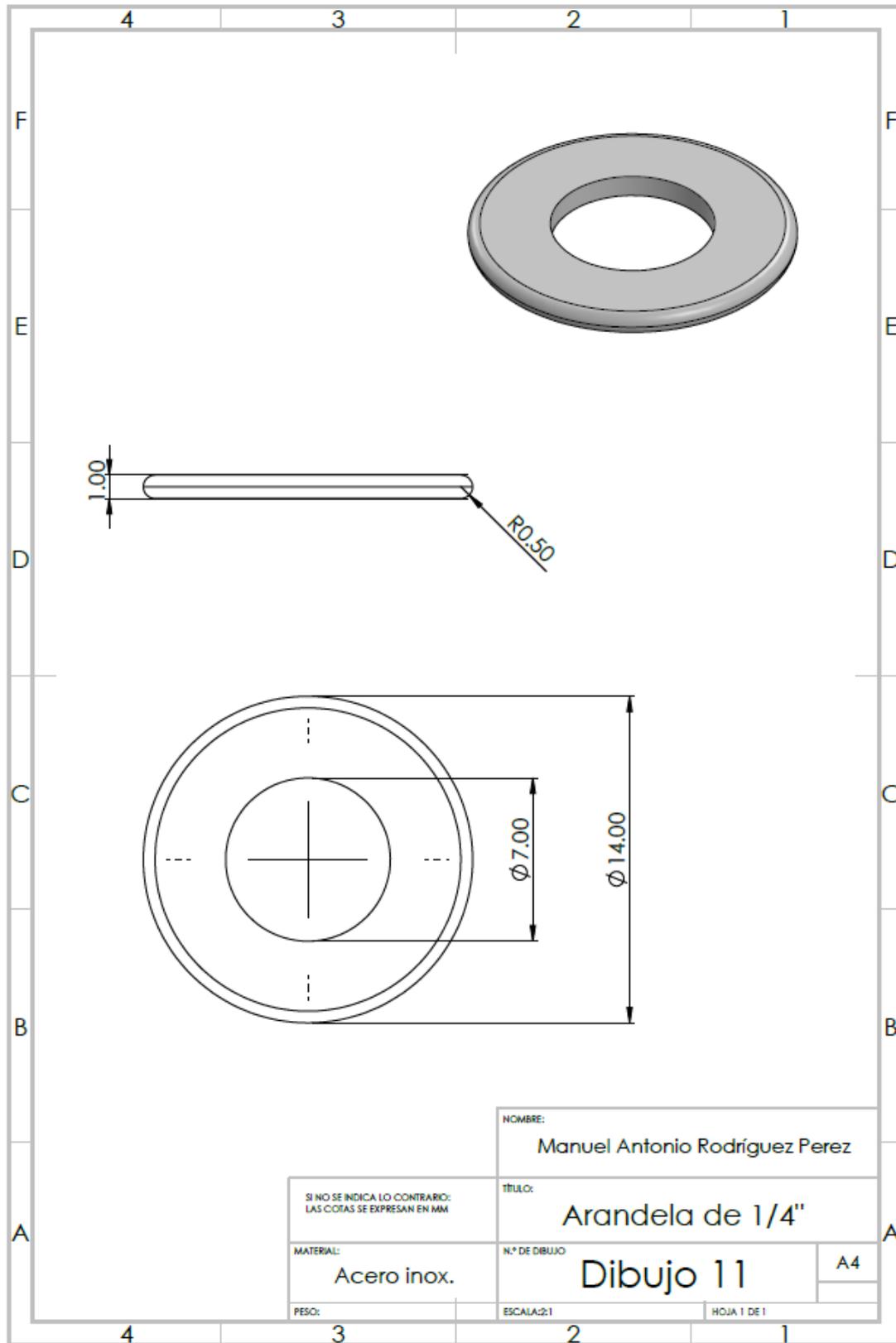
Anexo 8. Corriente en función a la producción de hidrógeno

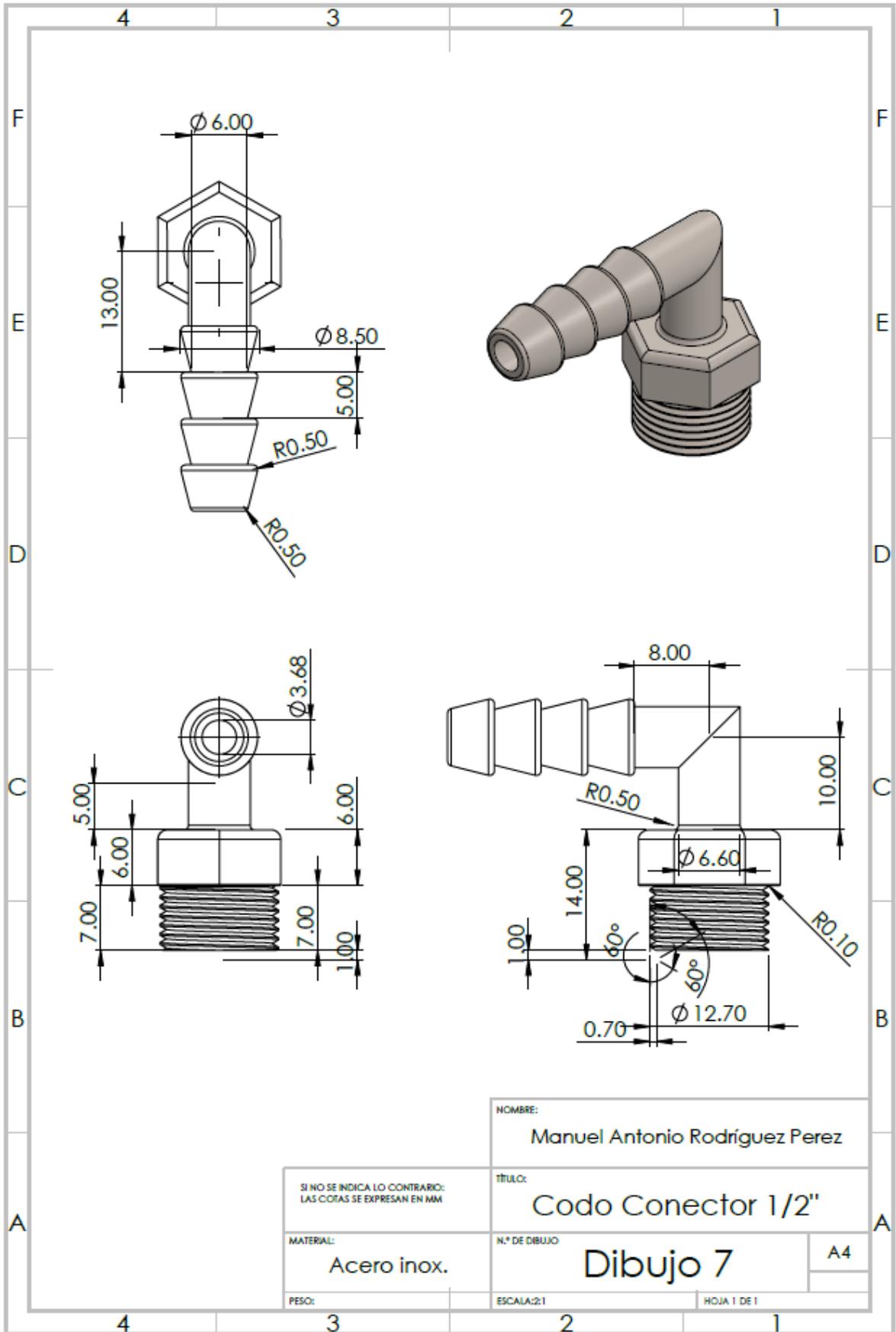
Hg (g/s)	Corriente (uA)						
0.00001	1.00	0.00008	8.00	0.00008	8.00	0.00004	4.00
0.00003	3.00	0.00011	11.00	0.00005	5.00	0.00015	14.00
0.00005	5.00	0.00011	11.00	0.00006	6.00	0.00017	16.00
0.00007	7.00	0.00011	11.00	0.00007	7.00	0.00019	18.00
0.00010	10.00	0.00018	17.00	0.00009	9.00	0.00024	23.00
0.00014	13.00	0.00019	18.00	0.00013	12.00	0.00027	26.00
0.00017	16.00	0.00020	19.00	0.00015	14.00	0.00031	30.00
0.00022	21.00	0.00023	22.00	0.00016	15.00	0.00034	33.00
0.00026	25.00	0.00024	23.00	0.00015	14.00	0.00039	37.00
0.00030	29.00	0.00027	26.00	0.00018	17.00	0.00041	39.00
0.00036	34.00	0.00033	32.00	0.00021	20.00	0.00048	46.00
0.00041	39.00	0.00033	32.00	0.00021	20.00	0.00048	46.00
0.00059	56.00	0.00036	34.00	0.00024	23.00	0.00051	49.00
0.00064	61.00	0.00040	38.00	0.00025	24.00	0.00055	53.00
0.00066	63.00	0.00038	36.00	0.00023	22.00	0.00053	51.00
0.00071	68.00	0.00039	37.00	0.00026	25.00	0.00059	56.00
0.00073	70.00	0.00040	38.00	0.00029	28.00	0.00064	61.00
0.00086	82.00	0.00050	48.00	0.00034	33.00	0.00069	66.00
0.00099	95.00	0.00051	49.00	0.00036	34.00	0.00075	72.00
0.00103	99.00	0.00067	64.00	0.00045	43.00	0.00081	78.00
0.00112	107.00	0.00075	72.00	0.00047	45.00	0.00089	85.00
0.00132	126.00	0.00077	74.00	0.00050	48.00	0.00096	92.00
0.00144	138.00	0.00085	81.00	0.00050	48.00	0.00099	95.00
0.00156	149.00	0.00086	82.00	0.00050	48.00	0.00101	97.00
0.00176	168.00	0.00092	88.00	0.00051	49.00	0.00108	103.00
0.00196	188.00	0.00098	94.00	0.00055	53.00	0.00113	108.00
0.00226	216.00	0.00114	109.00	0.00057	55.00	0.00121	116.00
0.00259	248.00	0.00124	119.00	0.00064	61.00	0.00123	118.00
0.00279	267.00	0.00140	134.00	0.00070	67.00	0.00135	129.00
0.00313	300.00	0.00147	141.00	0.00072	69.00	0.00138	132.00
0.00322	308.00	0.00165	158.00	0.00077	74.00	0.00145	139.00
0.00346	331.00	0.00181	173.00	0.00081	78.00	0.00155	148.00
0.00356	341.00	0.00197	189.00	0.00090	86.00	0.00162	155.00
0.00378	362.00	0.00215	206.00	0.00096	92.00	0.00168	161.00
0.00390	373.00	0.00197	189.00	0.00090	86.00	0.00162	155.00
0.00403	386.00	0.00215	206.00	0.00096	92.00	0.00168	161.00
0.00414	396.00	0.00234	224.00	0.00100	96.00	0.00174	167.00
0.00429	411.00	0.00255	244.00	0.00109	104.00	0.00182	174.00

0.00446	427.00	0.00279	267.00	0.00113	108.00	0.00190	182.00
0.00460	440.00	0.00308	295.00	0.00119	114.00	0.00197	189.00
0.00487	466.00	0.00329	315.00	0.00124	119.00	0.00206	197.00
0.00508	486.00	0.00346	331.00	0.00132	126.00	0.00215	206.00
0.00520	498.00	0.00363	347.00	0.00137	131.00	0.00221	212.00
0.00533	510.00	0.00377	361.00	0.00147	141.00	0.00234	224.00
0.00556	532.00	0.00393	376.00	0.00153	146.00	0.00240	230.00
0.00575	550.00	0.00409	391.00	0.00159	152.00	0.00249	238.00
0.00606	580.00	0.00429	411.00	0.00166	159.00	0.00262	251.00
0.00640	613.00	0.00448	429.00	0.00173	166.00	0.00269	257.00
0.00661	633.00	0.00458	438.00	0.00183	175.00	0.00269	257.00
0.00689	659.00	0.00462	442.00	0.00192	184.00	0.00289	277.00
0.00727	696.00	0.00470	450.00	0.00204	195.00	0.00301	288.00
0.00776	743.00	0.00476	456.00	0.00209	200.00	0.00308	295.00
0.00814	779.00	0.00480	459.00	0.00220	211.00	0.00321	307.00
0.00844	808.00	0.00495	474.00	0.00229	219.00	0.00336	322.00
0.00874	837.00	0.00535	512.00	0.00263	252.00	0.00383	367.00
0.00906	867.00	0.00562	538.00	0.00273	261.00	0.00403	386.00
0.00914	875.00	0.00574	549.00	0.00283	271.00	0.00417	399.00
0.00953	912.00	0.00585	560.00	0.00295	282.00	0.00430	412.00
0.00990	948.00	0.00589	564.00	0.00301	288.00	0.00442	423.00
0.01021	977.00	0.00592	567.00	0.00312	299.00	0.00462	442.00
0.01058	1013.00	0.00601	575.00	0.00321	307.00	0.00475	455.00
0.01085	1038.00	0.00612	586.00	0.00330	316.00	0.00492	471.00
0.01116	1068.00	0.00615	589.00	0.00337	323.00	0.00506	484.00
0.01147	1098.00	0.00643	615.00	0.00343	328.00	0.00516	494.00
0.01179	1128.00	0.00640	613.00	0.00349	334.00	0.00527	504.00
0.01210	1158.00	0.00659	631.00	0.00357	342.00	0.00544	521.00
0.01252	1198.00	0.00667	638.00	0.00366	350.00	0.00556	532.00
0.01262	1208.00	0.00691	661.00	0.00368	352.00	0.00568	544.00
0.01304	1248.00	0.00698	668.00	0.00376	360.00	0.00580	555.00
0.01314	1258.00	0.00716	685.00	0.00384	368.00	0.00590	565.00
0.01346	1288.00	0.00731	700.00	0.00393	376.00	0.00603	577.00
0.01377	1318.00	0.00748	716.00	0.00393	376.00	0.00607	581.00
0.01419	1358.00	0.00763	730.00	0.00390	373.00	0.00612	586.00
0.01450	1388.00	0.00779	746.00	0.00406	389.00	0.00616	590.00
0.01482	1418.00	0.00808	773.00	0.00412	394.00	0.00629	602.00
0.01513	1448.00	0.00811	776.00	0.00417	399.00	0.00631	604.00
0.01544	1478.00	0.00832	796.00	0.00421	403.00	0.00633	606.00
0.01576	1508.00	0.00848	812.00	0.00429	411.00	0.00644	616.00
0.01607	1538.00	0.00858	821.00	0.00436	417.00	0.00645	617.00
0.01628	1558.00	0.00867	830.00	0.00442	423.00	0.00652	624.00

0.01659	1588.00	0.00882	844.00	0.00449	430.00	0.00655	627.00
0.01701	1628.00	0.00896	858.00	0.00454	435.00	0.00657	629.00
0.01732	1658.00	0.00918	879.00	0.00465	445.00	0.00671	642.00
0.01764	1688.00	0.00941	901.00	0.00469	449.00	0.00672	643.00
0.01785	1708.00	0.00952	911.00	0.00473	453.00	0.00675	646.00
0.01816	1738.00	0.00969	927.00	0.00481	460.00	0.00685	656.00
0.01868	1788.00	0.00990	948.00	0.00488	467.00	0.00691	661.00
0.01920	1838.00	0.00999	956.00	0.00497	476.00	0.00705	675.00
0.01962	1878.00	0.01010	967.00	0.00505	483.00	0.00713	682.00
0.01993	1908.00	0.01040	995.00	0.00514	492.00	0.00720	689.00
0.02014	1928.00	0.01058	1013.00	0.00520	498.00	0.00727	696.00
0.02035	1948.00	0.01083	1037.00	0.00528	505.00	0.00738	706.00
0.02067	1978.00	0.01090	1043.00	0.00536	513.00	0.00750	718.00
0.02108	2018.00	0.01096	1049.00	0.00549	525.00	0.00762	729.00
0.02129	2038.00	0.01119	1071.00	0.00555	531.00	0.00773	740.00
0.02150	2058.00	0.01141	1092.00	0.00561	537.00	0.00779	746.00
0.02202	2108.00	0.01174	1124.00	0.00569	545.00	0.00784	750.00
0.02213	2118.00	0.01228	1175.00	0.00579	554.00	0.00800	766.00
0.02255	2158.00	0.01235	1182.00	0.00586	561.00	0.00810	775.00
0.02286	2188.00	0.01238	1185.00	0.00598	572.00	0.00819	784.00
0.02317	2218.00	0.01252	1198.00	0.00607	581.00	0.00825	790.00
0.02359	2258.00	0.01265	1211.00	0.00614	588.00	0.00836	800.00
0.02391	2288.00	0.01284	1229.00	0.00625	598.00	0.00847	811.00
0.02422	2318.00	0.01304	1248.00	0.00637	610.00	0.00858	821.00
0.02464	2358.00	0.01345	1287.00	0.00645	617.00	0.00869	832.00
0.02474	2368.00	0.01371	1312.00	0.00652	624.00	0.00878	840.00
0.02526	2418.00	0.01382	1323.00	0.00664	636.00	0.00886	848.00
0.02537	2428.00	0.01404	1344.00	0.00675	646.00	0.00894	856.00
0.02579	2468.00	0.01409	1349.00	0.00685	656.00	0.00905	866.00
0.02599	2488.00	0.01438	1376.00	0.00698	668.00	0.00924	884.00
0.02631	2518.00	0.01462	1399.00	0.00707	677.00	0.00930	890.00
0.02683	2568.00	0.01512	1447.00	0.00729	698.00	0.00963	922.00
0.02714	2598.00	0.01539	1473.00	0.00738	706.00	0.00980	938.00
0.02746	2628.00	0.01539	1473.00	0.00738	706.00	0.00980	938.00
0.02777	2658.00	0.01566	1499.00	0.00748	716.00	0.00995	952.00
0.02808	2688.00	0.01606	1537.00	0.00759	726.00	0.01010	967.00
0.02850	2728.00	0.01617	1548.00	0.00768	735.00	0.01020	976.00
0.02882	2758.00	0.01629	1559.00	0.00778	745.00	0.01035	991.00
0.02923	2798.00	0.01640	1570.00	0.00791	757.00	0.01054	1009.00
0.02955	2828.00	0.01640	1570.00	0.00791	757.00	0.01054	1009.00

Anexo 9. Planos de la solución propuesta





NOMBRE:
Manuel Antonio Rodríguez Perez

TÍTULO:
Codo Conector 1/2"

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

MATERIAL:
Acero inox.

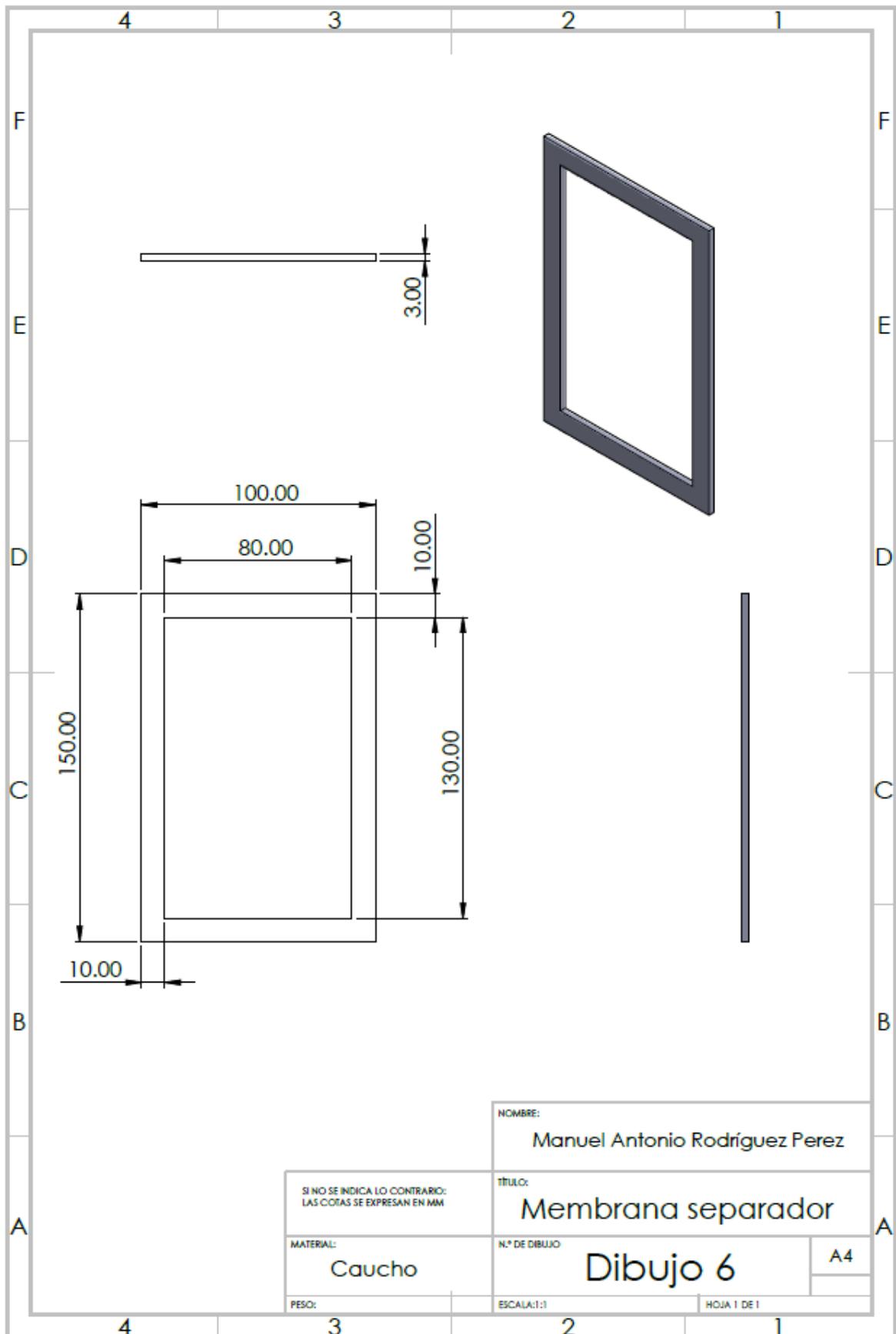
N.º DE DIBUJO:
Dibujo 7

A4

PESO:

ESCALA:2:1

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

MATERIAL:
Caucho

PESO:

NOMBRE:
Manuel Antonio Rodríguez Perez

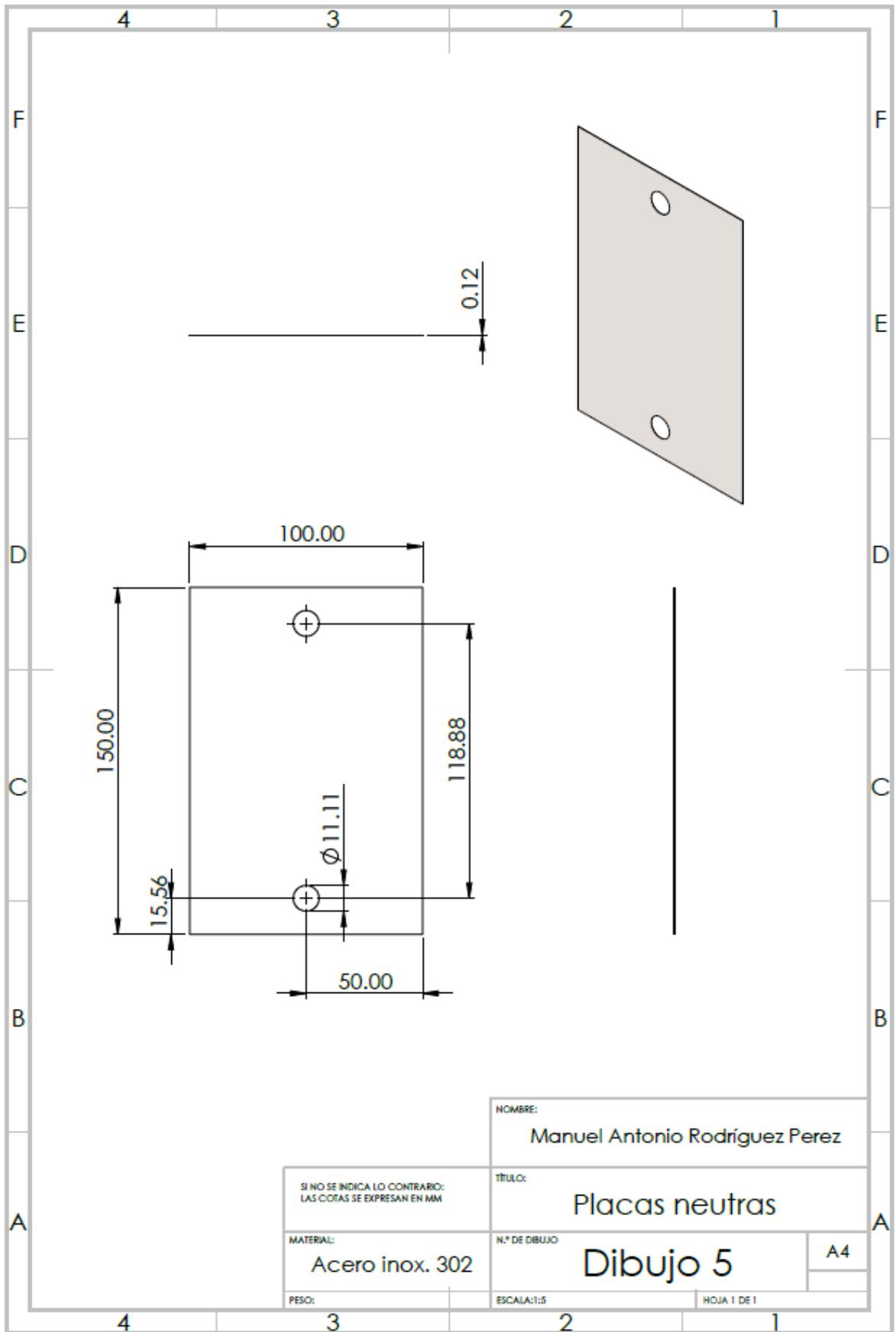
TÍTULO:
Membrana separador

N.º DE DIBUJO
Dibujo 6

ESCALA:1:1

A4

HOJA 1 DE 1



NOMBRE:
Manuel Antonio Rodríguez Perez

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

TÍTULO:
Placas neutras

MATERIAL:
Acero inox. 302

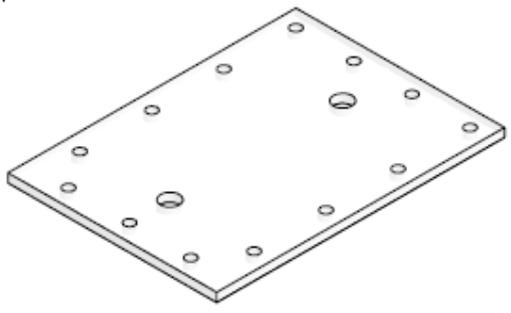
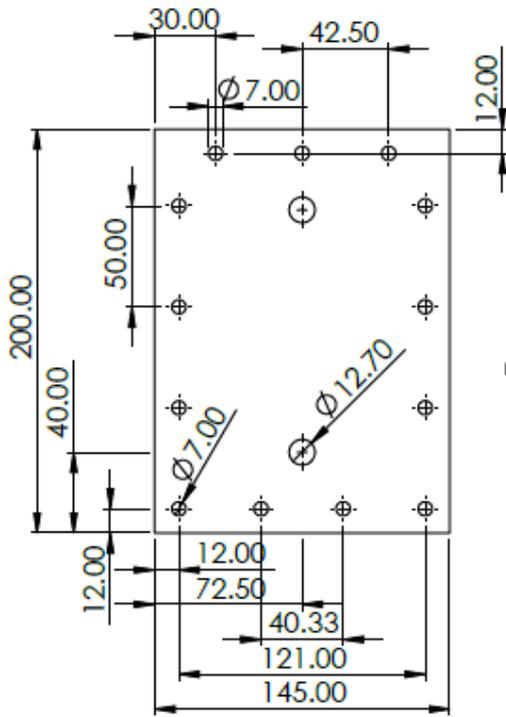
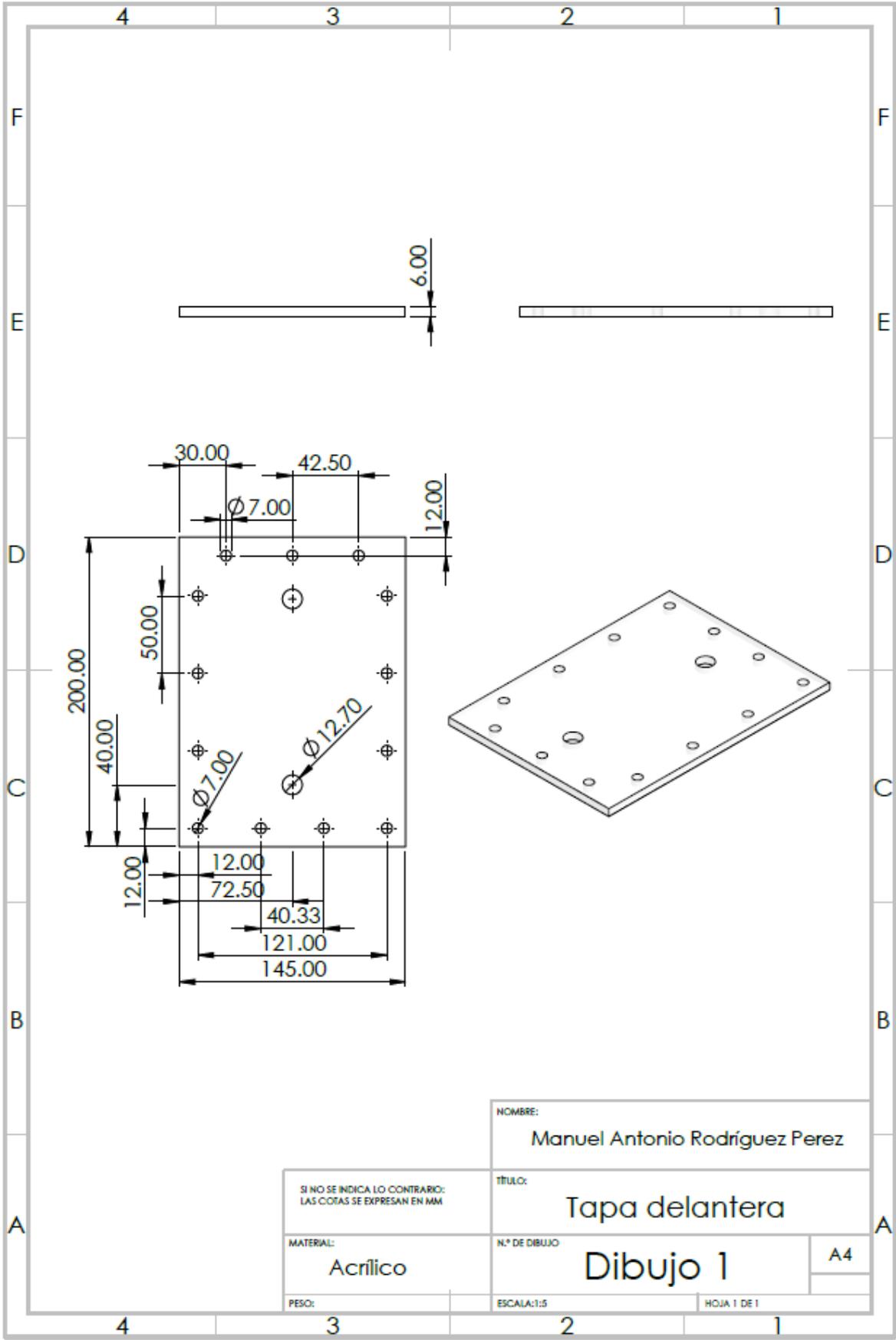
N.º DE DIBUJO:
Dibujo 5

A4

PESO:

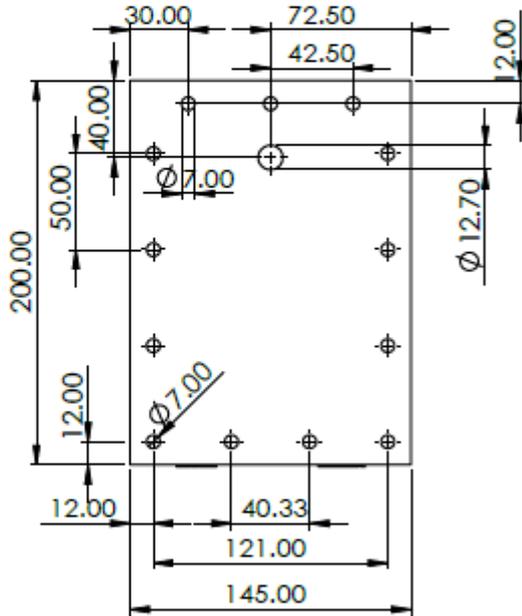
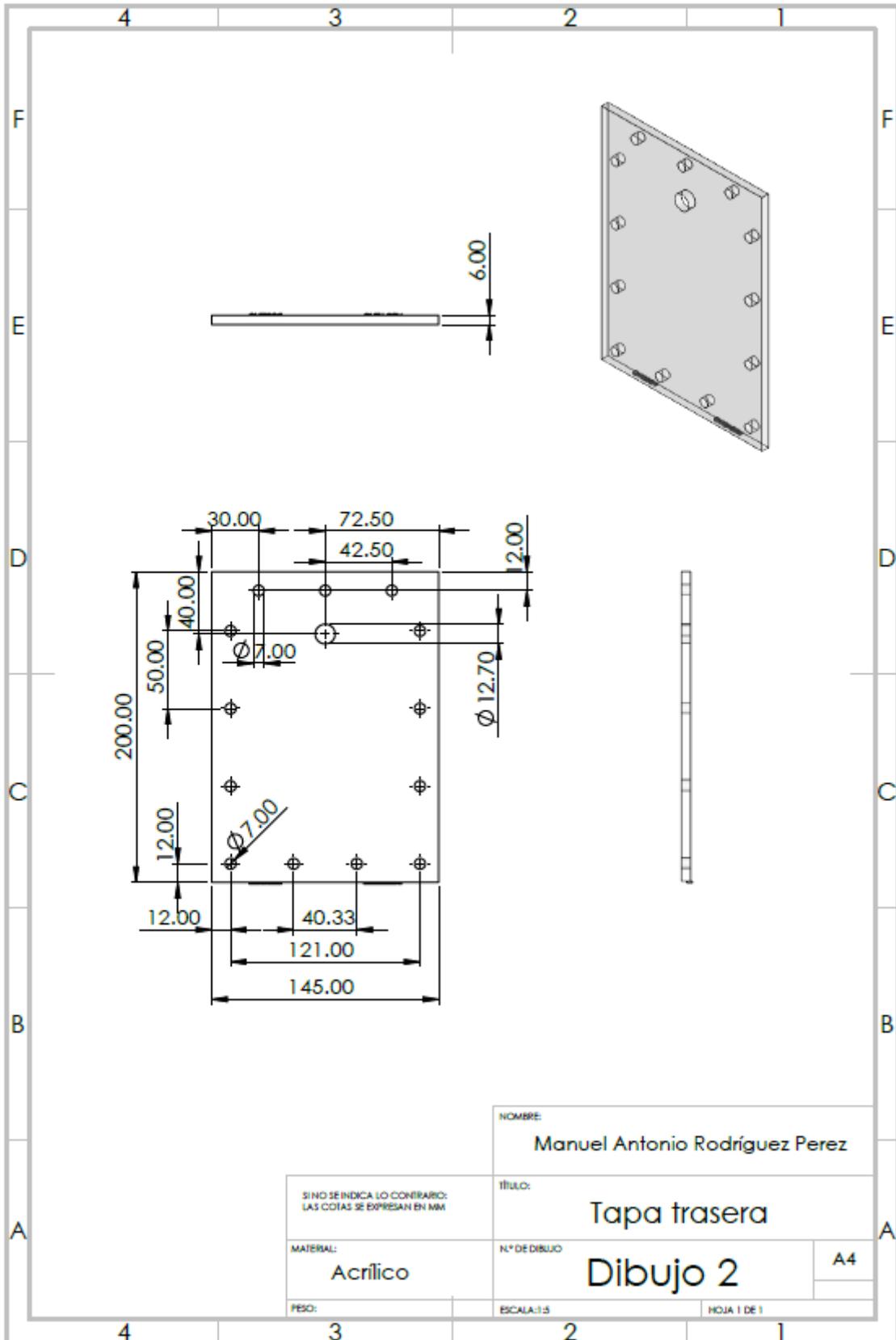
ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1

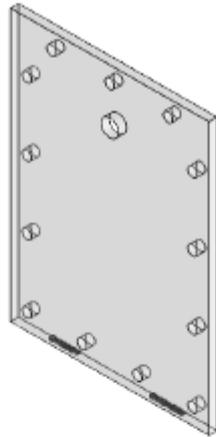


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		NOMBRE: Manuel Antonio Rodríguez Perez	
		TÍTULO: Tapa delantera	
MATERIAL: Acrílico		N.º DE DIBUJO Dibujo 1	
PESO:		ESCALA: 1:5	
		HOJA 1 DE 1	

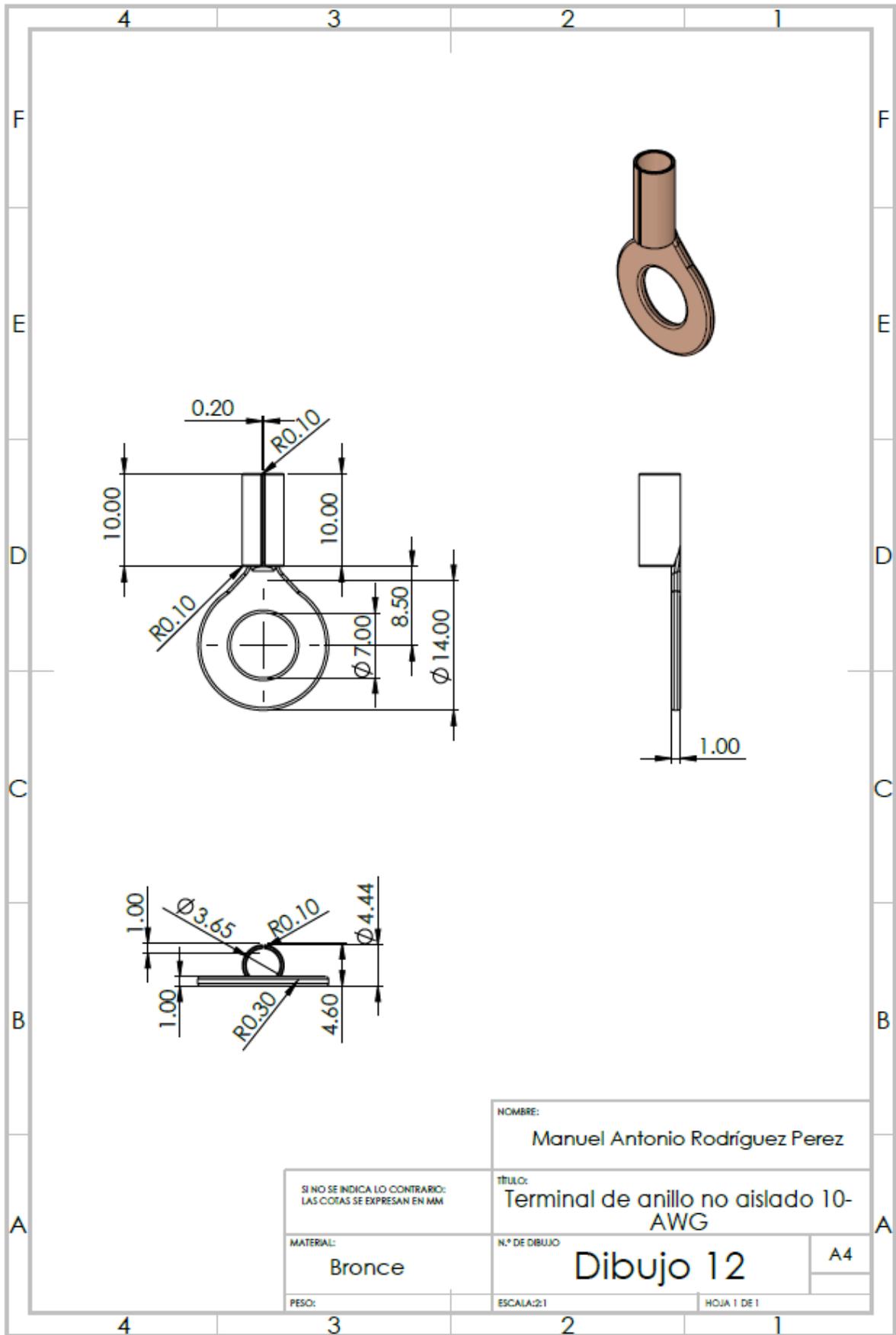
A4



6.00



SIN O SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		NOMBRE: Manuel Antonio Rodríguez Perez	
MATERIAL: Acrílico		TÍTULO: Tapa trasera	
PESO:		N° DE DIBUJO: Dibujo 2	A4
ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1	



NOMBRE:
Manuel Antonio Rodríguez Perez

TÍTULO:
Terminal de anillo no aislado 10-AWG

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

MATERIAL:
Bronce

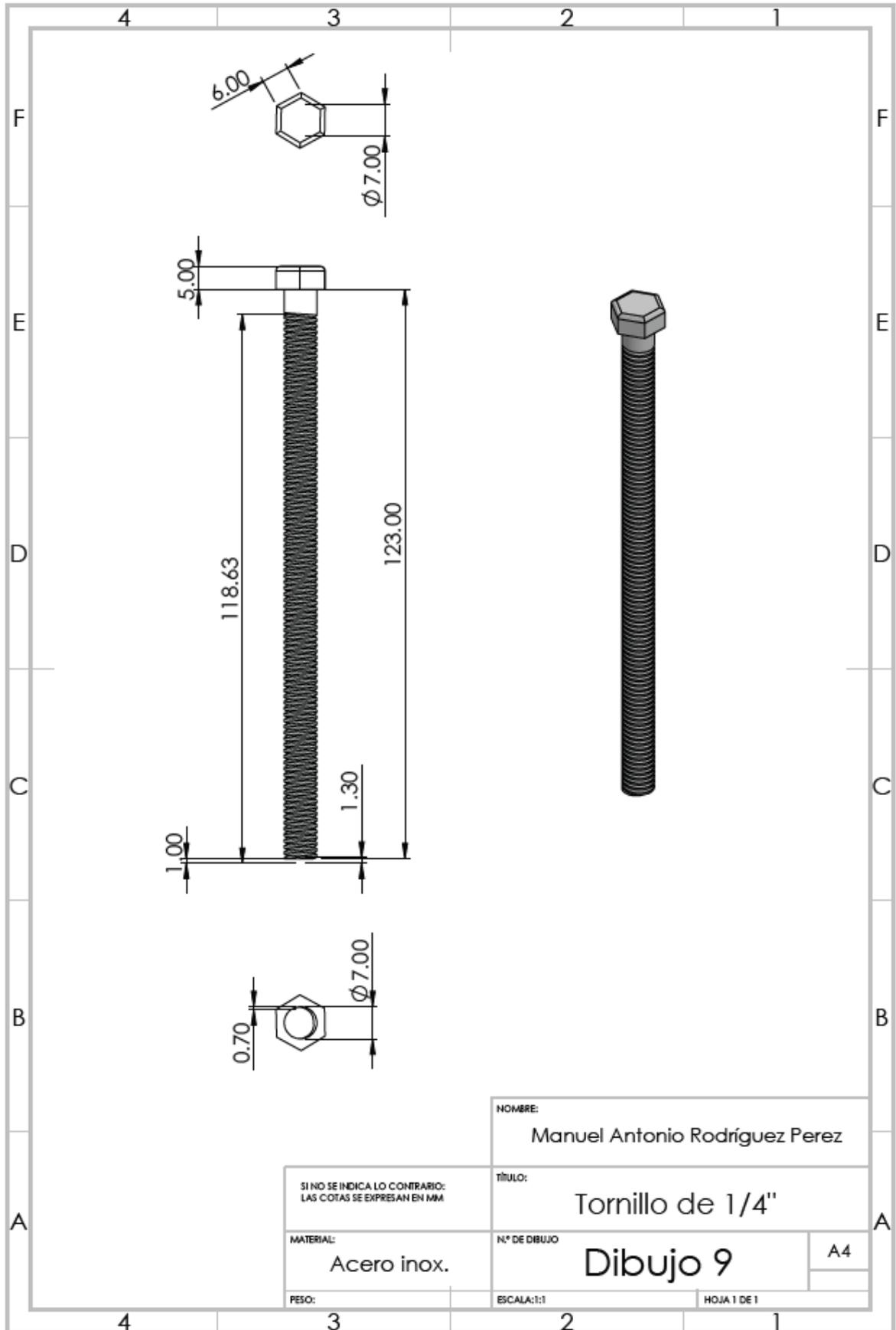
N.º DE DIBUJO
Dibujo 12

A4

PESO:

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1



NOMBRE:
Manuel Antonio Rodríguez Perez

TÍTULO:
Tornillo de 1/4"

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

MATERIAL:
Acero inox.

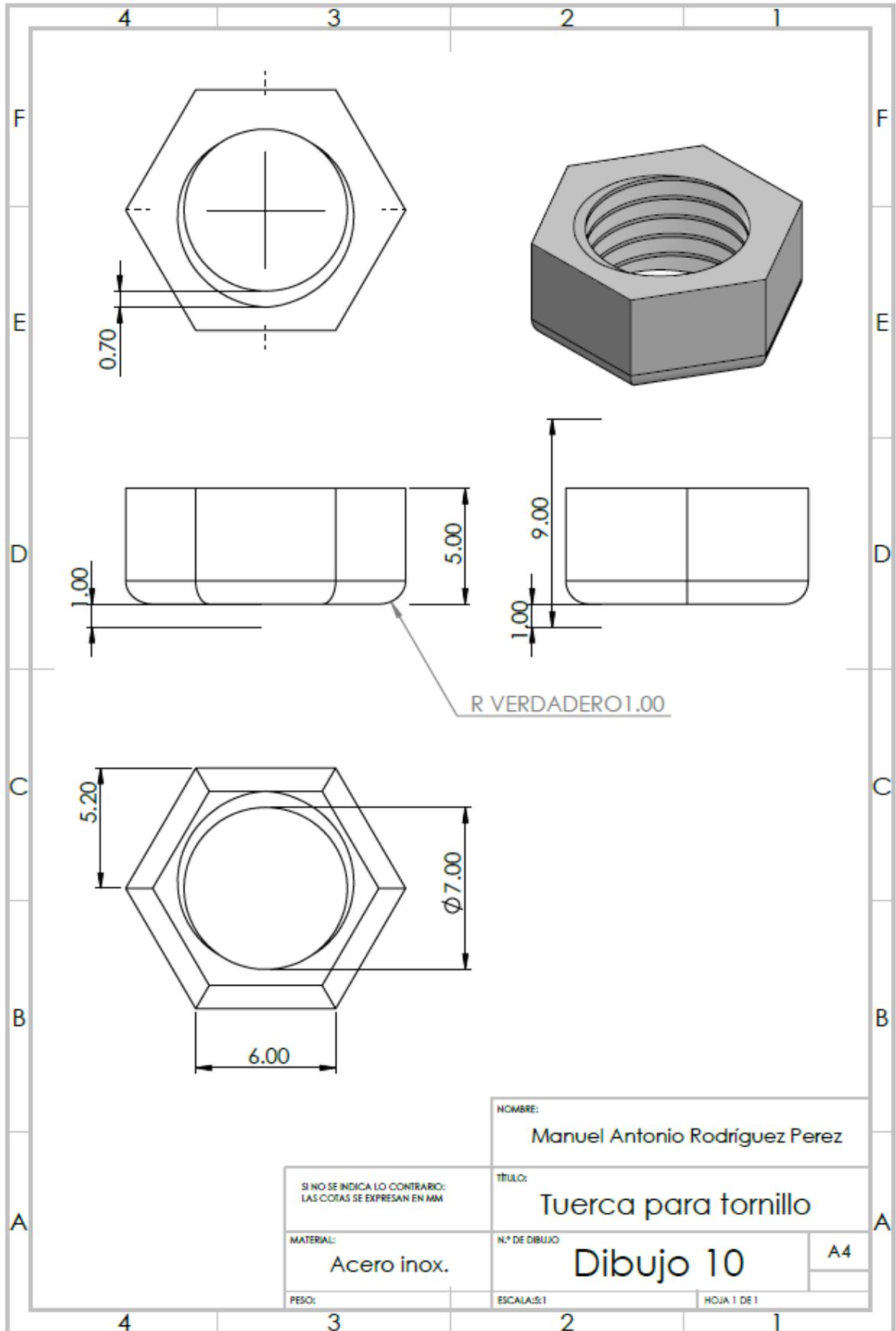
N° DE DIBUJO
Dibujo 9

A4

PESO:

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1



NOMBRE:
Manuel Antonio Rodríguez Perez

TÍTULO:
Tuerca para tornillo

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

MATERIAL:
Acero inox.

N.º DE DIBUJO:
Dibujo 10

A4

PESO:

ESCALA: 1

HOJA 1 DE 1