



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

**ENERGÍA ELÉCTRICA SUSTENTABLE: PRODUCCIÓN
DE HIDRÓGENO DEL AGUA DEL ESTERO SALADO DE
GUAYAQUIL**
TRABAJO NO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR
RODRIGUEZ GUTIERREZ WILLIAM SAMUEL

TUTOR
ING. MUÑOZ NARANJO DIEGO IVAN, M.Sc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, MUÑOZ NARANJO DIEGO IVÁN, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: ENERGÍA ELÉCTRICA SUSTENTABLE: **“PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO DEL AGUA DEL ESTERO SALADO DE GUAYAQUIL”**, realizado por el estudiante RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ WILLIAM SAMUEL; con cédula de identidad N° 093139137-9 de la carrera INGENIERIA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Quim. Diego Iván Muñoz Naranjo - Tutor

Guayaquil 13 noviembre de 2020



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO DEL AGUA DEL ESTERO SALADO DE GUAYAQUIL”**, realizado por el estudiante RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ WILLIAM SAMUEL, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Luis Morocho Rosero
PRESIDENTE

Ing. Alex Ortega Vélez
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Wolfio Ribadeneria Arguello
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Quim. Diego Muñoz Naranjo
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 13 de noviembre de 2020

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mi abuelo Manuel Gutiérrez Mieles, que en paz descanse, y a mi madre Leticia Gutiérrez quienes constantemente me motivaron a seguir cumpliendo mis metas y no toleraron que cediera en el camino a realizarlas, ambas piezas fundamentales en mi formación como profesional.

Agradecimiento

Agradezco a mi Madre por brindarme la vida y las fuerzas necesarias para continuar este sendero, logrando superar adversidades.

A mi abuelo por ser mi apoyo fundamental hasta el último día de su vida y ser mi más grande ejemplo a seguir.

A mi padrastro por estar siempre atento de mis avances y logros.

A los Ingenieros Carlos Banchón y Diego Muñoz por compartir sus conocimientos durante el desarrollo de este trabajo de titulación.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ WILLIAM SAMUEL**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “**PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO DEL AGUA DEL ESTERO SALADO DE GUAYAQUIL**”, para optar el título de **INGENIERO AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil 12 de noviembre del 2020

RODRIGUEZ GUTIERREZ WILLIAM SAMUEL

C.I. 093139137-9

Índice general

PORTADA.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice general	7
Índice de figuras.....	11
Resumen	13
Abstract.....	14
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Antecedentes del problema.....	15
1.2 Planteamiento y formulación del problema	16
1.2.1 Planteamiento del problema.....	16
1.2.2 Formulación del problema.....	17
1.3 Justificación de la investigación	17
1.4 Delimitación de la investigación	18
1.5 Objetivo general	18
1.6 Objetivos específicos.....	18
1.7 Hipótesis	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 Estado del arte.....	20
2.2 Bases teóricas	25

2.2.1 El Hidrógeno	25
2.2.2 Importancia del Hidrógeno	25
2.2.3 Reformado de Hidrocarburos.....	25
2.2.4 Oxidación Parcial de Hidrocarburos.....	26
2.2.5 Gasificación	26
2.2.6 Electrolisis del Agua	26
2.2.7 Procesos Termoquímicos del Agua.....	26
2.2.8 Aplicaciones Industriales	26
2.2.8.1 Industria Química	26
2.2.8.2 Industria del refino	27
2.2.8.3 Síntesis Inorgánica.....	27
2.2.8.4 Síntesis Orgánica	27
2.2.8.5 Industria Electrónica	27
2.2.8.6 Industria Metalúrgica.....	27
2.2.9 Aplicaciones Energéticas	27
2.2.9.1 Combustión Directa.....	27
2.2.9.2 Combustible de Motores	28
2.2.9.3 Pilas de Combustible	28
2.2.10 Tipos de Electrolizadores	28
2.2.10.1 Electrolizadores Alcalinos.....	28
2.2.10.2 Electrolizadores de Membrana de Intercambio Protónico.....	28
2.2.10.3 Electrolizadores de Oxido Sólido	28
2.2.10.4 Electrocatálisis	28
2.2.11 Cátodos	29
2.2.12 Electrodeposición	29

2.2.13 Electroquímica.....	29
2.3 Marco legal.....	30
2.3.1 Constitución del Ecuador	30
2.3.2 Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental	30
2.3.3 Ley de Régimen del Sector Eléctrico.....	30
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1 Enfoque de la investigación	31
3.1.1 Tipo de investigación.....	31
3.1.1.1 Investigación aplicada	31
3.1.2 Diseño de investigación	31
3.1.2.1 Investigación no experimental	31
3.2 Metodología	32
3.2.1 Variables	32
3.2.1.1 Variable independiente	32
3.2.1.2 Variable dependiente.....	32
3.2.2 Recolección de Datos	32
3.2.2.1 Cálculo de generación de hidrógeno.....	33
3.2.2.2 Ecuaciones de la Ley de Faraday elegidas para la obtención de hidrogeno a partir de electrolisis:	33
3.2.2.3 Ecuación de la ley de los gases ideales elegida para la obtención de hidrogeno	35
Recursos.....	36
3.2.2.4 Métodos y técnicas.....	36
3.2.2.5 Datos por obtener:.....	36
3.2.3 Análisis estadístico	37

3.2.3.1	Estadística descriptiva	37
3.2.3.2	Estadística inferencial	38
3.2.3.3	Método no Paramétrico o Test Kruskal-Wallis	38
4.	RESULTADOS	39
4.1	Comparación de diferentes diseños de celdas de producción hidrógeno para la selección de la más eficiente en la producción de hidrógeno mediante análisis bibliográfico.	39
4.1.1	El sistema PV-E	40
4.1.1.1	Sistema fotovoltaico	40
4.1.1.2	Electrolizador	41
4.1.2	Sistema combinado PV-E	41
4.1.3	El sistema PEC	42
4.1.3.1	Diseño basado en paneles	42
4.1.3.2	Una unión líquido-sólido	43
4.2	Determinación de las condiciones de operación mediante el diseño de una celda de producción de hidrógeno y utilización del software AutoCAD	43
4.3	Propuesta de un sistema de generación eléctrica a partir de hidrógeno comparando su eficiencia en función con la industria termoeléctrica y utilización de software AutoCAD	44
5.	DISCUSIÓN	47
6.	CONCLUSIONES	50
7.	RECOMENDACIONES	51
9.	ANEXO	56

Índice de figuras

Figura 1. Área de Estudio	56
Figura 2: Sistema de Producción de Hidrógeno	57
Figura 3. Métodos de Producción de Hidrógeno Solar.....	58
Figura 4. Celda de electrólisis por vapor sobrecalentado.	59
Figura 5. Propuesta de diseño de celda de generación de Hidrógeno, diseño 3D AutoCAD.....	60
Figura 6. Diseño de generador de Hidrógeno, vista 3D AutoCAD	61
Figura 7. Lamina acero inoxidable 316L Negativo/Positivo, vista 3D	62
Figura 8. Lamina acero inoxidable 316L Negativo/Positivo, vista frontal	63
Figura 9. Lamina acero inoxidable 316L Negativo/Positivo, cotas	64
Figura 10. Lamina acero inoxidable 316L Neutra, vista 3D.....	65
Figura 11. Lamina acero inoxidable 316L Neutra, vista frontal	66
Figura 12. Lamina acero inoxidable 316L Neutra, vista cotas.....	67
Figura 13. Membrana de serigrafia 180 hilos separadora de gases, vista 3D .	68
Figura 14. Membrana de serigrafia 180 hilos separadora de gases, vista frontal	69
Figura 15. Membrana de serigrafia 180 hilos separadora de gases, vista cotas	70
Figura 16. Junta de caucho, vista 3D.....	71
Figura 17. Junta de caucho, vista frontal	72
Figura 18. Junta de caucho, vista cotas.....	73
Figura 19. Acrílico superior, vista 3D	74
Figura 20. Acrílico superior, vista frontal	75
Figura 21. Acrílico inferior, vista cotas	76

Figura 22. Acrílico inferior, vista 3D	77
Figura 23. Acrílico inferior, vista frontal	78
Figura 24. Tornillo 128 mm	79
Figura 25. Vista lateral y cota de tornillo	80
Figura 26. Tuerca 12mm.....	81
Figura 27. Tuerca 12 mm.....	81
Figura 28. O Ring sello hidráulico para tornillo y tuerca, vista 3D	81
Figura 29. O Ring sello hidráulico para tornillo y tuerca, vista cotas.....	81
Figura 30. Conector	81
Figura 31. Conector , vista lateral.	81
Figura 32. Conector de manguera 12,7 mm	81
Figura 33. Diagrama de ensamblaje de láminas de celda	81
Figura 34. Diagrama de ensamblaje completo de láminas de celda de generación de Hidrógeno	81

Resumen

El hidrógeno es una base adecuada para un sistema energético porque tiene una serie de atractivos la realización de un sistema de energía de hidrógeno sostenible requiere el desarrollo de medios alternativos de producción de hidrógeno, a partir de fuentes renovables, junto con redes efectivas de almacenamiento, distribución y uso, ya sea como combustible o como materia prima química. Por este motivo se implementó la utilización del software AutoCAD para poder determinar las condiciones de operación mediante el diseño de una celda de producción de hidrógeno. En el software se implementaron herramientas para la creación de un modelo, las células de electrólisis microbiana (MEC) tienen el potencial de hacer esto mediante el tratamiento del agua y la producción gas hidrógeno renovable como producto, pero los costos de capital y operativos han ralentizado su implementación. Mediante el uso de tapetes de fibra de carbono reciclada, los MEC comercialmente viables pueden acercarse a la realidad, donde los MEC de ánodo de fibra de carbono reciclada que tratan aguas residuales reales.

Palabras clave: hidrógeno, software, AutoCAD, células, electrólisis microbiana

Abstract

Hydrogen is an adequate basis for an energy system because it has a number of attractions the realization of a sustainable hydrogen energy system requires the development of alternative means of hydrogen production, from renewable sources, along with effective storage, distribution and use networks, either as fuel or as a chemical raw material. For this reason, the use of AutoCAD software was implemented to determine operating conditions by designing a hydrogen production cell. In the software tools were implemented for the creation of a model, microbial electrolysis cells (MECs) have the potential to do this by treating water and producing renewable hydrogen gas as a product, but capital and operational costs have slowed their implementation. By using recycled carbon fiber mats, commercially viable MECs can get closer to reality, where recycled carbon fiber aodo MECs treat real wastewater.

Keywords: hydrogen, software, AutoCAD, cells, microbial electrolysis

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

El hidrógeno es el combustible ideal; es abundante, renovable, y de combustión limpia. En la búsqueda de preservar el medio ambiente y ahorrar al máximo los recursos naturales. Las empresas en las que su consumo energético es elevado han impulsado una investigación para ver la viabilidad de este gas y su alternativa para reemplazar el uso de combustibles fósiles como medio de energía (Widera, 2020).

El hidrógeno es el portador de energía más eficiente. El hidrógeno se puede obtener de diferentes fuentes de materias primas, incluida el agua. Entre muchos métodos de producción de hidrógeno, se puede obtener hidrógeno de alta pureza y ecológico mediante electrólisis del agua. Sin embargo, en términos de sostenibilidad e impacto ambiental, la electrólisis del agua se consideró como las técnicas más prometedoras para la producción de hidrógeno altamente eficiente y pura a partir de fuentes de energía renovables y emite solo oxígeno como subproducto sin emisiones de carbono (Kumar, 2019).

El hidrógeno producido (H_2) y el oxígeno (O_2) se utilizan directamente para la pila de combustible y las aplicaciones industriales. Sin embargo, la división general del agua da como resultado que solo el 4% del hidrógeno industrial global se produzca por electrólisis del agua, principalmente debido a problemas económicos (Kyriakopoulos, 2016).

Entre los retos de este nuevo combustible está en reducir al máximo el daño atmosférico. El hidrógeno se diferencia de los combustibles fósiles en la medida en que su utilización es compatible con los ciclos de generación natural. Si la obtención del hidrógeno proviene de otras energías alternativas, como solar,

eólica, hidráulica y de biomasa, puede disponerse de él sin haberse causado emisiones nocivas (Water, 2017)

En la medida en que los combustibles fósiles se empiecen a agotar, su costo se va a incrementar hasta llegar a ser más caros que las fuentes alternas de energía. Sin embargo, hasta que llegue este momento, los productores de energía fósil pueden mantener el precio de los combustibles suficientemente bajo para evitar que se desarrolle la energía alternativa, puesto que nadie va a invertir en energía alternativa si no existe una buena perspectiva de ganancia monetaria (Gómez, 2016).

Hoy en día, el aumento de la producción deseada de hidrógeno verde ha aumentado el interés en la electrólisis del agua. Así, la considerable investigación se ha completado recientemente en el desarrollo de electrocatalizadores rentables para la electrólisis del agua.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

El deseo de encontrar fuentes sustentables de energía obedece a varias razones; por una parte está el estímulo político en los países importadores netos, de reducir la dependencia de fuentes foráneas, a éste se suma la preocupación ambiental, cuya principal manifestación se concreta en el Protocolo de Kioto, suscrito en diciembre de 1997, en el que los países desarrollados se comprometen a reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) entre 2008 y 2012, en por lo menos 5% en relación con los volúmenes de 1990. Adicionalmente, algunos geólogos prestigiosos plantean que el ritmo de incorporación de reservas de hidrocarburos está decayendo y que,

eventualmente, en unos 20 a 30 años la capacidad de producción de petróleo habrá disminuido sustancialmente (Millet, 2013).

Contribuyendo con alternativas que permitan reducir los contaminantes ambientales por efecto de la generación de termoeléctricas en zonas de influencias en la ciudad de Guayaquil, en concordancia con el marco legal existente; además de la aplicación de nuevas técnicas que conlleven a un mejoramiento productivo paralelo con la difusión de programas de responsabilidad social, con el fin de mejorar la calidad ambiental y de vida de quienes están afectados por este tipo de actividades (Berre, 2016). Las tres grandes fuerzas conductoras en la búsqueda de energías alternas a los hidrocarburos pueden resumirse en:

- Preocupación por el impacto ambiental, derivado de la quema de hidrocarburos.
- Aversión a la dependencia de fuentes energéticas foráneas.
- Potencial amenaza de escasez de hidrocarburos baratos (Berre, 2016).

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de la producción de hidrógeno a partir de electrólisis del agua del estero salado?

1.3 Justificación de la investigación

En resumen, el hidrógeno cuesta un poco más que los combustibles fósiles, pero va a ser competitivo, ofreciendo beneficios únicos: combustión limpia, posiblemente eliminando las emisiones de CO₂ y operando en un ciclo cerrado e inexhaustible basado en las sustancias más limpias, abundantes y elementales: agua, oxígeno e hidrógeno; utilización más eficiente, requiriendo menos mantenimiento y produciendo menos ruido; más descentralizado y

menos vulnerable que los sistemas actuales al terrorismo, desastres naturales y problemas de suministro. Mientras que existen alternativas al hidrógeno que se pueden usar en algunas aplicaciones particulares (por ejemplo, automóviles eléctricos para viajes cortos), el hidrógeno es una alternativa económica a los combustibles fósiles que se puede usar en forma global en todos los modos de transporte (automóviles, camiones, aviones y barcos) (Berre, 2016).

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Estero Salado de la ciudad de Guayaquil, Coordenadas: 614412,7; 9756647,2
- **Tiempo:** 2 meses
- **Población:** Ciudad de Guayaquil, Parroquia Chongón, 36.726 habitantes (INEC, 2015)

1.5 Objetivo general

Evaluar la producción de hidrógeno mediante electrólisis del agua del Estero Salado para generación de energía eléctrica renovable.

1.6 Objetivos específicos

- Comparar diferentes diseños de celdas de producción hidrógeno para la selección de la más eficiente en la producción de hidrógeno mediante análisis bibliográfico.
- Determinar las condiciones de operación mediante el diseño de una celda de producción de hidrógeno y utilización del software AutoCAD
- Proponer un sistema de generación eléctrica a partir de hidrógeno comparando su eficiencia en función con la industria termoeléctrica.

1.7 Hipótesis

El agua del Estero Salado es una fuente para la producción de hidrógeno a partir de electrólisis.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

De cara a un futuro basado en un desarrollo sostenible, el vector energético hidrógeno, producido a partir de energías renovables, está adquiriendo cada vez más protagonismo. Y dentro de este campo, el hidrógeno producido con energía solar se presenta como una manera adecuada de almacenar, en forma de energía química, la energía procedente del sol. Con ello se consigue subsanar uno de los principales obstáculos para el aprovechamiento de la energía solar, su carácter intermitente, ya que, aunque existen métodos de almacenamiento de dicha energía, todos ellos presentan muy bajo rendimiento (Montes, 2016).

Los métodos para producir hidrógeno con energía solar se agrupan en tres grandes conjuntos: procesos fotoquímicos, electroquímicos y termoquímicos, aunque también existen combinaciones de los anteriores (foto electrólisis, electrólisis a alta temperatura del vapor, etc.) (Eisenstadt, 2017). Ver anexo figura 1.

Por las posibilidades de desarrollo, el estudio se centrará en los métodos que hacen uso de energía solar concentrada, que son:

- La electrólisis a alta temperatura del vapor de agua, suministrando el calor y la electricidad a partir de colectores cilíndrico-parabólicos, discos parabólicos e instalaciones de torre central. Este método, frente a la electrólisis a temperatura ambiente, presenta la ventaja de requerir una entrada de energía eléctrica menor, como se verá más adelante.
- Los métodos termoquímicos, entre los que se incluyen: termólisis directa del agua, ciclos termoquímicos, generalmente de dos pasos, basados en la reducción de óxidos metálicos, así como el cracking, el reformado y la gasificación de hidrocarburos. Estos procesos utilizan la radiación

solar concentrada como fuente calorífica de alta temperatura para llevar a cabo una reacción endotérmica. Para conseguir razones de concentración elevadas se hace uso de dos de las tres configuraciones ópticas más comunes: discos parabólicos y sistemas de torre, ya que con colectores cilíndrico-parabólicos no se alcanza el nivel necesario de temperatura.

El rendimiento global, o rendimiento de conversión de energía solar a energía química, es un parámetro adecuado para evaluar el potencial industrial de un proceso y, en el caso de energía solar de alta temperatura, adquiere especial importancia. Cuanto mayor sea dicho rendimiento, menor será el área de colectores necesaria para producir una cantidad dada de hidrógeno y, consecuentemente, menores serán los costes en los que se incurra para el sistema de concentración solar, que normalmente corresponden a la mitad de la inversión total del conjunto de la planta solar-química (Ture, 2015).

Los altos flujos de radiación que se consiguen con los sistemas ópticos para concentración solar dan lugar a temperaturas estacionarias por encima de los 3000K, que permiten que la conversión de la energía solar a energía térmica se realice a temperaturas del orden de los 2000K y superiores, que son las que se emplean en los ciclos termoquímicos de dos pasos que se basan en la reducción de un óxido metálico (Williams, 2015).

El primer paso, endotérmico, es la reducción, mediante energía solar, del óxido metálico ($M_x O_y$). Como se observa, esta reducción puede ser al metal o a un óxido metálico de menor valencia. También se puede realizar una Carbo-reducción del óxido metálico, utilizando como agente reductor carbón o gas natural. El segundo paso, que no requiere de energía solar, es la hidrólisis

exotérmica del agua, acompañada de la oxidación del metal, para formar el hidrógeno y el correspondiente óxido metálico. Ya se ha comprobado experimentalmente que la reacción de separación de la molécula de agua ocurre de forma exotérmica y con una tasa de realización razonable cuando se burbujea vapor a través del metal fundido, a temperaturas del orden de 700K. La reacción neta es $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$, pero, puesto que el hidrógeno y el oxígeno se forman en pasos diferentes, no es necesaria una separación de los mismos a altas temperaturas (Williams, 2015).

Se pueden considerar básicamente tres métodos para la obtención de hidrógeno a partir de combustible fósil: cracking, reformado y gasificación. El primero hace referencia a la descomposición térmica de gas natural, petróleo y otros hidrocarburos, siendo su reacción global. En la misma figura aparece también la reacción química representativa de la gasificación y el reformado, ambos en este caso con vapor. El reformado se practica sobre gas natural, petróleo y otros hidrocarburos ligeros, mientras que la gasificación es típica del carbón e hidrocarburos pesados (Wilson, 2017).

Muchos de estos procesos se realizan a escala industrial, suministrando el calor de proceso quemando una parte significativa del combustible fósil de partida. Si la combustión es interna, existe una contaminación de los productos gaseosos, mientras que, si es externa, se produce una pérdida de rendimiento debido a las irreversibilidades asociadas a la transferencia indirecta de calor. La utilización de la energía solar como fuente de calor del proceso ofrece ciertas ventajas, entre otras, evitar la descarga de sustancias contaminantes a la atmósfera (Calise, 2019).

La ENSEEIHT menciona que el hidrógeno es el elemento que se asocia por excelencia con la energía, tanto en el mundo de la física como en el de la biología. Si se produce hidrógeno con un surtidor de laboratorio basado en la reacción del ácido sulfúrico con el zinc, el gas producido arde con toda facilidad en el aire cuando se aplica una chispa o una flama, lo cual denota la energía potencial del hidrógeno en un sentido puramente químico (como se verá más adelante, el hidrógeno también tiene gran relevancia en lo concerniente a su energía nuclear). Este proceso corresponde a la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno atmosférico, resultando agua. Se trata de una reacción fuertemente exotérmica, es decir, que libera energía en forma de calor. Por cada mol de hidrógeno que reacciona (equivalente a 2 g), se liberan 283 kJ, es decir casi 68 kcal. Para tener una idea de lo que esto representa, si se aplicara dicha cantidad de energía a 1 litro de agua a 15° C, aumentaría su temperatura a 83° C (Hurtado, 2018).

El principal problema para utilizar el hidrógeno como fuente de energía en el contexto mencionado, es que el hidrógeno solamente se encuentra en la Tierra combinado con otros elementos y para utilizarlo como fuente de energía, es preciso obtenerlo libre a partir de algún compuesto que lo contenga. La principal fuente de hidrógeno potencialmente asequible es el agua, compuesto que se encuentra en cantidades prácticamente inagotables en los océanos. Sin embargo, si la formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno es un proceso que libera energía, el proceso inverso, es decir la ruptura de las moléculas de agua para liberar hidrógeno y oxígeno (hidrólisis) tiene un costo energético de igual magnitud. Por cada mol (2 g) de hidrógeno que se produzca a partir de agua se tienen que aportar 283 kJ de energía en una forma apropiada, por ejemplo, como

corriente eléctrica. El mayor inconveniente de esto es que actualmente la electrólisis del agua es un proceso caro en grado tal que lo hace incosteable para la producción masiva de hidrógeno.

Cuando pueda producirse hidrógeno a partir del agua con un costo aceptable, se convertirá en el mejor combustible. En Argentina se desarrolla un experimento piloto que pretende aprovechar la energía eólica para obtener energía eléctrica y aplicarla a la electrólisis del agua. Los fuertes y constantes vientos de la Patagonia pueden ser una fuente de energía eléctrica barata que haga redituable la obtención de hidrógeno a partir del agua. Se considera que con el tiempo la separación del hidrógeno y del oxígeno del agua se podrá lograr a partir de la energía solar (fotólisis) (Hurtado, 2018).

Para producir hidrógeno a partir de aguas residuales o subproductos orgánicos un grano de sal o dos es todo lo que necesitan las células microbianas de la electrólisis, sin necesidad de añadir dióxido de carbono a la atmósfera ni usar la red eléctrica, según pone de manifestó una investigación de la Universidad de Pensilvania publicada en la revista 'Proceedings of the National Academy of Sciences'. "Este sistema podría producir hidrógeno en cualquier lugar donde haya aguas residuales cerca de agua marina", arma Bruce E. Logan, profesor de Ingeniería Ambiental, que añade que dicho sistema "no utiliza electricidad y carece de carbono. En este sentido, subraya que "es una fuente inagotable de energía". Hasta ahora, las células microbianas de la electrólisis que producen hidrógeno requerían pilas de combustible con alguna entrada eléctrica.

Se necesita mucho menos de los 1,8 voltios necesarios para hidrolizar agua. Los líquidos biodegradables y los residuos de celulosa son abundantes y gracias al hidrógeno podemos deshacernos de aguas residuales y subproductos. Esto

podría ser una fuente inagotable de energía", concluye Logan. Logan y Kim usaron platino como catalizador, pero también observaron que el sulfuro de molibdeno, con una eficiencia energética del 51 por ciento, era otro buen candidato (Castells, 2017).

La electricidad para la electrólisis puede obtenerse por diversas vías a partir de la energía solar. Tanto la energía de los vientos, como la de las olas y mareas, como el gradiente de temperatura en los océanos, como la corriente de los ríos son fuentes de energía mecánica que procede en última instancia del sol. La energía mecánica de ellas o la obtenible de la energía solar térmica, pueden convertirse en energía eléctrica. También la conversión fotovoltaica puede utilizarse para producir hidrógeno electrolíticamente. En todos los casos se requiere de más de una conversión energética, lo que implica disminución de la eficiencia (Williams, 2015).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 El Hidrógeno

El hidrógeno es el elemento químico de número atómico 1, representado por el símbolo H. Con una masa atómica de 1,00797, es el más ligero de la tabla periódica de los elementos. Por lo general, se presenta en su forma molecular, formando el gas diatómico H_2 en condiciones normales (Hortal, 2013).

2.2.2 Importancia del Hidrógeno

La reducción mundial de los problemas derivados del uso de combustibles fósiles requiere un gran desarrollo tecnológico de alternativas y reestructuración de los sistemas de energía con la utilización del Hidrógeno como vector energético alternativo (Cardona, 2012).

2.2.3 Reformado de Hidrocarburos

Se llama proceso de reformado a la reacción catalítica de una mezcla de vapor de agua e hidrocarburos a alta temperatura para formar hidrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono (Handwerk, 2018).

2.2.4 Oxidación Parcial de Hidrocarburos

Se trata de una reacción exotérmica en la que un combustible reacciona con una cantidad de oxígeno inferior a la necesaria para que se produzca la oxidación incompleta del mismo obteniéndose hidrógeno (Meissner, 2017).

2.2.5 Gasificación

El proceso de gasificación consiste en una combustión con defecto de oxígeno en la que se obtiene CO, CO₂, H₂ y CH₄, en proporciones diversas según la proporción de la materia prima y las condiciones del proceso (Castells, 2017).

2.2.6 Electrolisis del Agua

A pesar de que el hidrógeno puede obtenerse de múltiples formas, la eficacia plena del hidrógeno como combustible del futuro se consigue utilizando electricidad en su producción electrolítica extrayéndola del agua, siempre que la electricidad provenga de una fuente renovable (Faraday, 2014) .

2.2.7 Procesos Termoquímicos del Agua

La descomposición térmica, llamada termólisis, de moléculas de agua pura para producir hidrógeno y oxígeno requiere temperaturas de orden 2000°C para que la reacción se inicie, llegándose a temperaturas de 5000°C para poder completarse (Abaytúa, 2019)

2.2.8 Aplicaciones Industriales

2.2.8.1 *Industria Química*

El hidrógeno es un compuesto de gran interés para la industria química, participando en procesos de hidrogenación o como agente reductor en procesos redox (Cardona, 2012).

2.2.8.2 Industria del refino

Los procesos de hidrogenación en refinería tienen como objetivo principal la obtención de fracciones ligeras de crudo a partir de fracciones pesadas, aumentando su contenido en hidrógeno y disminuyendo su peso molecular (Cardona, 2012).

2.2.8.3 Síntesis Inorgánica

El hidrógeno es imprescindible en procesos de importancia comercial (Sequeira, 2016)

2.2.8.4 Síntesis Orgánica

En química orgánica el hidrógeno participa en procesos de hidrogenación o reducción para la obtención de productos químicos o intermedios (Sequeira, 2016).

2.2.8.5 Industria Electrónica

El hidrógeno se usa para la fabricación de ciertos componentes electrónicos (Nidola, 2014).

2.2.8.6 Industria Metalúrgica

El hidrógeno se utiliza en este sector industrial para la creación de atmósferas antioxidantes, necesarias en ciertos procesos, o para tratamientos térmicos (Nidola, 2014).

2.2.9 Aplicaciones Energéticas

2.2.9.1 Combustión Directa

La combustión del hidrógeno con oxígeno puro conduce a la formación de vapor de agua puro, obteniéndose una temperatura de los gases superior a 3000°C en la zona de la llama de propulsión (Zhang, 2015).

2.2.9.2 Combustible de Motores

Esta aplicación se emplea tradicionalmente a la industria aeroespacial (combustible de vehículos espaciales) (Zhang, 2015).

2.2.9.3 Pilas de Combustible

La Revolución energética que supone la economía del hidrógeno se basa en el uso de este gas por medio de las llamadas pilas de combustible, en la que se combina, por vía electroquímica, con el oxígeno para la producción de una corriente eléctrica (Chen, 2019).

2.2.10 Tipos de Electrolizadores

2.2.10.1 Electrolizadores Alcalinos

La electrolisis alcalina del agua es una tecnología muy madura que presenta como el estándar actual para la electrolisis a gran escala (Heaton, 2014).

2.2.10.2 Electrolizadores de Membrana de Intercambio Protónico

El desarrollo de los electrolizadores tipo PEM viene ligado a la invención de las celdas de combustibles de membrana de intercambio protónico (PEM) (Ortuño, 2015).

2.2.10.3 Electrolizadores de Óxido Sólido

Operan a temperaturas muy altas, cercanas a los 1000°C, explotando al máximo el efecto ventajoso de las altas temperaturas sobre las cinéticas y los parámetros termodinámicos de control del agua, para generar hidrógeno a partir de vapor de agua (Paine, 2017).

2.2.10.4 Electrocatálisis

Un catalizador químico es una sustancia que altera la velocidad de la reacción química sin consumirse o generarse en el proceso. En la catálisis heterogénea, el catalizador actúa como un lugar de encuentro para los reactivos y promueve su unión. El electrodo actúa como sitio o sustrato para la reacción electrónica. Un electrodo es un catalizador de las reacciones de transferencia de carga o electrocatalizador, participa de la reacción aportando sitios para la adsorción de intermediarios (Duncan, 2014).

2.2.11 Cátodos

Un cátodo es un electrodo que sufre una reacción de reducción, mediante la cual un material reduce su estado de oxidación al recibir electrones. Regla mnemotécnica: Cátodo, Reducción, Ánodo, Oxidación; La polaridad del cátodo, positiva o negativa, depende del tipo de dispositivo (Duncan, 2014).

2.2.12 Electrodeposición

La electrodeposición, es un tratamiento electroquímico donde se apegan los cationes metálicos contenidos en una solución acuosa para ser sedimentados sobre un objeto conductor creando una capa (Bull, 2017).

2.2.13 Electroquímica

El electro químico es una rama de la química que estudia la transformación entre la energía eléctrica y la energía química. En otras palabras, las reacciones químicas que se dan en la interfaz de un conductor eléctrico y un conductor iónico pudiendo ser una disolución y en algunos casos especiales, un sólido (Chisholm, 2015).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución del Ecuador

Art 14. De la Constitución de la República del Ecuador reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, el sumak Kawsay y declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art 15. De la Constitución de la República del Ecuador señala que corresponde al Estado promover, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, así como que la soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Art 395 de la Constitución de la República del Ecuador señala que el Estado debe garantizar un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

Art 413 de la Constitución de la República del Ecuador establece que el Estado debe promover la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto.

2.3.2 Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

Título II del Régimen Institucional de la Gestión Ambiental

Capítulo I del Desarrollo Sustentable

Art. 7.- La gestión ambiental se enmarca en las políticas generales de desarrollo sustentable para la conservación del patrimonio natural y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que establezca el presidente de la República al aprobar el Plan Ambiental Ecuatoriano. Las políticas y el Plan mencionados formarán parte de los objetivos nacionales permanentes y las metas de desarrollo.

2.3.3 Ley de Régimen del Sector Eléctrico

Registro Oficial Suplemento N.º 43, 10 de octubre de 1996

En materia de medio ambiente esta ley garantiza que en todos los casos los generadores, transmisores y distribuidores deberán observar las disposiciones legales relativas a la protección del medio ambiente. Previo a la ejecución de la obra, los proyectos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica deben cumplir las normas existentes de preservación del medio ambiente y para ello se exige la presentación de un estudio independiente de evaluación del impacto ambiental, con el objeto de determinar los efectos ambientales, en sus etapas de construcción, operación y retiro; los mismos que deben incluir el diseño de los planes de mitigación y/o recuperación de las áreas afectadas, además del análisis de costos correspondientes.

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El desarrollo de este proyecto se realizará bajo el recurso bibliográfico como son: artículos científicos, actas de conferencias, libros, Google Académico y biblioteca virtual de la Universidad Agraria del Ecuador para la recopilación de datos referentes al tema de estudio.

3.1.1.1 *Investigación aplicada*

Este tipo de investigación aplicada tiene por objetivo resolver un determinado problema o planteamiento específico, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación y, por ende, para el enriquecimiento del desarrollo cultural y científico.

Considerando que la investigación aplicada se basa en una necesidad social práctica por resolver, el principal enfoque en la investigación es la búsqueda de nuevas tecnologías de producción de energía, en este caso la producción de hidrógeno para generación de energía eléctrica; obteniendo una fuente renovable y amigable con el ambiente.

- Necesidad social: sector energético industrial termoeléctrico
- Investigación aplicada: Producción de hidrógeno mediante electrolisis del agua del estero salado
- Solución: Utilización del hidrógeno como fuente de energía renovable

3.1.2 Diseño de investigación

3.1.2.1 *Investigación no experimental*

El presente estudio se realizará en base al análisis de datos, los cuales serán empleados bajo el método analítico-sintético.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1 *Variable independiente*

- Volumen del agua del Estero Salado (m³)
- Tiempo de electrolisis (t= minutos)
- Potencia eléctrica (Watts)
- Tipo del material del electrodo (Carbono / Acero Inoxidable)

3.2.1.2 *Variable dependiente*

- Producción de hidrógeno (m³)

3.2.2 Recolección de Datos

Para la obtención de información necesaria y acorde a los objetivos planteados para esta investigación, se utilizó como medio principal las ecuaciones de la ley de Faraday (Technology, 2016). La generación de hidrógeno se basa en electrolisis, la cual se rige por las leyes de la física. este proceso fue estudiado hace casi 200 años por Michael Faraday, quien posteriormente publicó “Las Leyes de la Electrolisis de Faraday”. Las leyes establecen que una celda de electrolisis que funciona a una corriente determinada (amperios) producirá una cantidad conocida de HHO (Technology, 2016).

Las dos consideraciones principales son el número de placas de electrodo y el área real de superficie activa.

El área activa es el área de superficie de las placas menos el área de las juntas (Electrólisis, 2015).

$$Q = \int_0^t I(\tau) d\tau$$

Ecuación de Ley de Faraday de la Electrólisis

3.2.2.1 Cálculo de generación de hidrógeno

Por ejemplo, si un generador tiene placas de 20 cm y juntas de 13 mm de ancho:

- El área de la placa es 20 cm X 20 cm = 400 cm cuadrados
- El área activa es 17.4 cm X 17.4 cm = 303 cm cuadrados
- Debe usarse el valor de 303 cm cuadrados para los cálculos.

Michael Faraday también demostró que las celdas de electrolisis pueden soportar hasta 0.084 amperios por centímetro cuadrado sin sobrecalentarse.

Por lo tanto, el generador de 303 cm cuadrados puede soportar hasta 25.4 amperios de corriente. El número de placas también es muy importante. Si son muy pocas el generador presentará una baja producción de HHO y sobrecalentamiento. Si son demasiadas el generador podría no funcionar en absoluto (Electrólisis, 2015).

Como simplificación matemática de las leyes de Faraday, un generador de 7 placas producirá 64ml/minuto de HHO por 1 amperio de corriente.

Así pues, el generador en nuestro ejemplo tendrá una máxima salida de 1.6 LPM (64 ml x 25.4 amperios) (Technology, 2016).

3.2.2.2 Ecuaciones de la Ley de Faraday elegidas para la obtención de hidrogeno a partir de electrolisis:

- La cantidad de masa depositada en un electrodo es proporcional a la cantidad de electricidad que ha circulado por el electrodo, correspondiendo a la primera ley de Faraday:

$$\text{Masa desprendida} = k (\text{constante}) \cdot Q = k \cdot I \cdot t$$

Donde Q es la carga en culombios, I la intensidad en amperios y t el tiempo en segundos

- La cantidad de masa depositada de un elemento en un electrodo es proporcional a su peso equivalente (peso atómico dividido entre su número de oxidación), corresponde a la segunda ley de Faraday:

Masa desprendida = k (constante) · peso atómico / n° oxidación

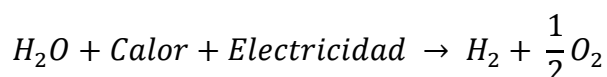
- La cantidad de electricidad que es necesaria para que se deposite 1 equivalente gramo de un elemento es $F = 96500$ culombios (constante de Faraday). Como 1 equivalente gramo es igual al peso atómico / n° de oxidación en gramos, tercera ley de Faraday:

Masa desprendida = $I \cdot t \cdot (\text{peso atómico} / \text{n° de oxidación}) / 96500$

donde I es la intensidad en amperios y t el tiempo en segundos (Electrólisis, 2015).

Siendo el agua una de las sustancias más estables de la naturaleza, su disociación, para la producción de hidrógeno y oxígeno moleculares, no es espontánea y posee un alto grado de consumo de energía (Brisse, 2008).

- La reacción neta de electrólisis del agua se muestra en la **Ecuación (1)**.

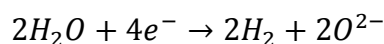


Que indica que, por cada mol de agua ingresada, se obtiene un mol de hidrógeno y medio mol de oxígeno.

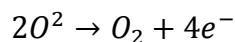
En una celda electrolítica la energía eléctrica se suministra aplicando una diferencia de potencial entre dos electrodos acoplados con un electrolito. La conversión de la energía eléctrica en energía química tiene lugar en la interfase electrodo-electrolito a través de reacciones de transferencia de carga (Cachadiña, 1995).

Las reacciones que se producen en cada parte del electrolizador son:

- En el cátodo se produce la reacción como se muestra en la **Ecuación (2)**.



- En el ánodo la reacción producida se muestra en la **Ecuación (3)**.



En el electrolito la reacción es: $2O^{2-}$; circulando de forma constante. Todas estas reacciones se resumen en el (Anexo 3). Cabe destacar, que todo el proceso comprende un estado de oxidación mientras esté en funcionamiento, es decir que el compuesto inicial se disgrega por la energía aplicada, en compuestos que tienden a combinarse debido a su inestabilidad (como el oxígeno que circula por el electrolito, hasta combinarse en 2 moléculas de sí mismo para formar el gas de oxígeno) (Faraday, 2014).

3.2.2.3 Ecuación de la ley de los gases ideales elegida para la obtención de hidrogeno

A cualquier temperatura y presión, un compuesto puro puede existir como gas, liquido o solido o, a ciertos valores específicos de temperatura y presión, como una mezcla de fases, como cuando el agua hierve o se congela. Por tanto, un compuesto puede consistir en una o más fases (Himmelblau, 2002). La ecuación del gas ideal elegida se basa en la Ley de Avogadro: volúmenes iguales de distintas sustancias gaseosas, medidos en las mismas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de partículas (Atkins & Jones, 2005).

- Ecuación de Avogadro, Ley de los Gases ideales:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Donde:

p = presión en Pa (pascales)

V = volumen en m^3

n = número de moles del gas correspondiente

$$R = \text{constante de los gases ideales que vale } 8.314472 \text{ m}^3 \cdot \frac{\text{Pa}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$$

$T = \text{temperatura en } ^\circ K$

Recursos

Recursos Bibliográficos:

- Libros
- Documentos científicos
- Revistas científicas
- Páginas web (Google Scholar)

3.2.2.4 Métodos y técnicas

Para la realización de este estudio se empleó un método de diseños completamente al azar, eliminando los efectos de variables extrañas por aleatorización. Sin embargo, se requiere un tamaño de muestra razonablemente grande antes de que podamos tener confianza en el proceso de aleatorización (Forthofer & Hernandez, 2007).

3.2.2.5 Datos por obtener:

- Elección de un electrodo de referencia y condiciones de referencia.
- Potencial de reducción en agua de mar respecto el electrodo de referencia.
el potencial englobará los potenciales termodinámicos y no termodinámicos (polarizaciones).
- Tensión de electrólisis.
- Tensión y corriente de saturación.
- Sobretenión de destrucción o crítica.
- Sobrepotenciales en función de la densidad de corriente y naturaleza del electrodo.

- Rendimiento energético(William Samuel Rodríguez Gutiérrez 2019, s. f.).

La electrolisis del agua de mar principalmente consiste en la electrolisis de una disolución de cloruro de sodio (NaCl). La electrólisis del cloruro de sodio produce hidrógeno y cloro, dependiendo de la naturaleza de los electrodos, pH, concentraciones, etc. (Cardona, 2012).

El cloruro de sodio presente en el agua de mar está disuelto, por lo que se disocia en iones Cl^- y cationes Na^+ . Si se aplica una diferencia de potencial a la disolución los iones positivos disueltos en el electrolito se acercan al polo negativo y los negativos al positivo. Por cada dos moléculas de Cl^- que se encuentran en el ánodo se liberan dos electrones y se forma una molécula de cloro gas (Cl_2). Los electrones son arrastrados al cátodo por la fuente de tensión y descomponen una molécula de agua en hidrógeno gas (H_2) e hidroxilo OH^- . Por último, el ion hidroxilo se combina con el ion Na^+ para formar hidróxido de sodio (NaOH) (Millet, 2013).

3.2.3 Análisis estadístico

Se aplicará estadística descriptiva para explicar y comprender las características de un conjunto de datos específico al proporcionar breves resúmenes sobre la muestra y las medidas de los datos (Silver, 2016), mediante el método no paramétrico o test de Kruskal-Wallis, los datos no tendrán una distribución normal al tratarse de un experimento aleatorio o completamente al azar.

3.2.3.1 Estadística descriptiva

Para el análisis de los datos se aplicará las medias de tendencia central (media aritmética, mediana, moda) y medidas de dispersión (varianza y desviación estándar) utilizando las variables de volumen del agua del Estero Salado (m^3),

tiempo de electrolisis (t = minutos), Potencia eléctrica (Watts), tipo del material del electrodo (Carbono / Acero Inoxidable) (Silver, 2016).

3.2.3.2 Estadística inferencial

Para el rechazo o aprobación de la hipótesis “Producción de hidrógeno (m^3), se aplicará estadística inferencial para comparar las diferencias entre los grupos de ecuaciones de producción de hidrógeno para determinar el método más eficiente. Las estadísticas inferenciales utilizan mediciones de la muestra de sujetos en el experimento para comparar los grupos de tratamiento y hacer generalizaciones sobre la población más grande de sujetos (C.W. Kuhar, 2010).

3.2.3.3 Método no Paramétrico o Test Kruskal-Wallis

Para la síntesis de datos de ecuaciones de producción de hidrógeno determinado las diferentes variables como; tiempo (t), potencia (w) y material de electrodo (acero inoxidable/carbono) se aplicará el método no paramétrico o test de Kruskal-Wallis se refiere a un tipo de estadística que no requiere que la población analizada cumpla con ciertos supuestos o parámetros.

4. Resultados

4.1 Comparación de diferentes diseños de celdas de producción hidrógeno para la selección de la más eficiente en la producción de hidrógeno mediante análisis bibliográfico.

Para satisfacer la creciente demanda mundial de energía y simultáneamente reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, así como la dependencia de los combustibles fósiles, el desarrollo de fuentes de energía sostenibles es esencial. El hidrógeno se considera un futuro portador de energía ya que tiene una alta densidad de energía gravimétrica y buenas posibilidades de almacenamiento. Sin embargo, en la actualidad la mayor parte del hidrógeno se produce mediante el reformado con vapor de gas natural o carbón, lo que provoca la emisión de grandes cantidades de dióxido de carbono. La electrólisis del agua representa una tecnología alternativa, que actualmente suministra el 4% del suministro mundial de hidrógeno. Cuando se combina con una fuente de energía renovable como la solar o la eólica, esta tecnología puede tratarse como un proceso sostenible. Al hacerlo, también puede hacer frente a los desafíos relacionados con la naturaleza intermitente de, por ejemplo, la luz solar, mediante el desacoplamiento de la generación y el consumo de energía (Cardona, 2012).

Una alternativa de mucho interés en los últimos años es la producción de hidrógeno fotoelectroquímico (PEC), que convierte directamente la radiación solar en hidrógeno. Mediante la absorción de fotones solares en un material semiconductor y el uso de electrocatalizadores, el agua se divide en hidrógeno y oxígeno, que se describen mediante dos semirreacciones (Cardona, 2012).

Estos sistemas independientes están diseñados para una tasa de producción de 10 t H₂/día y están expuestos a condiciones similares. Se analiza diferentes diseños de PEC posibles para encontrar un concepto prometedor que pueda

servir de base para nuestro análisis. Los sistemas fotovoltaicos (FV) y los electrolizadores ya están disponibles en el mercado y, por lo tanto, se lleva a cabo una selección de tecnologías existentes. Teniendo los mismos productos y utilizando los mismos parámetros de entrada, la comparación económica entre las tecnologías está influenciada principalmente por los costos de sus sistemas (Abaytúa, 2019).

4.1.1 El sistema PV-E

Los componentes del sistema PV-E se eligen considerando las propiedades técnicas y examinando los precios actuales de los módulos fotovoltaicos y electrolizadores. Dado que un sistema PV-E consta de dos partes separadas, a saber, el módulo fotovoltaico y el electrolizador, se describen por separado. Electrolyzers puede producir presurizado H_2 a 30 bar y por lo tanto no hay compresores necesitan ser añadido al sistema en general (Brisse, 2008).

4.1.1.1 Sistema fotovoltaico

La selección del sistema fotovoltaico se basa en el análisis de la literatura y en el análisis del mercado fotovoltaico actual, que actualmente está dominado por células fotovoltaicas de silicio cristalino (c-Si) con eficiencias comerciales de hasta alrededor del 24%. El silicio es el material estándar utilizado actualmente en la industria debido a su costo relativamente bajo, así como a su buena eficiencia, estabilidad y durabilidad. Dado que este tipo tiene algunos inconvenientes, como una producción intensiva en energía y una eficiencia teórica relativamente baja. Sin embargo, la mayoría de las tecnologías aún no están disponibles comercialmente o necesitan una gran ampliación. Además, un aumento de la eficiencia suele ir acompañado de costes más elevados, mientras que las tecnologías más baratas suelen ser menos eficientes y carecen de durabilidad.

Por lo tanto, en esta investigación se puede llegar a elegir un panel de unión simple de silicio cristalino con una eficiencia del 18% (Cardona, 2012).

4.1.1.2 Electrolizador

En comparación con los paneles fotovoltaicos, el mercado de electrolizadores es relativamente pequeño y se está desarrollando más lentamente. En la actualidad, el electrolizador alcalino es la tecnología estándar actual en el mercado y se considera técnicamente maduro. Con una eficiencia moderada de 59 a 70 % y costos de sistema relativamente bajos en el rango de 860 a 1240 \$ / kW, se favorece en la mayoría de los sectores industriales. Además de los sistemas alcalinos, el electrolizador de membrana de intercambio de protones (PEM) representa otra tecnología emergente con eficiencias de hasta el 80-90%. También está disponible comercialmente, pero es más caro (alrededor de 1350-2200 \$ / kW) y se produce en cantidades menores (Cardona, 2012).

Los electrolizadores alcalinos tienen problemas importantes con las fuentes de energía intermitente y fluctuante, como la difusión cruzada de los gases del producto bajo cargas bajas del sistema, un arranque lento y una respuesta de carga lenta. En comparación con los sistemas alcalinos, la electrólisis de agua PEM es más adecuada para el acoplamiento con un sistema fotovoltaico. Su flexibilidad para manejar corrientes de entrada fluctuantes y la expectativa de una gran reducción de costos en el futuro lo convertirán en una buena opción para un sistema combinado (Cardona, 2012).

4.1.2 Sistema combinado PV-E

Para igualar el voltaje de salida del sistema fotovoltaico y el voltaje del electrolizador en su punto de diseño, en general se necesita un convertidor CC-CC. Sin embargo, cuando se utiliza un electrolizador PEM, no se requiere

necesariamente un convertidor, ya que se espera que la pérdida causada por un funcionamiento no óptimo sea la misma que la pérdida debida al uso de un convertidor CC-CC. Por lo tanto, se elige una eficiencia moderada para el electrolizador del 61%, que es menor que las eficiencias típicas de los electrolizadores PEM en el rango de 65-83%. Además, el electrolizador no requiere transformador ni rectificador, ya que el módulo fotovoltaico suministra corriente continua (Cardona, 2012).

4.1.3 El sistema PEC

Existen aproximadamente 30 alternativas de diseño para los dispositivos de división de agua PEC sin un favorito claro hasta ahora. Esta gran cantidad de posibilidades de diseño hace que sea difícil separar estrictamente el sistema PEC de los sistemas PV-E, ya que crea una transición perfecta entre estas dos tecnologías (Cardona, 2012).

4.1.3.1 *Diseño basado en paneles*

Entre las diferentes posibilidades de diseño para los sistemas PEC, un diseño de panel es una opción de diseño más madura en comparación con los sistemas de concentración solar, que pueden aumentar la intensidad de la luz. Es similar a un panel fotovoltaico y absorbe fotones para generar electrones para la electrólisis. Los electrodos están en contacto directo con el electrolito, generando gas oxígeno en el ánodo e hidrógeno en el cátodo. Sin embargo, se crea una mezcla de gas explosiva, que debe evitarse debido a problemas de seguridad y complejidad del sistema en términos de separación adicional del producto. Además, no se han realizado muchas investigaciones sobre este tipo y, por lo tanto, los datos existentes están sujetos a grandes incertidumbres. En comparación, el desarrollo en términos de nivel de preparación tecnológica (TRL)

y eficiencia, así como durabilidad, es más avanzado para el diseño basado en panel (C.W. Kuhar, 2010).

4.1.3.2 Una unión líquido-sólido

En general, existen tres posibles configuraciones de diseño dentro del tipo basado en panel. Primero, un diseño de unión cero líquido-sólido, dentro del cual la parte fotoactiva no está expuesta al ambiente corrosivo causado por el electrolito. Dado que este tipo de configuración tiene más similitudes con un sistema PV-E en lugar de un dispositivo PEC integrado, no se considera más en este análisis. En segundo lugar, un diseño de unión sólido-líquido, donde un lado del foto electrodo se sumerge en el electrolito. Finalmente, un sistema con dos uniones líquido-sólido, donde el material fotoactivo, así como un ánodo y cátodo adicionales se sumergen en el electrolito (C.W. Kuhar, 2010).

4.2 Determinación de las condiciones de operación mediante el diseño de una celda de producción de hidrógeno y utilización del software AutoCAD

El hidrógeno se debe producir, envasar, transportado, almacenado y transferido al usuario final, donde puede ser convertido en electricidad por el uso de pilas de combustible u otros dispositivos de conversión (Brisse, 2008).

Las condiciones de funcionamiento de la pila de combustible dependen del diseño de la pila y la pila. Los parámetros operativos que afectan el rendimiento de la pila de combustible son:

- Presión de funcionamiento
- Temperatura de funcionamiento
- Caudales de reactivos
- Humedad de reactivos

El uso de la condición de funcionamiento correcta para cada parámetro es fundamental para obtener un buen rendimiento de la pila de combustible (Brisse, 2008).

Una celda electroquímica implica la transferencia de carga, por el movimiento de iones en una fase líquida o sólida y el movimiento de electrones en una fase sólida, a través de la cual se puede lograr la transformación electroquímica de especies. Una celda electroquímica se forma colocando dos materiales conductores (conductores o semiconductores), denominados electrodos, en un electrolito conductor iónico y conectándolos electrónicamente. En la celda, tienen lugar dos conjuntos de reacciones en los electrodos separados, oxidaciones en el ánodo y reducciones en el cátodo, ambos vinculados por el flujo de corriente (Anexo 3). Esta corriente fluye en forma de electrones en los electrodos y como iones en el electrolito, separando los electrodos (Cachadiña, 1995).

Las celdas de electrólisis requieren un campo de potencial aplicado que fuerza a que se produzcan cambios electroquímicos y químicos no espontáneos en los electrodos. La magnitud del voltaje potencial aplicado generalmente determinará la tasa de transferencia de carga y el flujo iónico (Castells, 2017).

4.3 Propuesta de un sistema de generación eléctrica a partir de hidrógeno comparando su eficiencia en función con la industria termoeléctrica y utilización de software AutoCAD

Las plantas de energía termoeléctrica tradicionalmente han requerido grandes volúmenes de agua para condensar el vapor de los gases de escape de la turbina. La compleja interdependencia entre el agua y la energía plantea nuevos desafíos para que los responsables políticos logren un suministro seguro y sostenible de agua y energía en el futuro. La mayor parte de las extracciones y

consumos de agua para generación termoeléctrica son para operaciones de plantas, especialmente para enfriamiento. Una torre de enfriamiento es un dispositivo de uso común que transfiere energía térmica (residual) excesiva en un sistema de proceso mediante la introducción de corrientes de agua con una temperatura más baja. La generación de energía termoeléctrica requiere grandes cantidades de agua para condensar el vapor de los gases de escape de la turbina. Por ejemplo, una central eléctrica convencional de carbón de 500 MW normalmente consume aproximadamente 26,5 m³ de agua por minuto. Aproximadamente el 90% del uso de agua de la central eléctrica es para enfriar el vapor que sale de la turbina. Como resultado, la reutilización del agua y el reciclaje de otros procesos en la planta o el uso de purga de torres de enfriamiento para suministrar agua a otros procesos de la planta puede reducir el uso total de agua de la planta (Abaytúa, 2019).

Los escenarios energéticos generalmente se desarrollan sobre la base de pronósticos de la demanda energética futura y las limitaciones de agua. Las interdependencias complejas del agua y la energía plantean nuevos desafíos para que los responsables de la formulación de políticas logren un suministro de agua y energía seguro y sostenible en el futuro. La generación de energía termoeléctrica es una de las áreas de enfoque más importantes en el nexo agua-energía debido a su dependencia de la disponibilidad de recursos hídricos para la refrigeración. Los sistemas de refrigeración son la parte más intensiva en agua del proceso de generación termoeléctrica, presentando importantes oportunidades para reducir el uso de agua dulce. Esto es especialmente crítico en países donde la generación de energía termoeléctrica juega un papel dominante

en la producción de energía y la escasez regional de agua es una preocupación importante (Duncan, 2014).

5. Discusión

Como resultado de la investigación realizada indica que las demandas de energía son cada vez mayores y las preocupaciones ambientales requieren suministros de energía nuevos y limpios, muchos de los cuales son intermitentes y no se correlacionan con la demanda, para equilibrar la oferta con la demanda, debería emplearse un vector energético universal de modo que la energía renovable intermitente pueda almacenarse y transportarse y luego utilizarse cuando sea necesario. Lo que concuerda con Montes (2016), que menciona que el hidrógeno es el vector energético universal perfecto y una posible solución que garantiza la limpieza ambiental, la máxima utilización de fuentes de energía renovables y una alta eficiencia, por lo que la combustión del combustible solo produce agua, una fuente de energía abundante y de libre acceso, tanto antropogénica como natural, es el calor.

Los generadores termoeléctricos (TEG) son dispositivos de estado sólido capaces de convertir el flujo de calor resultante directamente en energía eléctrica. Por lo tanto, los TEG tienen el potencial de ofrecer una ruta simple y compacta para la generación de energía en casi todos los sectores industriales. Concordando con lo que indica Berre (2016), que demuestra que la aplicación complementaria de la tecnología TE en refrigeración ofrece mejores oportunidades adicionales en refrigeración y gestión térmica. La mejor recolección y recuperación de calor residual y un enfriamiento más eficiente ofrecen oportunidades significativas para reducir el uso de energía y CO₂ emisiones.

El desprendimiento de gas Comprensión y flujo de dos fases comportamiento son críticos para la optimización del rendimiento de polímero de membrana de electrolito de agua electrolizadores (PEMWEs), particularmente a altas densidades de corriente. Lo que concuerda con la investigación realizada por

Wilson (2017), que menciona que la dinámica de las burbujas de gas y el comportamiento del flujo en dos fases en el campo de flujo del ánodo de un PEMWE en diferentes condiciones de funcionamiento utilizando imágenes ópticas de alta velocidad y relaciona los resultados con el rendimiento electroquímico.

La utilización de hidrógeno es compatible con la naturaleza, en lugar de intrusiva. Después de todo, no es un suministro de energía primaria como el petróleo y el carbón. Sin embargo, es un portador de energía limpia como la electricidad. Lo que concuerda con la investigación de Hortal (2013), el cual menciona que el hidrógeno es atractivo porque se almacena y transporta a largas distancias por tuberías. Considerando que las líneas eléctricas son costosas de construir y generan pérdidas en la transmisión.

La producción de hidrógeno H_2 , es una viabilidad latente de la energía limpia renovable. La industrial de H_2 producción se obtiene a partir de reformado de gas natural, que consume una gran cantidad de energía no renovable y al mismo tiempo produce efecto invernadero dióxido de carbono gas. División del agua electroquímica es un enfoque prometedor para el H_2 producción, que es sostenible y no contaminante. Por lo tanto, Hurtado (2018), indico que el desarrollo de tecnologías eficientes y económicas para la división electroquímica del agua ha sido un objetivo importante para los investigadores de todo el mundo. La utilización de sistemas de energía verde para reducir el consumo total de energía es más importante para el H_2 producción.

La tecnología de recolección de energía termoeléctrica explota el efecto Seebeck. Este efecto describe la conversión del gradiente de temperatura en energía eléctrica en las uniones de los elementos termoeléctricos de un dispositivo generador termoeléctrico (TEG). Este dispositivo es un convertidor de

energía robusto y altamente confiable, que tiene como objetivo generar electricidad en aplicaciones en las que el calor se disiparía de otra manera. La investigación realizada por Williams (2015), indica que los dispositivos de recolección de energía termoeléctrica se utilizan para la recolección de calor residual en aplicaciones a microescala. Las aplicaciones TEG potenciales como módulos de recolección de energía se utilizan en dispositivos médicos, sensores, edificios y electrónica de consumo.

6. Conclusiones

Un sistema de energía basado en hidrógeno deberá depender de rutas económicas y eficientes para crear hidrógeno en cantidades suficientemente grandes a partir de recursos naturales no fósiles. Solo alrededor del 5% del hidrógeno se produce mediante electrólisis de agua, principalmente a partir de fuentes de energía renovables. Las estimaciones de los requisitos de hidrógeno varían de un país a otro, pero las cantidades son enormes y órdenes de magnitud mayores que la producción actual. Para eliminar los combustibles fósiles de este ciclo, la energía eléctrica debe provenir de fuentes renovables, como la energía hidroeléctrica, la eólica, la radiación solar o el calor de un reactor nuclear o colector solar.

En funcionamiento, la celda contiene un separador para aislar el gas hidrógeno del gas oxígeno, para evitar la formación de una mezcla potencialmente explosiva. Un electrolito alcalino permite el uso de catalizadores de metales no preciosos de bajo costo, como el níquel, para los electrodos, lo que ayuda a mantener los costos de capital de la celda relativamente bajos.

Los procesos electrolíticos o electrolizadores se utilizan para una amplia gama de aplicaciones que incluyen síntesis de productos químicos y materiales, extracción y producción de metales, reciclaje, purificación de agua y tratamiento de efluentes, acabado y procesamiento de metales y materiales, almacenamiento de energía y generación de energía y protección contra la corrosión. La electrólisis se utiliza para la producción de productos químicos orgánicos y, en particular, inorgánicos. Las dos industrias más importantes (en términos de tonelaje) son la producción combinada de cloro y sosa cáustica (NaOH) (cloro-álcali) y la electrodeposición de aluminio.

7. Recomendaciones

El uso de un sistema de energía basado en hidrógeno y electricidad podría verse menos limitado por los límites geográficos, como lo están los suministros actuales de combustibles fósiles. El hidrógeno, cuando reacciona con liberaciones de oxígeno, genera energía en los motores de combustión o en las pilas de combustible para producir agua como único subproducto. Una de las principales atracciones del hidrógeno es su compatibilidad con las pilas de combustible y su alta eficiencia energética para convertir hidrógeno químico (con aire (oxígeno)) en generación de electricidad (y calor).

La electrólisis puede proporcionar un procedimiento selectivo y respetuoso con el medio ambiente para la síntesis y ofrecer enfoques alternativos para el reciclaje de productos químicos y lograr una mayor sostenibilidad. La electrólisis presenta un método poderoso para promover reacciones a través de la generación de grandes potenciales electroquímicos y la generación de oxidantes poderosos, como superóxido y ozono, y reductores poderosos

La identificación de propuestas en general, representando a las centrales eléctricas convencionales comprende múltiples unidades generadoras que están diseñadas para operar a su carga nominal cuando funcionan de manera óptima. Todos estos sistemas convencionales de generación de energía (CPGS) producen principalmente un trabajo mecánico que se transfiere a los sistemas posteriores en forma de rotación del eje.

8. Bibliografía

Abaytúa, N. R. (18 de Marzo de 2019). *Bioenergética y termoquímica alimenticia*.

Obtenido de Calorimetría indirecta por Termoquímica:
<https://books.google.com.ec/books?id=UUjTClqzKF4C&pg=PA50&dq=termoquimica&hl=es-419&sa=X&ved=0>

Atkins, P., & Jones, L. (2005). *Principios de Química* (Vol. Tercer volumen).

Madrid, España: Editorial Medica Panamericana. Obtenido de
<https://books.google.com.ec/books?id=JgysV9f1HmEC&pg=PA263&dq=ley+de+los+gases+ideales&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwWij4oOxx5TrAhWo1VkKHcxECOcQ6AEwAXoECAEQAg#v=onepage&q&f=false>

Berre, G. (2016). La Economía del Hidrógeno como Solución al Problema de la Estabilización del Clima Mundial. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 5-14.

Brisse, A. S. (2008). *High temperature water electrolysis in solid oxide cells*.
 Massachusetts: International journal of hydrogen energy.

Bull, R. (2017). Industrial Chemistry. *Scielo*, 4.

C.W. Kuhar, M. D. (2010). *Experimental Design: Basic Concepts*. Oklahoma:
 Encyclopedia of Animal Behavior.

Cachadiña, I. S. (1995). *Espectroscopía de impedancia de monocristales*. Sevilla:
 Depósito de Investigación Universidad de Sevilla. .

Calise, F. (2019). Solar Hydrogen Production. *Processes, Systems and Technologies*, 50-78.

Cardona, I. H. (16 de julio de 2012). *Desarrollo de nuevos materiales de electrodo para la obtención de Hidrógeno a partir de la electrólisis alcalina del agua*.

Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/16804>:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet>

- Castells, E. (2017). *La Gasificación. Tratamiento y valorización energética de Residuos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Chen, W.-H. (2019). Modeling and statistical analysis of the three-side membrane reactor for the optimization of hydrocarbon production from CO₂ hydrogenation. *Energ Convers Manage*, 5-7.
- Chisholm, G. (2015). Electrochemistry. *ScienceDirect*, 50-65.
- Duncan, R. K. (2014). The Industrial Chemist. *Scientific American*, 249.
- Eisenstadt, C. (2017). Hydrogen production from solar energy. *Elsevier*, 59-65.
- Electrólisis, Q. L. (09 de septiembre de 2015). *Quimicas.net*. Obtenido de Química General: <https://www.quimicas.net/2015/09/leyes-de-faraday-de-la-electrolisis.html>
- Faraday, M. (2014). Electrolysis of Water. *Water electrolysis*, 120-220.
- Forthofer, R. N., & Hernandez, M. (2007). *Biostatistics (Second Edition)*. Portland, Oregon: Elsevier Inc.
- Gómez, J. P. (2016). Producción de hidrógeno de alta pureza a partir de biocombustibles mediante el proceso steam-iron. *Dialnet*, 26-50.
- Handwerk, G. (2018). *Refino de petróleo. Tecnología y economía*. España: Editorial Reverté.
- Heaton, B. (2014). An introduction to Industrial Chemistry. *Springer*, 4-6.
- Himmelblau, D. M. (2002). *Principios básicos y cálculos en ingeniería química* (Vol. Sexta edición). (U. o. Texas, Ed.) Ciudad de Mexico, Mexico: Pearson Prentice Hall. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=JgysV9f1HmEC&pg=PA263&dq=ley+de+los+gases+ideales&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwIj4oOxx5TrAhWo1VkJHcxECOcQ6AEwAXoECAEQAg#v=onepage&q&f=false>

- Hortal, M. A. (2013). *El Hidrogeno: Fundamento de un futuro equilibrado*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Hurtado, L. (2018). Advanced Master-Nuevas Tecnologías Energéticas. *Enseeiht*, 8-18. Obtenido de Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- INEC. (2015). Asi es Guayaquil cifra a cifra. *Instituto Nacional de Estadística y Censos, Infografía*, 1.
- Kumar, S. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 442-454.
- Kyriakopoulos, G. (2016). Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1044-1067.
- Meissner, D. (2017). Emerging Technologies for Economic Development. *Science Technology and Innovation Studies*, 49-77.
- Millet, P. (2013). Water Electrolysis Technologies. *ScienceDirect*, 23-34.
- Montes, J. (2016). Producción de Hidrógeno a partir de Energía. *Centro de Análisis de Desarrollo Energético Sostenible, FFII*, 1-23.
- Nidola, A. (2014). Water electrolysis in alkaline solutions. New electrode materials. *International Journal of Hydrogen Energy*, 367-375.
- Ortuño, Á. (2015). *Introducción a la química industrial*. Lima: Editorial Reverté.
- Paine, R. (2017). Industrial Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 23-45.
- Sequeira, C. (2016). Hydrogen production by alkaline water electrolysis. *Materials Electrochemistry Group, ICEMS, Instituto Superior Técnico, TULisbon*, 1-5.
- Silver, C. (2016). *Descriptive Statistics*. California, EEUU: Investopedia.
- Technology, B. F. (16 de Junio de 2016). *BetterFuel*. Obtenido de www.hh-1.com: <https://www.hho-1.com/maxima-generacion-hidrogeno-hho/?lang=es>

- Ture, C. (2015). Photochemical hydrogen gas evolution. *Hydrogen Basic*, 5.
- Water, B. (2017). Victoria's energy sector underpins our economy, secures our standard of living and drives our international competitiveness. *New energy technologies*, 20.
- Widera, B. (2020). Renewable hydrogen implementations for combined energy storage, transportation and stationary applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, Volume 16 Pag 7.
- Williams, A. (2015). Hydrogen Production Processes. *Energy Efficiency & Renewable Energy*, 1.
- Wilson, J. (2017). Hydrogen Production Using Solar Energy. *Researchgate*, 45-65.
- Zhang, D. (2015). Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. *Progress in Energy and Combustion Science* , 307-326.

9. Anexo



Figura 1. Área de Estudio

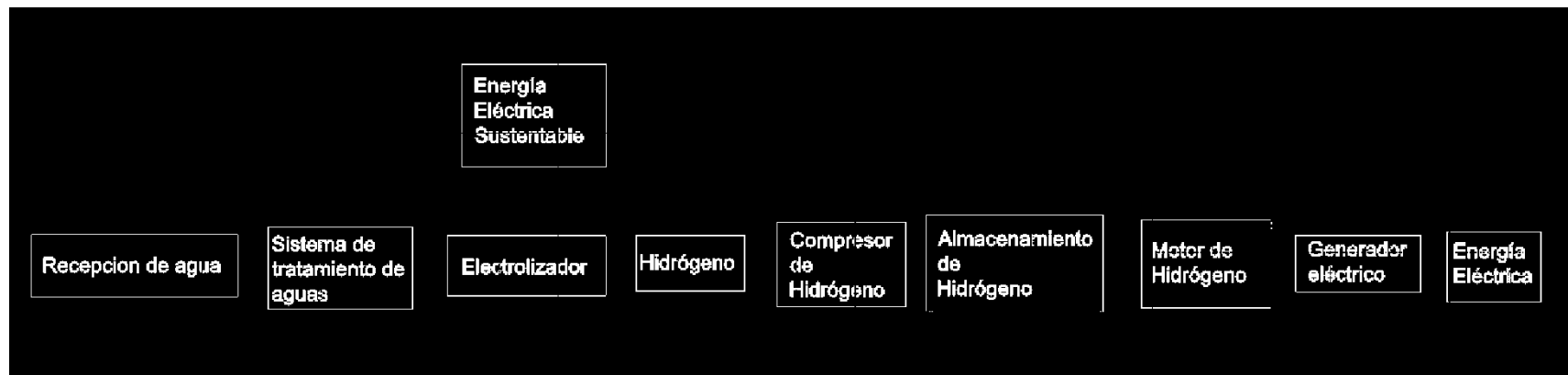


Figura 2: Sistema de Producción de Hidrógeno

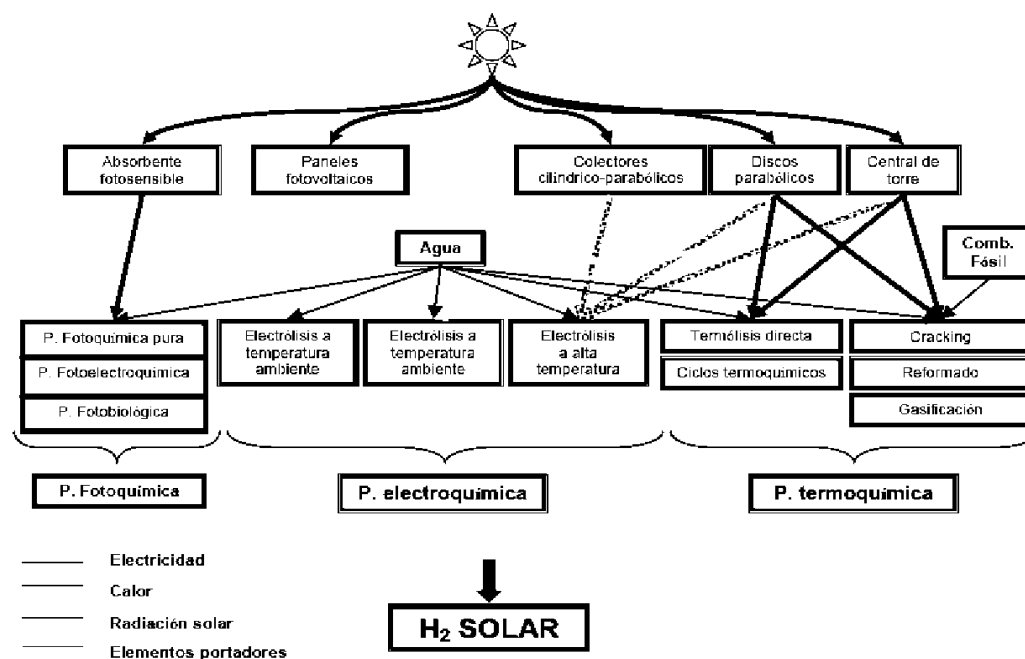


Figura 3. Métodos de Producción de Hidrógeno Solar
Montes, 2016

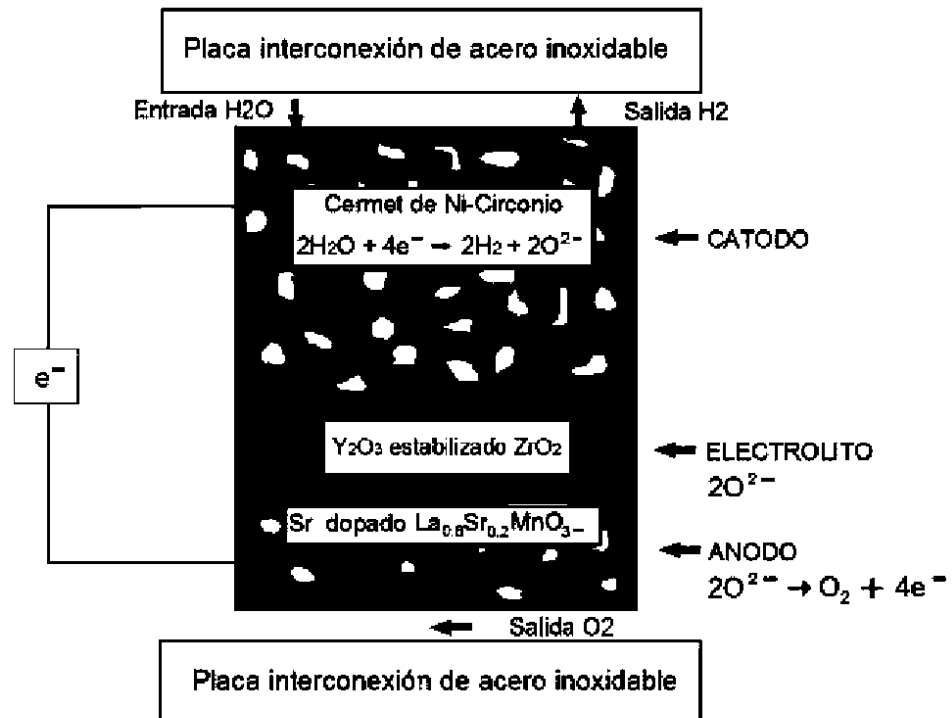


Figura 4. Celda de electrólisis por vapor sobrecalentado.
Faraday, 2014

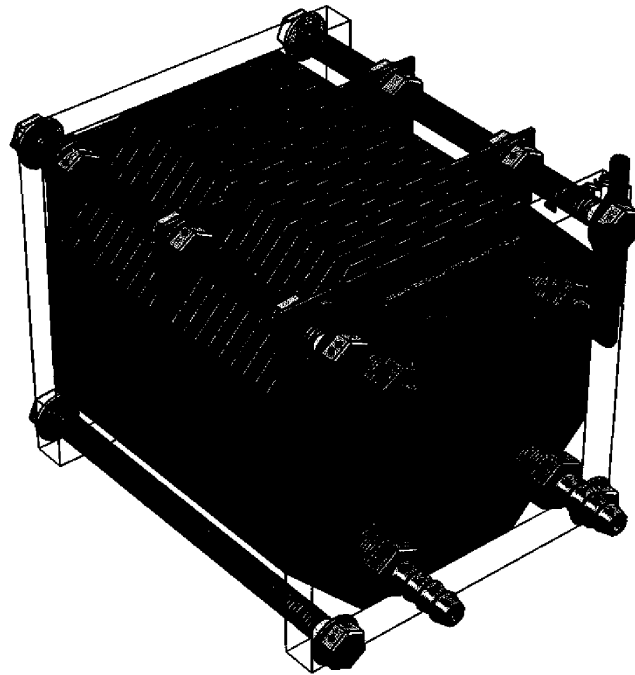


Figura 5. Propuesta de diseño de celda de generación de Hidrógeno, diseño 3D AutoCAD

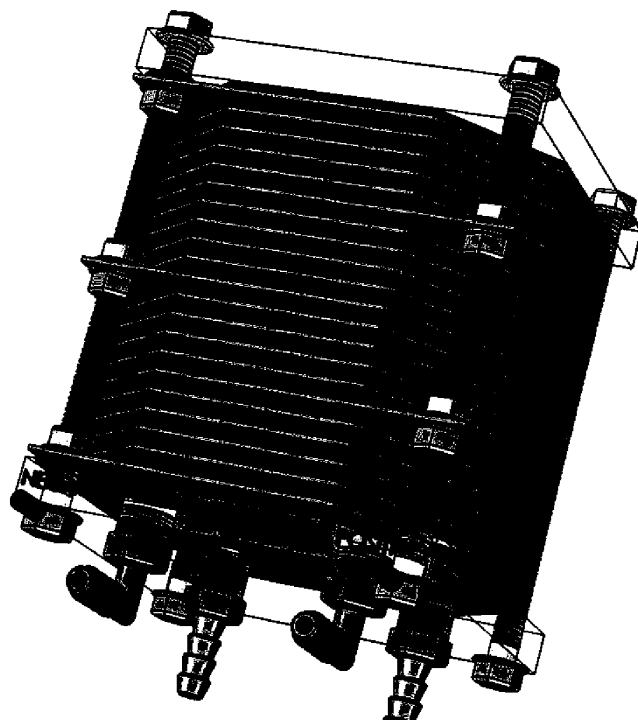


Figura 6. Diseño de generador de Hidrógeno, vista 3D AutoCAD

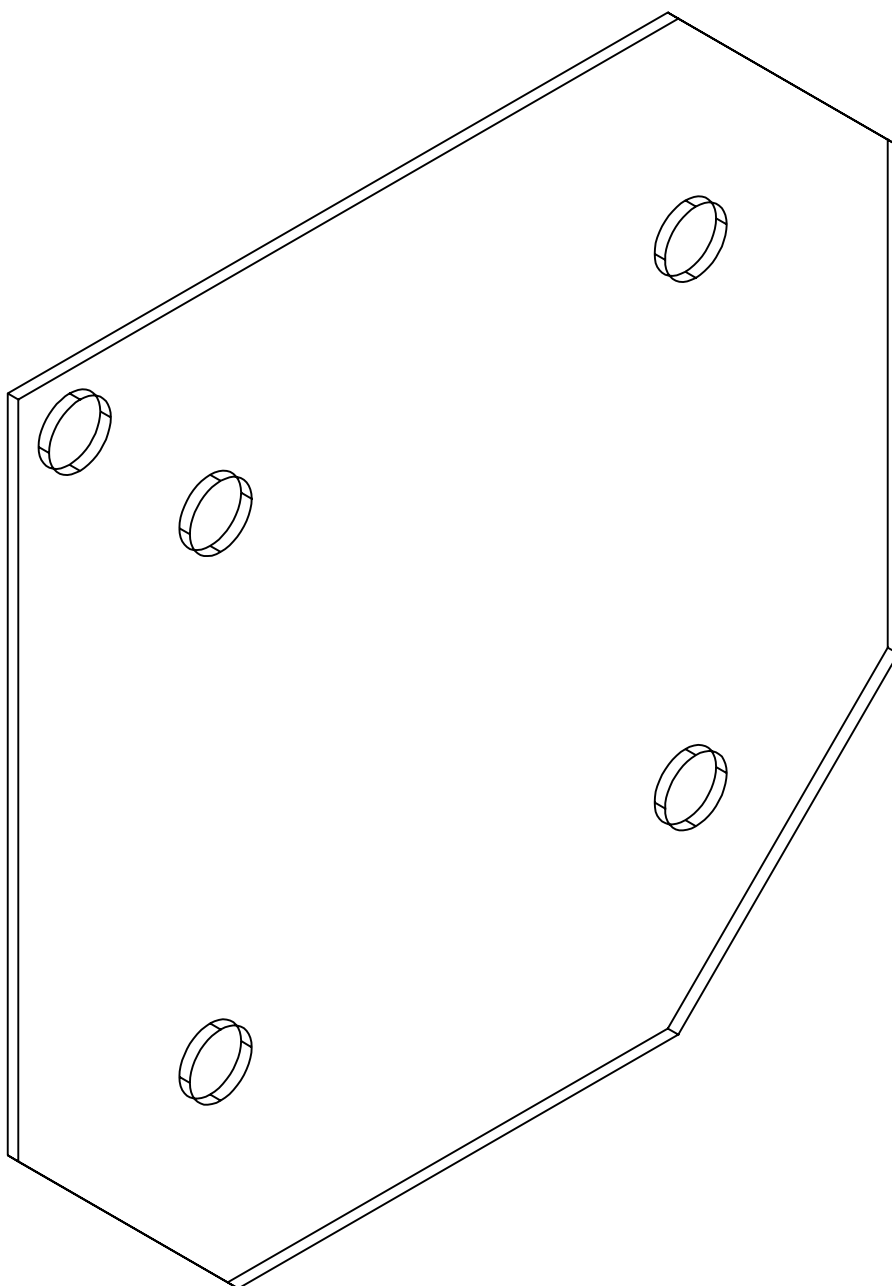


Figura 7. Lamina acero inoxidable 316L Negativo/Positivo, vista 3D

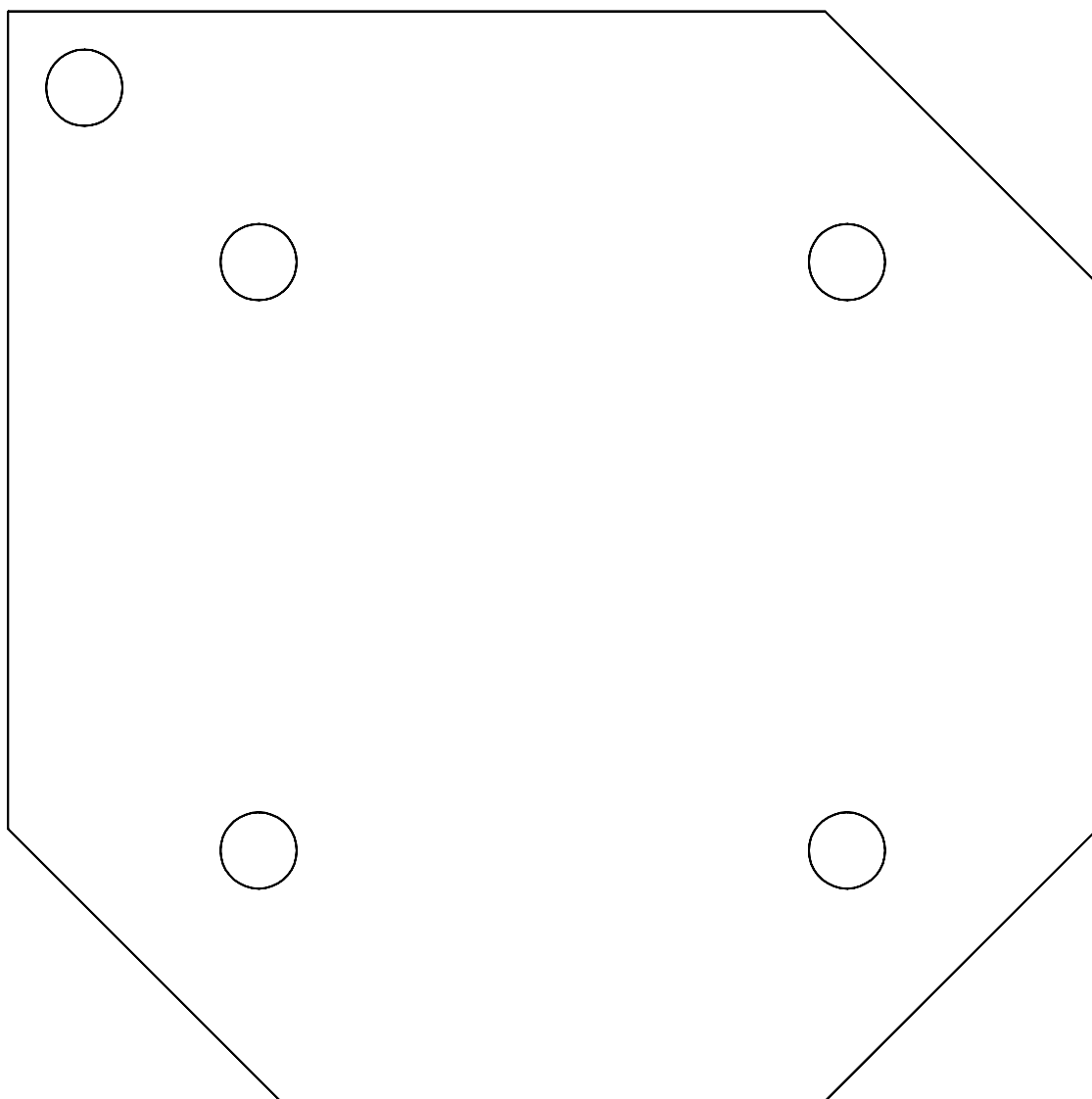


Figura 8. Lamina acero inoxidable 316L Negativo/Positivo, vista frontal

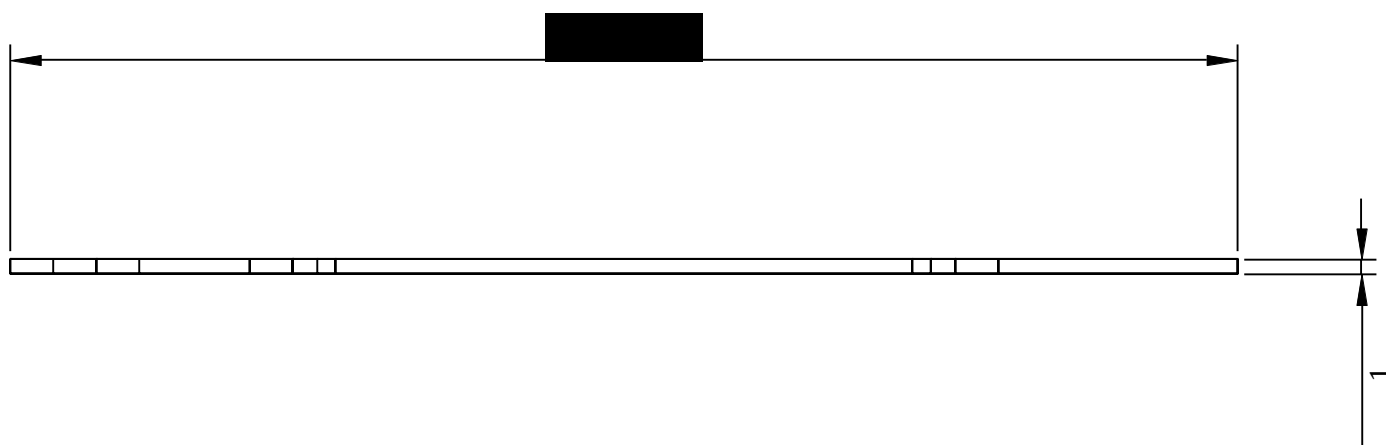


Figura 9. Lamina acero inoxidable 316L Negativo/Positivo, cotas

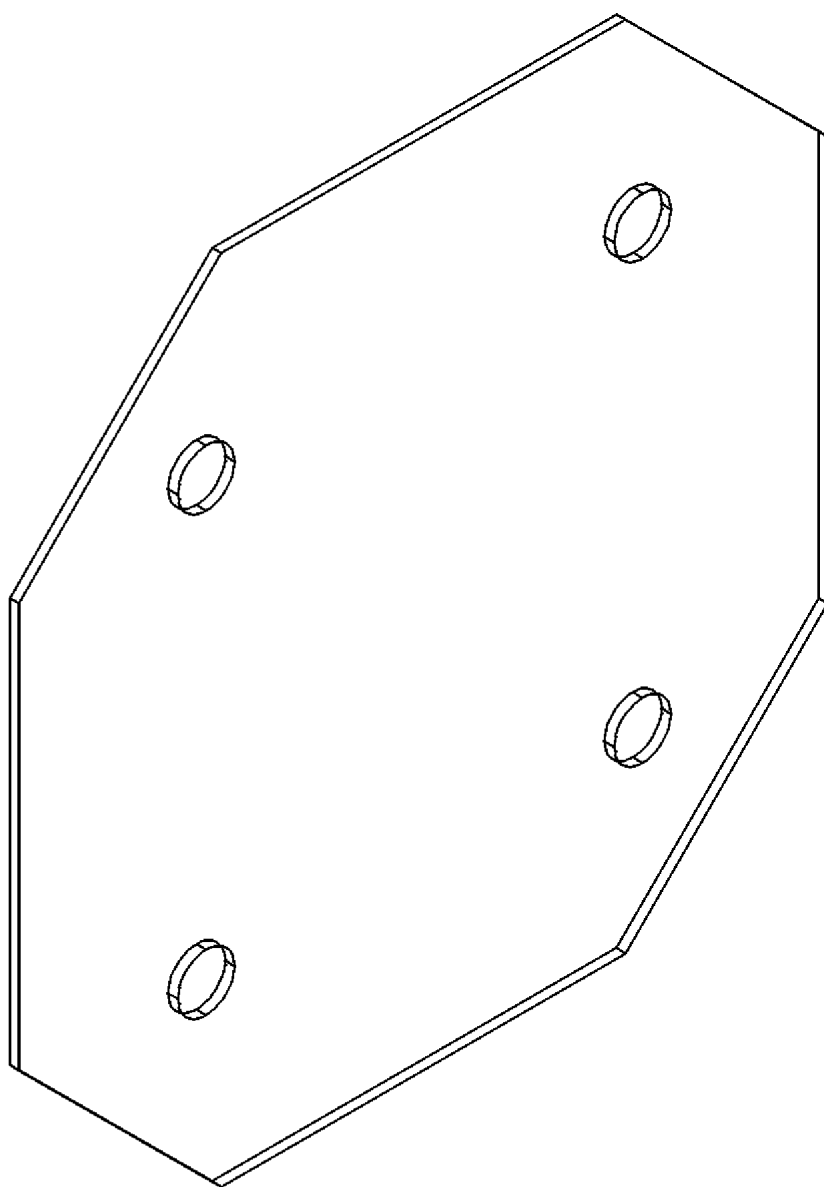


Figura 10. Lamina acero inoxidable 316L Neutra, vista 3D

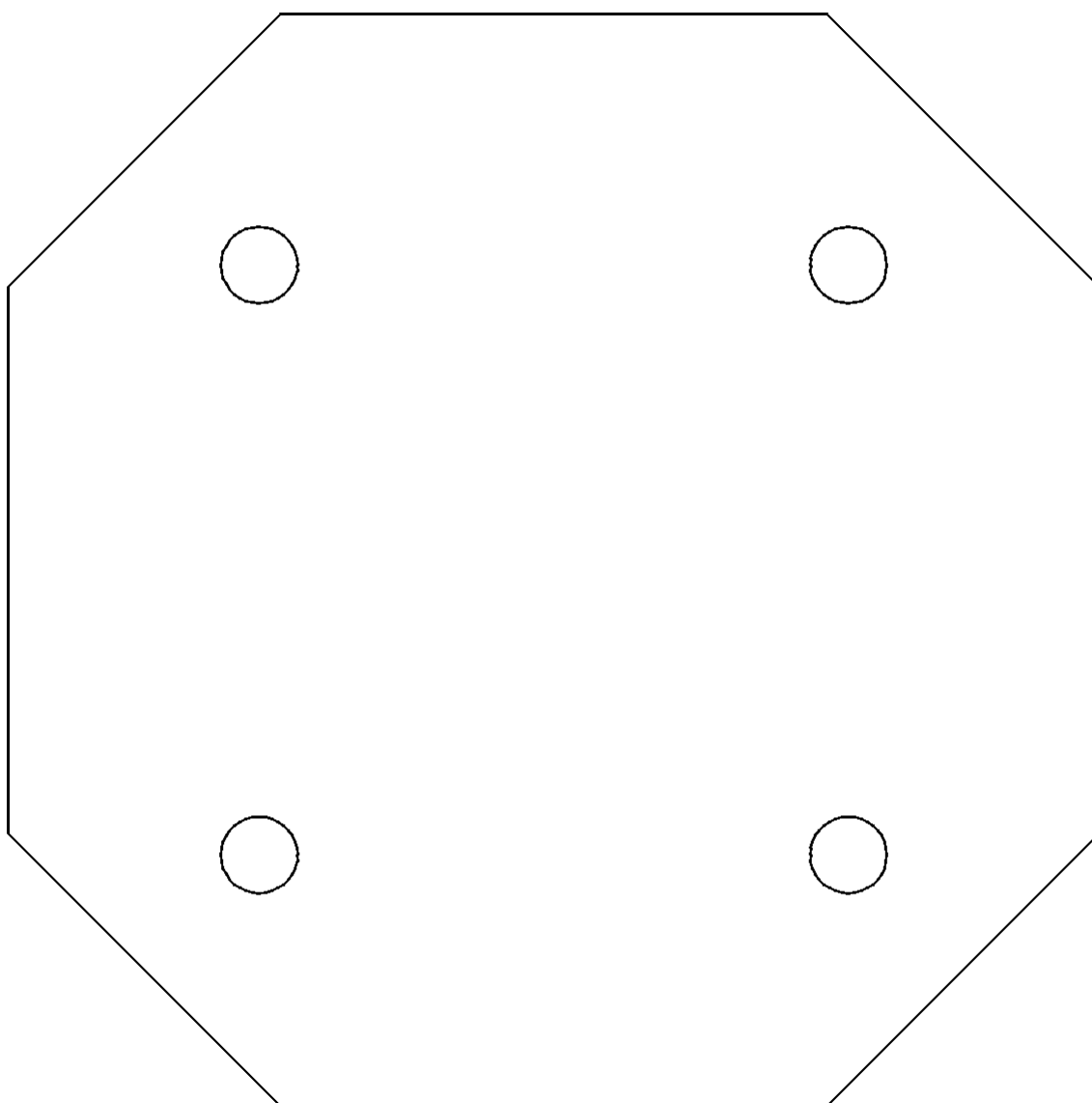


Figura 11. Lamina acero inoxidable 316L Neutra, vista frontal

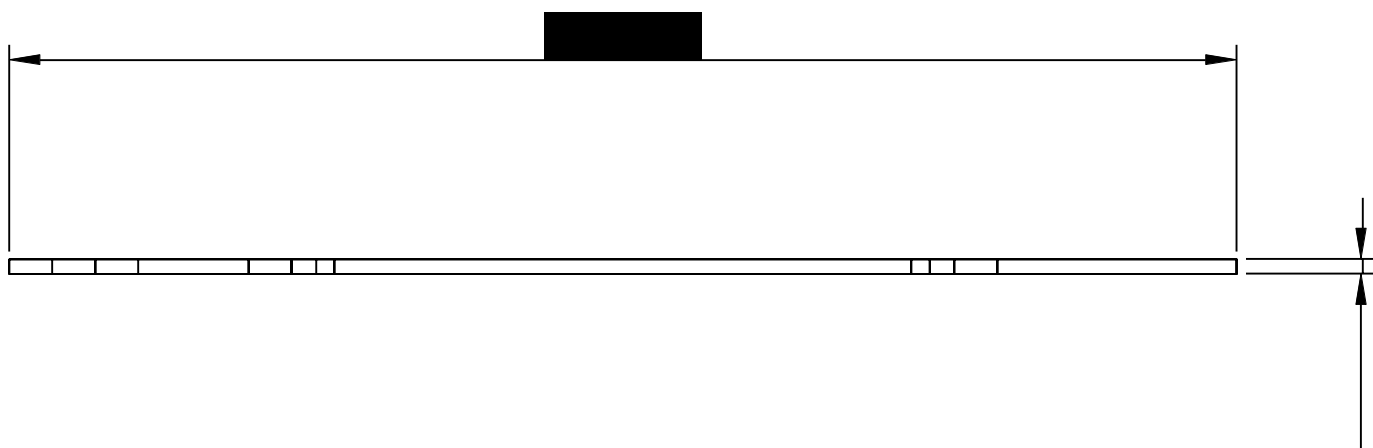


Figura 12. Lamina acero inoxidable 316L Neutra, vista cotas

Figura 13. Membrana de serigrafía 180 hilos separadora de gases, vista 3D

Figura 14. Membrana de serigrafia 180 hilos separadora de gases, vista frontal

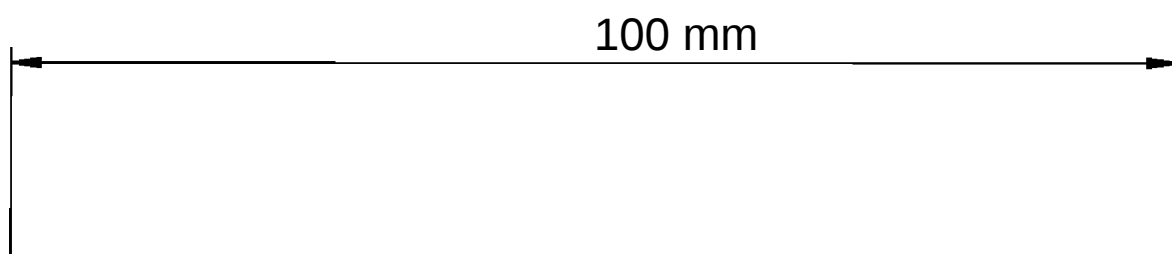


Figura 15. Membrana de serigrafía 180 hilos separadora de gases, vista cotas

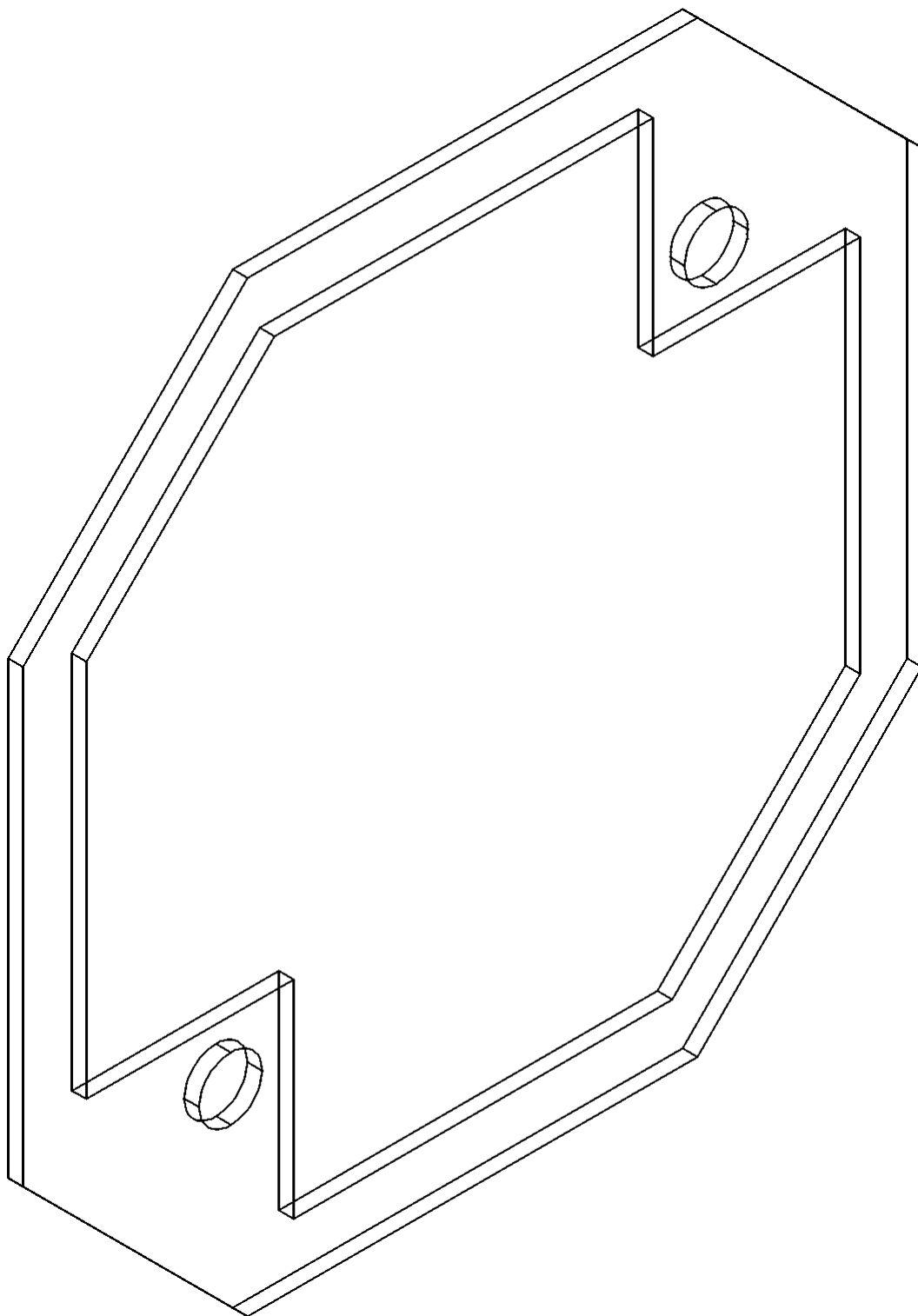


Figura 16. Junta de caucho, vista 3D

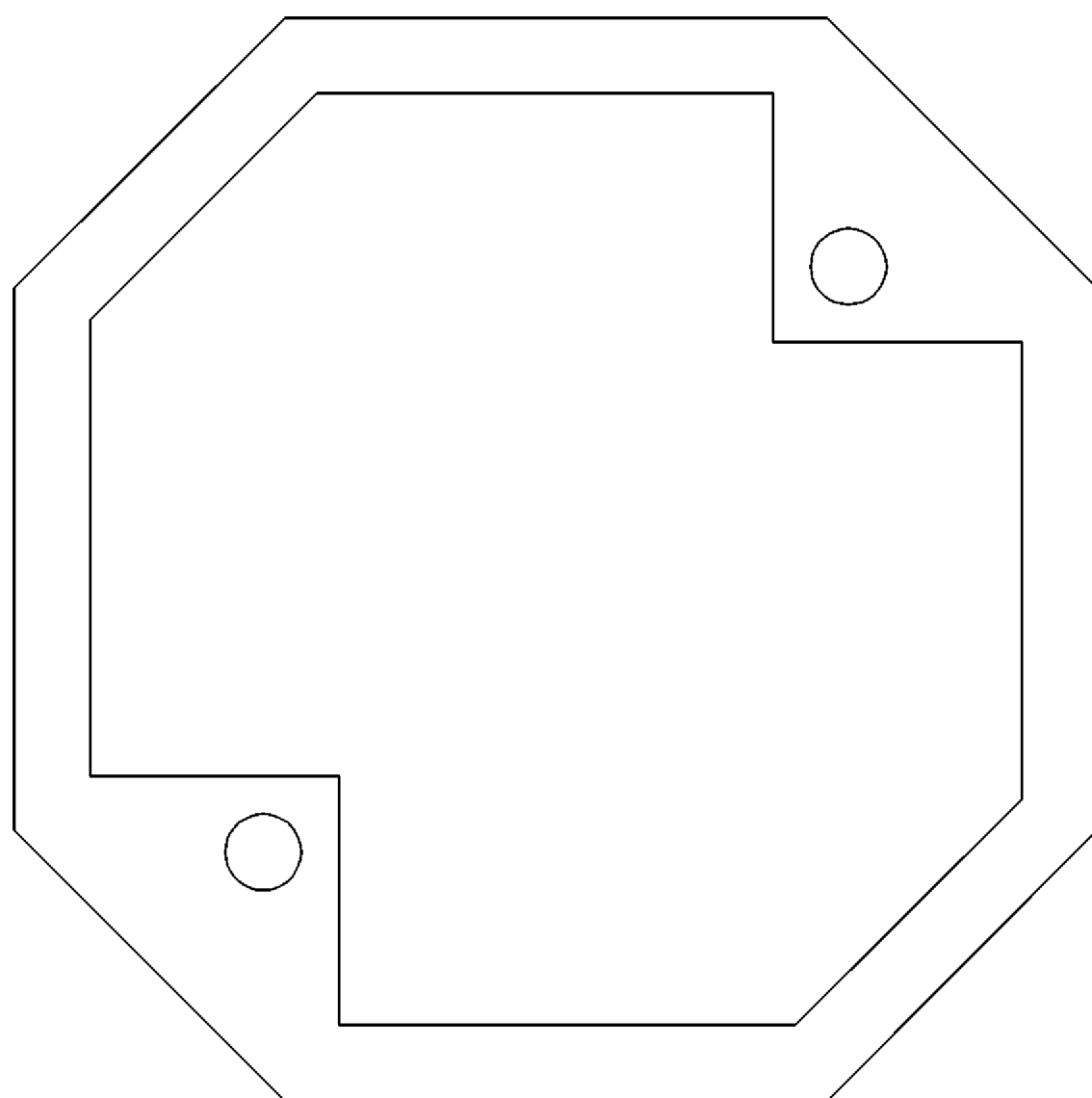


Figura 17. Junta de caucho, vista frontal

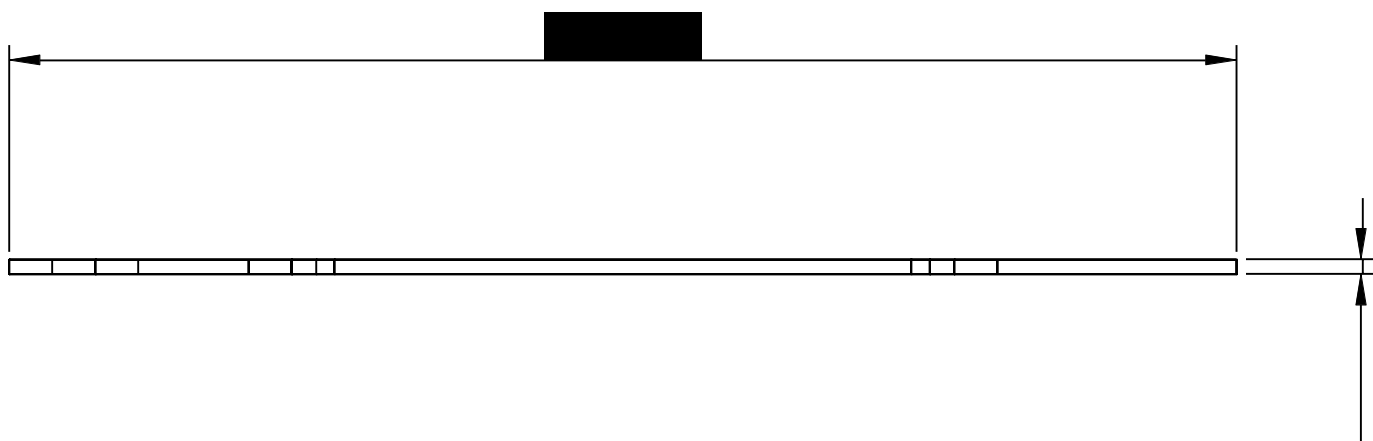


Figura 18. Junta de caucho, vista cotas

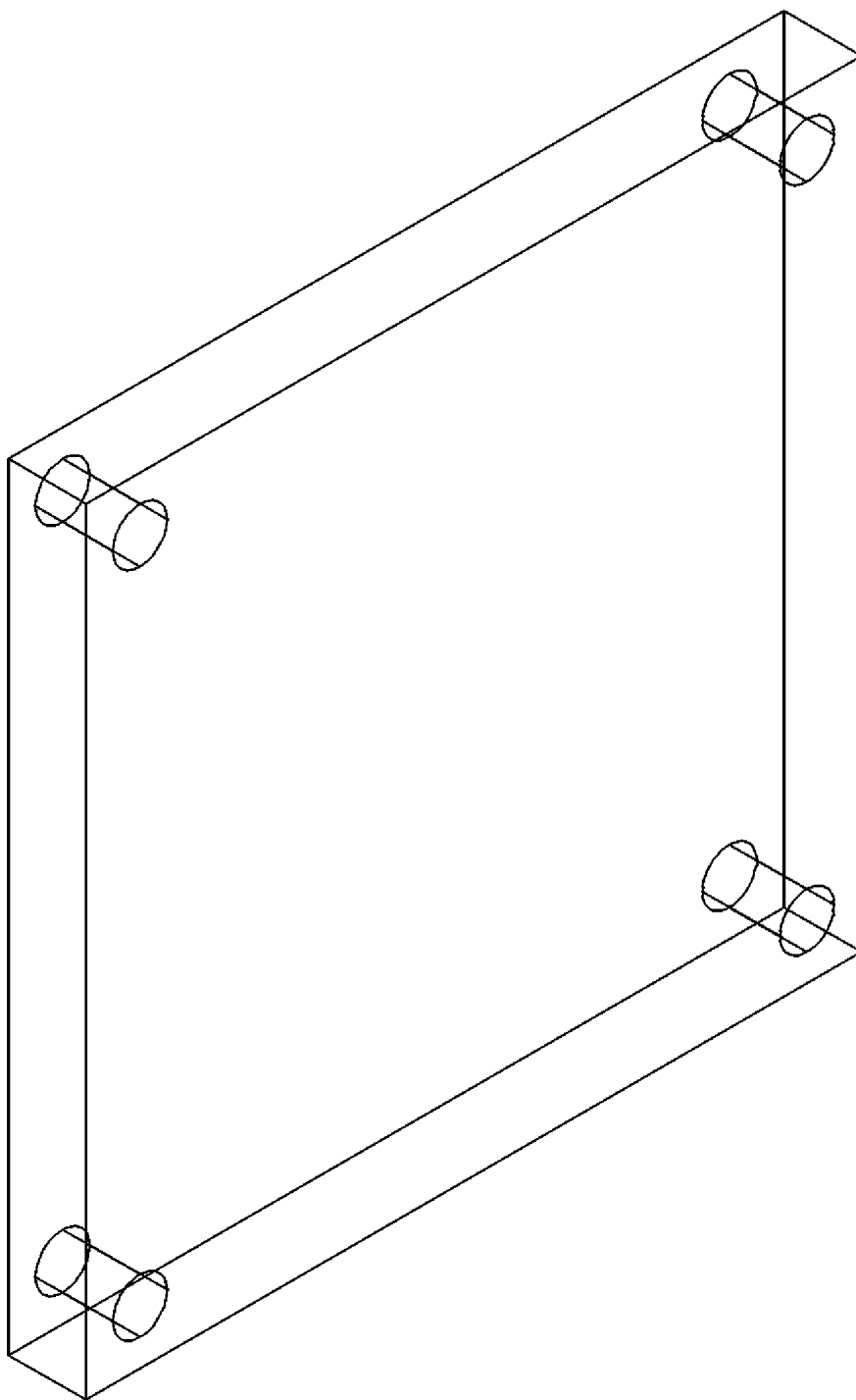


Figura 19. Acrílico superior, vista 3D

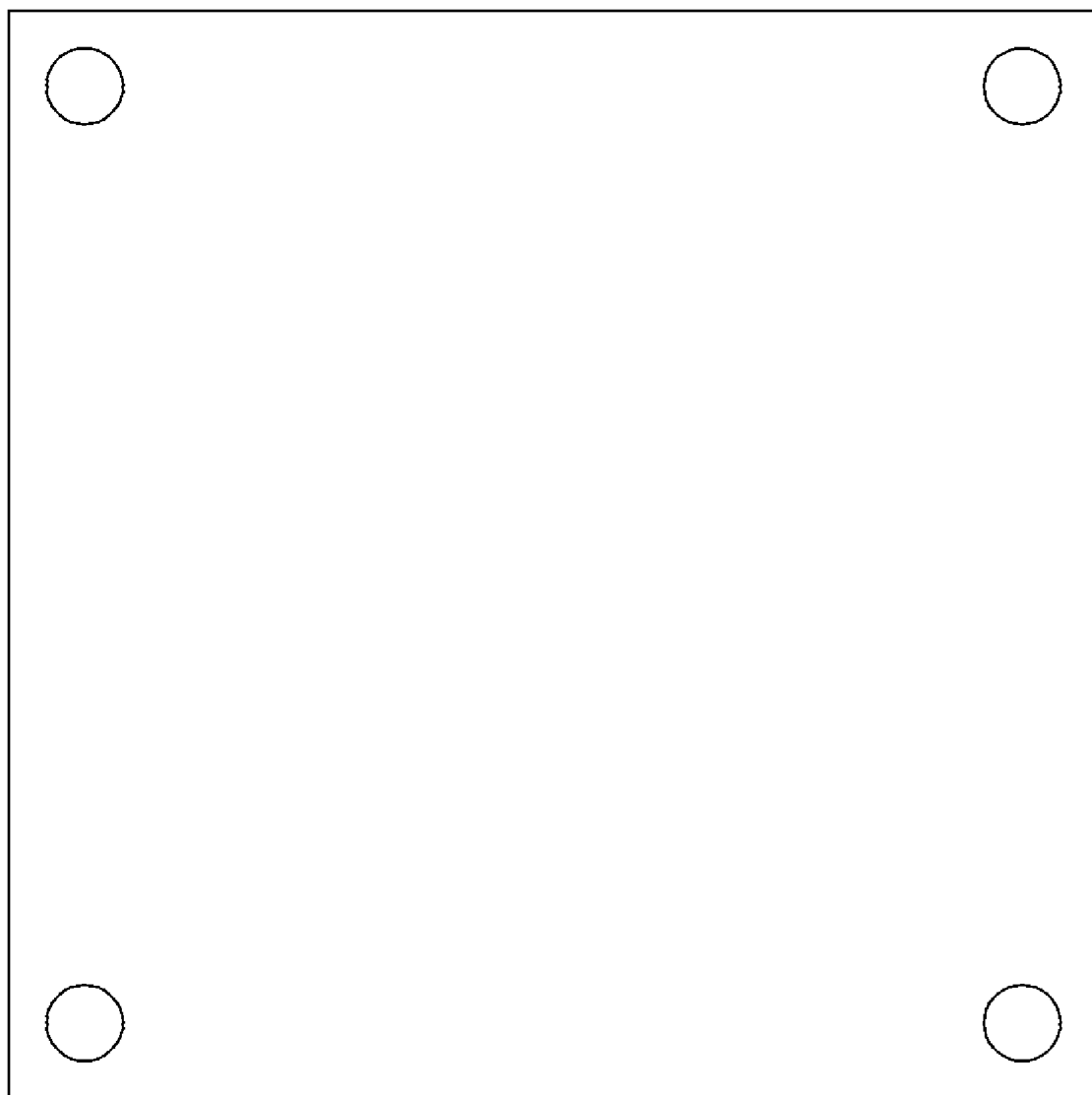


Figura 20. Acrílico superior, vista frontal

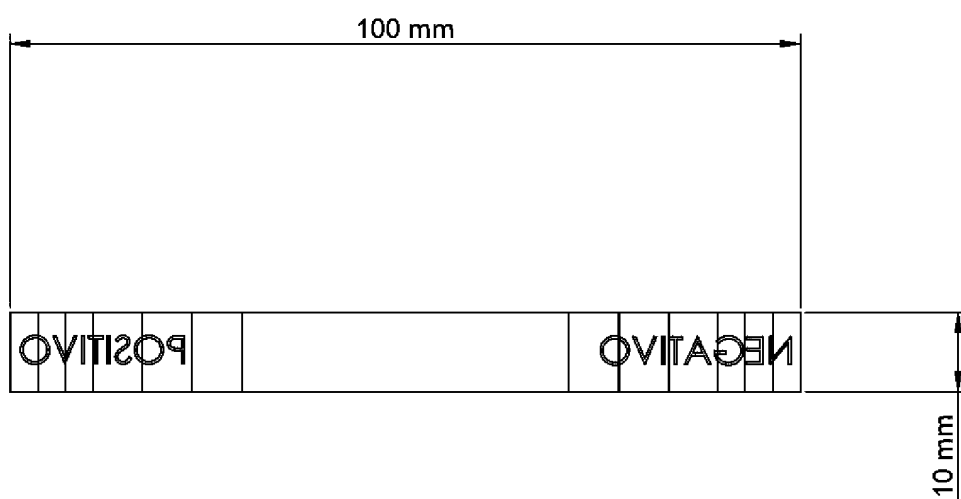


Figura 21. Acrílico inferior, vista cotas

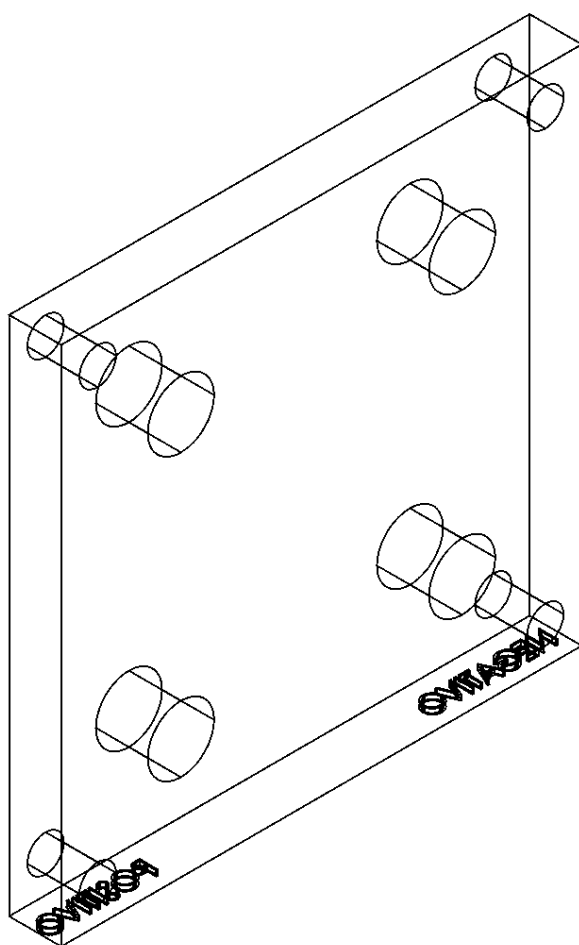


Figura 22. Acrílico inferior, vista 3D

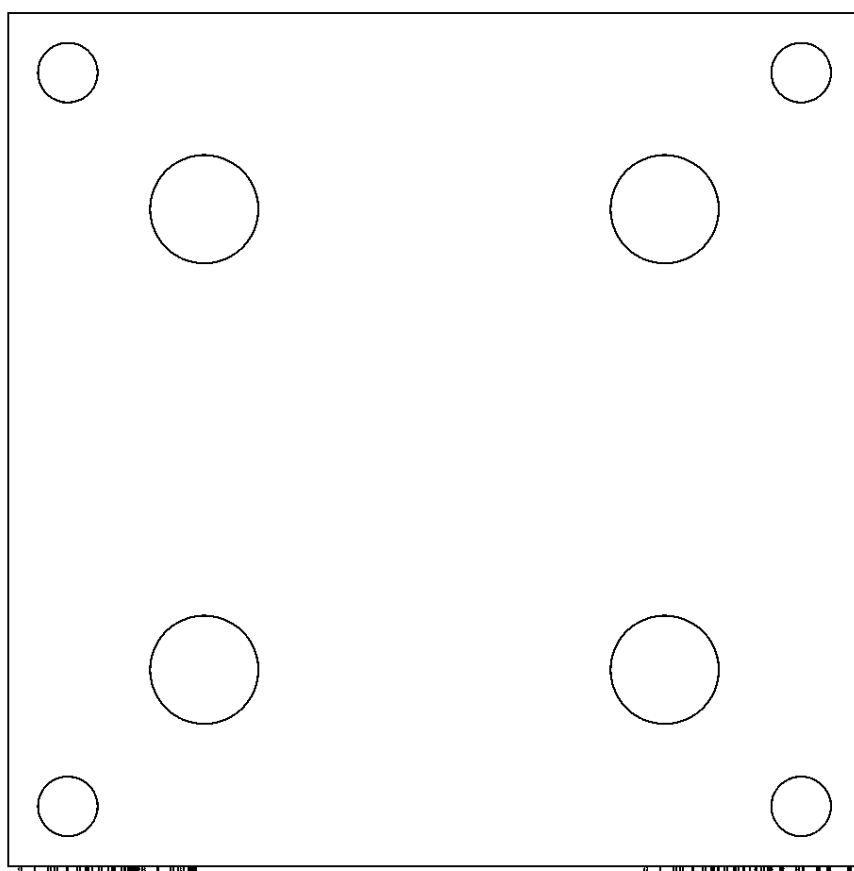


Figura 23. Acrílico inferior, vista frontal

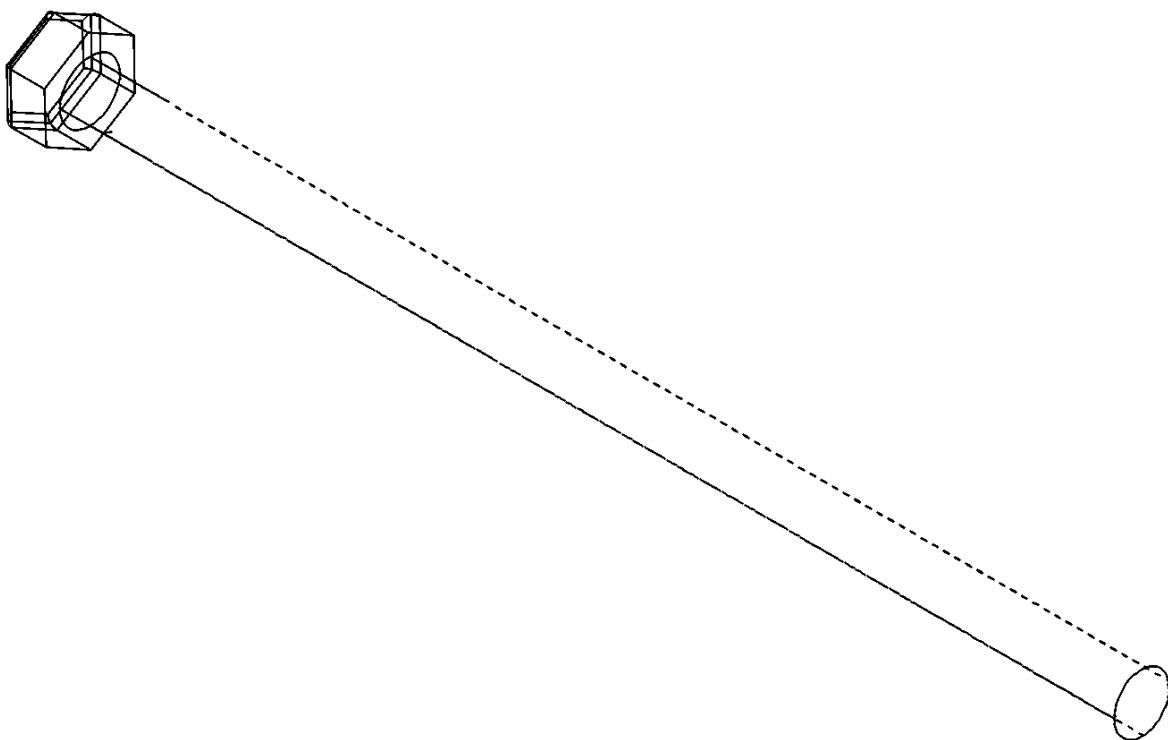
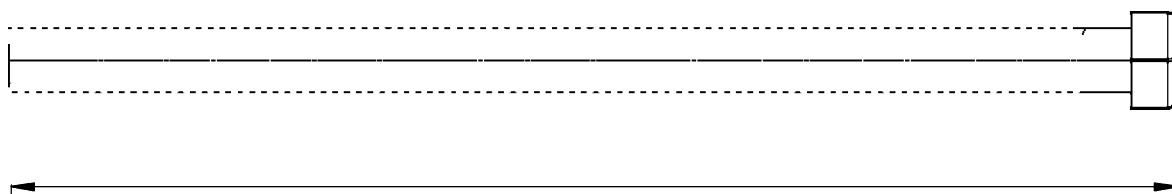


Figura 24. Tornillo 128 mm



128 mm

Figura 25. Vista lateral y cota de tornillo

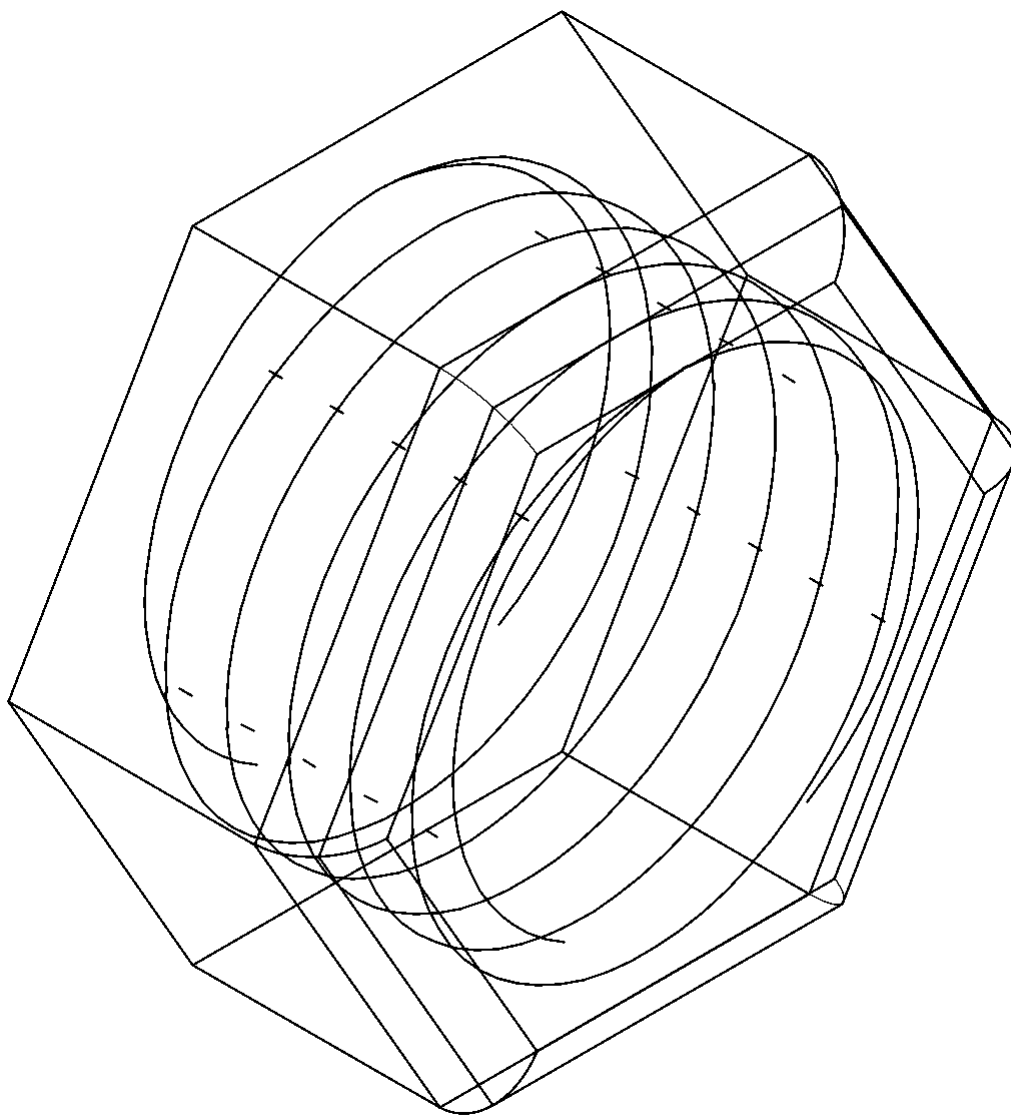


Figura 26. Tuerca 12mm

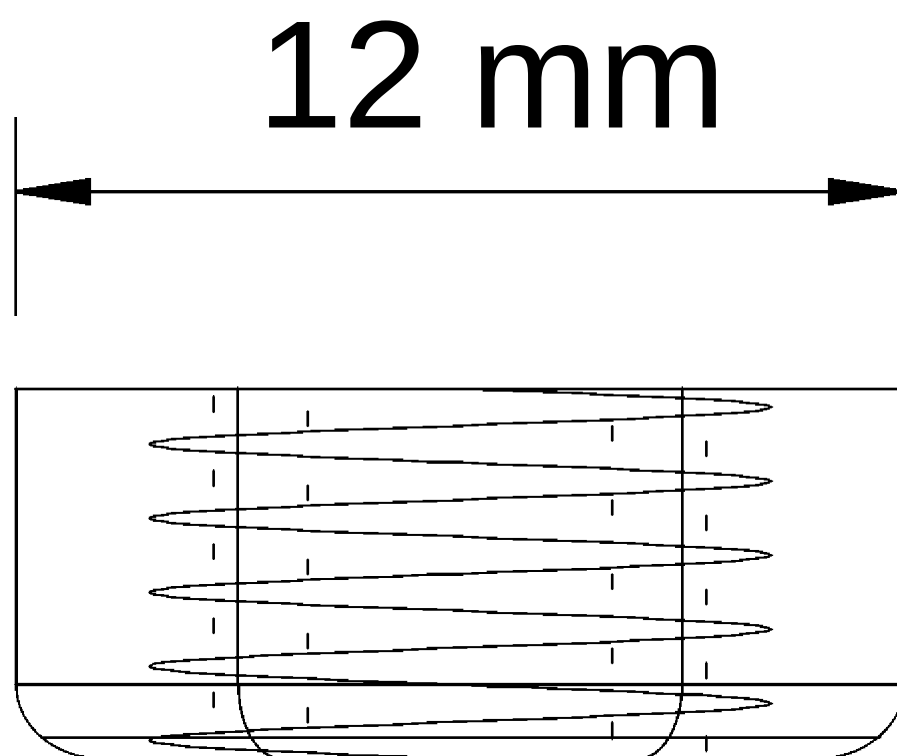


Figura 27. Tuerca 12 mm

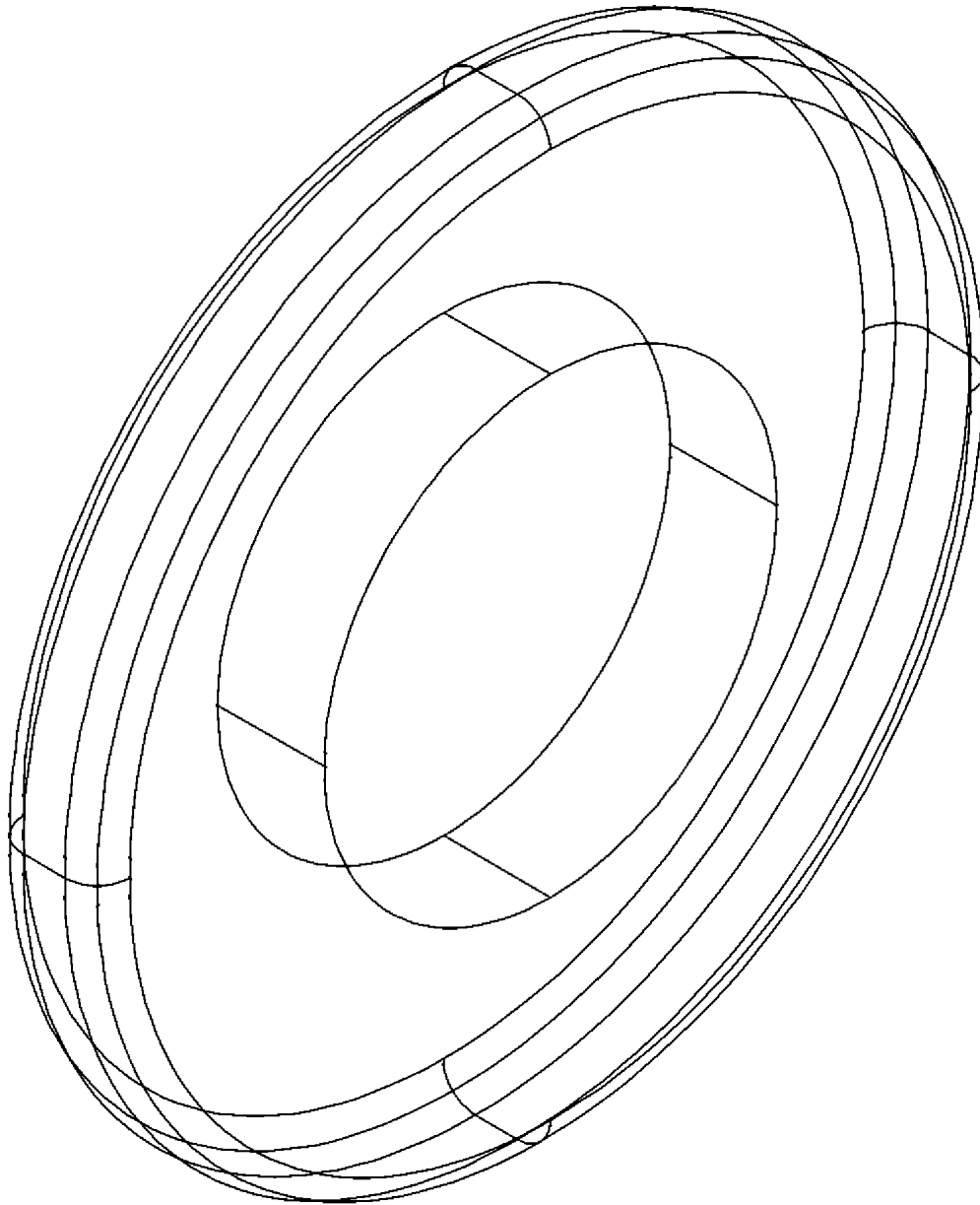


Figura 28. O Ring sello hidráulico para tornillo y tuerca, vista 3D

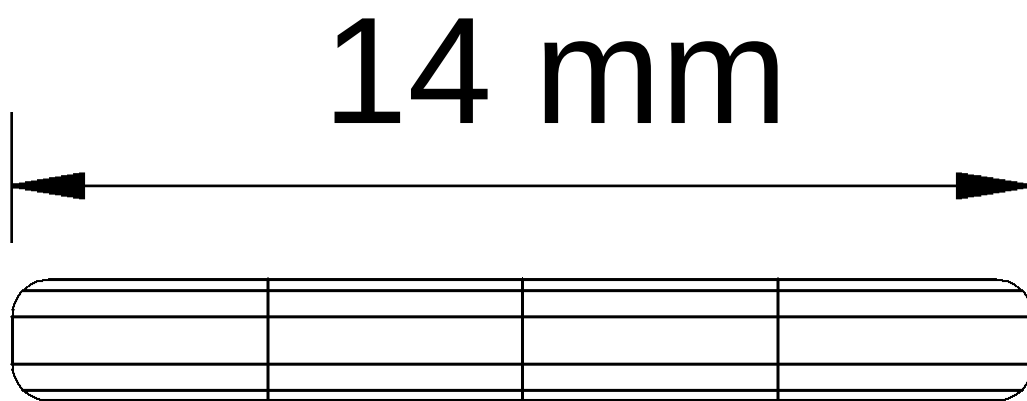


Figura 29. O Ring sello hidráulico para tornillo y tuerca, vista cotas

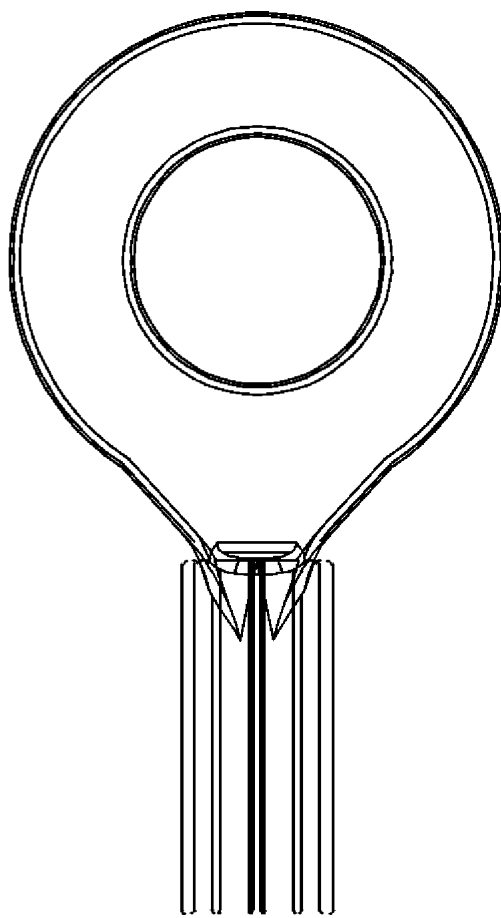


Figura 30. Conector

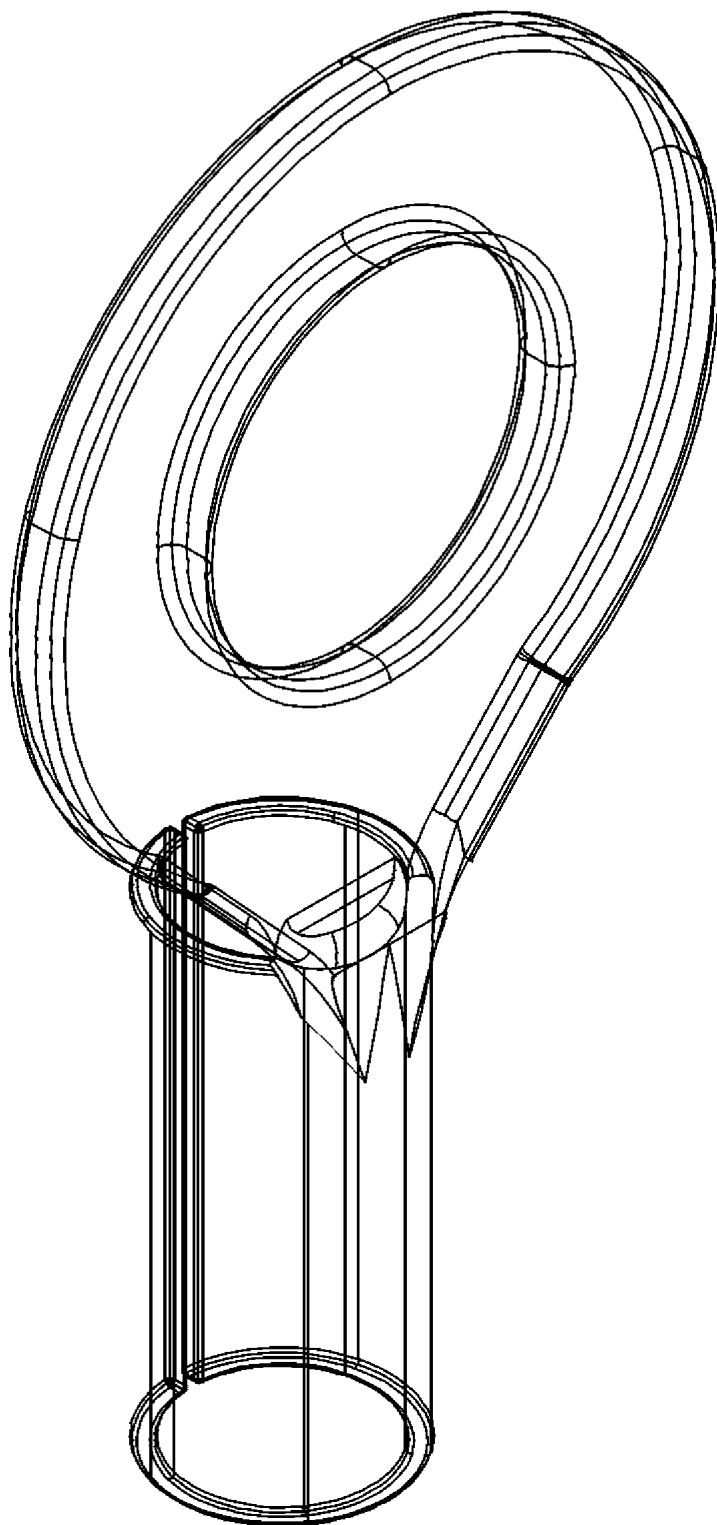


Figura 31. Conector , vista lateral.

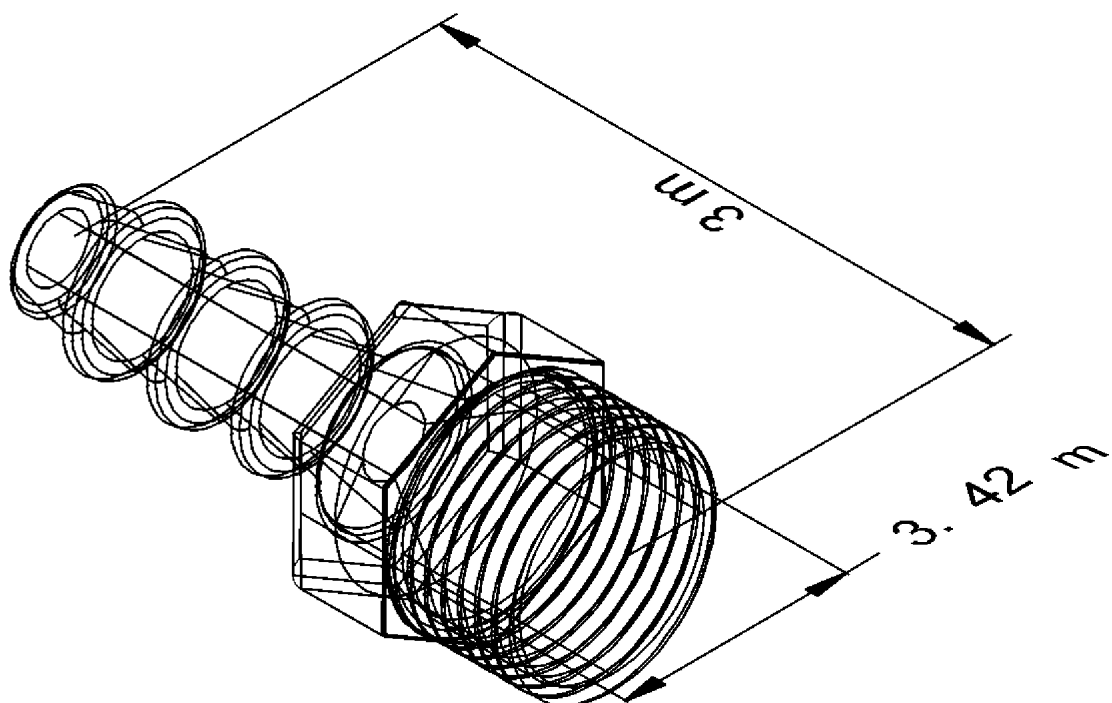


Figura 32. Conector de manguera 12,7 mm

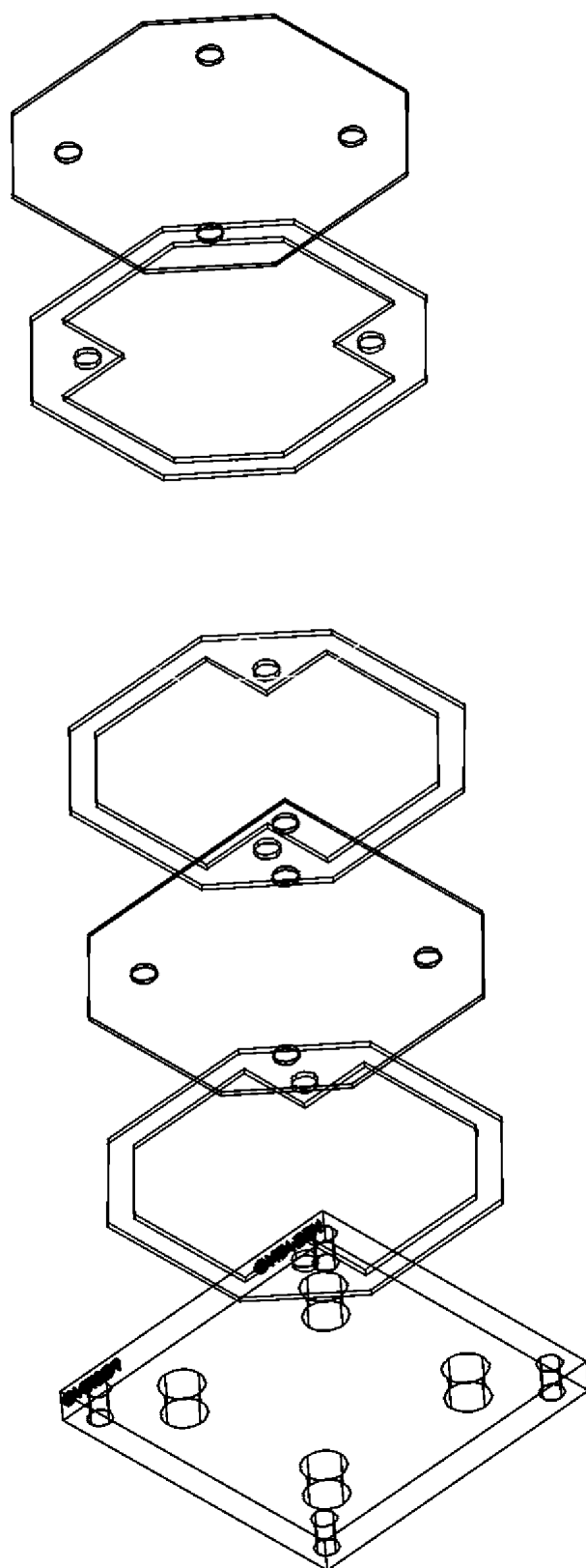


Figura 33. Diagrama de ensamblaje de láminas de celda

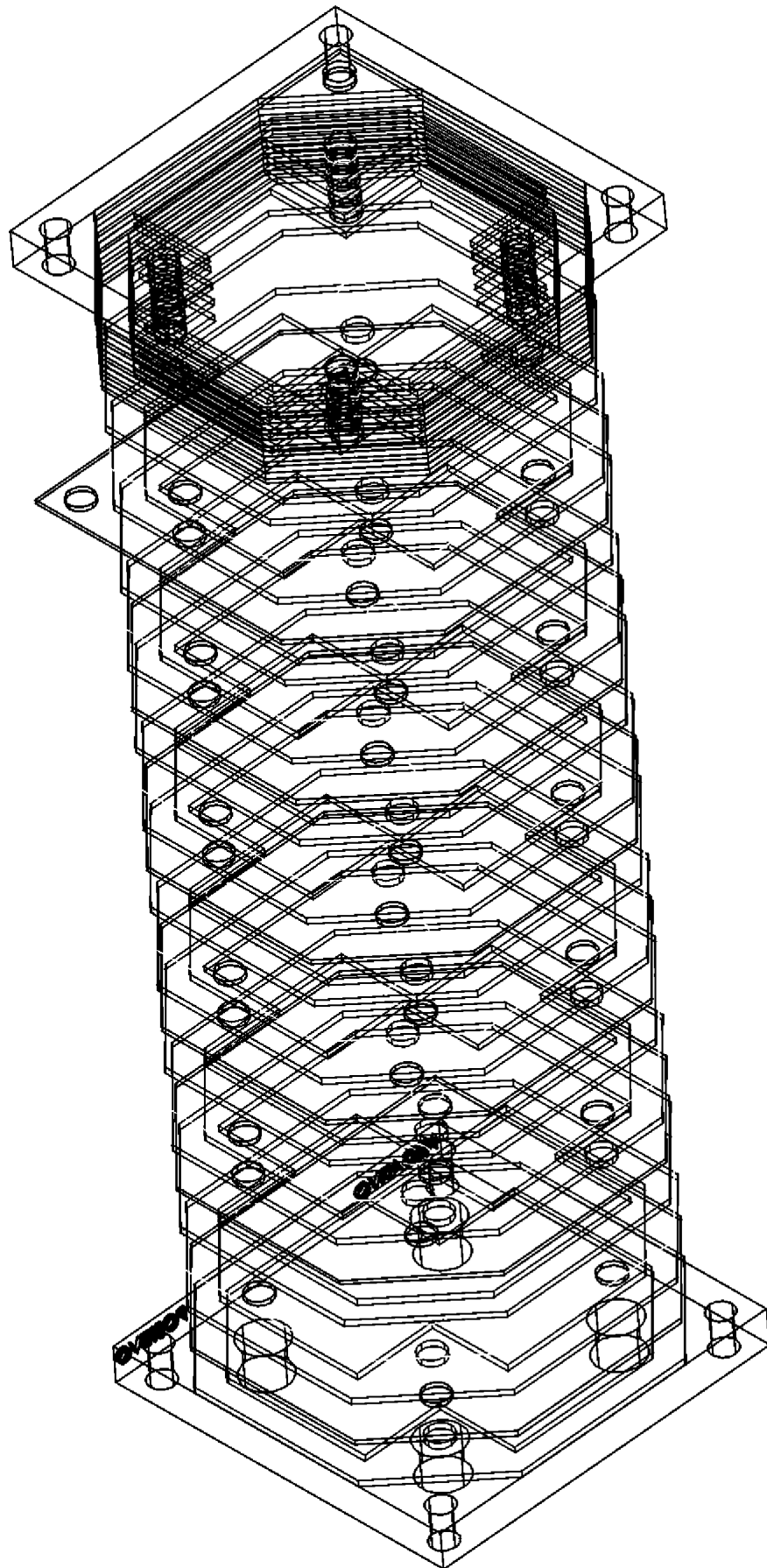


Figura 34. Diagrama de ensamblaje completo de láminas de celda de generación de Hidrógeno