



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR PARA LA
PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO PARA EL LABORATORIO DE
REACCIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: KATHERYNE ALEXANDRA PACHECO PACHECO

DIRECTOR: Ing. DARIO FERNANDO GUAMAN LOZADA, MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

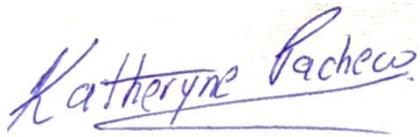
© 2023, **Katheryne Alexandra Pacheco Pacheco**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Katheryne Alexandra Pacheco Pacheco, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

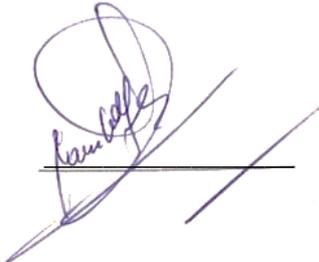
Riobamba, 27 de junio de 2023

A handwritten signature in blue ink that reads "Katheryne Pacheco". The signature is written in a cursive style and is underlined with a single horizontal line.

Katheryne Alexandra Pacheco Pacheco
C.I. 060490709-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO PARA EL LABORATORIO DE REACCIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**, realizado por la señorita: **KATHERYNE ALEXANDRA PACHECO PACHECO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Camilo Pavel Haro Barroso, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-27
Ing. Darío Fernando Guamán Lozada, MSc. DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-27
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinuesa, MSc. ASESORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-27

DEDICATORIA

Dedico este proyecto primeramente a Dios por brindarme sabiduría, paciencia y firmeza, durante todo el proceso, a mi madre Silvia Pacheco por ser mi guía, ejemplo de lucha, esfuerzo, dedicación y brindarme toda su confianza, ante las adversidades, a mi hermano Jairo Pacheco por ser mi apoyo incondicional, mi ejemplo a seguir.

Katheryne

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme el conocimiento y la fortaleza, a mi madre por ser mi guía, mi apoyo incondicional y mi ejemplo a seguir durante todo el proceso, para adquirir mi título universitario y a mi hermano por inculcarme la responsabilidad y perseverancia.

De manera especial a la carrera de Ingeniería Química, que me permitió formarme académicamente y como persona, al Ing. Darío Guamán y la Ing. Mayra Zambrano, por darme la oportunidad y confianza de realizar el presente trabajo, con su apoyo y enseñanza.

Katheryne

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.	Planteamiento del problema.....	2
1.2.	Justificación.....	3
1.3.	Objetivos.....	4
1.3.1.	<i>Objetivo general</i>	4
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.	Reactor químico.....	5
2.1.1.	<i>Clasificación de las reacciones químicas de un reactor químico</i>	6
2.1.2.	<i>Clasificación de los reactores</i>	6
2.1.2.1.	<i>Reactor tipo batch (discontinuo)</i>	7
2.1.2.2.	<i>Reactores CSTR</i>	8
2.1.2.3.	<i>Reactores en flujo pistón (PFR)</i>	8
2.2.	Hidrógeno.....	9
2.2.1.	<i>Historia del hidrógeno</i>	9
2.2.2.	<i>Propiedades del hidrógeno</i>	10
2.2.3.	<i>Razones para el uso del hidrógeno</i>	11
2.2.4.	<i>Características del hidrógeno</i>	12
2.2.5.	<i>Producción de hidrógeno</i>	13
2.2.6.	<i>Producción del hidrógeno en américa latina</i>	15
2.2.7.	<i>Cómo obtener hidrógeno</i>	16

2.2.7.1.	<i>A partir del agua electrolisis.....</i>	16
2.2.7.2.	<i>A partir de combustibles fósiles</i>	16
2.2.7.3.	<i>A partir de biomasa.....</i>	16
2.2.8.	<i>Agua.....</i>	17
2.2.9.	<i>Agua destilada</i>	18
2.2.9.1.	<i>Destilación del agua</i>	18
2.2.9.2.	<i>Propiedades del agua destilada.....</i>	18
2.2.10.	<i>Electrólisis</i>	19
2.2.11.	<i>Principales electrólitos que se utilizan en la electrólisis</i>	21
2.2.12.	<i>Sosa caustica (NaOH).....</i>	21
2.2.13.	<i>Materiales que se utilizan para electrodos</i>	22
2.2.14.	<i>Tipos de celda</i>	22
2.2.14.1.	<i>Condiciones para que operen las celdas</i>	23

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	24
3.1.	Tipo de estudio	24
3.2.	Identificación de variables.....	25
3.2.1.	<i>Variable dependiente</i>	25
3.2.2.	<i>Variable independiente</i>	25
3.2.3.	<i>Variables intervinientes</i>	25
3.3.	Localización	25
3.4.	Población de estudio y/o muestreo.....	25
3.5.	Diseño	25
3.5.1.	<i>Ecuaciones para el diseño de un reactor para la producción de hidrógeno.....</i>	25
3.5.1.1.	<i>Área del recipiente</i>	25
3.5.1.2.	<i>Volumen del recipiente.....</i>	26
3.5.2.	<i>Área activa</i>	26
3.5.3.	<i>Corriente de soporte de cada placa</i>	26
3.5.4.	<i>Número de placas</i>	27
3.5.5.	<i>Dimensiones de las placas</i>	27
3.5.6.	<i>Volumen de la celda</i>	27
3.5.7.	<i>Volumen total de las celdas.....</i>	28
3.5.8.	<i>Área de la celda</i>	28
3.5.9.	<i>Área total de la celda</i>	28
3.5.10.	<i>Elaboración de planos.....</i>	28

3.5.11.	<i>Cálculo de producción del gas</i>	29
3.5.11.1.	<i>Cantidad de moléculas de agua</i>	29
3.5.11.2.	<i>Cálculo de los gramos de hidrógeno que hay en 9326,9 g de agua</i>	29
3.5.11.3.	<i>Cálculo de la composición centesimal (%) de hidrógeno que hay en 9326,9 g de agua</i>	29
3.5.11.4.	<i>Cálculo de los gramos de oxígeno que hay en 9326,9 g de agua</i>	30
3.5.11.5.	<i>Cálculo de la composición centesimal (%) de hidrógeno que hay en 9326,9 g de agua</i>	30
3.5.12.	<i>Cálculo de producción del gas aplicando corriente</i>	30
3.5.12.1.	<i>Cálculo de la carga eléctrica</i>	30
3.5.12.2.	<i>Cálculo de la cantidad de moles</i>	31
3.5.12.3.	<i>Cálculo de moles de hidrógeno</i>	31
3.5.12.4.	<i>Cálculo del volumen de hidrógeno y oxígeno</i>	31
3.5.12.5.	<i>Cálculo del calor la disolución del agua más NaOH, en el reactor</i>	31
3.5.12.6.	<i>Cálculo de la variación de la entalpía ΔH</i>	32
3.6.	Construcción del reactor para la producción de hidrógeno	32
3.6.1.	<i>Materiales</i>	32
3.6.1.1.	<i>Celdas electrolíticas</i>	32
3.6.1.2.	<i>Acero Inoxidable (AISI 304)</i>	32
3.6.1.3.	<i>Conexiones eléctricas</i>	32
3.6.1.4.	<i>Unidad inversora de alimentación eléctrica VDC</i>	33
3.6.1.5.	<i>Mangueras de flujo y reflujo</i>	33
3.6.1.6.	<i>Válvula lateral descarga</i>	33
3.6.1.7.	<i>Base soporte inoxidable</i>	33
3.6.1.8.	<i>Arrestallamas</i>	33
3.6.1.9.	<i>Manómetro</i>	33

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO ..	34
4.1.	Cálculos	34
4.1.1.	<i>Diseño de un reactor para la producción de hidrógeno</i>	34
4.1.1.1.	<i>Área del recipiente</i>	34
4.1.1.2.	<i>Volumen del recipiente</i>	34
4.1.2.	<i>Área activa</i>	34
4.1.3.	<i>Corriente de soporte de cada placa</i>	34
4.1.4.	<i>Número de placas</i>	35

4.1.5.	<i>Dimensiones de las placas</i>	35
4.1.6.	<i>Volumen de la celda</i>	35
4.1.7.	<i>Volumen total de las celdas</i>	35
4.1.8.	<i>Área de la celda</i>	35
4.1.9.	<i>Área total de la celda</i>	36
4.1.10.	<i>Cálculo de producción del gas</i>	36
4.1.10.1.	<i>Cantidad de moléculas de agua</i>	36
4.1.10.2.	<i>Cálculo de los gramos de hidrógeno que hay en 9326,9 g de agua</i>	36
4.1.10.3.	<i>Cálculo de la composición centesimal (%) de hidrógeno que hay en 9326,9 g de agua</i>	36
4.1.10.4.	<i>Cálculo de los gramos de oxígeno que hay en 9326,9 g de agua</i>	37
4.1.10.5.	<i>Cálculo de la composición centesimal (%) de oxígeno que hay en 9326,9 g de agua</i>	37
4.1.11.	<i>Cálculo de producción del gas aplicando corriente</i>	37
4.2.	Resultados	44
4.2.1.	<i>Condiciones de las pruebas</i>	44
4.2.2.	<i>Producción de hidrógeno</i>	45
4.2.3.	<i>Producción de oxígeno</i>	45
4.2.4.	<i>Potencia requerida para la producción de hidrógeno</i>	45
4.2.5.	<i>Volumen del hidrógeno</i>	46
4.2.6.	<i>Volumen del oxígeno</i>	47
CONCLUSIONES		49
RECOMENDACIONES		50
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Propiedades físicas del hidrógeno	10
Tabla 2-2: Propiedades Químicas del Hidrógeno	11
Tabla 2-3: Producción del Hidrógeno	14
Tabla 2-4: Propiedades físicas del agua	17
Tabla 2-5: Propiedades químicas del agua.....	18
Tabla 2-6: Propiedades físicas de la sosa caustica	22
Tabla 4-1: Condiciones de las pruebas.....	44
Tabla 4-2: Producción de Hidrógeno	45
Tabla 4-3: Producción de Oxígeno	45
Tabla 4-4: Potencia requerida para la producción de Hidrógeno.....	45
Tabla 4-5: Volumen del Hidrógeno	46
Tabla 4-6: Volumen del Oxígeno.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Reactor tipo batch (discontinuo)	7
Ilustración 2-2:	Reactores CSTR	8
Ilustración 2-3:	Reactores en flujo pistón (PFR)	8
Ilustración 2-4:	Funcionamiento de la electrólisis	19
Ilustración 4-1:	Volumen del hidrógeno	47
Ilustración 4-2:	Volumen del oxígeno	48

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DIMENSIONES DEL RECIPIENTE

ANEXO B: DIMENSIONES DE LA BASE

ANEXO C: DIMENSIONES DE LOS BURBUJEADORES

ANEXO D: DIMENSIONES DE LA CELDA

ANEXO E: DIMENSIONES DEL GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA

ANEXO F: REACTOR PARA PRODUCCIÓN DE HIDÓGENO EN 3D PARTE FRONTAL

ANEXO G: REACTOR PARA PRODUCCIÓN DE HIDÓGENO EN 3D PARTE
POSTERIOR

ANEXO H: REACTOR PARA PRODUCCIÓN DE HIDÓGENO EN 3D PARTE LATERAL

ANEXO I: MSDS DEL AGUA DESTILADA

ANEXO J: MSDS DEL HIDRÓXIDO DE SODIO

ANEXO K: MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO

ANEXO L: GUIA DE LABORATORIO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

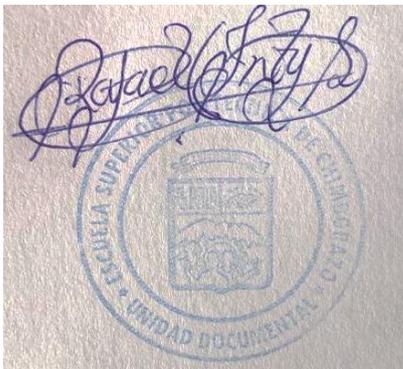
%	Porcentaje
#	Número
°C	Grados Centígrados
O	Oxígeno
H	Hidrógeno
H⁺	Catión Hidrógeno
OH⁻	Oxidrilo o Hidroxilo (anión)
CO₂	Dióxido de Carbono
v	Voltios
A	Amperios
H₂O	Agua
NaOH	Hidróxido de Sodio
l	Litro
m	Metro
m²	Metro cuadrado
cm²	Centímetro cuadrado
kg	Kilogramo
g	Gramo
g/ cm³	Gramos por Centímetros Cúbicos
s	segundo
h	altura
E	peso equivalente
Vol	Volumen
m	masa
ρ	Densidad

RESUMEN

En el contexto actual de un mundo globalizado, se requiere un modelo de sociedad que promueva un avance energético sostenible en armonía con el medio ambiente. Los combustibles fósiles, utilizados como fuentes de energía desde su descubrimiento debido a su abundancia y accesibilidad económica, generan emisiones de gases tóxicos y de efecto invernadero que afectan al medio ambiente. Con el objetivo de abordar esta problemática, el presente estudio se enfocó en el diseño y construcción de un reactor para la producción de hidrógeno mediante electrólisis, destinado al laboratorio de Reacciones de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En primer lugar, se determinaron las dimensiones del reactor utilizando diversas fórmulas y se llevó a cabo su diseño utilizando el software CAD conocido como SOLIDWORKS. La construcción del reactor se basó en parámetros y variables de ingeniería, empleando materiales como acero inoxidable, acrílico, mangueras de conexión y arresta llamas, asegurando así su eficiencia operativa. El reactor tuvo una capacidad de volumen de 10 litros y un área del recipiente de 3051,06 cm². La producción de hidrógeno mediante la electrólisis del agua se logró aplicando corriente eléctrica para descomponer la molécula de agua en sus componentes, hidrógeno y oxígeno. Este proceso se llevó a cabo en una cuba electroquímica. Como resultado, se obtuvo una producción de 0,47 litros de hidrógeno y 0,234 litros de oxígeno, utilizando una corriente de 16,595 Amperios durante 60 segundos de funcionamiento continuo. Se concluye que el reactor de hidrógeno diseñado es eficiente y capaz de producir volúmenes significativos de hidrógeno y oxígeno. La documentación adecuada y la guía de práctica proporcionada garantizan su manejo seguro, sentando así una base para futuras investigaciones en el campo de la energía renovable.

Palabras clave: <REACTOR>, <PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO>, <ELECTRÓLISIS>, <ENERGÍA RENOVABLE>, <SOLIDWORKS>.

1462-DBRA-UPT-2023

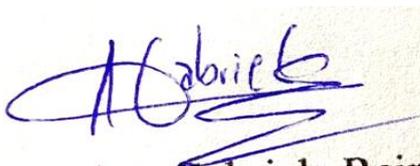


ABSTRACT

In the current context of a globalized world, a model of society that promotes sustainable energy progress in harmony with the environment is required. Fossil fuels, used as energy sources since their discovery due to their abundance and economic accessibility, generate toxic and greenhouse gas emissions that affect the environment. In order to address this problem, the present study focused on the design and construction of a reactor for the production of hydrogen by electrolysis, intended for the Reactions Laboratory of the Faculty of Sciences of the Polytechnic School of Chimborazo. First, the dimensions of the reactor were determined using various formulas and its design was carried out using the CAD software known as SOLIDWORKS. The construction of the reactor was based on engineering parameters and variables, using materials such as stainless steel, acrylic, connection hoses and flame arresters, thus ensuring its operational efficiency. The reactor had a volume capacity of 10 liters and a vessel area of 3051.06 cm². Hydrogen production by water electrolysis was achieved by applying electric current to break down the water molecule into its components, hydrogen and oxygen. This process was carried out in an electrochemical vat. As a result, a production of 0.47 liters of hydrogen and 0.234 liters of oxygen was obtained, using a current of 16.595 Amperes during 60 seconds of continuous operation. It is concluded that the designed hydrogen reactor is efficient and capable of producing significant volumes of hydrogen and oxygen. The proper documentation and practice guide provided ensured its safe handling, thus laying a foundation for future research in the field of renewable energy.

Key words: <REACTOR>, <HYDROGEN PRODUCTION>, <ELECTROLYSIS>, <RENEWABLE ENERGY>, <SOLIDWORKS>.

1462-DBRA-UPT-2023



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles son considerados como la fuente de energía a mayor escala, el impacto que ha provocado en el planeta, unido al aumento del precio del petróleo, ha hecho posible el interés de encontrar nuevas fuentes energéticas amigables con el medio ambiente, los avances tecnológicos permiten la innovación, diversificación y reestructuración de los sistemas energéticos debido a los nuevos requerimientos utilizados hoy en día, a largo del tiempo el desarrollo de las nuevas fuentes de energía renovable será de suma importancia para la reducción global (Rice, 2018, p. 22).

El aumento de las investigaciones acerca de la producción del hidrógeno arroja que no existe un solo proceso tecnológico, las energías renovables, el carbono y biocombustibles son utilizados como fuentes nuevas de energía que estarán relacionados con el uso del hidrogeno como el nuevo vector de energía, la Unión Europea apoya el crecimiento de esta nueva alternativa que se desarrollará para sustituir a los combustibles fósiles.

El hidrógeno (H₂) es un vector energético con alto potencial para sustituir a los combustibles fósiles por sus propiedades y versatilidad. Durante los próximos 50 años, se espera que el consumo mundial de energía se duplique a partir de hoy, y se espera que gran parte provenga de fuentes más baratas y limpias que los combustibles fósiles. Las necesidades residenciales y comerciales requieren un suministro constante de energía y existe un gran interés en generar electricidad a partir de fuentes renovables que demandan alta eficiencia. Por lo tanto, el desarrollo de la energía basada en el hidrógeno será un importante impulsor del desarrollo futuro (Baird, 2021, p.4).

El presente trabajo de integración curricular tiene como propósito obtener un combustible alternativo, para reemplazar a los combustibles fósiles tradicionales, mediante el Diseño y Construcción de un Reactor, el mismo que permitirá estudiar las variables del modelo matemático de la electrolisis del agua con el fin de aportar al desarrollo académico de la Facultad de Ciencias. Se aplicará el método de la electrolisis donde la molécula de agua se separa para formar hidrógeno y oxígeno. Las reacciones requieren un aporte de energía, y esta energía es proporcionada por la energía eléctrica. El mecanismo crea una celda electroquímica en la que dos electrodos (cátodo y ánodo) están conectados por un medio conductor formado por iones H⁺ (protones) disueltos en agua (Raola, 2020 p. 270).

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Los actuales escenarios de un mundo globalizado requieren y demandan un modelo de sociedad que abarque un avance energético afable con el medioambiente. A lo largo del último siglo, el progreso tecnológico en energía y recursos permitió un desarrollo exponencial en el ámbito social y económico, pero a su vez despertó las primeras “alarmas” cuando se comprendió que el uso de recursos no renovables no garantizaba un mantenimiento a largo plazo y que además conllevaría futuras crisis energéticas (Baird, 2021, p. 40).

Los combustibles fósiles se han utilizado como fuentes de energía desde su descubrimiento porque están disponibles en grandes cantidades y se pueden extraer de manera fácil y económica. Las emisiones de gases tóxicos y de efecto invernadero de hoy en día están afectando al medio ambiente. Desde esta perspectiva, han optado por desarrollar nuevas tecnologías de producción de energía utilizando fuentes de energía renovables y sostenibles. Los suministros de combustibles fósiles son limitados y los datos globales sobre reservas probadas indican que están relativamente cerca de agotarse. Por eso, el hidrógeno es el combustible alternativo actual (IEA, 2017, p. 23).

Morlanes N. (2017, p.24) recuerda que, en una celda de combustible alimentada con hidrógeno, el hidrógeno pasa a través del cátodo (ánodo) y en presencia de un catalizador se descompone en iones H, cationes y electrones. El oxígeno (O₂) del aire pasa a través del contraelectrodo y se disocia en iones (O²⁻) en presencia de un catalizador. Los iones de hidrógeno positivos migran a través del electrolito hacia el cátodo, dejando electrones libres en el ánodo. Un electrodo se mueve entre el ánodo y el cátodo, generando una corriente eléctrica. En el cátodo, los iones de hidrógeno, oxígeno y electrones se combinan para formar moléculas de agua.

Dado que el gas hidrógeno puede considerarse el único combustible alternativo que puede reducir la cantidad de combustibles fósiles, nuestra investigación se centra en utilizar este gas mediante electrólisis del agua en un reactor. Durante la electrólisis, el agua se divide en hidrógeno y oxígeno. Esta reacción requiere energía, que se suministra en forma de electricidad. El mecanismo consta de una celda electroquímica en la que dos electrodos (cátodo y ánodo) están conectados por un medio conductor formado por iones H⁺ (protones) disueltos en agua. Una corriente

eléctrica entre el cátodo y el ánodo divide el agua, produciendo hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo (Raola, 2020, p. 277).

Combinado con otras fuentes de energía renovable (eólica, solar, etc.), el uso de la electricidad generada para electrólisis proporciona beneficios económicos y los ahorros representan oportunidades de sustento e inversión. Además, se está explorando la viabilidad económica de producir hidrógeno por electrólisis, lo que reducirá significativamente el coste de los electrolizadores y reducirá significativamente el coste de producir hidrógeno y agua con electricidad a partir de energías renovables (AIE, 2017, p. 23).

El proceso de electrolisis aportaría una factible solución a las dificultades destacadas anteriormente, dando como oportunidad de crear energía mediante la producción de hidrogeno de manera sustentable y económica en beneficio para el Laboratorio de Reacciones de la Facultad de Ciencias.

1.2. Justificación

La teoría del pico del petróleo, también conocida como teoría del agotamiento del petróleo, sostiene que la producción de petróleo alcanzará un punto máximo en algún momento y luego comenzará a disminuir mundialmente de manera irreversible. Esta teoría se basa en la idea de que los recursos de petróleo son finitos y que, eventualmente, se agotarán debido a la extracción continua y al consumo creciente de esta fuente de energía (Huilcatoma, 2022 p. 30).

Debido a la enorme demanda que existe en la extracción de combustibles fósiles no renovables, y en nuestro país, según datos del Banco Mundial, en los últimos años la energía obtenida a partir de combustibles fósiles ha promediado el 86%. Hidrógeno, un combustible alternativo respetuosamente inagotable. porque su combustión no genera contaminación. (Raola, 2020 pág. 25)

El uso de energía renovable es una estrategia importante para reducir la contaminación y mitigar los efectos del cambio climático causados por el uso de combustibles fósiles. El hidrógeno se presenta como una opción prometedora dentro de las fuentes de energía renovable debido a varias razones. El hidrógeno es considerado un combustible limpio ya que, al ser utilizado, no emite gases de efecto invernadero. Durante su combustión, el hidrógeno se combina simplemente con el oxígeno para producir agua, lo que lo convierte en una alternativa atractiva para reemplazar los combustibles fósiles en diversos sectores, como el transporte y la generación de electricidad. Por eso se crean búsquedas en países como Argentina, España y Alemania (Huilcatoma, 2022, p. 30).

El diseño y construcción de un Reactor para la Producción de Hidrógeno es una iniciativa relevante y con múltiples beneficios. Este equipo permitirá la oportunidad de estudiar y comprender en detalle las variables involucradas en el proceso de electrolisis del agua, lo que permitirá avanzar en el desarrollo de esta tecnología.

El reactor servirá como una herramienta de investigación y experimentación, brindando la posibilidad de manipular y controlar diferentes variables, como la corriente eléctrica, el tipo de electrolito, la temperatura y la presión, entre otros. Esto permitirá realizar estudios detallados sobre el efecto de estas variables en la eficiencia y la producción de hidrógeno. Además, el reactor tendrá un valor didáctico significativo para la Carrera de Ingeniería Química.

En la actualidad la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no cuenta con un Reactor para la Producción de Hidrógeno, es por este motivo que se desarrolla este trabajo de titulación, con la finalidad de implementar o dotar de un reactor de producción de hidrógeno al Laboratorio de Reacciones para complementar la parte teórica con la práctica, y de esta manera permitir al estudiante la utilización de este equipo confines totalmente didácticos para estar inmerso en el avance industrial y tecnológico del país.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar y Construir un Reactor para la Producción de Hidrógeno para el Laboratorio de Reacciones de la Facultad de Ciencias.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar y dimensionar un reactor en un software CAD.
- Construir un reactor de hidrógeno en base a los parámetros y variables del diseño de ingeniería.
- Determinar el hidrógeno producido en el reactor.
- Realizar la documentación respectiva que contenga el manejo adecuado del reactor y guía de prácticas de laboratorio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Reactor químico

Un reactor químico está unido a un sistema de operaciones unitarias cuyo objetivo principal es distribuir de manera controlada los átomos de las moléculas (compuestos reaccionantes o reactantes) con el fin de formar nuevas moléculas, en condiciones óptimas para llevar a cabo las reacciones químicas, las operaciones de separación y purificación de los productos obtenidos (Muñoz, y otros, 2013 pág. 7).

Según Fogler (2008), los factores a considerar cuando se ejecuta o desarrolla una reacción química son:

- Las condiciones de presión, temperatura y composición requeridas para que el material entre en estado de reacción.
- Propiedades termodinámicas y cinéticas de las fases de reacción (sólidos, líquidos, gases) presentes en la reacción (Fogler, 2008, p. 75).

Por otra parte, Peña et al., (2008, p.9) hacen referencia a los reactores químicos tienen como funciones principales las siguientes:

- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del recipiente, para conseguir una mezcla deseada con los materiales reactantes.
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias, para conseguir la extensión deseada de la reacción.
- Permitir condiciones de presión, temperatura y composición (MatlabSimulink, 2008, p. 105).

Una de sus principales funciones es establecer un contacto adecuado y un flujo óptimo de los reactantes, permitir la formación de las mezclas deseadas y asegurar las condiciones de temperatura y presión necesarias para garantizar que la reacción se prevén a la velocidad deseada, teniendo en cuenta los aspectos termodinámicos y cinéticos involucrados en el proceso (Fogler, 2008, p. 77).

2.1.1. Clasificación de las reacciones químicas de un reactor químico

Los reactores químicos se dividen en reacciones homogéneas, heterogéneas, catalíticas y no catalíticas.

- Reacciones homogéneas: en este tipo de reacciones, es posible encontrar una sola fase que puede consistir en un gas, líquido o sólido. Sin embargo, cuando intervienen más de un componente, es necesario obtener una mezcla para lograr la homogeneidad en el sistema (Izquierdo, 2014, p.6).
- Reacciones heterogéneas: es posible incorporar dos o incluso tres fases. Algunos ejemplos comunes son los sistemas gas-líquido, gas-sólido, líquido-sólido y líquido-líquido. Es importante destacar que una reacción química no debe ser verdaderamente heterogénea, ya que estas capacidades permiten una mayor variedad de formas de contacto en comparación con los reactores homogéneos (Izquierdo, 2014, p.21).
- Reacciones catalíticas: se utilizan materiales que ayudan a acelerar la reacción, estos son considerados como catalizadores (Izquierdo, 2014, p.8).
- Reacciones no catalíticas: estas reacciones no utilizan ningún tipo de material para llevar a cabo la reacción (Izquierdo, 2014, p.13).

2.1.2. Clasificación de los reactores

Existen varios tipos de reactores, los cuales tienen diferentes aplicaciones, y se resumen en tres tipos de reactores, reactor tipo batch, reactor tipo PFR (flujo pistón) y reactor CSTR (perfectamente agitado), cada uno cumple diferentes funciones para los diferentes productos y aplicaciones dependiendo de cuál sea el caso (Uzi, 2009 p. 80).

2.1.2.1. Reactor tipo batch (discontinuo)

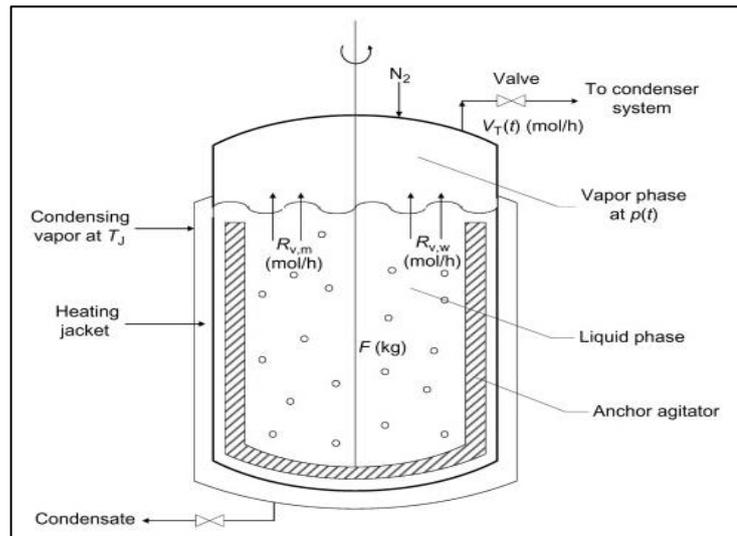


Ilustración 2-1: Reactor tipo batch (discontinuo)

Fuente: Uzi, 2009.

Es un recipiente con agitación en donde se cargan los reactivos y se descargan la reacción finalizada, una característica importante es que no trabaja en condiciones estacionarias, es decir la temperatura y composiciones varían constantemente, es el reactor más utilizado a nivel industrial, debido a que cuenta con la facilidad de adaptarse a diferentes producciones o incorporaciones nuevas sin necesidad de implantar nuevas plantas ni realizar grandes cambios (Vega et al., 2020, p. 8).

Se utilizan para las reacciones que con llevan mayor complejidad, en especial las reacciones exotérmicas o de 2 fases en este caso gas-liquido, las cuales mediante las operaciones de semi-continuidad se encargan de ingresar un primer reactivo, este dosifica lentamente al resto de reactivos para disponer de un mayor control sobre la reacción y una mayor seguridad que permitiría por ejemplo detener la dosificación si se observa un incremento de temperatura o presión excesivo (Vega et al., 2020, p. 8).

2.1.2.2. Reactores CSTR

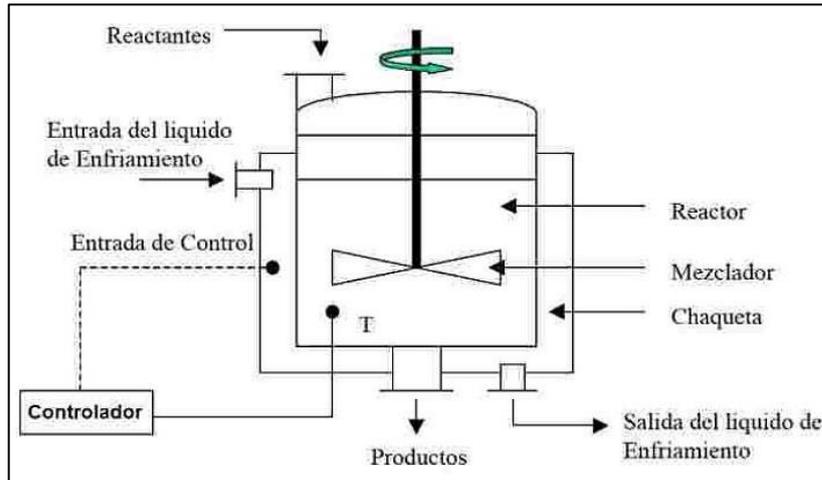


Ilustración 1-2: Reactores CSTR

Fuente: Uzi, 2009.

Este tipo de reactores se emplean cuando hay una demanda constante de producto a gran escala. Operan mediante flujos continuos y están diseñados para operar durante períodos prolongados de tiempo. Utilizan catalizadores heterogéneos para llevar a cabo las respectivas reacciones dentro del reactor (Uzi, 2009, p. 19).

Los reactores CSTR tienen propiedades uniformes debido al funcionamiento en estado constante y su mezcla se da de forma eficaz, es importante tomar en cuenta el tiempo de estancia y la tasa de reacción. Cuando las condiciones son idóneas, la composición del producto que se obtiene es idéntica a la del material que se encuentra en el reactor (Uzi, 2009, p. 19).

2.1.2.3. Reactores en flujo pistón (PFR)

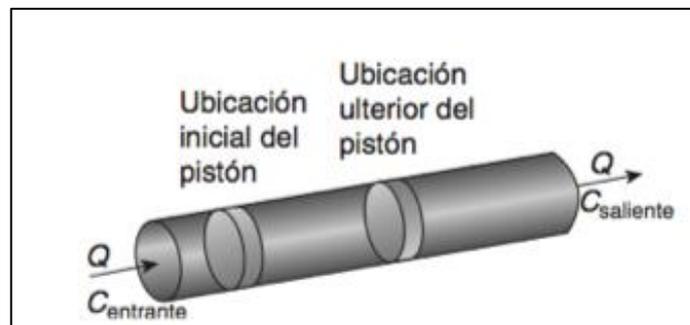


Ilustración 2-3: Reactores en flujo pistón (PFR)

Fuente: Uzi, 2009.

Trabaja a través de una dirección de flujo de un fluido de forma estacionario, donde su composición varía de un punto a otro, para ello es necesario utilizar un flujo ideal de pistón, de modo, que su conversión, concentración y temperatura sea en función de la posición. y en donde la composición del fluido varía de un punto a otro a través de la dirección del flujo de dicho fluido.

Tiene una forma de un tubo vacío (tubo hueco), contiene catalizadores en forma de empaque para acelerar o retardar las reacciones que se llevan a cabo, los reactivos que ingresan al reactor fluyen en dirección axial, estos son consumidos durante el recorrido y su conversión aumenta con la longitud (Uzi, 2009 p. 19).

2.2. Hidrógeno

Es conocido como el elemento más abundante del universo, en la tabla periódica se lo categoriza con el número 1 y se simboliza como H₂, con una composición del 75%, se caracteriza al hidrógeno como un gas inflamable, inodoro, incoloro, insoluble en el agua. Se puede obtener mediante la refinación del petróleo y por medio de la electrólisis de agua, es muy importante en la metalurgia debido que es soluble en varios metales, compuestos constituidos con tierras raras y metales de transición, que pueda contener en su estructura cristalina, es importante en el intercambio de protones en las reacciones químicas (Castillo, 2020, p. 25)

Al hidrógeno se le considera como el portador de energía limpia, en la combustión los únicos productos son el calor y agua, es utilizado en pilas de combustible, permite que su eficiencia energética sea más elevada, que las que se producen en las obtenidas con motores de combustión interna. Las pilas de combustión tienen como finalidad, transformar la energía de una reacción química en energía eléctrica, esto funciona de manera eficaz y eficiente (Castillo, 2020, p. 25)

El hidrógeno es abundante en el planeta, pero no se encuentra de forma natural, se halla en forma molecular; la mayor parte esta combinada por agua, su producción es realizada de forma industrial, el más conocido y utilizado se da a partir de combustibles fósiles, según la disponibilidad de la materia prima, como es el gas natural y derivados del petróleo, solo pocas industrias obtienen a partir del agua, mediante la electrólisis (Quezada et al., 2014, p. 7).

2.2.1. Historia del hidrógeno

T. Von Hohenheim, entre los años de 1493-1541, descubrió por primera vez al hidrógeno gaseoso de forma artificial mezclando metales con ácidos fuertes, para el año de 1671 el científico Robert Boyle redescubrió el hidrógeno gaseoso, mediante una reacción que se produjo por limaduras

de hierro y ácidos diluidos. En el siglo XX, el hidrógeno es reconocido como una alternativa para mejorar los problemas de contaminación y posibles efectos sobre el clima, que esto se da debió al uso excesivo de combustibles fósiles, pero con el pasar de los años se agotarán (Quezada, y otros, 2014 pág. 7).

En el año de 1839 el científico galés William R. Grove descubrió que el hidrógeno al ser quemado con el oxígeno transforma la energía de la combustión en electricidad, este proceso se da en la pila de combustión, donde es utilizada para las industrias aeroespacial y automovilística, pero su desarrollo empezó en la década de 1960 por la NASA para producir la electricidad. En la actualidad existen diferentes prototipos de pilas de combustión muy utilizadas por marcas automovilísticas (Quezada, y otros, 2014 pág. 7).

2.2.2. Propiedades del hidrógeno

Las propiedades del hidrógeno hacen que este sea un elemento esencial para el cambio de energía sustentable y ecología del planeta.

Tabla 2-1: Propiedades físicas del hidrógeno

Propiedad	Valor	Unidades
Inodoro, incoloro y sin sabor		
Estado ordinario	Gas	
Estructura cristalina	Hexagonal	
Es la molécula más pequeña conocida		
Densidad en estado gaseoso (a 20°C y 1atm)	0,08376	kg/m ³
Densidad en estado Liquido	0,0708	kg/m ³
Volumen específico del gas (a 20°C y 1atm)	11,9	m ³ /kg
Volumen específico liquido (-253°C Y 1atm)	0,014	m ³ /kg
Punto de fusión	14,025	K
Punto de ebullición	20,268	K
Temperatura crítica	- 239,8	°C
Energía específica de combustión	120	MJ/kg
Entalpía de vaporización	0,44936	KJ/mol
Entalpía de fusión	0,05868	KJ/mol
Presión critica	1,293*10 ⁶	Pa
Volumen molar	22,42*10 ⁻³	m ³ /mol
Facilidad de efusión, como también difusión		
Optima conductividad calorífica		
Relación de expansión	1:848	

Fuente: Quezada et al., 2014.

Realizado por: Pacheco, K., 2023

Tabla 1-2: Propiedades Químicas del Hidrógeno

Propiedad	Valor	Unidades
Peso atómico	100974	uma
Posee un esta de oxidación	+1, -1	
Solubilidad en agua	a 0°C :2,1 en 100 partes a 80°C: 0,8	cm3 cm3
Isotopos abundancia	H-1 99,985% H-2(deuterio) 0,015% H-3 (radiactivo)	
Radio atómico (Radio de Bohr)	53	pm
Radio iónico	208	pm
Radio covalente	37	pm
Radio medio	25	pm
Configuración electrónica	1s1	
Completa su nivel de valencia con un electrón capturado, para así poder producir el anión h ⁻		
Se combina con metales, a través de enlaces iónicos	Alcalinos y Alcalinotérreos (aceptó berilio y magnesio)	
Forma enlaces tipo covalentes	Con los metales	
Forma enlaces metálicos	Con los elementos de transición	
El hidrogeno, H ⁺ , siempre se encuentra asociado con otro elemento, aceptó los de estado gaseoso.		
Posee una estructura cristalina hexagonal		
Reacciona con la gran mayoría de los elementos de la tabla periódica.		

Fuente: Quezada et al., 2014.

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

2.2.3. Razones para el uso del hidrógeno

El uso de hidrógeno como alternativa de energía limpia y renovable ha ganado cada vez más atención en los últimos años. Sus características de seguridad, confianza, limpieza y eficiencia lo

reducirán en una opción óptima para el desarrollo de proyectos de investigación y proyectos orientados a las energías renovables (El hidrógeno y la energía, 2007, p. 25).

- **Razones de dependencia energética:** El uso de hidrógeno como portador de energía tiene la posibilidad de revolucionar su producción, en el rendimiento de Carnot, se puede superar las limitaciones, según la supresión del ciclo termodinámico, alcanzándose así elevados rendimientos energéticos, que serán una opción favorable, eficiente y limpia, la cual cubrirá las necesidades energéticas.
- **Razones medioambientales.** El objetivo principal es obtener hidrogeno a partir de recursos domésticos de forma económica y medioambientalmente aceptable, su combustión libera solamente vapor de agua, es decir está libre de CO₂, su producción no contiene emisiones contaminantes que afecten al medio ambiente, para alcanzar todo este objetivo es necesario superar desafíos técnicos, sociales y políticos.
- **Razones de eficiencia energética.** la energía química del hidrogeno transformada a energía eléctrica, permite el uso de esta para fines estacionarios, es decir electricidad con energía para productos industriales, domésticos y de servicio, así como también puede ser utilizado en el área automovilística, todo esto se da con la finalidad de tener nuevas fuentes energéticas renovales, que no afecten al medio ambiente. Existe una dependencia muy notable de combustibles fósiles, los cuales con el pasar de los años se terminarán, es por esta razón que el hidrógeno está tomando una gran importancia como una nueva fuente energética (El hidrógeno y la energía, 2007, p. 25).

2.2.4. Características del hidrógeno

El hidrógeno, representado por H₂, es el primer elemento de la tabla periódica con número atómico 1 y peso atómico de 1.00797, debido a que solo tiene una órbita y un solo electrón, es así como se forman moléculas diatómicas, se convierte en líquido a presión atmosférica debajo de los 20. 70 °K es un gas que al ser expandido se calienta, puede ser transportado por tuberías y en contenedores a presión, adquiere carga positiva, esto le permite convertirse en catión llamado hidrón H⁺, o carga negativa convirtiéndose en un anión conocido como hidruro, H⁻. La fusión de átomos de hidrógeno provoca la luz y la energía que es emanada por las estrellas (Hortal et al., 2007, p. 50).

Es considerado como el elemento más ligero y abundante de la tierra, pero no se encuentra de forma natural, debido a que este combinado a otros elementos es un vector energético, su liberación de energía no emana dióxido de carbono (CO₂), esto ayuda que sea nulo el impacto ambiental, constituye aproximadamente un 75% de la materia del universo (Hortal et al., 2007, p. 50).

El hidrógeno contiene tres isótopos, de cuales dos son estables y uno es radioactivo:

- Protio: su núcleo está compuesto por un solo protón y un electrón, es el isótopo más estable con el 99.985%.
- Deuterio: Consta de un protón y un electrón en el núcleo, y un electrón orbitando, es extremadamente escaso, con tan solo menos del 0.015%.
- Tritio: está compuesto por dos neutrones y un protón en el núcleo atómico, es el último isótopo natural del hidrógeno posee un solo electrón. Es radioactivo y tiene un tiempo de vida media de 12.3 años (Hortal et al., 2007, p. 50).

2.2.5. Producción de hidrógeno

La producción de hidrógeno se impulsa principalmente por su importancia en la protección del medio ambiente y la búsqueda de fuentes de energía más limpias y sostenibles. A medida que aumenta la conciencia sobre los impactos negativos de los combustibles fósiles en el cambio climático y la calidad del aire, se ha prestado más atención al hidrógeno como una alternativa prometedora. (Quezada et al, 2014, p.2).

El hidrógeno es considerado un portador de energía versátil, ya que puede almacenar y dispensar energía útil de manera eficiente. Puede obtenerse a partir de diferentes compuestos que contienen hidrógeno, como el agua (mediante la electrólisis), los hidrocarburos (mediante la reforma de hidrocarburos), los alcoholes o la biomasa. (Quezada et al., 2014, p.5).

La producción de este elemento puede realizarse por un gran número de métodos, cada uno de ellos con diferentes procesos, según la materia prima utilizada. A continuación, se mencionará a cada una de ellas:

- Uno de los principales usos para su producción, son los recursos energéticos y energías renovables.
- También puede ser producido mediante el uso de diferentes tecnologías: procesos térmicos o catalíticas, procesado de materias renovables, procesos electrolíticos y fotolíticos.
- A partir de materia primas renovables en este caso la biomasa, se da mediante proceso que evitan la contaminación y emisiones de gases, que estos son responsables del efecto invernadero.

Tabla 2-3: Producción del Hidrógeno

HIDRÓGENO	Reformado	Gas Natural
		Carbón
		Petróleo
	Gasificación Reformado	Biomasa
		Residuos
		Biocombustibles
	Electrolisis	Eólica
		Geotérmica
		Hidroeléctrica
	Ciclo Termoquímicos	Nuclear
	Fotoquímica Fotobiológica	Solar

Fuente: (uezada et al., 2014).

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

El hidrógeno como el petróleo no se encuentran en yacimientos para poder ser extraído, es por este motivo que debe ser sometido a diversos tratamientos para poder obtenerlo de manera segura y eficaz. En la actualidad solo el 2 % es obtenido por electrólisis del agua. La electrolisis del agua es en efecto un proceso ampliamente utilizado en la industria petroquímica y en otros sectores industriales. Es una forma eficiente de producir hidrógeno y oxígeno a partir del agua mediante la aplicación de corriente eléctrica. El hidrógeno generado mediante la electrolisis del agua se puede utilizar como combustible, en la producción de productos químicos o en otras aplicaciones industriales (Quezada et al., 2014, p.5).

En cuanto al almacenamiento de hidrógeno, existen diferentes métodos, y la elección del más adecuado depende de las necesidades y las condiciones específicas de cada aplicación. La electrólisis del agua puede requerir como un medio para producir hidrógeno que luego puede ser almacenado y utilizado según sea necesario.

En cuanto a las plantas de electrólisis, estas pueden variar en escala, desde unidades a nivel de laboratorio utilizado para la investigación y desarrollo de nuevos procesos, hasta plantas a escala industrial que pueden producir grandes cantidades de hidrógeno de manera continua. Estas plantas industriales son diseñadas de manera versátil y modular para adaptarse a las necesidades específicas de cada aplicación y permitir una producción eficiente y confiable de hidrógeno (Quezada et al., 2014, p.3).

Las plantas de electrólisis concentran su energía, debido a que el calor de combustión del hidrógeno es mucho mayor a la de cualquier hidrocarburo, obteniendo como producto al agua que esta será tratada posteriormente para su reutilización. La producción de hidrógeno implica una transformación de energía, ya sea por cualquier proceso que se haya obtenido, esto implicará pérdidas de energía (Quezada et al., 2014, p.7).

2.2.6. Producción del hidrógeno en América Latina

En la actualidad la producción y el uso de hidrógeno en América Latina son relativamente limitados en comparación con otros países y regiones del mundo. Sin embargo, muchos países de América del Sur han reconocido la importancia de la producción del hidrógeno como fuente de energía y están tomando medidas para impulsarlo. El hidrógeno tiene el potencial de desempeñar un papel importante en la transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible. Puede utilizarse como vector energético en diversas aplicaciones, como en la industria química, en refinerías de petróleo, en la generación de electricidad y como combustible para vehículos de celda de combustible, entre otros (Fuente, 2019, p. 37).

Para promover el uso adecuado del hidrógeno como vector energético, es necesario implementar estrategias y proyectos piloto que permitan evaluar su viabilidad técnica, económica y ambiental en diferentes sectores. Estos proyectos piloto establecieron una base sólida para desarrollar políticas y regulaciones favorables, así como para fomentar la inversión y la adopción de tecnologías relacionadas con el hidrógeno (Fuente, 2019, p. 37).

Algunos países de América Latina ya han iniciado acciones en este sentido. Por ejemplo, se están realizando a cabo estudios de factibilidad para implementar proyectos de producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables, se están promoviendo alianzas estratégicas entre el sector público y privado, y se están promoviendo incentivos y programas de apoyo para estimular la investigación, el desarrollo y la implementación de tecnologías relacionadas con el hidrógeno (Fuente, 2019, p. 37).

Las tecnologías de electrólisis del agua ocupan un 0,3% de la producción total de hidrógeno considerado en el año 2019, se estima que alcance este combustible limpio para el año de 2025 una suma de 2,940 millones de dólares (Fuente, 2019, p. 37).

El Banco Mundial apunta que América Latina tiene las capacidades para convertirse en una de las regiones más competitivas del mundo en la producción de hidrógeno para 2030, y con ello

lograr una transición energética justa que genere beneficios económicos, ambientales y sociales que favorezcan a las comunidades locales (Fuente, 2019, p. 37).

2.2.7. Cómo obtener hidrógeno

Principalmente para la obtención de hidrógeno es necesario extraer de los compuestos en los que se encuentra entre ellos el agua, los combustibles fósiles y materia orgánica como es la biomasa.

2.2.7.1. A partir del agua electrolisis

Este proceso se realiza mediante la descomposición del agua para formar hidrógeno y oxígeno, este tipo de reacción utiliza energía eléctrica, el mecanismo de este proceso se realiza mediante una celda o pila electroquímica, en la que se encuentran dos electrodos, conocidos como cátodo y ánodo, que estarán unidos por un medio conductor formado por iones H^+ disueltos en agua, el agua se disocia por el paso de la corriente eléctrica que existe entre el cátodo y ánodo, formándose así el hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo, para producir electricidad (Rodríguez, 2009, p.2).

2.2.7.2. A partir de combustibles fósiles

El hidrógeno a nivel industrial pasa por una serie de proceso para su obtención como gas, uno de ellos se da por el proceso 2.exotérmico, se introduce oxígeno al reactor al mismo tiempo que se alimenta el agua, este desprende calor y es conocido como reformado autotérmico, para el proceso endotérmico se necesita reaccionar el agua con un catalizador, este tipo de proceso se le conoce como reformado con vapor de agua, el cual va a requerir una aporte de energía, este método es el más usado hoy en día, debido a que este elemento se encuentra en gran abundancia en los combustibles fósiles, obteniendo productos principales como es el hidrógeno (H_2) y monóxido de carbono (CO) (Rodríguez, 2009, p. 42).

Al exponer emisiones de CO_2 al medio ambiente, es uno de los métodos más contaminantes que existen hoy en día, esto hace que se produzca un calentamiento adicional a la temperatura de la tierra, conocido como efecto invernadero, es por este motivo que existen nuevas tecnologías que permiten la obtención de hidrógeno, evitando la contaminación.

2.2.7.3. A partir de biomasa

La biomasa es la materia prima principal para la obtención de hidrógeno, la que proviene de los seres vivos tanto animales como vegetales, debido a que abundan compuestos hidrogenados,

mediante un proceso bioquímico se da la formación del biogás, o por un proceso termoquímico en el que se obtiene gas de gasificación o gas de síntesis el H₂ y CO₂, en todos los casos se obtiene hidrógeno y dióxido de carbono, pero este no libera las emisiones a la atmósfera, debido a que fue previamente fijado por la planta en el proceso de fotosíntesis. A partir de la biomasa se puede obtener otros tipos de biocarburantes líquidos como es el bioetanol o el biodiesel, que pueden ser utilizados como combustibles para la producción de H₂ (Rodríguez, 2009, p. 42).

2.2.8. Agua

El agua es un compuesto químico inorgánico esencial para la vida en la Tierra. Está compuesto por dos átomos de hidrógeno (H₂) y uno de oxígeno (O), por lo que su fórmula química es H₂O. Es el compuesto más abundante en la superficie terrestre, cubriendo aproximadamente el 71% de la superficie del planeta. El agua se encuentra en tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso. En estado sólido, el agua se presenta como hielo, en estado líquido como agua líquida y en estado gaseoso como vapor de agua. Estos cambios de estado se producen debido a los diferentes niveles de energía térmica (Herdoíza, 2022, p. 10). Es importante destacar que el agua en su forma pura no tiene olor, sabor ni color. Sin embargo, en la naturaleza, el agua puede contener diversos minerales y sustancias disueltas que le dan características específicas, como el sabor o el color en ciertos casos. Además, el agua no siempre se encuentra en forma pura, ya que puede estar combinado con otros elementos y formar compuestos como sales minerales o compuestos orgánicos. Estas combinaciones pueden dar lugar a aguas con diferentes propiedades y características, como aguas saladas, aguas minerales, entre otras (Herdoíza, 2022, p.10).

Tabla 2-4: Propiedades físicas del agua

Propiedad	Valor	Unidad
Apariencia	Incoloro	
Densidad	100	kg/m ³
Masa Molar	18,01528	g/mol
Punto de fusión	273	K
Punto de ebullición	373	K
Temperatura Crítica	647	K
Presión crítica	217.7	Atm
Presión de vapor	1	Atm
Estructura cristalina	Hexagonal	
Viscosidad	1	Cp
Índice de refracción	1,33	
Constante dieléctrica	78,5	

Fuente: Herdoíza, 2022.

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

Tabla 2-5: Propiedades químicas del agua

Propiedad	Valor	Unidad
Acidez	15,74	pKa
Densidad	100 %	kg/m ³
Momento dipolar	1,85	D

Fuente: Herdoíza, 2022.

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

2.2.9. Agua destilada

El agua destilada es aquella que ha sido sometida a un proceso de destilación para eliminar impurezas y sustancias disueltas en el agua original. La destilación es un método de purificación del agua que se basa en el principio de evaporación y condensación.

2.2.9.1. Destilación del agua

El proceso de destilación del agua imita los procesos naturales de evaporación y condensación. En la naturaleza, el ciclo del agua se basa en estos principios básicos. Cuando el agua se calienta y alcanza su punto de ebullición, las moléculas de agua ganan suficiente energía para convertirse en vapor y escapar del líquido. Este vapor se eleva en la atmósfera, donde se encuentra con aire frío y se enfría, condensándose nuevamente en forma de gotas de agua. Estas gotas se agrupan para formar nubes y, finalmente, caen en forma de precipitación, como lluvia, nieve o rocío, completando así el ciclo del agua.

La destilación del agua sigue el mismo principio, pero se lleva a cabo de manera controlada en un equipo diseñado para tal fin. El agua se calienta hasta que alcanza su punto de ebullición, y el vapor queda se recoge y se enfría en un condensador, donde se convierte nuevamente en líquido. De esta manera, se obtiene agua destilada, que es libre de impurezas y contaminantes presentes en el agua original. Es un método eficaz para purificar el agua y obtener un suministro de agua potable o de alta calidad para diversos usos. Al imitar los procesos naturales de evaporación y condensación, permite separar el agua de sus impurezas y obtener un agua más pura y segura para su uso.

2.2.9.2. Propiedades del agua destilada

Las principales características y propiedades del agua destilada son:

- No contiene electrolitos, sales minerales, microorganismos u otros contaminantes.
- El pH es de alrededor de 5,8.

- Es insípido, inodoro e incoloro.

2.2.10. Electrólisis

La electrólisis del agua es un proceso que utiliza energía eléctrica para descomponer la molécula de agua en sus componentes, hidrógeno y oxígeno. Este proceso se lleva a cabo en una celda electrolítica, donde se colocan dos electrodos sumergidos en agua, uno llamado ánodo y otro cátodo.

Una de las ventajas principales de la electrólisis del agua es que puede ser alimentada con energía procedente de fuentes renovables, como la energía eólica, solar o hidráulica. Al utilizar energías renovables para la generación de la electricidad necesaria, el proceso de electrólisis del agua se vuelve aún más sostenible y libre de emisiones de gases de efecto invernadero, ya que no se produce dióxido de carbono (CO₂) durante la reacción.

La molécula de agua se disuelve en electrolito, se utiliza una corriente eléctrica continua, por medio de un par de electrones, estos se conectan a una fuente de corriente directa de electrodos de polos tanto positivos y negativos, que son atraídos a los iones de carga opuesta, es decir que los iones positivos son atraídos al cátodo y los iones negativos al ánodo. Como electrolito se usa comúnmente sosa cáustica (NaOH) o potasa cáustica (KOH) para tener una buena conductividad iónica.

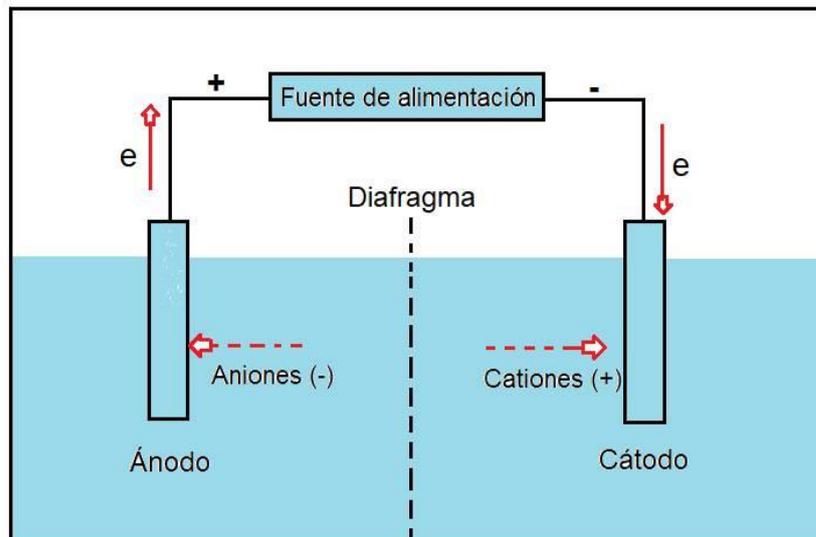
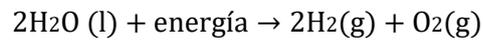


Ilustración 2-4: Funcionamiento de la electrólisis

Fuente: Pacheco, 2009.

Realizado por: Pacheco, Katheryne, 2009

La electrolisis es el tercer método más utilizado para la producción de hidrógeno, es un proceso de descomposición de una sustancia por medio de una corriente eléctrica entre electrodos inertes sumergidos en agua, donde se obtiene elementos constituidos: hidrógeno y oxígeno. El agua es considerada como un aislante térmico, debido a esto es necesario agregar un electrolito para hacerla un medio conductor. La reacción química se expresa:



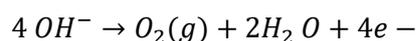
La electrólisis del agua, se aplica una diferencia de potencial eléctrico entre los electrodos sumergidos en una solución cáustica o electrolito. Esta diferencia de potencial evita que los gases liberados durante la electrólisis se mezclen entre sí.

En el electrodo positivo, conocido como ánodo, ocurre la oxidación. Aquí, los iones negativos (aniones) presentes en la solución cáustica se atraen hacia el electrodo positivo y pierden electrones. En el caso de la electrólisis del agua, los iones de hidróxido (OH^-) pueden estar presentes como aniones. Al perder electrones, los iones de hidróxido se oxidan, liberando oxígeno molecular (O_2) en forma de gas.

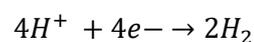
En el electrodo negativo, conocido como cátodo, ocurre la reducción. Los iones positivos (cationes), como los iones de hidrógeno (H^+), se atraen hacia el electrodo negativo y ganan electrones. Estos electrones adicionales permiten que los iones de hidrógeno se reduzcan, formando átomos de hidrógeno gaseoso (H_2).

De esta manera, la separación de los gases liberados en los electrodos durante la electrólisis del agua se debe a la polaridad y las reacciones de oxidación y reducción que ocurren en cada electrodo. Esta configuración evita la mezcla de los gases y permite su recolección y almacenamiento por separado para su posterior uso como hidrógeno y oxígeno (Mendez, 2009, p. 15).

En el ánodo ocurre la siguiente reacción:



En el cátodo se da la siguiente reacción:



Las moléculas y compuestas que predominan en la disolución son el ion Hidroxilo (OH), el agua (H_2O) y la molécula de sodio (Na), el 1% son positivos, pasan hacer la formación de iones hidronios (H) y el ion hidronio (H_3O) los cuales son positivos (Bazán, 2016, p. 23).

Tabla 2-2: Propiedades físicas de la sosa caustica

Propiedad	Valor	Unidad
Apariencia	Sólido - Blanco	pKa
Densidad	2100	kg/m ³
	39,99716	g/mol
Punto de fusión	591	K
Punto de ebullición	1663	k
Solubilidad en agua	111/100	g/mol

Fuente: Bazán, 2016.

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

2.2.13. Materiales que se utilizan para electrodos

Las principales funciones que deben cumplir cada material al ser utilizados, tener alta resistencia a la corrosión, ser buenos conductores de electricidad, económicos y accesibles para sus principales usos (Pesantes, 2019, p. 20).

- Acero Inoxidable
- Cabre
- Aluminio
- Oro
- Plata
- Platino

2.2.14. Tipos de celda

En la actualidad existen dos tipos de celdas que se utilizan para la obtención de hidrógeno.

- Celda Húmeda: Permite que la electricidad se disperse dentro del electrolito, estas están sumergidas completamente, provocando la separación de la molécula de agua, es decir hidrógeno en el cátodo cargado negativamente y oxígeno en el ánodo cargado positivamente, su construcción es la más utilizada, debido a que es muy sencilla de construir (Pesantes, 2019 p. 25).
- Celda seca: Este tipo de celda es más eficiente y segura que la anterior, pero su construcción es compleja ya que el electrolito se encuentra dentro de la celda (Pesantes, 2019, p. 25).

2.2.14.1. Condiciones para que operen las celdas

Las condiciones de operación de las celdas deben ser cuidadosamente definidas, la elección de los materiales se elige según su resistencia a la acción del electrólito y a la acción del gas, las concentraciones y temperaturas del electrolito se determinan correctamente, para obtener la máxima conductividad específica, el desprendimiento de vapor y burbujas se realiza de manera rápida. Es de larga vida y de poco mantenimiento (Bazán, 2016, p. 55).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El objetivo del trabajo de titulación fue diseñar y construir un reactor para la producción de hidrógeno a través de la electrólisis del agua. El hidrógeno obtenido se utiliza como una fuente de energía renovable, reemplazando a los combustibles fósiles que generan altas emisiones contaminantes. Para lograr los objetivos establecidos, es fundamental realizar una selección eficiente de materiales adecuados que garanticen el funcionamiento óptimo del reactor en la obtención de hidrógeno.

La elección de materiales adecuados es esencial para garantizar la eficiencia, durabilidad y seguridad del proceso de electrólisis. Los materiales seleccionados deben ser compatibles con los componentes del reactor y resistentes a los efectos corrosivos del agua y la corriente eléctrica. Además, se deben considerar propiedades como la conductividad eléctrica, la estabilidad química y la resistencia a altas temperaturas.

Una selección eficaz de materiales contribuirá a asegurar un funcionamiento óptimo del reactor, maximizando la producción de hidrógeno y minimizando posibles problemas relacionados con la corrosión o la degradación de los materiales utilizados.

3.1. Tipo de estudio

En el proyecto realizado, un investigador manipuló varias variables de estudio con el fin de controlarlas y observar su impacto en las conductas observadas. Se llevó a cabo un cambio en el valor de una variable independiente, en este caso, la corriente, y se demostró su efecto en otra variable dependiente, que es la generación de hidrógeno, considerada como combustible limpio. Este proyecto se clasificó como técnico, debido a la manipulación de la variable independiente, la corriente, para evaluar su influencia en la variable dependiente, la generación de hidrógeno. Durante el desarrollo del proyecto, se tomaron las precauciones necesarias para evitar situaciones o eventos no deseados.

Además, el proyecto se enmarcó en un enfoque cuantitativo, ya que estaba asociado a la función técnica del trabajo de integración curricular. Su objetivo principal fue demostrar cómo ocurre el proceso y las razones detrás de ello, utilizando variables y análisis cuantitativos para respaldar las conclusiones obtenidas.

3.2. Identificación de variables

3.2.1. Variable dependiente

- Combustible limpio (Hidrogeno generado)

3.2.2. Variable independiente

- Corriente (Amp)

3.2.3. Variables intervinientes

- Agua destilada

3.3. Localización

El presente proyecto se realizó en la ciudad de Riobamba con la finalidad de obtener un combustible viable para el laboratorio de Reacciones de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

3.4. Población de estudio y/o muestreo

La población de estudio en este trabajo de titulación corresponde el lote de producción de combustible limpio utilizando agua destilada, el tamaño de la muestra es toda la población estudiada (10 litros de agua tratada).

3.5. Diseño

3.5.1. Ecuaciones para el diseño de un reactor para la producción de hidrógeno

3.5.1.1. Área del recipiente

El área es la medida de la superficie o región, que cubre a la figura, es fundamental en matemáticas para su cuantificación.

$$A = 2h(a + b) + 2ab$$

Ecuación 3-1.

Dónde

a = lado 1 de la base

b = lado 2 de la base

h = altura

3.5.1.2. Volumen del recipiente

Es el espacio ocupado por un cuerpo, su magnitud es escalar, medidas del espacio tres dimensiones.

$$Vol = a * b * h$$

Ecuación 3-2.

Dónde:

a = lado 1 de la base

b = lado 2 de la base

h = altura

3.5.2. Área activa

Es aquella área que se encuentra en contacto con la solución y el electrodo.

$$a_c = x * h$$

Ecuación 3-3.

Dónde:

a_c = área activa de la placa

x = ancho de la placa

h = altura de la placa

3.5.3. Corriente de soporte de cada placa

En la relación amperio por centímetro Michael Faraday expuso que las celdas electroquímicas de tipo electrólisis podrían soportar hasta 0,084 amperios por cm^2 sin tener que llegar a un sobrecalentamiento.

$$I_s = a_c * \frac{0,084 A}{1 \text{ cm}^2}$$

Ecuación 3-4.

Dónde:

I_s = corriente de soporte de cada placa

a_c = área activa de la placa

3.5.4. Número de placas

$$n = n_1 * \frac{I_t}{I_s}$$

Ecuación 3-5.

Dónde:

n = número total de placas

n_1 = número de placa

I_s = corriente de soporte de cada placa

I_t = corriente total máxima de la celda

3.5.5. Dimensiones de las placas

x = ancho de la placa (cm)

n = número de placas

e = espesor

h = altura

3.5.6. Volumen de la celda

$$V_c = x * h * e$$

Ecuación 3-6.

Dónde

V_c = volumen de la celda

x = ancho de la celda

h = altura

e = espesor

3.5.7. Volumen total de las celdas

$$V_{TC} = V_c * n$$

Ecuación 3-7.

Dónde:

V_{TC} = Volumen total de la celda

V_c = Volumen de la celda

n = número de celdas

3.5.8. Área de la celda

$$A = x * h$$

Ecuación 3-8.

Dónde

A = área de la celda

x = ancho de la celda

h = altura de la celda

3.5.9. Área total de la celda

$$A_t = A * n$$

Ecuación 3-9.

Dónde

A_t = área total de la celda

A = área de la celda

n = número de celdas

3.5.10. Elaboración de planos

Una vez obtenidos los datos para el diseño del reactor se utilizó un software CAD, con el fin de plasmar las dimensiones obtenidas. Ver anexo A.

3.5.11. Cálculo de producción del gas

3.5.11.1. Cantidad de moléculas de agua

Se halla la cantidad de moléculas de agua que hay en 9,5172 L de solución, en dicha solución existe el 20 % de NaOH, así que la cantidad de agua pura es de 9,3269 L.

$$n_{\text{moles}} = \frac{M}{PM}$$

Ecuación 3-10.

Dónde:

M = masa en gramos

PM = peso molecular

3.5.11.2. Cálculo de los gramos de hidrógeno que hay en 9326,9 g de agua

$$g_{\text{hidrógeno}} = n_{\text{moles}} * M$$

Ecuación 3-11.

Dónde:

$g_{\text{hidrógeno}}$ = gramos de hidrógeno

n_{moles} = número de moles del agua

M = masa molar del hidrógeno

3.5.11.3. Cálculo de la composición centesimal (%) de hidrógeno que hay en 9326,9 g de agua

$$\% \text{ de hidrógeno} = \frac{g_{\text{hidrógeno}}}{\text{gramos de agua}} * 100$$

Ecuación 3-12.

Dónde:

% de hidrógeno = composición centesimal de hidrógeno

$g_{\text{hidrógeno}}$ = gramos de hidrógeno

gramos de agua = cantidad de agua que hay en la solución

3.5.11.4. Cálculo de los gramos de oxígeno que hay en 9326,9 g de agua

$$g_{\text{oxígeno}} = n_{\text{moles}} * M$$

Ecuación 3-13.

Dónde:

$g_{\text{oxígeno}}$ = gramos de hidrógeno

n_{moles} = número de moles del agua

M = masa molar del hidrógeno

3.5.11.5. Cálculo de la composición centesimal (%) de hidrógeno que hay en 9326,9 g de agua

$$\% \text{ de oxígeno} = \frac{g_{\text{oxígeno}}}{\text{gramos de agua}} * 100$$

Ecuación 3-14.

Dónde:

% de oxígeno = composición centesimal de hidrógeno

$g_{\text{oxígeno}}$ = gramos de hidrógeno

gramos de agua = cantidad de agua que hay en la solución

3.5.12. Cálculo de producción del gas aplicando corriente

3.5.12.1. Cálculo de la carga eléctrica

$$Q = I * t$$

Ecuación 3-15.

Dónde:

Q = carga eléctrica (C)

I = corriente (A)

t = tiempo (segundos)

3.5.12.2. Cálculo de la cantidad de moles

$$n \text{ moles } e = Q * \frac{1 \text{ mol } e}{96500}$$

Ecuación 3-16.

Dónde:

n moles e = número de moles

Q = carga eléctrica (C)

1 mol e = 96500 C

3.5.12.3. Cálculo de moles de hidrógeno

$$\text{Moles de electrón } H_2O = \text{moles de } H_2 + \text{mol de } O_2$$

Ecuación 3-17.

3.5.12.4. Cálculo del volumen de hidrógeno y oxígeno

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

Ecuación 3-18.

Dónde:

V = volumen de hidrógeno u oxígeno

n = moles del gas

R = constante universal de los gases ideales

T = temperatura absoluta

P = presión absoluta

3.5.12.5. Cálculo del calor la disolución del agua más NaOH, en el reactor

$$Q = m * C_e * \Delta T$$

Ecuación 3-19.

Donde:

Q = calor

m = cantidad de la disolución

C_e = calor específico

3.5.12.6. Cálculo de la variación de la entalpía ΔH

$$\Delta H = \text{moles de NaOH} * \frac{PA}{\text{moles de NaOH}} * \frac{Q}{\text{gramos de NaOH}}$$

Ecuación 3-20.

Donde:

Q = calor

PA = peso atómico

3.6. Construcción del reactor para la producción de hidrógeno

3.6.1. Materiales

Los materiales seleccionados deben cumplir principales funciones para su uso, tener alta resistencia a la corrosión, ser buenos conductores de electricidad, económicos y accesibles para sus principales usos (Pesantes, 2019, p. 20).

3.6.1.1. Celdas electrolíticas

Se produce el proceso de la electrólisis, donde ocurre reacciones químicas de oxidación-reducción mediante energía eléctrica.

3.6.1.2. Acero Inoxidable (AISI 304)

El acero inoxidable 304 es considerado como el más versátil debido a la gran aplicación que tiene en las industrias químicas, farmacéuticas, aeronáuticas, alimenticia, etc. Está constituido por un 18% de cromo y 8% de níquel, con carbono limitado a un máximo de 0,08%. La importancia de la selección de acero, permite que sean resistentes a la corrosión, costo y disponibilidad.

3.6.1.3. Conexiones eléctricas

Son conexiones o circuitos eléctricos que van a la asta de la red eléctrica para abastecer de energía de manera continua. Estos circuitos se utilizan para proporcionar energía constante y estable a equipos y dispositivos eléctricos, permitiendo su funcionamiento sin interrupciones.

3.6.1.4. Unidad inversora de alimentación eléctrica VDC

Este generador alimenta directamente a las celdas electrolíticas y cuenta con una conexión para alimentación en 110 V 60 Hz tiene por objeto activar las celdas electrolíticas del equipo para la generación de hidrógeno. El generador trabaja con una conexión directa con las celdas electrolíticas por lo que es muy imperativo revisar la conexiones antes de activar el generador.

3.6.1.5. Mangueras de flujo y reflujos

Permite el paso de los gases obtenidos para controlar la presión interna y asegurarse de que no exceda un límite deseado. Esto se logra mediante el uso de válvulas de control o dispositivos similares.

3.6.1.6. Válvula lateral descarga

Es una válvula de control de presión, esta válvula se utiliza para regular el flujo de gas y controlar la presión en equipos o sistemas que manejan gases. Su función es mantener la presión dentro de un rango específico, evitando que esta se eleve a niveles peligrosos o que caiga por debajo de los requisitos operativos.

3.6.1.7. Base soporte inoxidable

Son resistentes a productos químicos agresivos tales como ácidos, bases y disolventes, es el soporte que contiene al equipo para su funcionamiento.

3.6.1.8. Arrestallamas

Es un dispositivo de seguridad utilizados en tanques que almacenan productos volátiles como solventes, alcoholes y combustibles, su función es evitar que una chispa pase al interior del tanque y provoque una explosión.

3.6.1.9. Manómetro

Es un dispositivo utilizado para medir la presión en fluidos contenidos en un sistema cerrado, pudiendo conocer la magnitud de la presión y monitorearla en diferentes aplicaciones industriales, comerciales y domésticas.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO

4.1. Cálculos

4.1.1. Diseño de un reactor para la producción de hidrógeno

4.1.1.1. Área del recipiente

El área del recipiente se obtuvo a partir de la ecuación 3-1

$$A = 2(25,60)(21,10 + 21,10) + 2(21,10)(21,10)$$
$$A = 3051,06 \text{ cm}^2$$

4.1.1.2. Volumen del recipiente

El volumen del recipiente se obtuvo a partir de la ecuación 3-2

$$Vol = 21,10 * 21,10 * 25,60$$
$$Vol = 11397.376 \text{ cm}^3$$

4.1.2. Área activa

El área activa se obtuvo a partir de la ecuación 3-3.

$$a_c = 6 \text{ cm} * 8,5 \text{ cm}$$
$$a_c = 51 \text{ cm}^2$$

4.1.3. Corriente de soporte de cada placa

La corriente de soporte de cada placa se obtuvo a partir de la ecuación 3-4

$$I_s = 51 \text{ cm}^2 * \frac{0,084 \text{ A}}{1 \text{ cm}^2}$$
$$I_s = 4,284 \text{ A}$$

4.1.4. Número de placas

El número de placas se obtuvo a partir de la ecuación 5-3

$$n = 1 * \frac{30 A}{4,284 A}$$
$$n = 7,5$$

4.1.5. Dimensiones de las placas

Las dimensiones de las placas se obtuvieron a partir del diseño realizado.

$$x = 13 \text{ cm}$$
$$n = 15 \text{ placas}$$
$$e = 1,5 \text{ cm}$$
$$h = 15,50 \text{ cm}$$

4.1.6. Volumen de la celda

El volumen de la celda se obtuvo a partir de la ecuación 3-6.

$$V_c = 13 * 15,50 * 1,5$$
$$V_c = 302,25 \text{ cm}^3$$

4.1.7. Volumen total de las celdas

El volumen total se obtuvo a partir de la ecuación 3-7

$$V_{TC} = 302,25 \text{ cm}^3 * 15$$
$$V_{TC} = 4533,75 \text{ cm}^3$$

4.1.8. Área de la celda

El volumen total se obtuvo a partir de la ecuación 3-8.

$$A = 13 * 15,50$$
$$A = 201,5 \text{ cm}^2$$
$$35$$

4.1.9. Área total de la celda

El área total se obtuvo a partir de la ecuación 3-9.

$$A_t = 201,5 \text{ cm}^2 * 15$$

$$A_t = 3022,5 \text{ cm}^2$$

4.1.10. Cálculo de producción del gas

4.1.10.1. Cantidad de moléculas de agua

La cantidad de moléculas se obtuvo a partir de la ecuación 3-10. Se halla la cantidad de moléculas de agua que hay en 9,5172 L de solución, en dicha solución existe el 2% de NaOH, así que la cantidad de agua pura es de 9,3269 L.

$$9,3269 \text{ l} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ l}} = 9326,9 \text{ g}$$

$$n_{\text{moles}} = \frac{9326,9 \text{ g}}{18 \text{ g}}$$

$$n_{\text{moles}} = 518,16 \text{ mol}$$

4.1.10.2. Cálculo de los gramos de hidrógeno que hay en 9326,9 g de agua

El cálculo de los gramos de hidrógeno se obtuvo a partir de la ecuación 3-11.

$$g_{\text{hidrógeno}} = 518,16 \text{ mol} * 2 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) \text{ hidrógeno}$$

$$g_{\text{hidrógeno}} = 1036,32 \text{ g}$$

4.1.10.3. Cálculo de la composición centesimal (%) de hidrógeno que hay en 9326,9 g de agua

El cálculo de la composición centesimal de hidrógeno obtuvo a partir de la ecuación 3-12.

$$\% \text{ de hidrógeno} = \frac{1036,32 \text{ g}}{9326,9 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{ de hidrógeno} = 11,11\%$$

4.1.10.4. Cálculo de los gramos de oxígeno que hay en 9326,9 g de agua

El cálculo de los gramos de oxígeno obtuvo a partir de la ecuación 3-13.

$$g_{\text{oxígeno}} = 518,16 \text{ mol} * 16 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) \text{ oxígeno}$$
$$g_{\text{oxígeno}} = 8290,56 \text{ g}$$

4.1.10.5. Cálculo de la composición centesimal (%) de oxígeno que hay en 9326,9 g de agua

El cálculo de la composición centesimal de oxígeno obtuvo a partir de la ecuación 3-14.

$$\% \text{ de oxígeno} = \frac{8290,56 \text{ g}}{9326,9 \text{ g}} * 100$$
$$\% \text{ de oxígeno} = 88,88 \%$$

4.1.11. Cálculo de producción del gas aplicando corriente

Utilizando las ecuaciones del apartado 3.5.12 se calculó la producción del gas aplicando corriente, para 5 pruebas a diferente amperaje en el rango de 1 – 20 Amperios.

- **PRUEBA 1**

- *Cálculo de la carga eléctrica*

$$Q = (1,908) * (60)$$
$$Q = 114,48 \text{ C}$$

- *Cálculo de la cantidad de moles*

$$n \text{ moles e} = 114,48 \text{ C} * \frac{1 \text{ mol e}}{96500}$$
$$n \text{ moles e} = 1,18 \times 10^{-3} \text{ moles}$$

- *Cálculo de moles de hidrógeno*

$$2 (1,18 \times 10^{-3} \text{ mol de e}) = 2 (1,18 \times 10^{-3} \text{ mol de e}) + 1 (1,18 \times 10^{-3} \text{ mol de e})$$

$$2,36 \times 10^{-3} \text{ mol de e} = 2,36 \times 10^{-3} \text{ mol de e H}_2 + 1,18 \times 10^{-3} \text{ mol de e O}_2$$

Convirtiendo los moles de hidrógeno (H_2) a gramos

$$2,36 \times 10^{-3} \text{ mol de e H}_2 \times \frac{2 \text{ g}}{\text{mol}} = 4,72 \times 10^{-3} \text{ g}$$

Convirtiendo los moles de oxígeno (O_2) a gramos

$$1,18 \times 10^{-3} \text{ mol de e O}_2 \times \frac{16 \text{ g}}{\text{mol}} = 0,0189 \text{ g}$$

- *Cálculo del volumen de hidrógeno*

$$V = \frac{(2,36 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2)(0,081 \frac{\text{l atm}}{\text{k mol}})(289,15 \text{ K})}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 0,055 \text{ l}$$

- *Cálculo del volumen de oxígeno*

$$V = \frac{(1,18 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2)(0,081 \frac{\text{l atm}}{\text{k mol}})(289,15 \text{ K})}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 0,027 \text{ l}$$

- *Cálculo del calor la disolución del agua más NaOH, en el reactor.*

$$Q = 9517 * 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * 7$$

$$Q = 278467,42 \text{ J}$$

- *Cálculo de la variación de la entalpía ΔH*

$$\Delta H = 1 \text{ mol de NaOH} * \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol de NaOH}} * \frac{278467,42 \text{ J}}{28 \text{ g de NaOH}}$$

$$\Delta H = 397810,6 \text{ J}$$

- **PRUEBA 2**

- *Cálculo de la carga eléctrica*

$$Q = (3,54) * (60)$$

$$Q = 212,4 C$$

- *Cálculo de la cantidad de moles*

$$n \text{ moles e} = 212,4 C * \frac{1 \text{ mol e}}{96500}$$

$$n \text{ moles e} = 2,201 \times 10^{-3} \text{ moles}$$

- *Cálculo de moles de hidrógeno*

$$2 (2,201 \times 10^{-3} \text{ mol de e}) = 2 (2,201 \times 10^{-3} \text{ mol de e}) + 1 (2,201 \times 10^{-3} \text{ mol de e})$$

$$4,402 \times 10^{-3} \text{ mol de e} = 4,402 \times 10^{-3} \text{ mol de e H}_2 + 2,201 \times 10^{-3} \text{ mol de e O}_2$$

Convirtiendo los moles de hidrógeno (H_2) a gramos

$$4,402 \times 10^{-3} \text{ mol de e H}_2 \times \frac{2 \text{ g}}{\text{mol}} = 8,804 \times 10^{-3}$$

Convirtiendo los moles de oxígeno (O_2) a gramos

$$2,201 \times 10^{-3} \text{ mol de e O}_2 \times \frac{16 \text{ g}}{\text{mol}} = 0,0352 \text{ g}$$

- *Cálculo del volumen de hidrógeno*

$$V = \frac{(4,402 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2)(0,081 \frac{l \text{ atm}}{k \text{ mol}})(289,15 K)}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 0,10 l$$

- *Cálculo del volumen de oxígeno*

$$V = \frac{(2,201 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2)(0,081 \frac{\text{l atm}}{\text{k mol}})(289,15 \text{ K})}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 0,05 \text{ l}$$

- *Cálculo del calor la disolución del agua más NaOH, en el reactor.*

$$Q = 9517 * 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * 8$$

$$Q = 320054,24 \text{ J}$$

- *Cálculo de la variación de la entalpía ΔH*

$$\Delta H = 1 \text{ mol de NaOH} * \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol de NaOH}} * \frac{320054,24 \text{ J}}{28 \text{ g de NaOH}}$$

$$\Delta H = 457220,34 \text{ J}$$

- **PRUEBA 3**

- *Cálculo de la carga eléctrica*

$$Q = (12,375) * (60)$$

$$Q = 742,5 \text{ C}$$

- *Cálculo de la cantidad de moles*

$$n \text{ moles e} = 742,5 \text{ C} * \frac{1 \text{ mol e}}{96500}$$

$$n \text{ moles e} = 7,694 \times 10^{-3} \text{ moles}$$

- *Cálculo de moles de hidrógeno*

$$2 (7,694 \times 10^{-3} \text{ mol de e}) = 2 (7,694 \times 10^{-3} \text{ mol de e}) + 1 (7,694 \times 10^{-3} \text{ mol de e})$$

$$0,0153 \text{ mol de e} = 0,0153 \text{ mol de e H}_2 + 7,694 \times 10^{-3} \text{ mol de e O}_2$$

Convirtiendo los moles de hidrógeno (H_2) a gramos

$$0,0153 \text{ mol de } H_2 \times \frac{2 \text{ g}}{\text{mol}} = 0,0307 \text{ g}$$

Convirtiendo los moles de oxígeno (O_2) a gramos

$$7,694 \times 10^{-3} \text{ mol de } O_2 \times \frac{16 \text{ g}}{\text{mol}} = 0,123 \text{ mol}$$

- *Cálculo del volumen de hidrógeno*

$$V = \frac{(0,0153 \text{ mol } H_2)(0,081 \frac{\text{l atm}}{\text{k mol}})(289,15 \text{ K})}{1 \text{ atm}}$$
$$V = 0,36 \text{ l}$$

- *Cálculo del volumen de oxígeno*

$$V = \frac{(7,694 \times 10^{-3} \text{ mol } H_2)(0,081 \frac{\text{l atm}}{\text{k mol}})(289,15 \text{ K})}{1 \text{ atm}}$$
$$V = 0,18 \text{ l}$$

- *Cálculo del calor la disolución del agua más NaOH, en el reactor.*

$$Q = 9517 * 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * 9$$
$$Q = 358029,54 \text{ J}$$

- *Cálculo de la variación de la entalpía ΔH*

$$\Delta H = 1 \text{ mol de NaOH} * \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol de NaOH}} * \frac{358029,54 \text{ J}}{28 \text{ g de NaOH}}$$
$$\Delta H = 511470,77 \text{ J}$$

- **PRUEBA 4**

- *Cálculo de la carga eléctrica*

$$Q = (15,861) * (60)$$

$$Q = 951,66 \text{ C}$$

- *Cálculo de la cantidad de moles*

$$n \text{ moles e} = 951,66 \text{ C} * \frac{1 \text{ mol e}}{96500}$$

$$n \text{ moles e} = 9,862 \times 10^{-3} \text{ moles}$$

- *Cálculo de moles de hidrógeno*

$$2 (9,862 \times 10^{-3} \text{ mol de e}) = 2 (9,862 \times 10^{-3} \text{ mol de e}) + 1 (9,862 \times 10^{-3} \text{ mol de e})$$

$$0,0197 \text{ mol de e} = 0,0197 \text{ mol de e H}_2 + 9,862 \times 10^{-3} \text{ mol de e O}_2$$

Convirtiendo los moles de hidrógeno (H_2) a gramos

$$0,0197 \text{ mol de e H}_2 \times \frac{2 \text{ g}}{\text{mol}} = 0,0394 \text{ g}$$

Convirtiendo los moles de oxígeno (O_2) a gramos

$$9,862 \times 10^{-3} \text{ mol de e O}_2 \times \frac{16 \text{ g}}{\text{mol}} = 0,158 \text{ g}$$

- *Cálculo del volumen de hidrógeno*

$$V = \frac{(0,0197 \text{ mol H}_2)(0,081 \frac{\text{l atm}}{\text{k mol}})(289,15 \text{ K})}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 0,46 \text{ l}$$

- *Cálculo del volumen de oxígeno*

$$V = \frac{(9,862 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2)(0,081 \frac{\text{l atm}}{\text{k mol}})(289,15 \text{ K})}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 0,23 \text{ l}$$

- *Cálculo del calor la disolución del agua más NaOH, en el reactor.*

$$Q = 9517 * 4,18 \frac{J}{g \text{ } ^\circ C} * 11$$

$$Q = 437591,66 J$$

- *Cálculo de la variación de la entalpía ΔH*

$$\Delta H = 1 \text{ mol de NaOH} * \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol de NaOH}} * \frac{437591,66 J}{28 \text{ g de NaOH}}$$

$$\Delta H = 625130,94 J$$

- **PRUEBA 5**

- *Cálculo de la carga eléctrica*

$$Q = (16,595) * (60)$$

$$Q = 995,7 C$$

- *Cálculo de la cantidad de moles*

$$n \text{ moles e} = 995,7 C * \frac{1 \text{ mol e}}{96500}$$

$$n \text{ moles e} = 0,010 \text{ moles}$$

- *Cálculo de moles de hidrógeno*

$$2 (0,010 \text{ mol de e}) = 2 (0,010 \text{ mol de e}) + 1 (0,010 \text{ mol de e})$$

$$0,02 \text{ mol de e} = 0,02 \text{ mol de e H}_2 + 0,010 \text{ mol de e O}_2$$

Convirtiendo los moles de hidrógeno (H_2) a gramos

$$0,02 \text{ mol de e H}_2 * \frac{2 \text{ g}}{\text{mol}} = 0,04 \text{ g}$$

Convirtiendo los moles de oxígeno (O_2) a gramos

$$0,010 \text{ mol de e O}_2 * \frac{16 \text{ g}}{\text{mol}} = 0,16 \text{ g}$$

- *Cálculo del volumen de hidrógeno*

$$V = \frac{(0,02 \text{ mol H}_2)(0,081 \frac{\text{l atm}}{\text{k mol}})(289,15 \text{ K})}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 0,47 \text{ l}$$

- *Cálculo del volumen de oxígeno*

$$V = \frac{(0,010 \text{ mol H}_2)(0,081 \frac{\text{l atm}}{\text{k mol}})(289,15 \text{ K})}{1 \text{ atm}}$$

$$V = 0,234 \text{ l}$$

- *Cálculo del calor la disolución del agua más NaOH, en el reactor.*

$$Q = 9517 * 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g } ^\circ\text{C}} * 18$$

$$Q = 716059,98 \text{ J}$$

- *Cálculo de la variación de la entalpía ΔH*

$$\Delta H = 1 \text{ mol de NaOH} * \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol de NaOH}} * \frac{716059,98 \text{ J}}{28 \text{ g de NaOH}}$$

$$\Delta H = 1022942,829 \text{ J}$$

4.2. Resultados

4.2.1. Condiciones de las pruebas

En la tabla 4-1 se describen las condiciones generales en las que se trabajó cada prueba.

Tabla 4-1: Condiciones de las pruebas

Prueba	Presión (atm)	Temperatura (°K)	Tiempo (min)	Concentración NaOH (g)
1	1	298,15	1	190,3
2	1	298,15	1	190,3
3	1	298,15	1	190,3
4	1	298,15	1	190,3
5	1	298,15	1	190,3

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

4.2.2. Producción de hidrógeno

Tabla 4-2: Producción de Hidrógeno

Corriente (Amp)	Carga eléctrica (C)	Moles (mol)	Masa (g)
1,908	114,48	$2,36 \times 10^{-3}$	$4,72 \times 10^{-3}$
3,540	212,4	$4,402 \times 10^{-3}$	$8,804 \times 10^{-3}$
12,375	742,5	0,0153	0,0307
15,861	951,66	0,0197	0,0394
16,595	997,5	0,02	0,04

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

En la tabla 4-2 se puede evidenciar que existe una variación de amperaje, el cálculo de las moles se obtuvo mediante la reacción total obtenida por estequiometría, los respectivos datos serán utilizados para hallar, el volumen del hidrógeno.

4.2.3. Producción de oxígeno

Tabla 4-3: Producción de Oxígeno

Corriente (Amp)	Carga eléctrica (C)	Moles (mol)	Masa (g)
1,908	114,48	$1,18 \times 10^{-3}$	0,0189
3,540	212,4	$2,201 \times 10^{-3}$	0,0352
12,375	742,5	$7,694 \times 10^{-3}$	0,123
15,861	951,66	$9,862 \times 10^{-3}$	0,158
16,595	997,5	0,01	0,16

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

En la tabla 4-3 se puede evidenciar que existe una variación de amperaje, el cálculo de las moles se obtuvo mediante la reacción total obtenida por estequiometría, los respectivos datos serán utilizados para hallar, el volumen del oxígeno.

4.2.4. Potencia requerida para la producción de hidrógeno

Tabla 4-4: Potencia requerida para la producción de Hidrógeno

Prueba	Corriente (Amp)	Voltaje (V)	Potencia (W)
1	1,908	4,377	8,351
2	3,540	6,348	22,474
3	12,375	16,408	203,077
4	15,861	20,070	318,443
5	16,595	20,57	341,3524

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

La potencia máxima obtenida es de 341,3524 W, la potencia va incrementando según el nivel de amperaje consumido, para la producción de hidrógeno.

4.2.5. Volumen del hidrógeno

Tabla 4-5: Volumen del Hidrógeno

Prueba	Corriente (Amp)	Volumen del Hidrógeno (L)
1	1,908	0,055
2	3,540	0,1
3	12,375	0,36
4	15,861	0,46
5	16,595	0,47

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

Según la referencia de Ramírez (2021, p.9), durante el proceso de electrólisis en el reactor de hidrógeno utilizando la cantidad de los gases ideales, se obtendrán datos cuantitativos. Se descubrió que un factor determinante en la generación de gas es el volumen de la celda del electrolito, así como el nivel de amperaje aplicado. Se encontró que, a mayores volúmenes de la celda y niveles de amperaje, se puede generar una mayor cantidad de gas.

En la tabla 4-4, se presentan los resultados obtenidos de 5 pruebas realizadas con diferentes variaciones de corriente. Utilizando 15 placas de acero inoxidable, se dio una producción de 0,47 litros de hidrógeno de gas con una corriente de 16,595 Amperios durante un funcionamiento continuo de 60 segundos. Estos resultados cuantitativos demuestran la relación entre el nivel de corriente y la producción de gas hidrógeno en el reactor.

A continuación, se muestra gráficamente los resultados obtenidos en esta etapa de la experimentación.

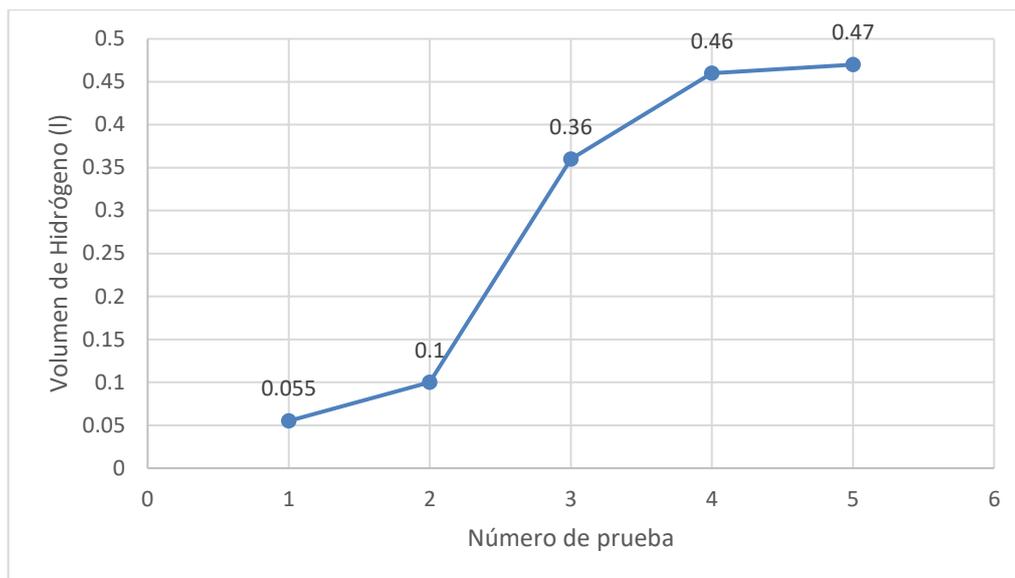


Ilustración 4-1: Volumen del hidrógeno

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

4.2.6. Volumen del oxígeno

Tabla 4-6: Volumen del Oxígeno

Prueba	Corriente (Amp)	Volumen del Oxígeno (L)
1	1,908	0,027
2	3,540	0,05
3	12,375	0,18
4	15,861	0,23
5	16,595	0,234

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

En base a los datos proporcionados por Ramírez (2021, p.2) sobre el proceso de electrólisis en el reactor de hidrógeno y aplicando la fórmula de los gases ideales, se obtuvieron resultados cuantitativos. Según los datos de la tabla 4-5 y 4-6, se observa una relación en la cual, por cada dos moléculas de agua, se obtiene una molécula de gas oxígeno y dos moléculas de gas hidrógeno.

En la tabla 4-6, se produjo una producción de 0,234 litros de gas oxígeno con una corriente de 16,595 Amperios durante un funcionamiento continuo de 60 segundos. Estos resultados cuantitativos indican la cantidad de gas oxígeno generado en relación con la corriente eléctrica aplicada y el tiempo de operación.

A continuación, se presentan gráficos que representan de manera visual los resultados obtenidos en esta etapa de la experimentación. Estos gráficos permiten una mejor comprensión de la relación entre la corriente eléctrica y la producción de gas oxígeno.

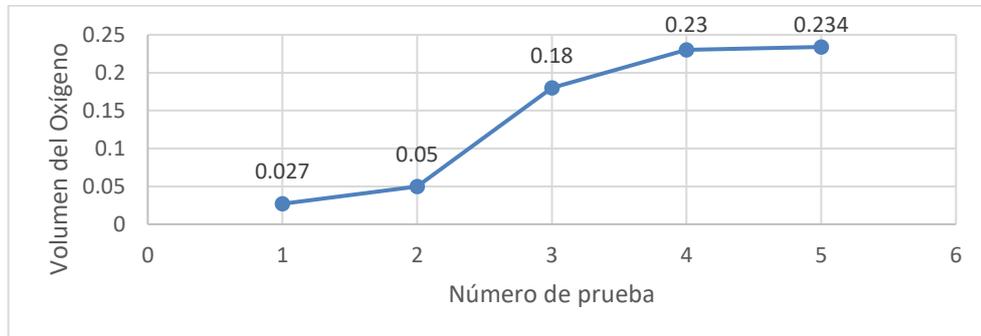


Ilustración 4-2: Volumen del oxígeno

Realizado por: Pacheco, K., 2023.

CONCLUSIONES

- Se diseñó y dimensiono un reactor en el software SOLIDWORKS con un volumen de 10 litros, altura igual a 21,10 cm, área del recipiente de 3051,06 cm², y un generador de corriente continua de alimentado a una corriente de 110 voltios. El equipo cuenta con placas inoxidable, conexiones eléctricas, mangueras de conexión, arresta llama, válvula de descarga y una base de soporte.
- Se construyó un reactor de hidrógeno en base a los parámetros y variables del diseño de ingeniería utilizando como materiales: acero inoxidable, acrílico, mangueras, conexiones eléctricas, etc, estos materiales garantizaron la eficiencia del funcionamiento del reactor.
- Se determinó el volumen producido por el reactor tanto de hidrógeno como de oxígeno a diferentes niveles de amperaje obteniendo que ha mayor amperaje mayor volumen de estos gases existirá. A partir de ello se obtuvo que, en la corriente de 16, 595 Amperios el volumen producido fue de 0,47 L y 0,234 L para hidrógeno y oxígeno, respectivamente.
- Se realizó la documentación respectiva para el manejo y mantenimiento adecuado del equipo y su guía de práctica para el laboratorio de Reacciones de la Facultad de Ciencias, perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

RECOMENDACIONES

- Al realizar la mezcla del agua destilada con la sosa caustica es necesario utilizar un recipiente que sea resistente a altas temperaturas, debido a que estos químicos liberan calor por la energía que se produce en la reacción, su mezcla se debe realizar por intervalos prolongados.
- Realizar el mantenimiento del equipo pre y post a la producción de hidrógeno, para evitar la corrosión de las celdas de electrolisis, esto ayudara a garantizar la conservación y buen funcionamiento de este.
- Se recomienda revisar la continuidad de las líneas de conexión eléctrica antes iniciar con el funcionamiento del equipo.
- Revisar la conexión entre las placas de la misma polaridad y el aislamiento entre placas de diferente polaridad, antes de realizar el arranque del equipo.
- El equipo no debe contener fugas por donde escape el gas, al momento de su producción, es decir debe ser completamente hermético.

GLOSARIO

Ánodo: Electrodo en el que se produce la reacción de oxidación, en la cual existe una pérdida de electrones, aumentando su estado de oxidación (EJ: +1 a +3). Aplicado a la producción de hidrógeno mediante electrólisis, en este electrodo se forma el oxígeno a través de la oxidación del agua.

Cátodo: Electrodo que se produce la reacción de reducción, en la cual existe una ganancia de electrones, disminuyendo su estado de oxidación (EJ: +3 a +1). Aplicado a la producción de hidrógeno mediante electrólisis, en este electrodo se forma el hidrógeno / Ver también la definición de ánodo.

Celdas electroquímicas: Son dispositivos que son capaces de transformar la energía química originada en un proceso redox espontáneo en energía eléctrica.

Electrolisis: Proceso en el cual mediante el uso de electricidad se separan ciertos compuestos. En el caso de la electrólisis del agua, se obtiene como producto hidrógeno y oxígeno.

Electrodo: Lugar donde se ocurren las semirreacciones de oxidación y reducción. Este suele estar hecho de distintos materiales, como el acero inoxidable, óxido de rutenio, iridio, entre otros dependiendo de los requerimientos de la operación.

Electrolito: Es un medio, el cual puede ser líquido o sólido y es capaz de conducir corriente eléctrica debido al movimiento de iones.

Electrolizador: Corresponde al equipo que realiza el proceso de electrólisis de manera industrial. Está compuesto por un ánodo y un cátodo. El ánodo está conectado a la terminal positiva de la fuente de poder y el cátodo a la terminal negativa.

Electrolizador Alcalino: Este tipo de electrolizadores tiene una gran madurez en el mercado.

Ion: Es una partícula cargada con carga. Esta puede ser un átomo o una molécula (unión de dos o más átomos).

Solución Electrolítica: Es una solución compuesta por electrolitos, los cuales son capaces de conducir la corriente eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

AGUINAGA, Álvaro. “Diseño y construcción de un reactor tipo batch para el Laboratorio de Operaciones”. *Revista Politécnica*, vol. 30, n°3 (2009), pp.10-20

AGUIRRE G, O. *Celdas de hidrógeno y su potencial de aplicación*. Mexico: Veracruzana Libros, 2013, p.43.

ARMAS ROQUE, María Isabel & PONCE ANDRADE, Daniela Yesenia. Diseño y construcción de un reactor discontinuo de saponificación para el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH (Trabajo de titulación. (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2019.p.54.

AUTODESK. *¿Qué es el software de CAD?* [blog]. [Consulta: 10 abril 2023]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/solutions/cad-software>.

BAIRD, Colin. *Química Ambiental*. España: Reverté, 2021, pp.84-291.

BAZÁN, Jorge. *Elabiración de una celda Hidrógeno para su uso como soplete*. México: Benemérita UAP, 2016, p.12.

CASTILLO CÁRDENAS, Doris Lorena. Diseño y construcción de un reactor de fermentacion obscura para producción de Bio-Hidrógeno con lodos irradiados por radiación Gamma (Trabajo de titulación). (Titulación) . Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2020, p.76.

CORONEL, Julio. *Diseño, construcción y puesta a prueba de un reactor fotocatalítico de radiación solar simulada*. Ecuador: Universidad Internacional SEK, 2018, p.7

DONOSO QUIMBITA, Caterine, et al. “Diseño y construcción de un prototipo de planta dispensadora de hidrógeno doméstica, con electrolizador híbrido, solar y eléctrico”. *UTCiencia" Ciencia y Tecnología*, vol. 5, n° 15 (2018), pp. 30-40.

FOGLER, Scott. *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*. Ecuador: Pearson, 2008, p.5.

Fuente, José. Caracterización y funcionamiento de un generador de hidrógeno (Trabajo de titulación). (titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo, Ecuador. 2019. p.6.

HERDOÍZA, Darío Manuel. “Diseño y construcción de un sistema de generación de hidrógeno por electrólisis”. *Revista UTA*, vol. 1, n° 2 (2022), pp.67.

HORTAL, Mario, & MIRANDA, Ángel. “El hidrógeno-Fundamento de un futuro equilibrado”. *Revista Díaz de Santos*, vol. 2. n°9 (2019), p.4.

HUILCATOMA, Katty Elizabeth. *El hidrógeno como fuente de energía limpia*. Ecuador: Editorial UCE, 2022, p.4.

HURTADO, J., & SORIA, B. *Reactor Fotocatalítico*. Madrid: Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI, 2007, p.7.

IZQUIERDO, José Felipe. *Cinética de las reacciones químicas*. Barcelona: Universidad de Barcelona, 2014, p. 8.

LLORCA, J. *El hidrógeno y nuestro futuro energético*. Barcelona: San Blas, 2010, p.7.

MONTALVAN, A., Et al. “Estado actual en el desarrollo de reactores fotocatalíticos de membranas, para el tratamiento de contaminantes orgánicos persistentes en el agua y las aguas residuales” *Scielo*, vol. 39, n°2 (2019), p.6.

MONTALVAN, J. et al. *Estado actual en el desarrollo de reactores fotocatalíticos de membranas, para el tratamiento de contaminantes orgánicos persistentes en el agua y las aguas residuales* Ecuador: Tecno-Quimica, 2019, p. 39.

MORALES, C.G. *Anàlisis de los circuitos elèctricos para 5to año Electricidad*. Buenos Aires: Escuela Técnica RAGGIO, 2021, p. 30.

MUÑOZ, Victoria, & MAROTO, Ángel. *Operaciones Unitarias y reactores químicos*. Madrid: UNED, 2013. p. 7.

PEÑA, E. et al. “Modelado de un reactor químico tipo CSTR y evaluación del control predictivo aplicando MatlabSimulink”. *Revista INGENIERÍA UC*, vol. 15, n°3 (2008), pp.97-112.

PESANTES, W. S., et al. Optimización de la Producción de Energía de un Celda tipo PEM (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2019. p.23.

QUEZADA, Edison, & TORRES, Diego. *Implementación de un generador de hidrógeno de la celda seca de un vehículo chevrolet steem 1.6L*, Ecuador: Revista UPS-Cuenca, 2014,p.76.

QUIÑONEZ, G.N. *Leyes de Faraday*. Cuenca: Santa Ediciones, 2011, p.1

RAOLA, Oralndo & PÉREZ, Francisco.*El agua*, Ecuador: Revista Científico - Técnica, 2020, p.76.

RICE, William. *La historia de los combustibles fosiles*. EE.UU: DKenn Edición, 2018. pp. 978-989.

RODRÍGUEZ, Tomás. *Los hidrocarburos en castilla y león*. Peru: Domènech e-learning multimedia, 2009. p. 1.

SAPIÑA , F. *El reto energético: Gestionando el legado de Prometeo*. Valencia-España: San Ediciones, 2006, p.5.

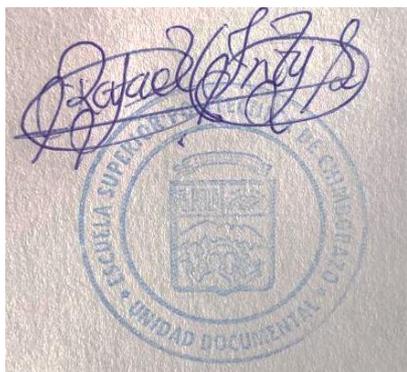
SIMES, E. *Introducción a la química general*. Buenos Aires: Nuevo Amanecer, 2011, p.5.

SUZUKI, Toshiaki. *Produccion de combustión*. México: Maya Impresiones, 2011, p.1.

TELENCHANA CUSPA, Edwin Fabricio. Diseño y construcción de un reactor de obtener hidrógeno para utilizarlo como combustible en un motor de combustión interna Suzuki de 75 cm³ (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad de las Fuerzas Armadas. Latacunga Ecuador, 2018. p.23.

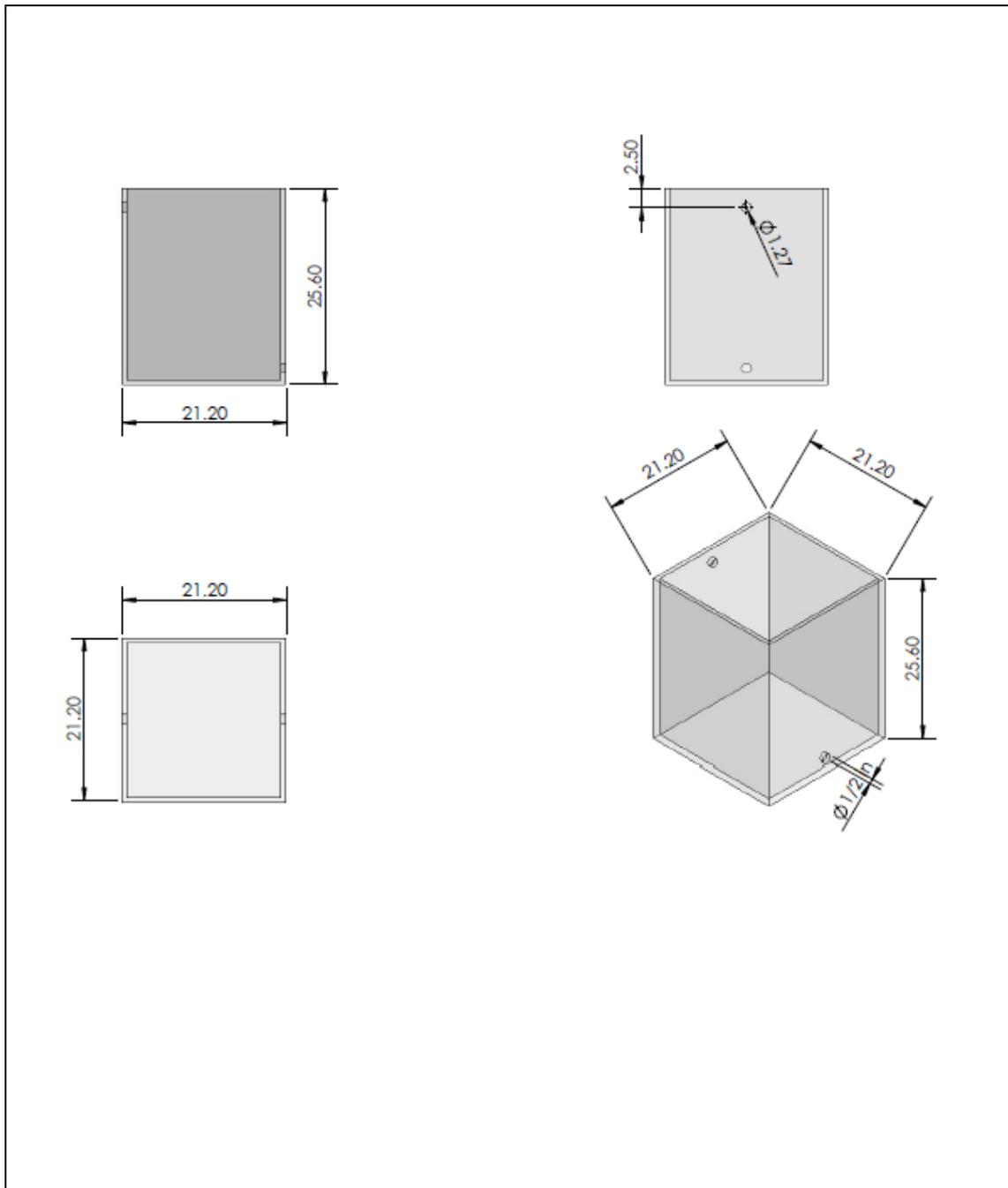
UZI, M. *Principles of Chemical Reactor Analysis and Design*. New Jersey : S/A Books, 2009, p.54.

YANEZ, Ana, Et al. *El hidrógeno y la energía.* Ecuador: NOVA, 2022, p.67.



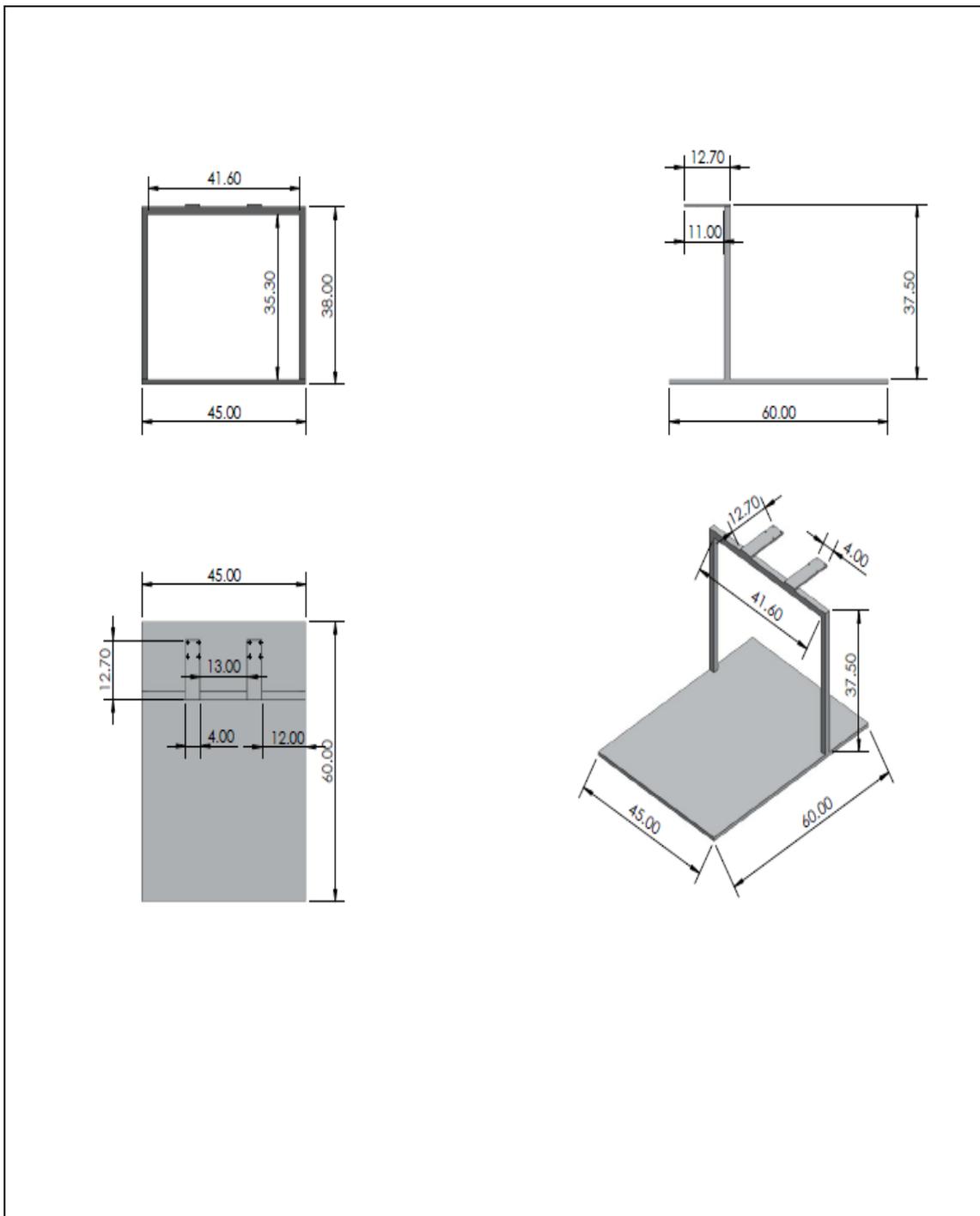
ANEXOS

ANEXO A: DIMENSIONES DEL RECIPIENTE



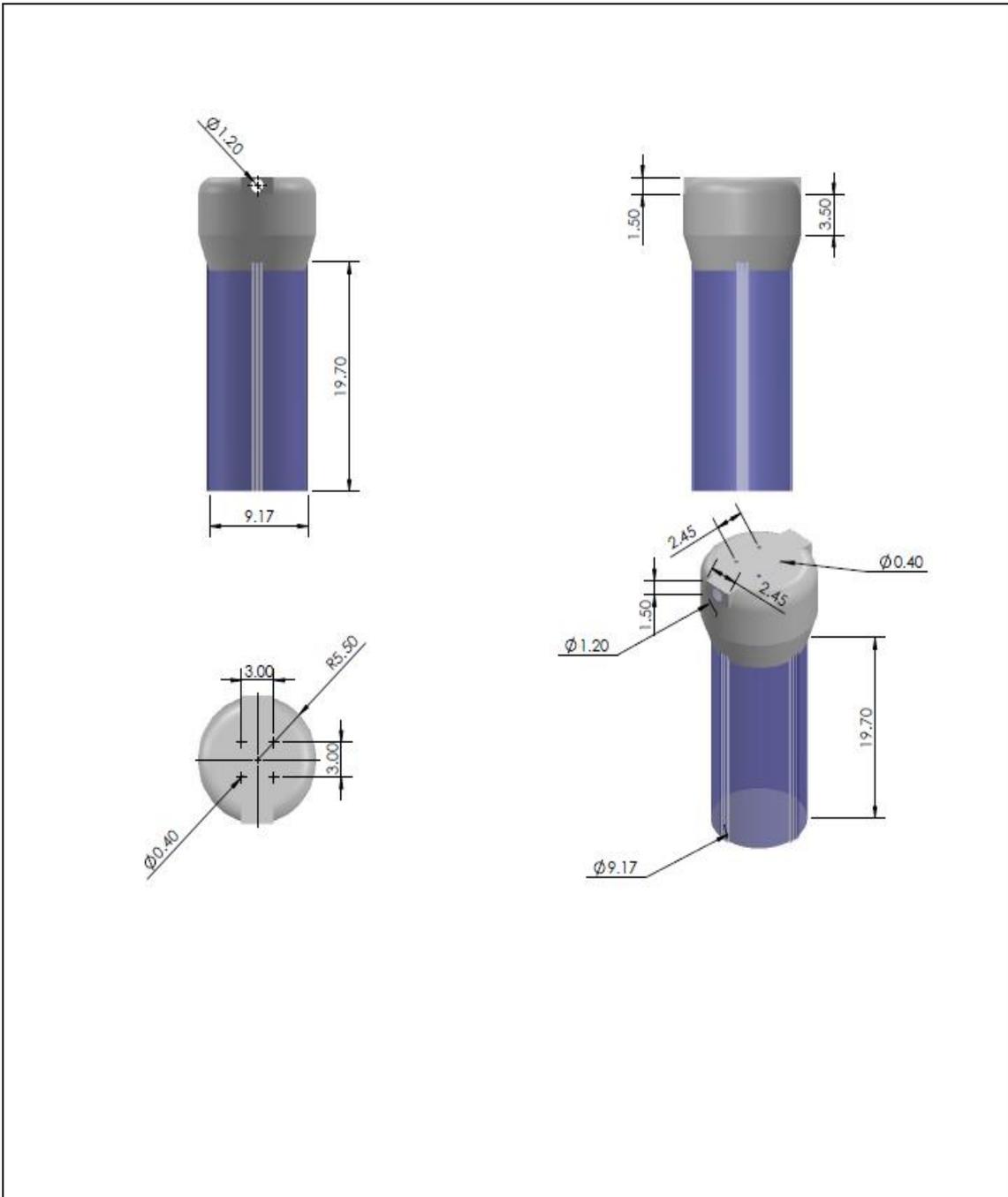
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Kathyryne Pacheco	DIMENSIONES DEL RECIPIENTE		
			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar		1	1:1	05/02/2023

ANEXO B: DIMENSIONES DE LA BASE



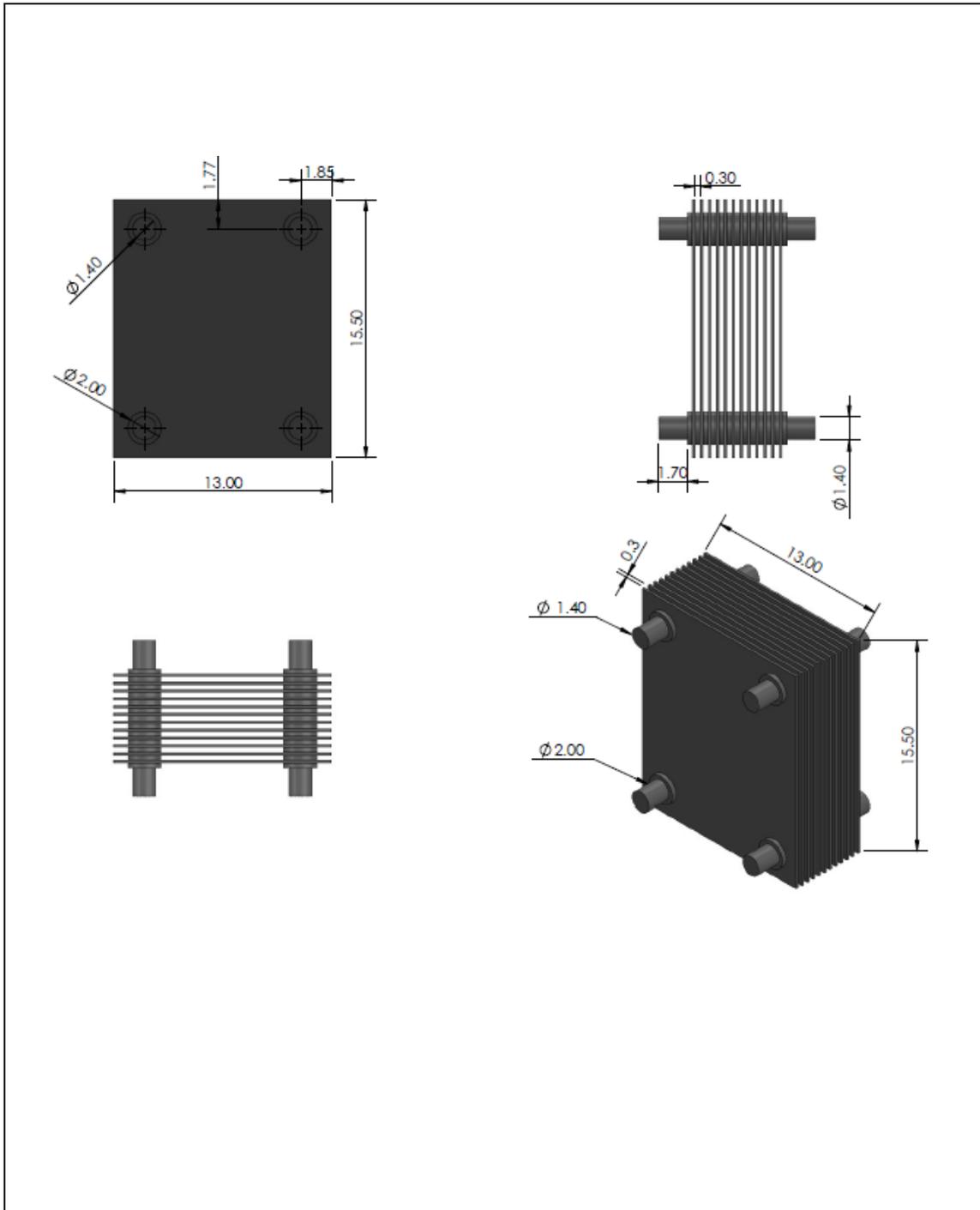
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Katheryne Pacheco	DIMENSIONES DE LA BASE		
			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar		2	1:1	05/02/2023

ANEXO C: DIMENSIONES DE LOS BURBUJEADORES



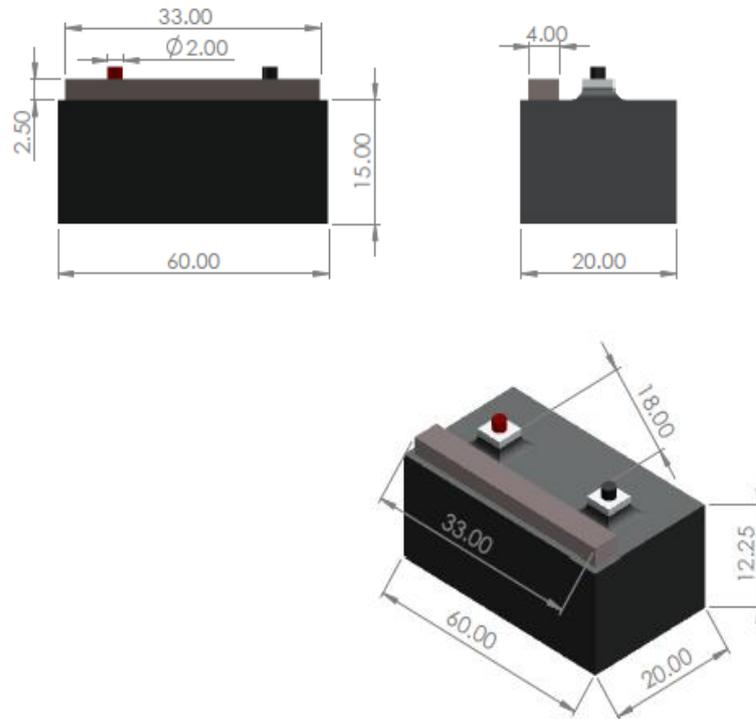
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Kathyne Pacheco	DIMENSIONES DE LOS BURBUJEADORES		
			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar		3	1:1	05/02/2023

ANEXO D: DIMENSIONES DE LA CELDA



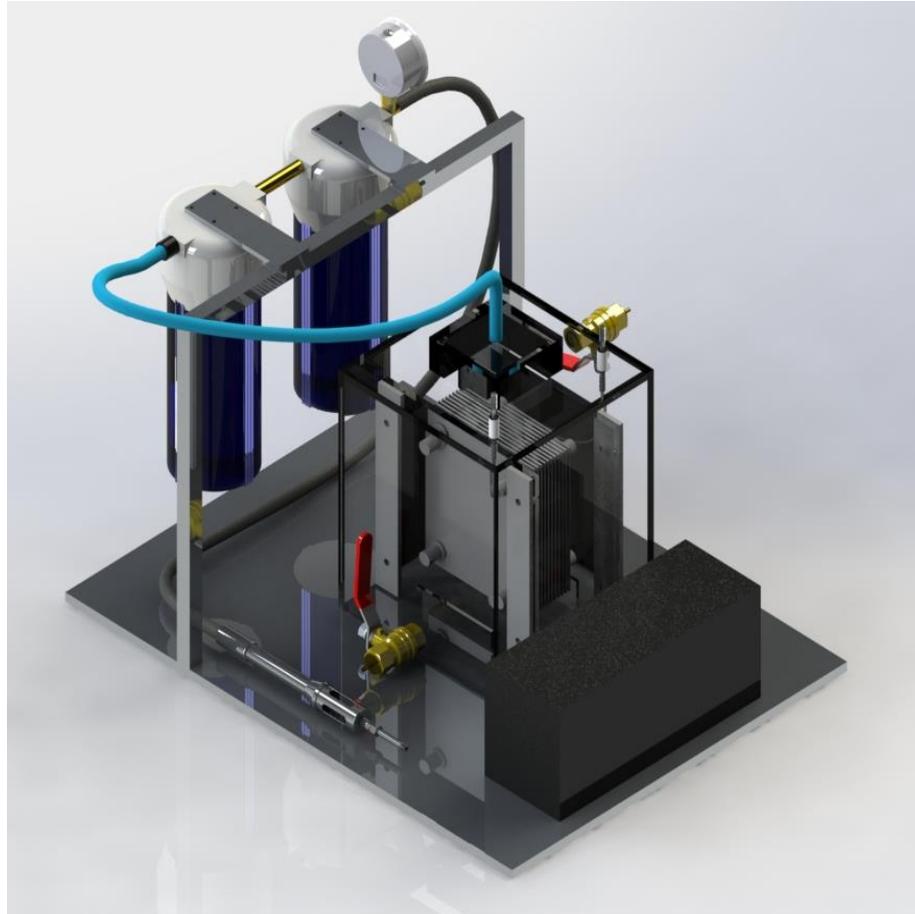
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Katheryne Pacheco	DIMENSIONES DE LA CELDA		
			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar		4	1:1	05/02/2023

ANEXO E: DIMENSIONES DEL GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA



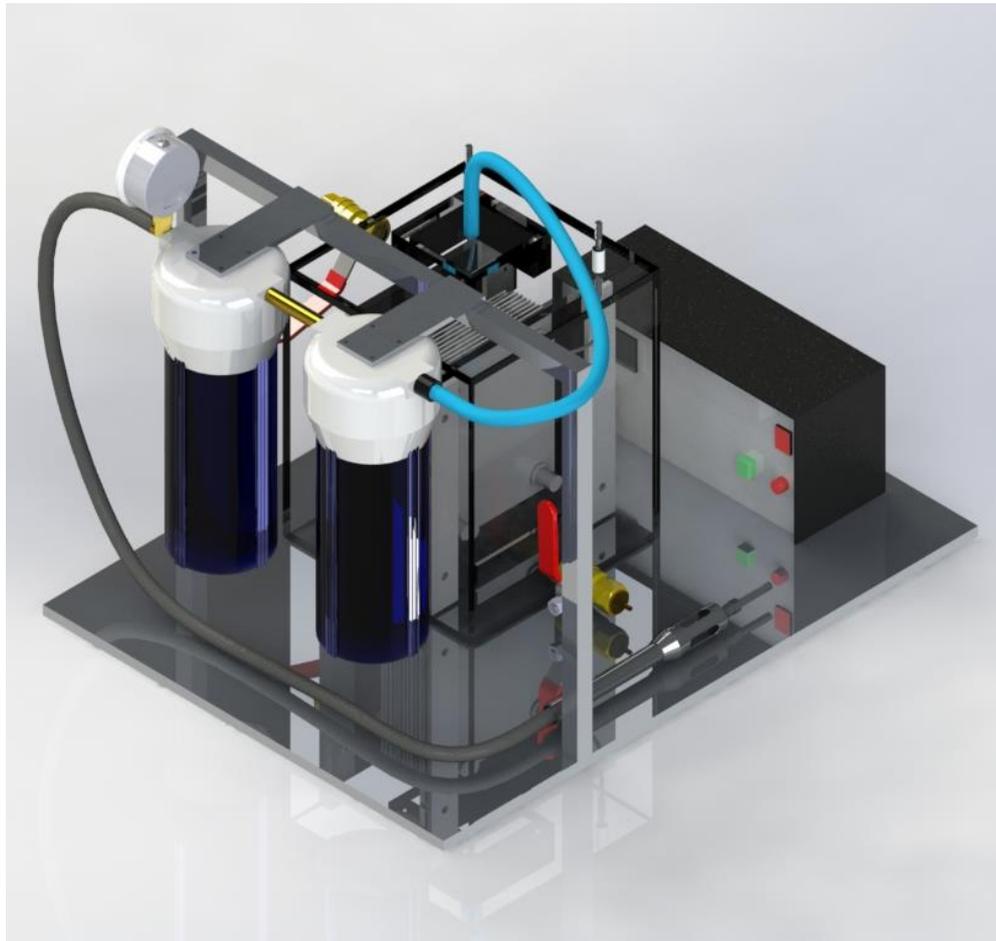
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Katheryne Pacheco	GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA		
			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar		5	1:1	05/02/2023

ANEXO F: REACTOR PARA PRODUCCIÓN DE HIDÓGENO EN 3D PARTE FRONTAL



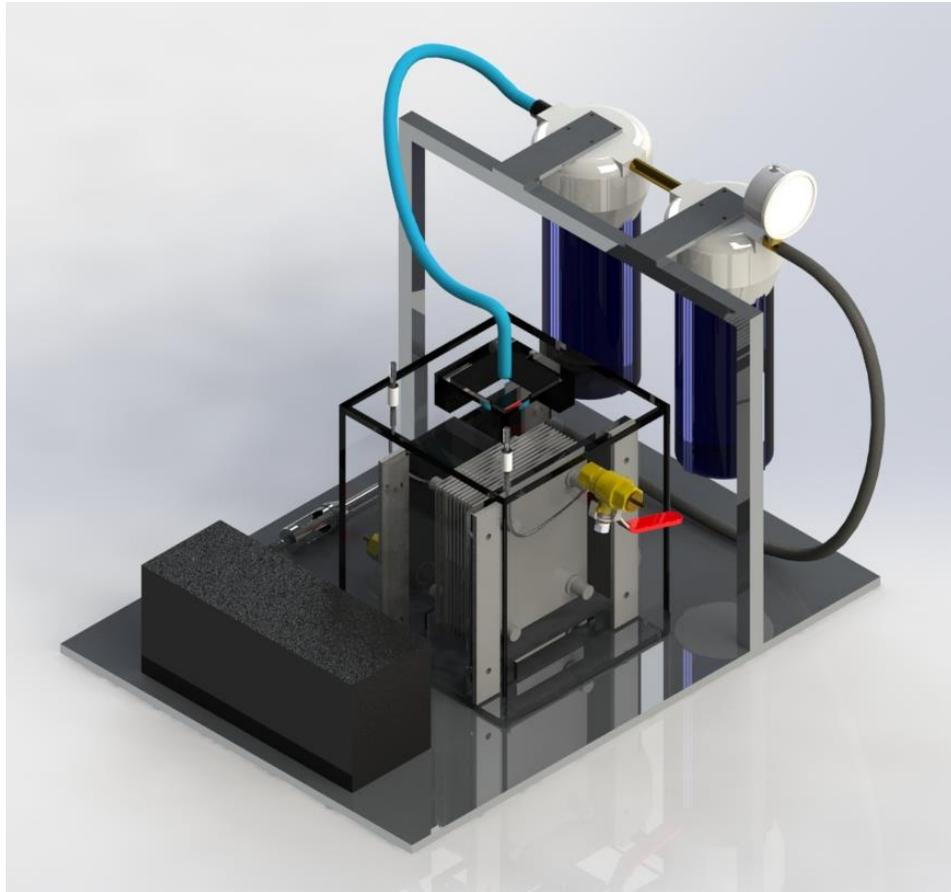
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Kathyne Pacheco	REACTOR EN 3D PARTE FROTAL		
			Lámina	Escala	Fecha
			6	1:1	05/02/2023

ANEXO G: REACTOR PARA PRODUCCIÓN DE HIDÓGENO EN 3D PARTE POSTERIOR



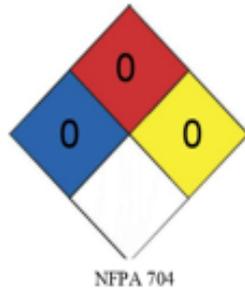
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <ul style="list-style-type: none"> • Por aprobar 	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Kathyryne Pacheco	REACTOR EN 3D PARTE POSTERIOR			
			Lámina	Escala	Fecha	
			7	1:1	05/02/2023	

ANEXO H: REACTOR PARA PRODUCCIÓN DE HIDÓGENO EN 3D PARTE LATERAL



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Kathyryne Pacheco </p>	REACTOR EN 3D PARTE LATERAL		
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar		Lámina	Escala	Fecha
			8	1:1	05/02/2023

ANEXO I: MSDS DEL AGUA DESTILADA



NFPA 704

HOJA DE SEGURIDAD AGUA DESTILADA

TELEFONOS: PBX (571) 2 401800 Bogotá D. C.

IDENTIFICACIÓN

Sinónimos:	Agua
Fórmula:	H ₂ O
Peso molecular:	18,02g/mol
Composición:	H ₂ O 100%
Código Interno:	R2002, R2003, R2004
Número CAS:	7732-18-5
Número ONU:	N.D
Clases ONU:	Sustancia no clasificada.
Usos:	Reactivo para análisis en laboratorio.

IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Esta sustancia no es clasificada como peligrosa de acuerdo a las directivas de la comunidad europea en el Sistema Global Armonizado de sustancias químicas (SGA); reglamento (CE) N° 1272/2008; o a las respectivas leyes nacionales

COMPOSICIÓN

Nombre del componente:	Agua (H ₂ O) 100 %
Numero CAS:	7732-18-5
Numero ONU:	N.D

EFFECTOS PARA LA SALUD

Límites de exposición ocupacional:

TWA:	N. R.
STEL:	N. R.
TECHO (C):	N. R.
IPVS:	N. R.
Inhalación:	No hay información disponible.
Ingestión:	No hay información disponible.
Piel:	No hay información disponible.
Ojos:	No hay información disponible.
Efectos Crónicos:	No hay información sobre efectos crónicos

PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: No hay procedimiento especial.
Ingestión: No hay procedimiento especial.
Piel: No hay procedimiento especial.
Ojos: No hay procedimiento especial.

▼ **SEGURIDAD**

RIESGOS DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN

Punto de inflamación (°C): N. A.
Temperatura de autoignición (°C): N. A.
Límites de inflamabilidad (%V/V): N. A.
Peligros de incendio y/o explosión: No presenta peligros de incendio y/o explosión conocidos.
Productos de la combustión: N. A.
Precauciones para evitar incendio y/o explosión: No requiere precauciones especiales.
Procedimientos en caso de incendio y/o explosión: No requiere de procedimientos especiales.
Agentes extintores del fuego: N. A.

ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN

Almacenamiento: Rotular los recipientes adecuadamente y mantenerlos bien cerrados. Permitir el acceso a personal autorizado. Inspeccionar periódicamente las áreas de almacenamiento para detectar fugas o daños en los contenedores. Almacénese en el área de sustancias generales.

Tipo de recipiente: Polietileno de alta densidad.

Manipulación: Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Leer las Instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Nunca retomar el material contaminado al recipiente original.

PROCEDIMIENTOS EN CASO DE ESCAPE Y/O DERRAME

No requiere de procedimientos especiales.

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL/CONTROL EXPOSICIÓN

Uso Normal: No requiere elementos de protección personal especiales.
Control de Emergencias: No requiere elementos de protección personal especiales.
Controles de Ingeniería: Ventilación local y general.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Apariencia: Líquido incoloro, sin olor, insípido.
Gravedad Específica (Agua=1): 1.000
Punto de Ebullición (°C): 100
Punto de Fusión (°C): 0
Densidad Relativa del Vapor (Aire=1): N. R.
Presión de Vapor (mm Hg): 760 / 100°C
Viscosidad (cp): 1.002 / 120°C
pH: 5.0 – 7.0
Solubilidad: Soluble en sustancias polares.

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Estable bajo condiciones normales.

* Quimiométricas

INCOMPATIBILIDADES O MATERIALES A EVITAR

Agua: No

Aire: No

Otras: Amalgamas de metales alcalinos, bario y calcio metálico, carburo de calcio, ferrosilico, fósforo de magnesio, nitruro de litio, bario. (Sustancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables).

INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

No hay información sobre cancerogenicidad, teratogenicidad, mutagenicidad, efectos reproductivos, concentraciones y dosis letales.

INFORMACIÓN ECOLÓGICA

No ocasiona efectos adversos al medio ambiente.

CONSIDERACIONES DE ELIMINACIÓN Y/O DISPOSICIÓN

Disponga de acuerdo a las regulaciones ambientales locales.

INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

No regulado por la DOT (Departamento de Transporte, USA), IMO (Organización Marítima Internacional), ICAO (Organización de Aviación Civil Internacional).

INFORMACIÓN DE REGULACIÓN

Código Nacional de Tránsito Terrestre. Decreto 1344/70, derogado por la Ley 769/2002; Decreto 1609/2012 del Ministerio de Transporte Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.

OTRA INFORMACIÓN

La información relacionada con este producto puede no ser válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular.

Bibliografía: USP 36/2013, ACS 10ª EDICIÓN.

Para información adicional de este u otro producto, su uso o métodos que lo involucren por favor comuníquese con MOL LABS, PBX (571) 2401800 Bogotá, D.C.

MOL LABS LTDA. * PBX 2 40 1800 * FAX 2 25 8254 * Bogotá, Colombia * www.mollabs.com

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Katheryne Pacheco	MSDS HIDRÓXIDO DE SODIO		
			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <ul style="list-style-type: none"> • Por aprobar 		11	1:1	05/02/2023

ANEXO J: MSDS DEL HIDRÓXIDO DE SODIO



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PARA MATERIALES PELIGROSOS

HIDRÓXIDO
DE SODIO

ETIQUETAS DE RIESGOS PRIMARIOS DE LA SOSA

FECHA DE ELAB: MAY 98

FECHA DE REV: ENERO 2010

I. DATOS GENERALES DEL RESPONSABLE DE LA SUSTANCIA												
		NOMBRE DEL FABRICANTE O PROVEEDOR: Mexichem Derivados, S.A. de C.V., Planta Coatzacoalcos DOMICILIO COMPLETO: Complejo Industrial Pajaritos, Coatzacoalcos, Veracruz EN EMERGENCIAS COMUNICARSE AL TELEFONO: 01 800 71 21275, Fax: 01 921 218 00 36										
		II. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA QUIMICA PELIGROSA										
		NOMBRE QUIMICO: HIDROXIDO DE SODIO		NOMBRE COMERCIAL: SOSA CAUSTICA			SINONIMOS: Sosa Grado Industrial, Lejía, Lejía Cáustica, Hidrato de Sodio, Sosa, Pennvidral,					
FORMULA QUIMICA: NaOH			FORMULA MOLECULAR: NaOH			FORMULA DESARROLLADA: NaOH						
GRUPO QUIMICO: Base Fuerte			PESO MOLECULAR: 39.9971 gr / mol			IDENTIFICACION: UN 1824, CAS 1310-73-2, EINEC 215-185-5, RTECS WB4900000						
III. IDENTIFICACION DE COMPONENTES PELIGROSOS												
NOMBRE DEL COMPONENTE	% PESO	No. ONU	No. CAS	CPT	CCT	P	IPVS	GRADO DE RIESGO				
				mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	S	I	R	ESP	E.P.P.
Hidróxido de Sodio	48.5	1824	1310-73-2	-	-	2	10	3	0	1	ALC	Traje completo de hule
IV. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS												
1. ESTADO FISICO	Líquido Viscoso		13. CAPACIDAD CALORIFICA	No Relevante								
2. COLOR	Blanquecino		14. DENSIDAD DE VAPOR (aire = 1)	No Aplica								
3. OLOR	Sin olor		15. DENSIDAD RELATIVA (agua = 1)	1.530 gr/cc (15.6° C y 50% peso)								
4. TEMPERATURA DE EBULLICION	145° C (al 50% peso)		16. DENSIDAD DEL GAS SECO	No Aplica								
5. TEMPERATURA DE CRIZTALIZACION	12° C (al 50% peso)		17. DENSIDAD DEL LIQUIDO	1.530 gr/cc (15.6° C y 50% peso)								
6. TEMPERATURA DE INFLAMACION	No Aplica		18. RELACION GAS / LIQUIDO	No Aplica								
7. TEMPERATURA DE AUTOIGNICION	No Aplica		19. COEFICIENTE DE EXPANSION	No Aplica								
8. L.S. INFLAMABILIDAD-EXPLOSIVIDAD	No Aplica		20. SOLUBILIDAD EN AGUA	100% Soluble								
9. L.I. INFLAMABILIDAD-EXPLOSIVIDAD	No Aplica		21. PRESION DE VAPOR	6.3 mmHg (40° C, 50% peso)								
10. CALOR DE COMBUSTION	No Aplica		22. % DE VOLATILIDAD	No Aplica								
11. CALOR DE VAPORIZACION	No Aplica		23. VEL. DE EVAPORACION (butilacetato=1)	No Aplica								
12. CALOR DE FUSION	No Relevante		24. TEMPERATURA DE DESCOMPOSICION	No Aplica								
V. RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSION												
A. MEDIO DE EXTINCION: CO ₂ : X NIEBLA DE AGUA: X ESPUMA: X PQS: X OTRO: No usar agentes extintores halogenados												
B. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL: Use ropa de hule (traje completo, botas, guantes y mandil), careta, goggles y casco de seguridad.												
C. PROCEDIMIENTO Y PRECAUCIONES ESPECIALES EN EL COMBATE DE INCENDIOS: Aisle de 25 a 50 metros para derrames pequeños y de 800 metros en todas direcciones si un carro tanque o pipa se ve involucrada en un incendio. Aléjese si se presentan ruidos, deformaciones o decoloración en los recipientes. Evalúe los riesgos y haga su plan de ataque. Enfriar los recipientes y tanques de almacenamiento con niebla de agua. No aplique el agua directamente o al interior de los recipientes. La sosa cáustica o hidróxido de sodio en cualquiera de sus presentaciones comerciales, es un material no combustible, no inflamable y no explosivo. Usar agua en un incendio donde se involucre la sosa cáustica, pudiera generar calor por la dilución de la sosa y que en un momento dado pudiera agravar las condiciones del incendio.												
D. CONDICIONES QUE CONDUCEN A OTRO RIESGO ESPECIAL: Evite el contacto directo con la piel, ingestión o inhalación. Es un material altamente corrosivo para cualquier tejido orgánico vivo. Evite fugas o derrames o formación de nieblas en el medio ambiente de trabajo.												
E. PRODUCTOS DE LA COMBUSTION TOXICOS O NOCIVOS PARA LA SALUD: Ninguno												
VI. RIESGOS DE REACTIVIDAD												
A. SUSTANCIA: ESTABLE: X INESTABLE: EXTREMADAMENTE INESTABLE:												
B. CONDICIONES A EVITAR: No almacene ni transporte sosa cáustica al 48.5% peso de concentración con las siguientes sustancias incompatibles, evite el uso de agua ya que al diluirse la sosa se generan grandes cantidades de calor.												
C. INCOMPATIBILIDAD (Sustancias a Evitar): Reacciona violentamente con hidrocarburos clorados, acetileno, acroleína, aluminio, amoniaco, trifluoruro de cloro, ácido acético, acetaldehído, anhídrido acético, acrilonitrilo, alcohol alílico, cloruro alílico, clorhidrina, hidroquinona, anhídrido maleico, pentóxido de fósforo, cloronitroloeuos, ácido clorosulfónico, 1,2-dicloroetileno, etileno, fósforo, ácido sulfúrico, alcohol metílico con tetraclorobenceno, alcohol metílico con tridlorometano, tetrahidrofuranos, tricloroetileno, agua, cianuros, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, ácido nítrico, nitrometano, nitroetano, nitroparafinas, nitropropano, pentanol, oleum, zinc, plomo, estaño.												
D. PRODUCTOS PELIGROSOS DE LA DESCOMPOSICION: Ninguno			POLIMERIZACION ESPONTANEA: PUEDE OCURRIR: No CONDICIONES A EVITAR: No almacene sosa cáustica con sustancias incompatibles									

VIII.- PROTECCIÓN PERSONAL EN CASO DE EMERGENCIAS	
A.	PROTECCION RESPIRATORIA: De 2 a 20 mg / m ³ usar respirador con cartuchos para neblinas de sosa (cubre nariz y boca) con un filtro para partículas de alta eficiencia. De 21 a 200 mg / m ³ usar mascarilla tipo barbilla (respirador que cubre cara, nariz, boca y ojos) y equipo autónomo con suministro de aire a presión. Mas de 200 mg / m ³ usar equipo de respiración autónoma con aire a presión y traje encapsulado. El equipo de respiración debe estar aprobado de preferencia por normas oficiales mexicanas o la NIOSH.
B.	PROTECCION PARA LA PIEL: Use traje completo, botas y guantes de neopreno, PVC, hule natural, nitrilo, SBR.
C.	PROTECCION PARA LOS OJOS: Use goggles y careta facial contra salpicaduras.
D.	HIGIENE: Evite el contacto con la piel y evite respirar neblinas. No coma, no beba, no fume en el área donde se maneja la sosa. Lávese las manos antes de comer, beber o usar el retrete. Lave con agua la ropa o equipo de protección contaminado antes de ser usado nuevamente.
E.	VENTILACION: La necesaria para mantener la concentración en el aire debajo de 2 mg/m ³ . Ventilación directa al exterior e independiente.
F.	OTRAS MEDIDAS DE CONTROL Y PROTECCION: Regaderas de emergencia y lavajos deben estar cerca de los lugares donde se maneja la sosa. Efectúe monitoreos de sosa en el medio ambiente laboral con regularidad para proteger la salud del trabajador de acuerdo a la norma: NOM-010-STPS-1999 y método de análisis 40 de la misma norma. También se puede usar el método NIOSH 7401. Se recomienda hacer las siguientes pruebas médicas al personal potencialmente expuesto a sosa cáustica: rayos X de pulmones y pruebas de funcionalidad pulmonar.
IX.- INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME	
A.	Restrinja el acceso al área afectada. Use el equipo de protección recomendado
B.	Trate de controlar el derrame proveniente del contenedor: cierre válvulas, tapone orificios, reacomode el contenedor, trasvase el recipiente, etc.
C.	Los derrames al suelo deberán ser contenidos por diques de material inerte: arena, tierra, vermiculita, poliuretano espumado o concreto espumado u otro dispositivo apropiado. Evite que el derrame llegue a fuentes de abastecimiento de agua o al alcantarillado. Use niebla de agua para el control de vapores o aerosoles de sosa cáustica en el aire.
D.	Recoja el material derramado en recipientes apropiados.
E.	Una vez recogido el derrame y sobre el área afectada: a) Espolvoree bicarbonato de sodio y lave con abundante agua ó b) Lave cuidadosamente con soluciones muy diluidas de ácido clorhídrico.
X.- INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN	
A. PRECAUCIONES PARA TRANSPORTE: Use solo unidades autorizadas para el transporte de materiales peligrosos que cumplan con la regulación de la SCT y demás autoridades federales así como con las sugerencias hechas por el fabricante. En el caso de emergencia en transportación consulte la Hoja de Emergencia en Transportación (HET) y la Guía Norteamericana de Respuesta en Caso de Emergencia No. 154, llame al SETIQ día y noche al Tel. (01) 800 00-214-00, en el D.F. al 01 (55) 5559-1588, CENACOM (01) 800 00-413-00 y en el D.F. al 01 (55) 5550 1552, 5550 1496.	
B. CLASIFICACION SCT ó DOT:	C. ETIQUETA DEL ENVASE ó EMBALAJE
D. ROMBO DE IDENTIFICACION EN TRANSPORTE: UN 1824	E. ROMBO PARA EL ALMACENAMIENTO
Denominación: Sosa Cáustica en solución Clasificación: Clase 8, Sustancia Corrosiva	
XI.- ECOLOGIA Y DISPOSICION DE DESECHOS	
A. AIRE: No hay suficiente evidencia del impacto ambiental de la sosa en el aire (atmósfera). El CO ₂ atmosférico tiende a carbonatarla.	
B. AGUA: La sosa cáustica forma hidróxidos con las sales del agua, muchos de ellos precipitables. Incrementa la conductividad eléctrica del agua.	
C. AGUA PARA BEBER: La sosa cáustica es usada para el lavado de recipientes para envasar alimentos ya que destruye todo microorganismo patógeno.	
D. SUELO: La sosa reacciona con los componentes químicos del suelo formando hidróxidos que dependiendo de su solubilidad, son fácilmente lavados con agua. Un derrame de sosa cáustica pudiera quemar temporalmente la zona de suelo afectado.	
E. FLORA Y FAUNA: La sosa cáustica es peligrosa para el medio ambiente, especialmente para organismos de medio acuático (peces y microorganismos). La ecotoxicidad como LC ₅₀ en <i>Cyprinus carpio</i> es de 180 ppm / 24 Hrs a 25° y el TLM en pez mosquito es de 125 ppm / 96 Hrs en agua fresca. No existe potencialidad de factores de bioacumulación o bioconcentración.	
F. Al controlar una fuga de sosa y usar materiales absorbentes posiblemente se generen residuos peligrosos de acuerdo al análisis CRETIB .	
G. Su manejo y disposición final debe ser acorde a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Reglamento de la L.G.E.E.P.A en Materia de Residuos Peligrosos, las Normas Oficiales Mexicanas aplicables a este rubro y demás ordenamientos técnicos legales federales, estatales o municipales aplicables.	
XII.- PRECAUCIONES ESPECIALES DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO	
A. Use el equipo de protección personal recomendado y tenga disponible regadera y lavajos de emergencia en el área de almacenamiento.	
B. Almacene en contenedores cerrados de acero al carbón si la temperatura es al ambiente. Nunca use recipientes de aluminio.	
C. Coloque la señalización de riesgo de acuerdo a la normatividad aplicable tales como: etiquetas, rombos o señalamientos de advertencia.	
D. El lugar de almacenamiento debe estar ventilado y separado de las áreas de trabajo y mucho tránsito.	
E. Inspeccione periódicamente los recipientes para detectar daños y prevenir fugas.	
F. Es recomendable que los tanques de almacenamiento tengan diques o dispositivos de control de derrames.	
G. Evite almacenar otros productos químicos incompatibles junto a la sosa ya que pudieran reaccionar violentamente.	
H. Evite derrames y la formación de neblinas durante las maniobras de carga y descarga en sus almacenes.	
XIII.- INFORMACION ADICIONAL	
Marco Regulatorio: La sosa esta regulado por las siguientes dependencias: SCT, SEMARNAT (PPA), STPS, SSA, DOT, EPA (SARA III ó EPCRA 302, CERCLA 42, TSCA, SDWA ó NPDWR, CWA 311), FDA, OSHA, NIOSH.	

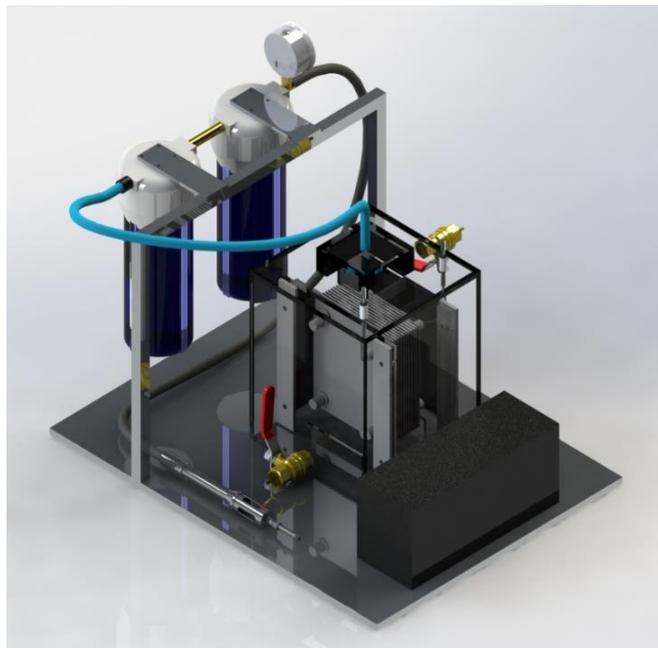
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA	MSDS HIDRÓXIDO DE SODIO		
			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <ul style="list-style-type: none"> • Por aprobar 	Elaborado Por: Katheryne Pacheco	12	1:1	05/02/2023

ANEXO K: MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

MANUAL DE OPERACIONES, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD
DEL REACTOR DE HIDRÓGENO



.
Índice

<u>1</u>	<u>Introducción</u>	21
<u>2</u>	<u>Objetivos</u>	21
<u>2.1</u>	<u>General</u>	21
<u>2.2</u>	<u>Específicos</u>	21
<u>3</u>	<u>Alcance</u>	21
<u>4</u>	<u>Nombre de la máquina</u>	22
<u>5</u>	<u>Propósito de la máquina</u>	22
<u>6</u>	<u>Descripción de la máquina</u>	22
<u>7</u>	<u>Especificaciones técnicas</u>	22
<u>7.1</u>	<u>Modelo, Dimensiones</u>	22
<u>7.2</u>	<u>Componentes de la máquina</u>	23
<u>7.3</u>	<u>Servicios requeridos para su instalación y operación</u>	24
<u>7.3.1</u>	<u>Instalación</u>	24
<u>7.3.2</u>	<u>Operación</u>	24
<u>8</u>	<u>Equipo de protección personal y medidas de seguridad industrial</u> ¡Error! Marcador no definido.	
<u>8.1</u>	<u>Equipo de protección personal</u> ¡Error! Marcador no definido.	
<u>8.2</u>	<u>Medidas de seguridad industrial</u>	¡Error! Marcador no definido.
<u>9</u>	<u>Procedimiento de operación</u>	26
<u>9.1</u>	<u>Encendido de la máquina:</u>	26
<u>9.2</u>	<u>Puesta en marcha:</u>	27
<u>9.3</u>	<u>Apagado de la máquina:</u>	27
<u>10</u>	<u>Rendimiento de la máquina</u>	27
<u>11</u>	<u>Calibración</u>	27
<u>12</u>	<u>Mantenimiento general</u>	28
<u>12.1</u>	<u>Registro de mantenimientos</u>	28
<u>13</u>	<u>Definiciones</u>	28
<u>14</u>	<u>Referencias Bibliográficas</u>	29
<u>14.1</u>	<u>Citas</u>	29
<u>14.2</u>	<u>Bibliografía</u>	29
<u>14.3</u>	<u>Internet</u>	30

1. Introducción

El equipo para la obtención de hidrógeno H₂ a partir de la electrolisis del agua está compuesto por un sistema de generación de corriente continua VDC con variación de amperaje de hasta 20 Amp. Este equipo está fabricado con materiales de alta calidad, como el acero inoxidable AISI 304L, conexiones eléctricas, mangueras de conexión, arresta llama, válvula de descarga y una base de soporte estos materiales garantizaron la eficiencia del funcionamiento del reactor.

Este equipo permitirá la oportunidad de estudiar y comprender en detalle las variables involucradas en el proceso de electrolisis del agua, lo que permitirá avanzar en el desarrollo de esta tecnología.

El reactor servirá como una herramienta de investigación y experimentación, brindando la posibilidad de manipular y controlar diferentes variables, como la corriente eléctrica, el tipo de electrolito, la temperatura y la presión, entre otros. Esto permitirá realizar estudios detallados sobre el efecto de estas variables en la eficiencia y la producción de hidrógeno. Además, el reactor tendrá un valor didáctico significativo para la Carrera de Ingeniería Química.

Es por esta razón que se creó la guía con la finalidad de cumplir con los parámetros establecidos para su uso y mantenimiento para garantizar la eficiencia de su funcionamiento.

2. Objetivos

2.1. General

Elaborar el manual de operación, mantenimiento y seguridad del Reactor de Hidrógeno para el laboratorio de Reacciones, Facultad de Ciencias, ESPOCH.

2.2. Específicos

- Identificar el proceso de operación que permitirá el funcionamiento adecuado del equipo.
- Detallar las medidas que se deben tomar en cuenta al utilizar el reactor.

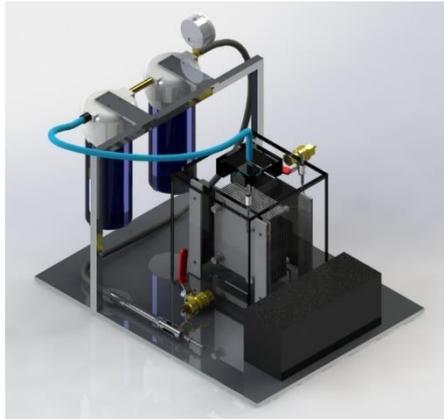
3. Alcance

El manual de operación, mantenimiento y seguridad del equipo para la obtención de hidrógeno está fabricado con materiales de alta calidad, los que permite obtener un equipo resistente y duradero, capaz de soportar las condiciones de trabajo a las que se someten durante el proceso de obtención del gas.

4. Nombre del Equipo

Reactor de Hidrógeno

Imagen 4.1. Reactor de Hidrógeno



Realizado por: Pacheco Katheryne. 2023

5. Propósito del Equipo

El reactor de hidrógeno es un equipo, cuyo objetivo es la obtención de hidrógeno H_2 a partir de la electrolisis del agua está compuesto por un sistema de generación de corriente continua VDC con variación de amperaje de hasta 20 Amp. Puede producir hidrógeno a partir de una solución de agua destilada y sosa caustica.

6. Descripción de la máquina

Este equipo está fabricado con materiales de alta calidad, como el acero inoxidable AISI 304L y el acrílico. La combinación de estos materiales permite obtener un equipo resistente y duradero, capaz de soportar las condiciones de trabajo a las que se someten durante el proceso de obtención del gas. La materia prima, es una solución electrolítica de sosa caustica (NaOH) en agua destilada por la cual pasa una corriente con un amperaje de 20 AMP obtenidos a partir de una fuente externa la cual es colocada en recipientes que en su interior contienen celdas electrolíticas que permitirán la disociación del hidrogeno del medio electrolítico.

7. Especificaciones técnicas

7.1. Modelo, Dimensiones

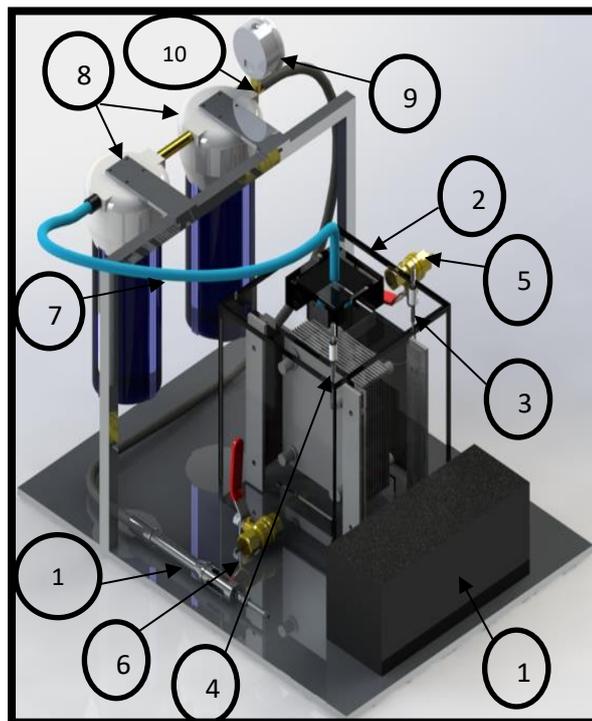
Tabla 7.1.1. Datos generales del reactor de hidrógeno

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	INDICADOR
Alimentación eléctrica	110 V
Capacidad	10 L
Tapa superior	Salida con acoples rápidos
Configuración	Hermética
Conexión eléctrica	VDC
Placas electrolíticas	Acero Inoxidable 304
Modo uso	Estacionario
Rango Operativo de Corriente	1 – 17 Amp.
Dimensiones	Área: 3051,06 cm² Volúmen: 11397.376 cm³
Material	AISI 304L & Acrílico

Realizado por: Pacheco Katherine. 2023

7.2. Componentes de la máquina

Diagrama 7.2.1. Del Reactor de Hidrógeno



Realizado por: Pacheco Katherine. 2023

Tabla 7.2.1. Partes del reactor

N°	Elementos
1	Fuente de energía
2	Cuba Electroquímica
3	Ánodo
4	Cátodo
5	Ingreso de la Solución
6	Salida de la Solución
7	Manguera de Flujo
8	Burbujeadores
9	Manómetro
10	Válvula de Descarga
11	Arrestallamas

Realizado por: Pacheco Katherine. 2023

7.3. Servicios requeridos para su instalación y operación

7.3.1. *Instalación*

Se requiere tener una fuente de corriente continua, conectada a una corriente de 110 V.

Diagrama 7.3.1. Conexión tipo I



Realizado por: Pacheco Katheryne. 2023

7.3.2. *Operación*

7.3.2.1. *Recipiente de electrólisis*

Primeramente, se debe verificar que las mangueras de acople rápido tanto como la tapa del recipiente se encuentran cerradas y herméticas, revisar las conexiones eléctricas. Al tener una

conexión directa entre el generador de voltaje continuo y las celdas electrolíticas la electrolisis inicia de manera inmediata.

Es recomendable realizar el procedimiento con agua tratada debido a que la presencia de sales minerales disueltas y cales interviene en la reacción y reducen considerablemente la producción de hidrogeno. Las conexiones eléctricas cuentan con aislamientos debidamente montados para evitar cortos circuitos.

7.3.2.2. Generador Corriente Continua VDC

El generador está diseñado para alimentar directamente a las celdas electrolíticas y cuenta con una conexión para alimentación de 110V y 60Hz. Su objetivo es activar las celdas electrolíticas del equipo para la generación de hidrógeno. Es importante tener en cuenta que el reactor trabaja con una conexión directa con las celdas electrolíticas, por lo que es imperativo revisar las conexiones antes de activar el generador. Asimismo, es importante asegurarse de que el nivel de corriente no supere los 20 Amperios.

7.3.2.3. Manómetro

Este instrumento toma la medida de la presión del gas que se encuentre cerrado en la cuba electroquímica, la presión no debe superar los 3 psi, para evitar un incidente.

7.3.2.4 Arrestallamas

Se utiliza como un dispositivo de seguridad, en recipientes que contengan combustibles volátiles, para evitar que una chispa pase al interior del tanque y provoque una explosión. Para la operación de la máquina es necesario una dosificación adecuada para cada tipo de grano a pulverizar. La dosificación depende de la dureza y tamaño del grano.

7.3.2.5 Burbujeadores

Nos protege de un eventual retroceso de la llama y la destrucción de la celda por explosión.

8. Equipo de protección personal y medidas de seguridad industrial

8.1. Equipo de protección personal

Para realizar la manipulación de un reactor de hidrógeno es necesario utilizar el equipo de protección personal adecuado:

- Mandil

- Mascarilla
- Tapones auditivos u orejeras
- Gafas de Protección

8.2. Medidas de seguridad industrial

A. SEGURIDAD EN EL ÁREA DE TRABAJO

- Revisar la hermeticidad del equipo, así como también las conexiones eléctricas y de fluido del equipo, antes de activar el generador de corriente antes de arrancar el equipo.
- Lavar el recipiente utilizado y verificar la hermeticidad de las mangueras de acople rápido después de su uso
- Verificar en el recipiente que contiene agua con detergente, ya no exista producción de hidrógeno, acercando el arresta llamas.

B. SEGURIDAD ELÉCTRICA

- Verificar al Generador de Corriente Continua VDC su funcionamiento antes de conectarlo a las celdas electrolíticas
- Revisar la continuidad entre las placas de la misma polaridad y verificar el aislamiento entre las placas de polaridad diferente.
- Se recomienda revisar la continuidad de las líneas de conexión eléctrica antes de arrancar el equipo.

9. Procedimiento de operación

9.1. Encendido de la máquina:

9.1.1. Recipiente de electrólisis

- Medir el volumen de agua (98%) y sosa caustica (2 %) que ingresa a la cuba electroquímica de 10 L.
- Ingresar la solución a la cuba electroquímica para la producción de hidrógeno, el nivel de agua no debe estar por debajo de las celdas electroquímicas.
- Verificar la hermeticidad de las mangueras y conexiones eléctricas.

9.1.2. Activación de Corriente Continua

- Conectar la fuente de energía a las celdas, polo positivo con positivo y polo negativo con negativo.

- Verificar que, en la fuente de energía, el voltaje y corriente inicien de cero.
- Conectar la fuente de energía a la corriente de 110 V y encender en su valor más bajo a 20Amp.

9.2. Puesta en marcha:

9.2.1. Producción de Hidrógeno

- Observar la generación de hidrogeno y controlar la producción mediante la variación del amperaje.
- Al acerca el arresta llamas a un recipiente que contiene agua con detergente, se producirán burbujas en el líquido. Estas burbujas detonarán si se acerca una llama.
- Cerrar la válvula de descarga, para contener el hidrógeno en el recipiente, se verificará su presión la misma que no debe superar los 3 psi.
- Abrir la válvula de descarga y al acercar una llama, se podrá observar una pequeña flama de color naranja.

9.3. Apagado de la máquina:

- Una vez concluida la práctica se debe bajar a cero el voltaje y corriente de la fuente de energía.
- Apagar la fuente de energía y desconectar.
- Verificar en el recipiente que contiene agua con detergente, ya no exista producción de hidrógeno, acercando el arresta llamas.
- Una vez comprobado que no se forman burbujas en el líquido, se realizará el respectivo lavado de la cuba electroquímica.

10. Rendimiento de la máquina

En base a los resultados obtenidos como parte de la validación de la máquina se reportan los siguientes datos:

Tabla 9.1. Resultados y Condiciones para la Obtención de Hidrógeno

Prueba	Presión (atm)	Temperatura (°K)	Tiempo (min)	Concentración NaOH (g)	Corriente (Amp)	Volumen del Hidrógeno (L)
1	1	298,15	1	190,3	1,908	0,055
2	1	298,15	1	190,3	3,540	0,1
3	1	298,15	1	190,3	12,375	0,36
4	1	298,15	1	190,3	15,861	0,46
5	1	298,15	1	190,3	16,595	0,47

Realizado por Pacheco, Katheryne. 2023

11. Calibración

No requiere

12. Mantenimiento general

- Recipiente de electrólisis

Se recomienda revisar la hermeticidad del equipo, así como también las conexiones eléctricas y de fluido del equipo, antes de activar el generador de corriente antes de arrancar el equipo.

- Generador de Corriente Continua VDC

El generador de corriente continua tiene una alimentación eléctrica 110 V 60 Hz. Es importante verificar su funcionamiento antes de conectarlo a las celdas electrolíticas

- Celdas electrolíticas

Antes de poner en marcha el equipo, se recomienda revisar la continuidad entre las placas de la misma polaridad y verificar el aislamiento entre las placas de polaridad diferente. De esta manera se asegura el correcto funcionamiento del equipo y se previenen posibles problemas o daños.

- Conexiones eléctricas

Se recomienda revisar la continuidad de las líneas de conexión eléctrica antes de arrancar el equipo.

- Recipiente, arresta llama y mangueras

Se recomienda lavar el recipiente utilizado y verificar la hermeticidad de las mangueras de acople rápido después de su uso. Es aconsejable realizar este proceso utilizando una solución de jabón líquido. Además, este lavado se recomienda para mantener el equipo en óptimas condiciones y listo para ser utilizado nuevamente en operaciones futuras.

12.1. Registro de mantenimientos

FECHA	NOMBRE	RESPONSABLE	FIRMA

Realizado por: Pacheco, Katheryne. 2023

13. Definiciones

Hidrógeno: Es conocido como el elemento más abundante del universo, en la tabla periódica se lo categoriza con el número 1 y se simboliza como H₂, con una composición del 75%, se caracteriza al hidrógeno como un gas inflamable, inodoro, incoloro, insoluble en el agua (Castillo,2020).

Electrólisis: Este proceso se realiza mediante la descomposición del agua para formar hidrógeno y oxígeno, este tipo de reacción utiliza energía eléctrica, el mecanismo de este proceso se realiza mediante una celda o pila electroquímica (Rodríguez, 2009).

Unidad inversora de alimentación eléctrica VDC: Este generador alimenta directamente a las celdas electrolíticas y cuenta con una conexión para alimentación en 110 V 60 Hz tiene por objeto activar las celdas electrolíticas del equipo para la generación de hidrógeno (Morales, 2021).

Celdas electrolíticas: Se produce el proceso de la electrólisis, donde ocurre reacciones químicas de oxido reducción mediante energía eléctrica (Aguirre, 2023).

14. Referencias Bibliográficas

14.1. Citas

(Aguirre, 2023)

(Castillo,2020)

(Morales, 2021)

(Rodríguez, 2009)

14.2. Bibliografía

Aguirre G, O A. 2013. *Celdas de hidrógeno y su potencial de aplicación.* Universidad Veracruzana. Xalapa: s.n., 2013

Castillo Cárdenas, Doris Lorena. 2020. *Diseño y construcción de un reactor de fermentación oscura para producción de Bio-Hidrógeno con lodos irradiados por radiación Gamma.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba: s.n., 2020. Tesis

Morales, C.G. 2021. *“Análisis de los circuitos eléctricos” para 5to año Electricidad.* Buenos Aires: Escuela Técnica RAGGIO, 2021. pág. 30.

Rodríguez, Tomás. 2009. LOS HIDROCARBUROS EN CASTILLA Y LEÓN. s.l. :
 Domènech e-learning multimedia, S.A., 2009. Vol. 1.

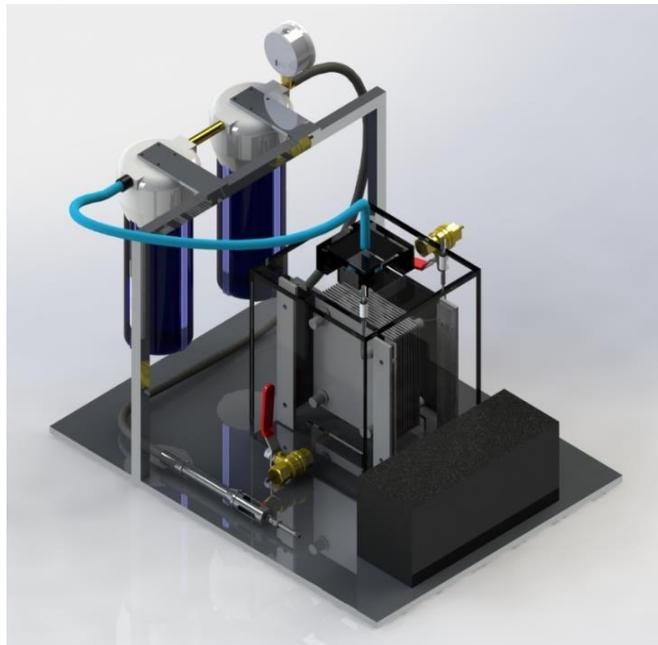
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Katheryne Pacheco	MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO		
			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por aprobar Por calificar		9	1:1	05/02/2023

ANEXO L: GUIA DE LABORATORIO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

GUÍA DE LABORATORIO
PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO



1. Objetivos:

1.1. General:

Obtener hidrógeno a partir de electrólisis del agua mediante la utilización de un reactor.

1.2. Específicos (mínimo 3)

- Determinar el volumen de producción de hidrógeno.
- Verificar el nivel de corriente suministrado de la fuente electroquímica.
- Revisar la conexión entre las placas de la misma polaridad antes de realizar el arranque del equipo.

2. Marco Teórico Referencial:

2.1. Marco Teórico:

2.1.1. Electrolisis del agua

La electrólisis del agua es la descomposición del agua (H_2O) en los gases oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) por medio de una corriente eléctrica continua, suministrada por una fuente de alimentación, una batería o una pila, que se conecta mediante electrodos al agua. Para disminuir la resistencia al paso de corriente a través del agua esta se suele acidular añadiendo pequeñas alícuotas de ácido sulfúrico o bien añadiendo un electrolito fuerte como el hidróxido de sodio, NaOH. La molécula de agua se disuelve en electrolito, se utiliza una corriente eléctrica continua, por medio de un par de electrones, estos se conectan a una fuente de corriente directa de electrodos de polos tanto positivos y negativos, que son atraídos a los iones de carga opuesta, es decir que los iones positivos son atraídos al cátodo y los iones negativos al ánodo. Como electrolito se usa comúnmente sosa cáustica (NaOH) o potasa cáustica (KOH) para tener una buena conductividad iónica.

La eficacia de la electrólisis aumenta con la adición de un electrolito (como la sal, un ácido o una base) y el uso de electrocatalizadores.

2.2. Marco Referencial:

La presente práctica “Obtención de Hidrógeno” se llevó a cabo el día en el Laboratorio de Reacciones, ubicado en las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ciudad de Riobamba, Panamericana Sur Km 1 ½.

3. Parte Experimental:

3.1. Sustancias y Reactivos:

- Agua destilada
- Sosa Caustica

3.2. Materiales y Equipos:

- Reactor para la producción de hidrógeno
- Celdas electrolíticas
- Conexiones eléctricas
- Unidad inversora de alimentación eléctrica VDC
- Láminas de Acrílico
- Acero Inoxidable (AISI 304)
- Mangueras de flujo y reflujo
- Válvula lateral descarga
- Manómetro
- Burbujeadores
- Arrestallamas industrial
- Base soporte inoxidable

3.3. Procedimiento:

- **Recipiente de electrólisis**
 - Medir el volumen de agua (98%) y sosa caustica (2 %) que ingresa a la cuba electroquímica de 10 L.
 - Ingresar la solución a la cuba electroquímica para la producción de hidrógeno, el nivel de agua no debe estar por debajo de las celdas electroquímicas.
 - Verificar la hermeticidad de las mangueras y conexiones eléctricas.
- **Activación de Corriente Continua**
 - Conectar la fuente de energía a las celdas, polo positivo con positivo y polo negativo con negativo.
 - Verificar que, en la fuente de energía, el voltaje y corriente inicien de cero.
 - Conectar la fuente de energía a la corriente de 110 V y encender en su valor más bajo a 20Amp.

- **Producción de Hidrógeno**

- Observar la generación de hidrogeno y controlar la producción mediante la variación del amperaje.
- Al acerca el arresta llamas a un recipiente que contiene agua con detergente, se producirán burbujas en el líquido. Estas burbujas detonarán si se acerca una llama.
- Cerrar la válvula de descarga, para contener el hidrógeno en el recipiente, se verificará su presión la misma que no debe superar los 3 psi.
- Abrir la válvula de descarga y al acercar una llama, se podrá observar una pequeña flama de color naranja.
- Una vez concluida la práctica se debe bajar a cero el voltaje y corriente de la fuente de energía.
- Apagar la fuente de energía y desconectar.
- Verificar en el recipiente que contiene agua con detergente, ya no exista producción de hidrógeno, acercando el arresta llamas.
- Una vez comprobado que no se forman burbujas en el líquido, se realizará el respectivo lavado de la cuba electroquímica.

4. Datos:

4.1. Datos Experimentales:

Tabla 4.1-1 Condiciones generales de las pruebas

Prueba	Presión (atm)	Temperatura (°K)	Tiempo (min)	Concentración NaOH (g)
1				
2				
3				
4				
5				

Realizado por: APELLIDO, Nombre, Lab. Reacciones, ESPOCH, Año.

Tabla 4.1- 2 Datos de la Fuente Electroquímica

PRUEBA	CORRIENTE (Amp)	VOLTAJE (V)
1		
2		
3		
4		
5		

Realizado por: APELLIDO, Nombre, Lab. Reacciones, ESPOCH, Año.

5. Cálculo de resultados:

5.1. Cálculo de producción del gas

5.1.1. Cantidad de moléculas de agua

Se halla la cantidad de moléculas de agua que hay en 10 L de solución, en dicha solución existe el 2 % de NaOH, se necesita conocer el agua pura existente.

$$n_{\text{moles}} (\text{mol}) = \frac{M (\text{g})}{PM \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)}$$

5.1.2. Cálculo de los gramos de hidrógeno que hay en tantos gramos de agua

El cálculo de los gramos de hidrógeno se obtuvo a partir de la ecuación anteriormente mencionada.

$$g_{\text{hidrógeno}} (\text{mol}) = n_{\text{moles}} (\text{mol}) * M \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)$$

5.1.3. Cálculo de la composición centesimal (%) de hidrógeno que hay en tantos gramos de agua.

El cálculo de los gramos de hidrógeno se obtuvo a partir de la ecuación número 5.1.2.

$$\% \text{ de hidrógeno } (g) = \frac{g_{\text{hidrógeno}} (g)}{\text{gramos de agua } (g)} * 100$$

5.1.4. Cálculo de los gramos de oxígeno que hay en tantos gramos de agua

El cálculo de los gramos de oxígeno se obtuvo a partir de la ecuación 5.1.1.

$$g_{\text{oxígeno}} (\text{mol}) = n_{\text{moles}} (\text{mol}) * M \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right)$$

5.1.5. Cálculo de la composición centesimal (%) de hidrógeno que hay en tantos gramos de agua.

El cálculo de los gramos de hidrógeno se obtuvo a partir de la ecuación número 5.1.4.

$$\% \text{ de hidrógeno } (g) = \frac{g_{\text{hidrógeno}} (g)}{\text{gramos de agua } (g)} * 100$$

5.2. Cálculo de producción del gas aplicando corriente

Se calculó la producción del gas aplicando corriente, para el número de pruebas que se desee realizar a diferente amperaje en el rango de 1 – 20 Amperios.

5.2.1. Cálculo de la carga eléctrica

$$Q (C) = I(V) * t(s)$$

5.2.2. Cálculo de la cantidad de moles

El cálculo de la cantidad de moles se obtuvo a partir de la ecuación 5.2.1.

$$n \text{ moles } e \text{ (mol)} = Q(C) * \frac{1 \text{ mol } e}{96500 (C)}$$

5.2.3. Cálculo de moles de hidrógeno

El cálculo de moles de hidrógeno se obtuvo con la ecuación 5.2.2.

$$\text{Moles de electrón } 2H_2O = \text{moles de } 2H_2 + \text{mol de } O_2$$

$$2 (n \text{ moles } e \text{ (mol)} H_2O = 2 (n \text{ moles } e \text{ (mol)} H_2 + 1 (n \text{ moles } e \text{ (mol)} O_2$$

5.2.4. Cálculo del volumen de hidrógeno y oxígeno

El cálculo del volumen tanto para el hidrógeno y oxígeno se obtuvo con la ecuación 5.2.3

$$V = \frac{n(\text{mol})R\left(\frac{l \text{ atm}}{k \text{ mol}}\right)T(K)}{P(\text{atm})}$$

5.2.5. Cálculo del calor la disolución del agua más NaOH, en el reactor.

$$Q = m (g) * C_e \left(\frac{J}{g \text{ } ^\circ C} \right) * \Delta T (^\circ C)$$

5.2.6. Cálculo de la variación de la entalpía ΔH

$$\Delta H = \text{moles de NaOH} * \frac{PA}{\text{moles de NaOH}} * \frac{Q}{\text{gramos de NaOH}}$$

5.3. Resultados:

5.3.1. Producción de Hidrógeno

Tabla 5.3.1: Producción de Hidrógeno

Corriente (Amp)	Carga eléctrica (C)	Moles (mol)	Masa (g)

Realizado por:

5.3.2. Producción de Oxígeno

Tabla 5.3.2: Producción de Oxígeno

Corriente (Amp)	Carga eléctrica (C)	Moles (mol)	Masa (g)

Realizado por:

5.3.3. Potencia requerida para la producción de Hidrógeno.

Tabla 5.3.3: Potencia requerida para la producción de Hidrógeno.

PRUEBA	CORRIENTE (Amp)	VOLTAJE (V)	POTENCIA (W)
1			
2			

Realizado por:

5.3.4. Volumen del Hidrógeno.

Tabla 5.3.4: Volumen del Hidrógeno

PRUEBA	CORRIENTE (Amp)	VOLUMEN DEL HIDROGENO (L)
1		
2		

Realizado por:

5.3.5. Volumen del Oxígeno

Tabla 5.3.5: Volumen del Oxígeno

PRUEBA	CORRIENTE (Amp)	VOLUMEN DEL OXIGENO (L)
1		
2		

Realizado por: Pacheco, K., 2023

6. Errores:

6.1. Sistemáticos:

6.2. Aleatorios:

7. Discusión: (120 palabras)

8. Conclusiones y Recomendaciones:

8.1. Conclusiones

8.2. Recomendaciones

9. Aplicaciones:

10. Referencias Bibliográficas:

10.1. Citas:

10.2. Bibliografía:

10.3. Internet:

11. Anexos:

12. Diagrama del Equipo Utilizado

RESUMEN (150 palabras)

DESCRIPTORES

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA	GUÍA DE LA PRÁCTICA		
			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por aprobar Por calificar	Elaborado Por: Katheryne Pacheco	10	1:1	05/02/2023



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 04 / 08 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Katheryne Alexandra Pacheco Pacheco
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1462-DBRA-UPT-2023

