

Capítulo 7 Caracterización de electrolizadores con diferentes campos de flujo

Chapter 7 Characterization of electrolyzers with different flow fields

SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, Víctor Alberto†*, FIGUEROA-RAMÍREZ, Sandra Jazmín, SIERRA-
GRAJEDA, Juan Manuel Tadeo y PATIÑO-CARACHURE, Cristóbal

*Universidad Autónoma del Carmen, Campus III, Facultad de Ingeniería, Avenida Central S/N, Esq. con
Fracc. Mundo Maya, C.P. 24115, Ciudad del Carmen, Campeche, México.*

ID 1^{er} Autor: *Víctor Alberto, Sánchez-Martínez* / **ORC ID:** 0000-00030487-8323, **CVU CONACYT ID:**
1088487

ID 1^{er} Coautor: *Sandra Jazmín, Figueroa-Ramírez* / **ORC ID:** 0000-0003-1368-1741, **CVU CONACYT
ID:** 164797

ID 2^{do} Coautor: *Juan Manuel Tadeo, Sierra-Grajeda* / **ORC ID:** 0000-0002-0565-6450, **CVU
CONACYT ID:** 219284

ID 3^{er} Coautor: *Cristóbal, Patiño-Carachure* / **ORC ID:** 0000-0002-1436-1259, **CVU CONACYT ID:**
226327

DOI: 10.35429/H.2022.10.59.69

V. Sánchez, S. Figueroa, J. Sierra y C. Patiño

* 100776@mail.unacar.mx

O. Benavides & A. Flores (VV. AA.). Ingeniería y Materiales Aplicados al Medio Ambiente. Handbooks- TII- ©ECORFAN-
Mexico, 2022.

Resumen

En el presente trabajo se llevó a cabo la caracterización de tres electrolizadores tipo PEM en monocelda con distintos campos de flujo: pines cuadrados, pines circulares y circulares en zigzag. Asimismo, se determinó la cantidad de hidrógeno producido para cada diseño a diferentes potenciales, tiempos y temperaturas. A partir de estas mediciones y con la finalidad de observar la influencia de los diferentes campos de flujo, se compararon curvas de polarización y gráficos de producción de hidrógeno contra el tiempo. Asimismo, se construyó un sistema de suministro de agua con el cual se lograron almacenar y cuantificar el hidrógeno y el oxígeno producido. Los resultados demostraron que tanto el potencial como el tiempo son las variables con mayor impacto en la producción de hidrógeno; el campo de flujo con pines cuadrados generó más hidrógeno que los diseños con pines circulares y el diseño en zig-zag generó más hidrógeno que el convencional.

Electrolizador, PEM, Hidrógeno, Campos de Flujo

Abstract

In the present work, the characterization of three single cell PEM electrolyzers with different flow field: square, circular and circular zigzag pin flow fields was carried out. Thus, the amount of hydrogen produced for each design at different potentials, times and temperatures was also determined. From these measurements and in order to observe the influence of the different flow fields, polarization curves and graphs of hydrogen production versus time were compared. A water supply system was also constructed to store and quantify the hydrogen and oxygen produced. The results showed that both potential and time are the variables with the greatest impact on hydrogen production; the flow field with square pins generated more hydrogen than the designs with circular pins and the zig-zag design generated more hydrogen than the conventional one.

PEM electrolyzer, Flow-Fields, Hydrogen production

1 Introducción

El uso de los combustibles fósiles ha sido fundamental para el desarrollo de la sociedad desde el siglo XX y su uso como fuente de energía primaria ha sido la principal causa de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera (Posso, 2000). Entre las distintas fuentes de energía primaria se encuentran las energías renovables que incluyen desde la energía solar, eólica, biomasa, hidroeléctrica, mareomotriz y geotermia. Todas estas cumplen con el concepto de energía obtenida por la naturaleza de forma repetitiva y con un flujo de energía persistente en el ambiente local (Twidell, 2006).

Por otra parte, el uso del Hidrógeno como vector energético ayudará en un futuro cercano ayudará a satisfacer la demanda energética de los países debido a su capacidad para almacenar y transportar la energía producida por las energías renovables, en 2018 se produjeron 116.95 PJ (1.8 % de la energía nacional) de energía a partir de fuentes de Hidrógeno, estos datos pertenecen al balance nacional de energía y ha sido producido a partir de diversos recursos renovables y no renovables, (Kumar, 2019).

En el caso de los recursos energéticos no renovables, se utilizan los procesos de reformado con vapor, gasificación del carbón y oxidación parcial. En el caso de los recursos renovables, se emplean la biomasa, fuentes biológicas y electrólisis del agua. (Chi, 2018), afirma que la electrólisis del agua es un proceso donde el reactante es disociado del Hidrógeno y el Oxígeno por la influencia de la corriente directa. (Grigoriev, 2020) menciona que existen principalmente 3 tipos de celdas electrolíticas o electrolizadores que permiten trabajar con la electrólisis del agua, como lo son los alcalinos, de óxido sólido y de membrana de intercambio protónico o PEM por sus siglas en inglés. Sin embargo, para lograr la mayor eficiencia, determinar las condiciones óptimas de operación y prevenir la degradación de la MEA de un electrolizador, es necesario construir nuevos diseños y evaluarlos a diferentes condiciones, (López, 2014 y Rakousky, 2017).

De acuerdo con (Pino, 2009) los electrolizadores PEM pueden llegar hasta el 94% de eficiencia, pero por ahora esto es algo teórico.

En este trabajo se presenta un estudio para comparar el desempeño de tres electrolizadores de 25 cm² de área activa con diferentes campos de flujo (pines cuadrados, pines circulares y pines circulares en zigzag) mediante curvas de polarización, los cuales fueron evaluados en arreglos de monoceldas a temperatura ambiente y empleando un flujo continuo de agua de 1.67 L/min. Asimismo, para cada uno de ellos se determina la producción de hidrógeno en función del potencial y el tiempo de operación.

2 Metodología

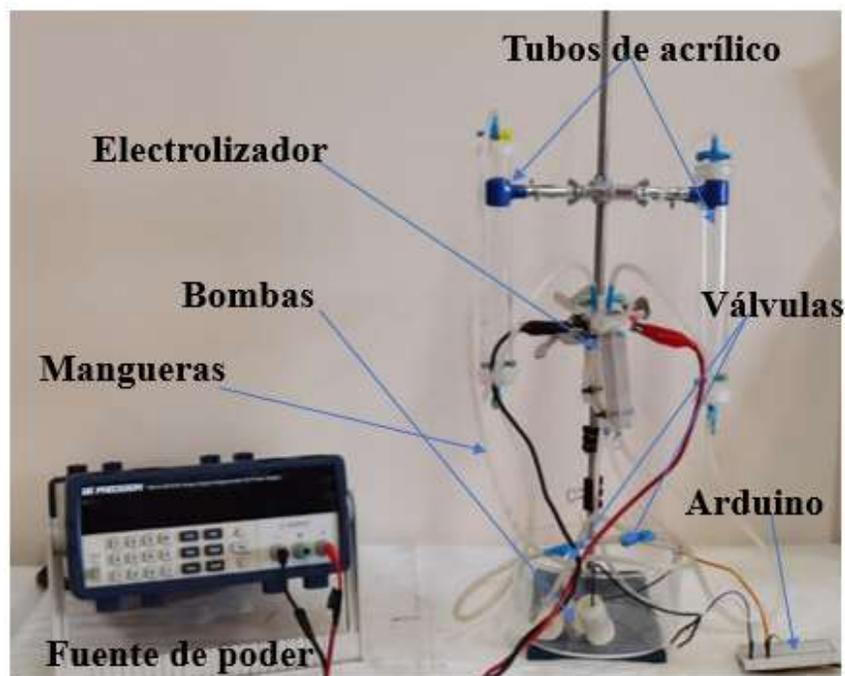
Para llevar a cabo la caracterización de los tres electrolizadores primero se diseñó y construyó un sistema de suministro de agua por bombeo y de almacenamiento del hidrógeno y oxígeno. Después se realizó la prueba de fugas tanto en el sistema como en cada electrolizador. Para garantizar que la única variable en el estudio fuera el campo de flujo, se utilizaron ensambles membrana-electrodos comerciales de 3 capas de la marca Fuel Cell Store ® y mallas de Titanio Platinizado.

2.1 Sistema de suministro de agua y almacenamiento de gases

El sistema de suministro de agua y almacenamiento de gases (Hidrógeno y Oxígeno) Figura 1, consiste en dos bombas sumergibles de corriente directa, una tarjeta Arduino con componentes electrónicos programada para regular el voltaje aplicado a las bombas y controlar el caudal, un contenedor de agua de 1.5 L, mangueras, válvulas, dos tubos de acrílico y una fuente de poder para aplicar el potencial a cada electrolizador. Una vez verificado el correcto funcionamiento del sistema se procedió con el llenado del contenedor con $\frac{3}{4}$ partes de agua desionizada, después se introdujeron las bombas sumergibles, se conectaron mangueras y válvulas para guiar el flujo hacia los tubos de acrílico (cilindros de almacenamiento de H₂ y O₂) y llenarlos de agua, posteriormente se conectaron las mangueras de salida de agua de los cilindros hacia el electrolizador y se conectaron las mangueras de salida de los gases del electrolizador al sistema de almacenamiento.

Después se conectan los cables de la fuente de poder a las terminales del electrolizador, se encienden las bombas de agua para el llenado de los cilindros y electrolizador y finalmente con la fuente de poder se genera la diferencia de potencial (ΔE) necesaria para que el agua se separe. De esta manera los gases producidos son enviados a los tubos de acrílico y estos van desplazando al agua que se encuentra en los tubos, comenzando a almacenarse en la parte superior de los cilindros y comienza a registrarse el volumen de cada gas.

Figura 1 Sistema de Alimentación y almacenamiento



Fuente: Elaboración Propia

2.2 Caracterización electroquímica

Una vez que los electrolizadores comienzan a generar burbujas a un potencial inicial se procede con su caracterización mediante la aplicación de diferentes potenciales y el registro de la intensidad de corriente demandada por cada electrolizador. Para generar la curva de polarización se utilizó un intervalo de potencial de 1.4 V a 2.5 V con incrementos de 0.1V. Es importante mencionar que el potencial teórico utilizado para separar la molécula del agua es de 1.23 V. Para los electrolizadores de este estudio se observó que la producción de hidrógeno inició en $\approx 1.5V$.

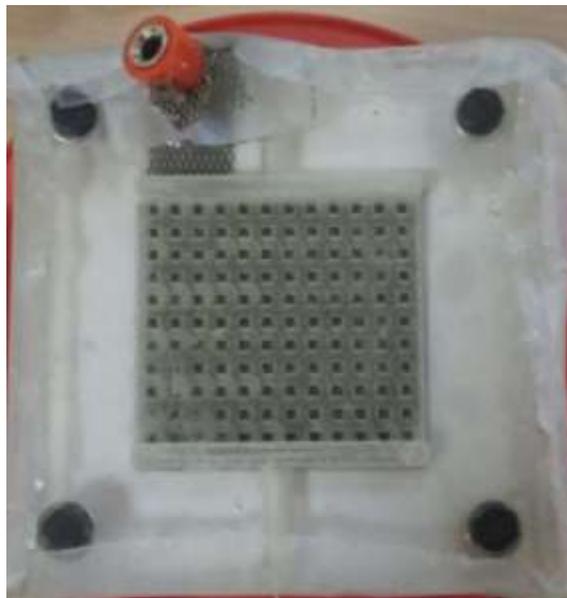
3 Resultados

En esta sección se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los electrolizadores, primero se presenta la curva de polarización de cada electrolizador, posteriormente las gráficas de medición de volumen de hidrógeno producido a diferentes potenciales de operación y finalmente la cuantificación de hidrógeno y oxígeno a diferentes intervalos de tiempo y un potencial máximo fijo. Finalmente se muestra una gráfica comparativa de la producción de hidrógeno para los tres electrolizadores con distinto campo de flujo.

3.1 Electrolizador de pines cuadrados

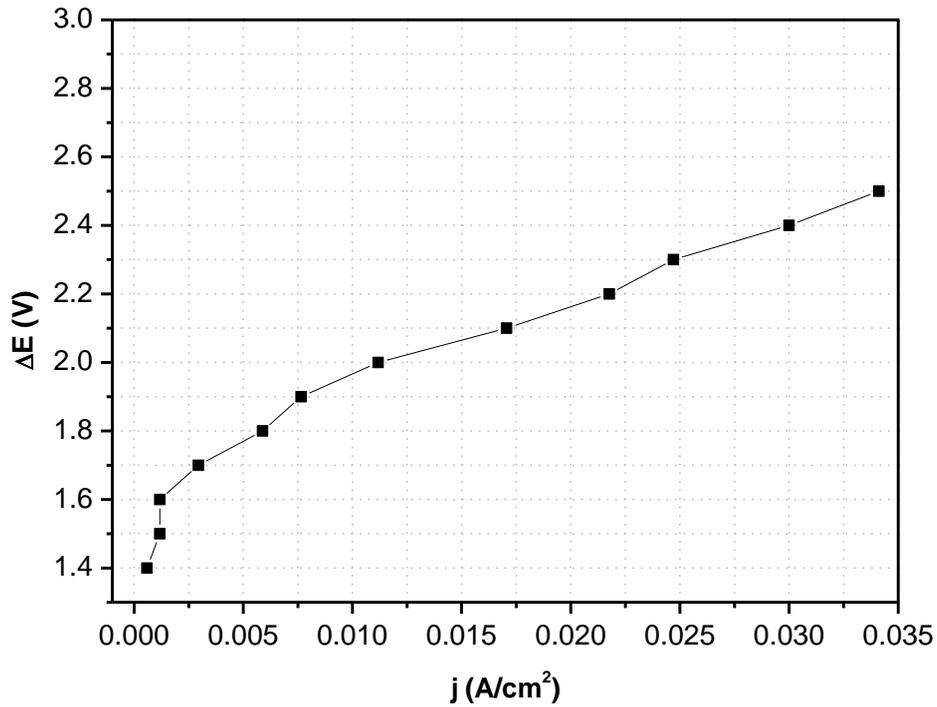
En la Figura 2 se muestra el electrolizador tipo PEM con campo de flujo de pines cuadrados, tiene un área activa de 25 cm^2 , el ensamble membrana/electrodos o MEA es de 3 capas y está compuesto de una membrana Nafion 115, con depósito de Pt/C (Cátodo) e Ir/Ru (Ánodo), adicionalmente se empleó una malla de Titanio platinizado de 7 milésimas de espesor como difusor y colector de corriente en ambos lados de la MEA y dos sellos de teflón.

Figura 2 Electrolizador de pines cuadrados

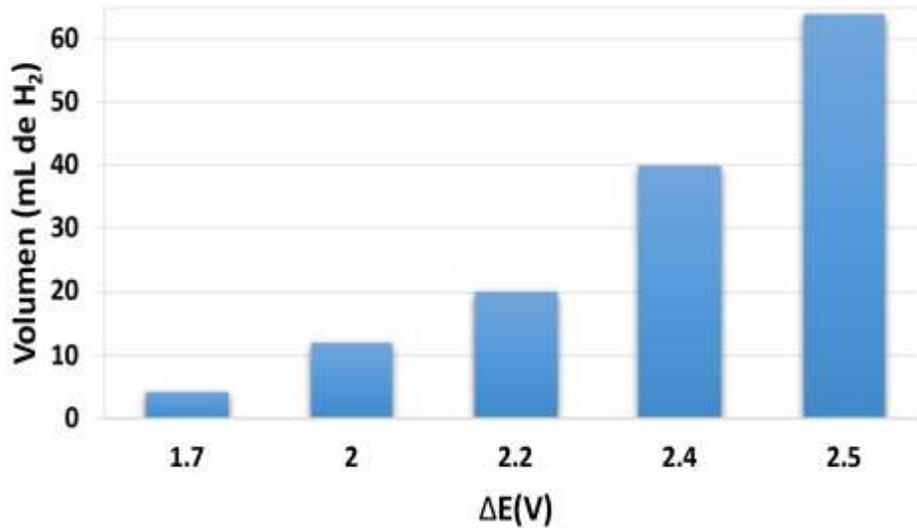


Fuente: Elaboración Propia

En la Gráfico 1 se muestra la curva de polarización de este electrolizador y como se puede observar, a mayor potencial, mayor es la densidad de corriente (j), para el potencial máximo de este estudio (2.5 V), se obtuvo una densidad de corriente de $0.03412A/cm^2$.

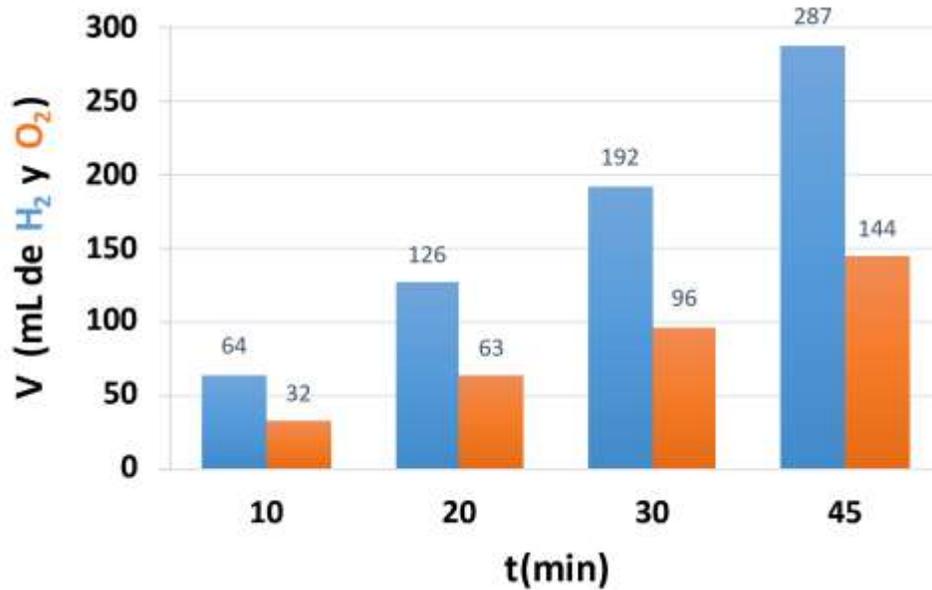
Gráfico 1 Curva de polarización del electrolizador de pines cuadrados

Para el estudio de la producción de hidrógeno a diferentes potenciales, el electrolizador se mantuvo a diferentes potenciales durante 10 min para registrar el volumen producido. En la Gráfico 2 se observa que la mayor producción se obtuvo con el potencial de 2.5 V.

Gráfico 2 Producción de hidrógeno a diferentes ΔE 

Finalmente, en el estudio de la producción de hidrógeno y oxígeno contra el tiempo (Gráfico 3), se deja fijo el potencial y se registran los volúmenes obtenidos en intervalos de 10, 20, 30 y 45 minutos. Se determinó que este electrolizador puede producir hasta 287 mL de hidrógeno y 144 mL de oxígeno en 45 min.

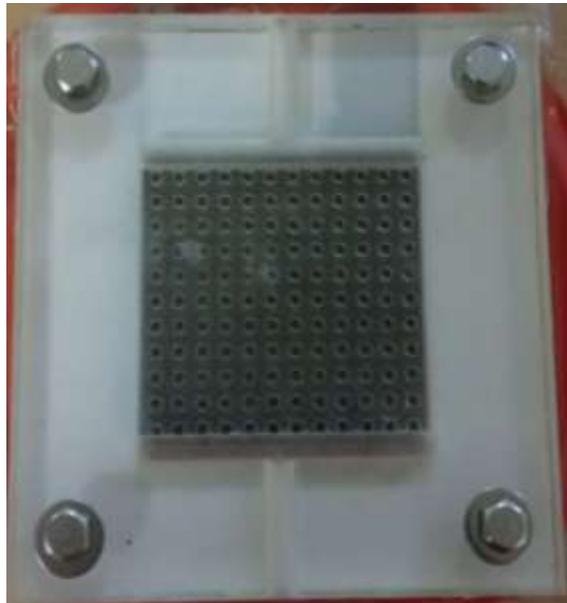
Gráfico 3 Producción de hidrógeno y oxígeno a $\Delta E= 2.5$ V en función del tiempo



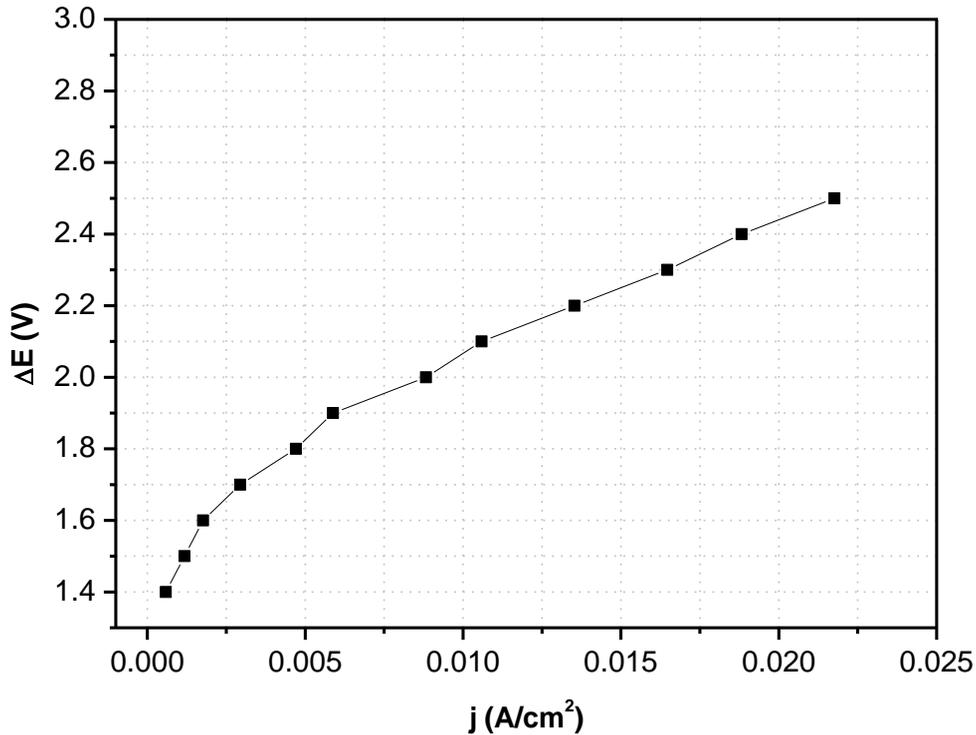
3.2 Electrolizador de pines circulares

En la Figura 3 se muestra el electrolizador con campo de flujo con pines circulares, las características de la MEA son las mismas que las del electrolizador anterior; sin embargo, respecto al campo de flujo, el uso de los pines circulares se propuso con la finalidad de evitar el estancamiento de burbujas de gas en la base de los pines cuadrados, lo que impedía un aprovechamiento óptimo del área activa y menores tasas de reacción durante la electrólisis.

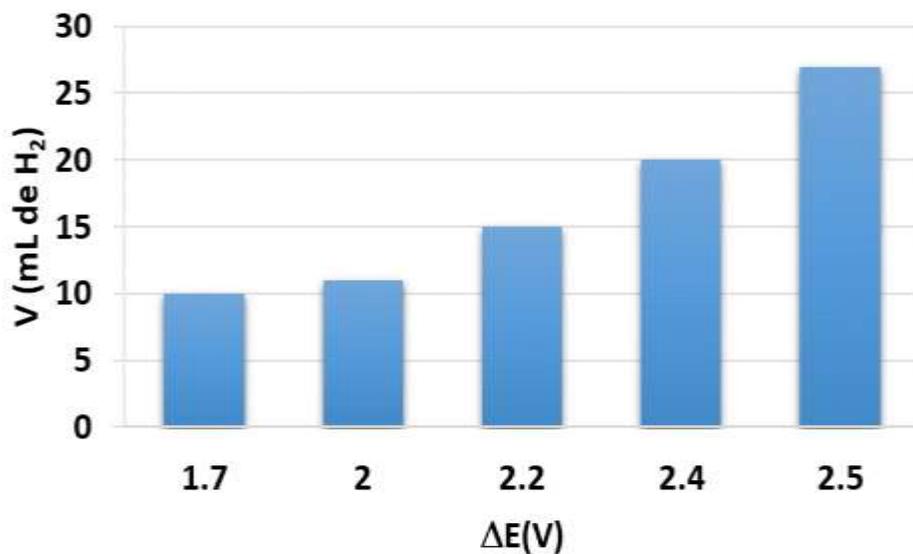
Figura 3 Electrolizador de pines circulares



En la Gráfico 4 se muestra la curva de polarización de este electrolizador, a diferencia del electrolizador de pines cuadrados en este se observaron densidades de corriente inferiores a los 0.0148 A/cm², por lo que su desempeño fue menor y con una producción de hidrógeno más baja, la propuesta del diseño circular para evitar el estancamiento de burbujas no resultó favorable en las pruebas de caracterización.

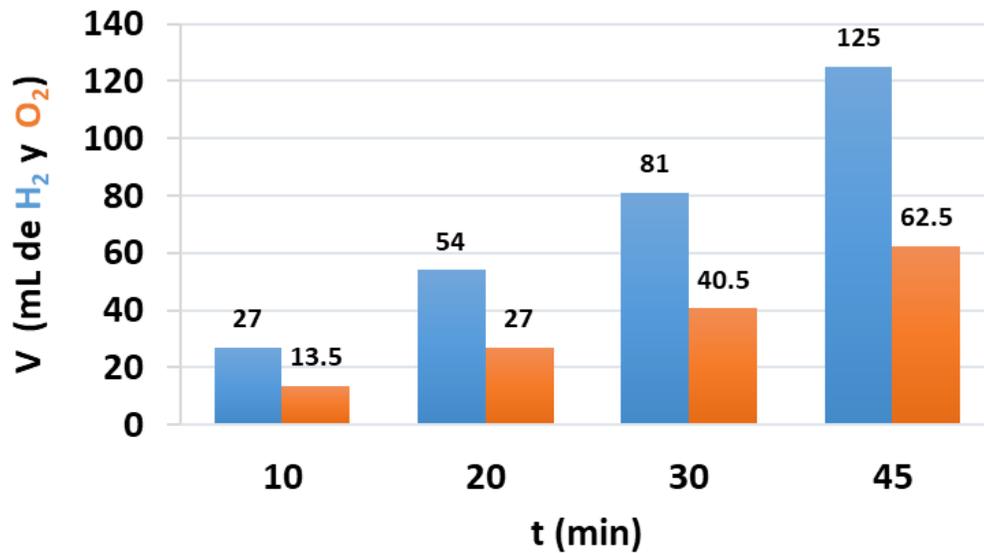
Gráfico 4 Curva de polarización del electrolizador de pines circulares

En el estudio de la producción a diferentes potenciales (Gráfico 5), al igual que en el electrolizador anterior, se observó una mayor producción conforme el ΔE incrementa; sin embargo, el volumen de hidrógeno producido fue menos de la mitad que el obtenido con el electrolizador de pines cuadrados, por lo que el flujo laminar entre los canales con pines circulares no favoreció la producción de hidrógeno.

Gráfico 5 Producción de hidrógeno a diferentes ΔE 

Finalmente, en el estudio de la producción contra el tiempo (Gráfico 6), se mantuvo fijo el potencial y se registraron los volúmenes en intervalos de 10, 20, 30 y 45 minutos. Se determinó que este electrolizador puede producir hasta 125 mL de hidrógeno y 62.5 mL de oxígeno en 45 min, resultando en un rendimiento mucho más bajo que el electrolizador de pines cuadrados.

Gráfico 6 Producción de hidrógeno y oxígeno a $\Delta E = 2.5$ V en función del tiempo



3.3 Electrolizador de pines circulares en zigzag

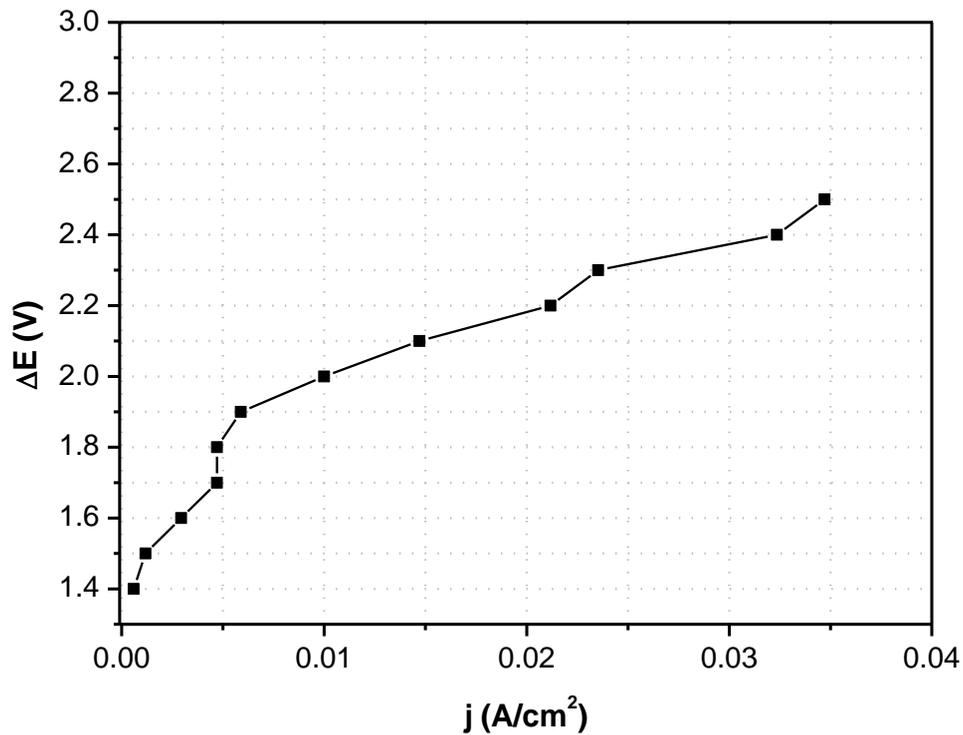
En la Figura 4 se observa el electrolizador de pines circulares con campo de flujo en zigzag, este electrolizador también fue maquinado con la finalidad de incrementar la tasa de reacción entre el agua y los catalizadores, pero debido al desempeño del campo de flujo anterior se propuso un diseño en zig-zag para promover una mayor turbulencia en el flujo y evitar el estancamiento de burbujas en la base de los pines.

Figura 4 Electrolizador de pines circulares con campo de flujo en zigzag



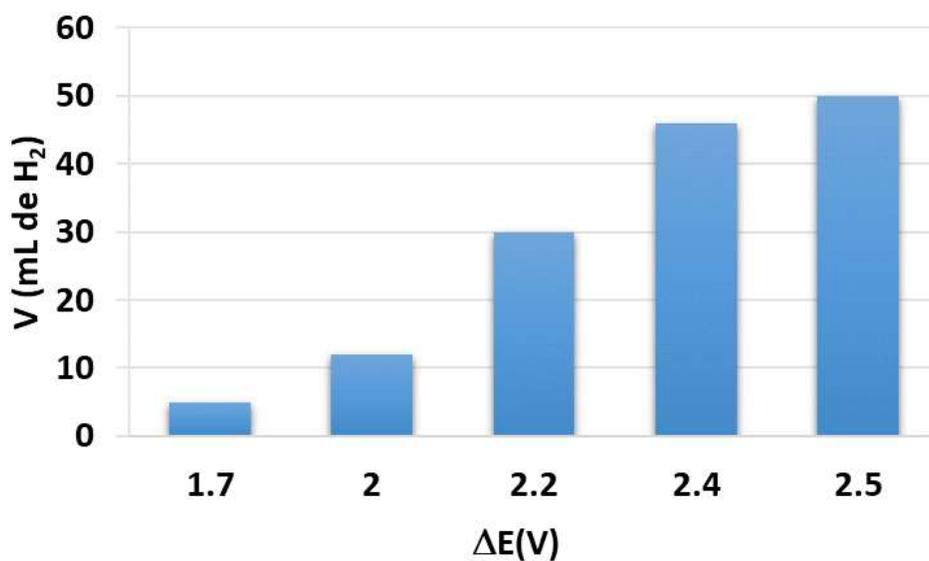
En el Gráfico 7 se muestra la curva de polarización del electrolizador, como se puede observar este diseño presentó una mayor densidad de corriente en comparación al electrolizador de pines circulares rectos (Figura 3) y prácticamente la misma densidad de corriente que el de pines cuadrados, por lo que se puede comprobar que bajo esas condiciones de flujo y temperatura el desempeño fue el mismo y se puede esperar una producción de hidrógeno similar al de pines cuadrados.

Gráfico 7 Curva de polarización del electrolizador de pines circulares de zig-zag



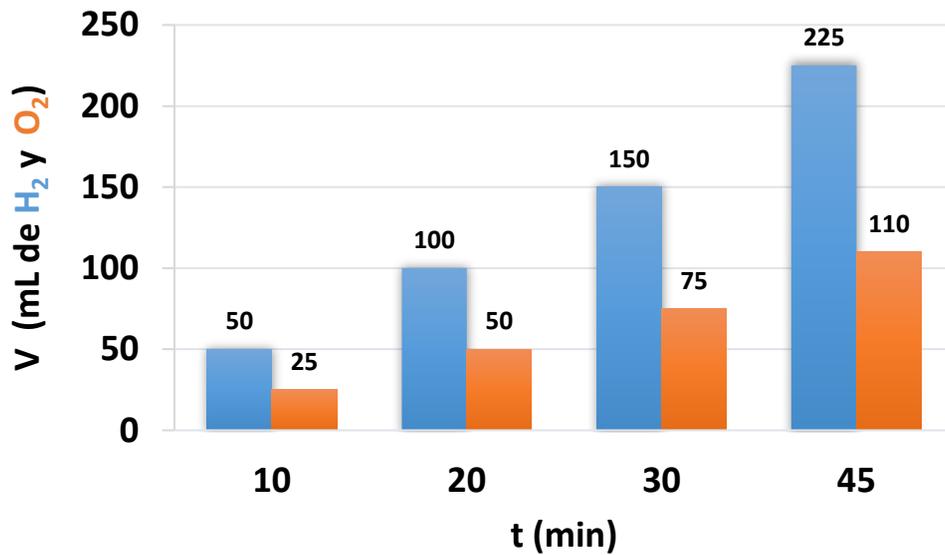
En la Gráfico 8 se presenta la gráfica de producción de hidrógeno a diferentes tiempos para el electrolizador con pines circulares en zig-zag, como se observa en la gráfica este diseño mejoró la producción de hidrógeno y se obtuvo una producción de 50 mL a un potencial de 2.5 V, el doble del obtenido con el diseño de pines circulares convencional.

Gráfico 8 Producción de hidrógeno y oxígeno a $\Delta E = 2.5$ V en función del tiempo



En la Gráfico 9 se observa la producción de hidrógeno a diferentes tiempos y como era de esperarse, la modificación de este campo de flujo mejoró la producción de hidrógeno, alcanzando un valor de 225 mL, es decir 100 mL más del obtenido solo con los pines circulares.

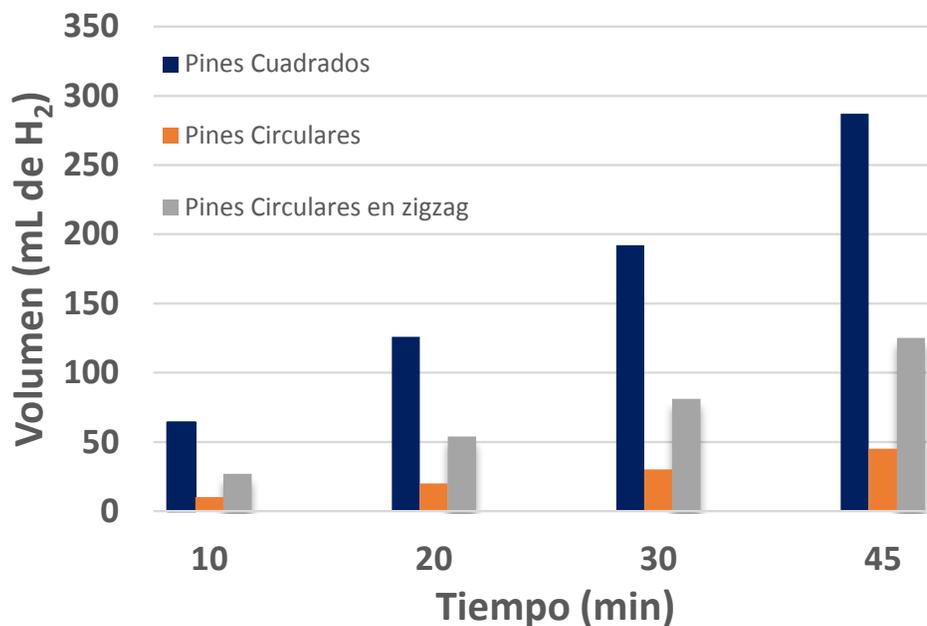
Gráfico 9 Producción de hidrógeno y oxígeno a $\Delta E = 2.5$ V en función del tiempo



3.4 Comparativa de la producción

En la Gráfico 10 se observa una gráfica comparativa de la producción de hidrogeno de los tres electrolizadores evaluados en este trabajo. El electrolizador con pines cuadrados presentó la mayor producción de hidrógeno en cada intervalo de tiempo, alcanzando un volumen de 287 mL para un tiempo de 45 min. El electrolizador con pines circulares no mejoró el rendimiento de la MEA con su diseño; sin embargo, el electrolizador con pines circulares en zig-zag superó significativamente al diseño convencional de pines circulares por lo que la modificación de su arquitectura/campo de flujo, sí demostró una influencia positiva en su desempeño, por lo tanto, la combinación de ambos criterios de promover un flujo turbulento y el diseño de pines circulares para evitar el estancamiento de burbujas sí favorece la tasa de reacción del agua con los electrocatalizadores e incrementa su rendimiento.

Gráfico 10 Gráfica comparativa de la producción de hidrógeno de los electrolizadores caracterizados.



4 Conclusiones

En este trabajo se caracterización tres electrolizadores con distintos campos de flujo: pines cuadrados, pines circulares y pines circulares en zig-zag con la finalidad de demostrar el impacto del campo de flujo en su desempeño y volumen de hidrógeno producido. El electrolizador con campo de flujo de pines cuadrados presentó una mayor producción de hidrógeno en comparación con los demás electrolizadores; el electrolizador con campo de flujo de pines circulares presentó el desempeño más bajo; sin embargo, el electrolizador con pines circulares en zigzag demostró una mejora significativa comparado con el diseño convencional logrando obtener rendimientos similares al de pines cuadrados. Los criterios planteados para incrementar la tasa de reacción y promover la turbulencia en el campo de flujo sí tuvieron un impacto positivo en el desempeño del ensamble membrana/electrodos por lo que es necesario realizar estudios más puntuales sobre estos aspectos. Finalmente se pudo determinar que el tiempo y potencial son las variables que más afectan a la producción de hidrógeno, a mayor potencial y tiempo de operación se obtendrá una producción de hidrógeno más alta.

5 Agradecimientos

Víctor Alberto Sánchez Martínez agradece CONACyT por la beca otorgada para realizar sus estudios en el Programa de Maestría en Ingeniería de Materiales y Energía, UNACAR y al proyecto No. 254667 “Consolidación del laboratorio de Energía Renovable del Sureste” LENERSE de CONACyT por los materiales y equipos adquiridos.

6 Referencias

- Posso. (2000). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro, parte Uno: Sistema Energético Basado en Fuentes Fósiles. *Geoenseñanza*, 5(2), 1316-6077. <https://www.redalyc.org/pdf/360/36050204.pdf>
- Twidell, J. (2006, 2 mayo). *Renewable Energy Resources* | John Twidell | Taylor & Francis eBooks, R. Taylor & Francis. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780203478721/renewable-energy-resources-john-twidell>
- Shiva Kumar, S. & Himabindu, V. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 442-454. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>
- Chi, J. & Yu, H. (2018). Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production. *Chinese Journal of Catalysis*, 39(3), 390-394. [https://doi.org/10.1016/s1872-2067\(17\)62949-8](https://doi.org/10.1016/s1872-2067(17)62949-8)
- Grigoriev, S., Fateev, V., Bessarabov, D. & Millet, P. (2020). Current status, research trends, and challenges in water electrolysis science and technology. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(49), 26036-26058. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.109>
- Lopez M. (2014). *DISEÑO Y MANUFACTURA DE PROTOTIPOS ELECTROLIZADOR-CELDA DE COMBUSTIBLE* [Tesis de licenciatura]. Instituto Politécnico Nacional.
- Rakousky, C., Reimer, U., Wippermann, K., Kuhri, S., Carmo, M., Lueke, W. & Stolten, D. (2017). Polymer electrolyte membrane water electrolysis: Restraining degradation in the presence of fluctuating power. *Journal of Power Sources*, 342, 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.11.118>