

# CARACTERIZACIÓN DE ELECTROLIZADOR CON DIFERENTES TIPOS DE AGUA DEL BAJÍO MEXICANO

## CHARACTERIZATION OF ELECTROLYZER WITH DIFFERENT TYPES OF WATER FROM THE MEXICAN SHOAL

Andrés Iarir Perea<sup>1</sup>, Heikki Isa Perea-Esparza<sup>2</sup>, Christian Geovanni Hernández-Murillo<sup>3</sup>,  
Mario Salvador Esparza-González<sup>4</sup>, Luis Antonio Castañeda-Ramos<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Licenciatura en ingeniería eléctrica. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, departamento de ingeniería eléctrica y electrónica. andres.iarir@gmail.com, 449 576 8397, Av. Adolfo López Mateos #1801 Ote. Fracc. Bona Gens, C.P. 20256 Aguascalientes, Ags.

<sup>2</sup>Licenciatura en ingeniería electrónica. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, departamento de ingeniería eléctrica y electrónica. heikkizlol.00@gmail.com, 449 896 2694, Av. Adolfo López Mateos #1801 Ote. Fracc. Bona Gens, C.P. 20256 Aguascalientes, Ags.

<sup>3</sup>Doctorado en Ciencias en Ingeniería. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, departamento de ingeniería eléctrica y electrónica. christian.hm@aguascalientes.tecnm.mx, 449 254 77 59, Av. Adolfo López Mateos #1801 Ote. Fracc. Bona Gens, C.P. 20256 Aguascalientes, Ags.

<sup>4</sup>Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, departamento de ingeniería eléctrica y electrónica. mario.eg@aguascalientes.tecnm.mx , 449 256 0982, Av. Adolfo López Mateos #1801 Ote. Fracc. Bona Gens, C.P. 20256 Aguascalientes, Ags.

<sup>5</sup>Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, departamento de ingeniería eléctrica y electrónica. luis.cr@aguascalientes.tecnm.mx, 449 128 1806, Av. Adolfo López Mateos #1801 Ote. Fracc. Bona Gens, C.P. 20256 Aguascalientes, Ags.

**Resumen:** En este trabajo se caracteriza un electrolizador con diferentes tipos de agua del Bajío Mexicano, para obtener los parámetros de resistencia equivalente, temperatura, capacitancia y conductividad.

Las pruebas demuestran que las aguas residuales, debido a su conductividad y acidez, son candidatas adecuadas para producir hidrógeno verde.

**Palabras Clave:** electrolizador, hidrogeno verde, electrolisis, aguas residuales, energía.

**Abstract:** This work characterizes a wastewater electrolyzer to obtain its parameters and thus be able to model an equivalent circuit to design and simulate these systems on a larger scale, providing a reliable tool for the industrialization of hydrogen production from wastewater.

The tests demonstrate that wastewater, due to its conductivity and acidity, is a suitable candidate to produce green hydrogen.

**Key words:** Electrolysis, electrolyzer, energy, green hydrogen, wastewater.

### INTRODUCCIÓN

Con la creciente demanda de energías renovables a nivel mundial, con el objetivo de frenar el calentamiento global el cual afecta a toda la población, se han presentado nuevos retos para la integración de estas fuentes energéticas al sistema eléctrico de potencia; una de las principales soluciones para el almacenamiento energético es el uso de hidrógeno obtenido mediante electrólisis.

Para esto se utilizan electrolizadores que son máquinas que extraen el hidrógeno del agua mediante el paso de la corriente eléctrica. Estas máquinas suelen usar materiales muy costosos para aumentar su fiabilidad y eficiencia, entre estos se encuentran metales nobles como el Platino y materiales compuestos [1]. Esto ha sido un gran impedimento para la implementación del hidrógeno en los sistemas de almacenamiento de energía pues los materiales y electrolitos usados son muy costosos.

En este trabajo de investigación, se pretende hacer una comparación y análisis del desempeño de diferentes mezclas de agua a una tensión elevada, para llevarlo a condiciones de máximo desempeño y acelerar el proceso de corrosión de los electrodos, en comparación con la tensión a la que operan las celdas de los electrolizadores convencionales cuya tensión oscila en el rango de 1.5 a 2.2 V [2,3], y así determinar cuál de las muestras de agua utilizadas en este proyecto, presenta una mejor eficiencia y durabilidad, para poder ser utilizada en la producción de hidrógeno verde por electrólisis.

### DESARROLLO

#### Metodología.

Se caracterizará el electrolizador con muestras de agua destilada, potable, y residual del municipio de Aguascalientes esperando que la conductividad del agua residual sea más grande que la conductividad del agua potable [4], además se compararán con una muestra de agua de mar del municipio de Puerto Vallarta, Jalisco ya que el agua de mar presenta una alta conductividad [5,6]; las muestras de agua son etiquetadas de acuerdo con la tabla 1.

Tabla 1. Etiquetado de muestras.

Muestra	Agua destilada	Agua potable	Agua residual	Agua de mar
Nombre	AD_Ag	AP_Ag	AR_Ag	AM_PV

a) Circuito Eléctrico Utilizado.

Para obtener las impedancias del electrolizador con los diferentes materiales empleados, se utilizó el circuito equivalente de la figura 1 [7].

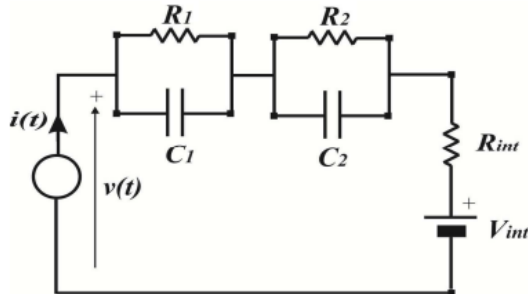


Figura 1. Circuito equivalente del electrolizador.

b) Proceso de Niquelado de los Electrodo.

Para la fabricación de los electrodos, se utilizó acero galvanizado lijado, en forma de cuadrado, con medidas de 10 cm y un espesor de 0.91 mm. Se aplicó una capa de níquel por deposición mediante el método de “Baño de Watt”, esto con el objetivo proteger a los electrodos de la corrosión [8].

Para obtener el niquelado se preparó una solución de agua con ácido bórico con una relación de 35 mg por cada litro de agua y dos placas de Níquel de 99.96% de pureza; para depositar una capa de níquel a las placas de acero, se utilizó una fuente de potencia LabVolt Series8821-22 usando la salida de CD variable en un rango de 10 V a 40 V para obtener una corriente constante de 5 A durante 0.5 h, figura 2 [9].



Figura 2. Equipo para baño de Watt.

Aplicando la ley de electrólisis de Faraday, es posible calcular la masa de níquel que se depositará sobre la superficie de los electrodos, ecuación 1.

$$m = \left[ \frac{P.M.}{(No.e)(k)} \right] (I)(t) \quad \text{ecuación. (1)}$$

Donde:

$m$  = masa depositada [gr].

$P.M.$  = Peso Molecular [gr/mol].

$No. e$  = Numero de electrones del material.

$k$  = Constante de Faraday.

$I$  = Corriente eléctrica [A].

$t$  = tiempo en segundos [s].

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación 1, se obtiene como resultado que la masa de níquel depositada es de 1.094 gr, que se aproxima al valor necesario para depositar una capa de 12  $\mu\text{m}$  en la superficie del electrodo [10]. En la figura 3, se aprecia el resultado obtenido del baño de Watt en uno de los electrodos.



Figura 3. Placa de acero niquelada (izquierda), placa de acero pulida (derecha).

c) Construcción del electrolizador.

La construcción del electrolizador se llevó a cabo utilizando dos tapas de acrílico de 6 mm de espesor, dos electrodos de acero niquelado usando como empaque entre ánodo-acrílico y cátodo-acrílico, neopreno con 1.53 mm de espesor; y como empaque entre ánodo y cátodo un anillo o ring de 10 cm de diámetro con 2.5 mm de espesor, todo fue presionado con las dos tapas de acrílico usando 8 pernos de presión, en la figura 4 y 5 se observan la vista frontal y lateral del diseño CAD del electrolizador. El área efectiva del electrolizador es de 78.54  $\text{cm}^2$  y la separación entre placas es de 1.5 mm.

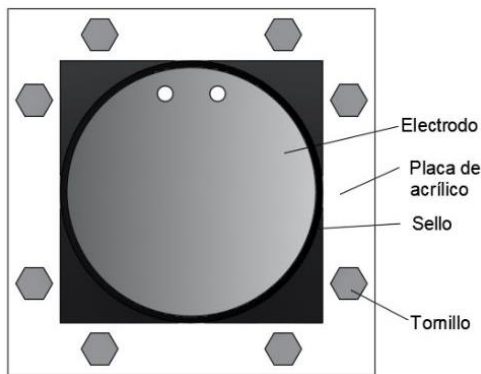


Figura 4. Diseño CAD del electrolizador vista frontal.

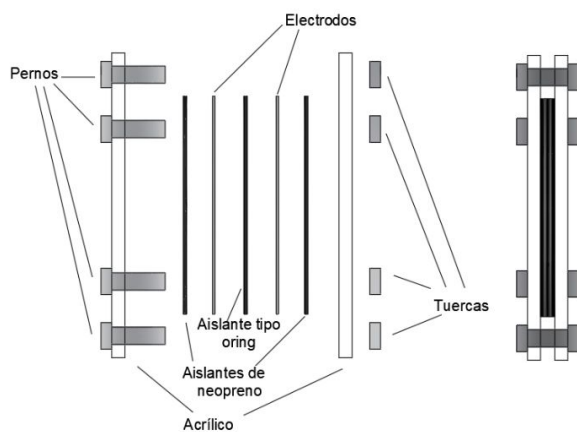


Figura 5. Diseño CAD del electrolizador vista lateral.

En esta investigación se utilizó la configuración de una sola celda, para no tomar en cuenta los dipolos ni aumentar el voltaje requerido para su operación. Considerando que en el proceso de apilamiento el comportamiento de corrosión en los electrodos es similar [11].

**d) Medición de parámetros.**

Para obtener una estimación del voltaje aplicado para las pruebas a realizar con el electrolizador, se midieron los valores de resistencia y capacitancia del circuito equivalente, con las diferentes muestras de agua; para ello se utilizó un puente RLC digital de la marca REED modelo R5001 con precisión de +/- 1.5%.

**e) Realización de la prueba**

Con las mediciones realizadas con el puente RLC se puede definir un voltaje para realizar las pruebas con el electrolizador sin exceder la potencia máxima suministrada por la fuente. Para ello se siguen las siguientes etapas.

1. En base a las mediciones obtenidas por el puente RLC, se alimenta el electrolizador con una tensión constante de 24 V por un periodo de tiempo de 0.5 h.
2. Se registran valores de temperatura ambiente y promedio en el electrolizador a partir de mediciones de temperatura en 3 distintos puntos, ver figura 6; para la medición de temperatura se utilizó un termómetro infrarrojo de doble láser de la marca Klein Tools IR5 con una precisión de +/- 2%, las mediciones fueron realizadas a una distancia de 10 cm del electrolizador.

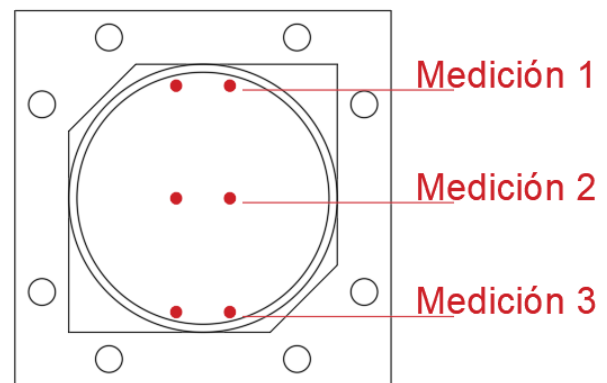


Figura 6. Medición de temperatura.

3. Durante la prueba se registran valores de corriente y voltaje cada 8 s, utilizando un analizador de redes marca FLUKE modelo 43B con +/- 1% de error en la pinza amperimétrica y +/- 5% en la medición de tensión.
4. Una vez registrados los valores de corriente se calcula la resistencia equivalente del circuito usando la ecuación 2.

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{ecuación. (2)}$$

Donde:

$V =$  Tensión suministrada en el electrolizador [V].  
 $I =$  Corriente que circula por el electrolizador [A].  
 $R =$  Resistencia equivalente del electrolizador [ $\Omega$ ].

5. Obtenida la resistencia promedio, es posible calcular la conductancia del electrolizador, ecuación 3.

$$G = \frac{1}{R} \quad \text{ecuación. (3)}$$

6. Conocida la resistencia se calcula la resistividad de cada muestra de agua utilizada en el electrolizador mediante la ecuación 4 [12].

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad \text{ecuación. (4)}$$

Donde:

$R$  = Resistencia equivalente [ $\Omega$ ].

$L$  = Distancia entre electrodos [m].

$\rho$  = Resistividad [ $\Omega$  m].

$A$  = Área efectiva entre placas [ $m^2$ ].

## DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### a) Electrolizador.

Para realizar las pruebas de electrólisis y siguiendo el diseño CAD de la figura 4, se fabricó un prototipo de electrolizador alcalino [13], figura 7.

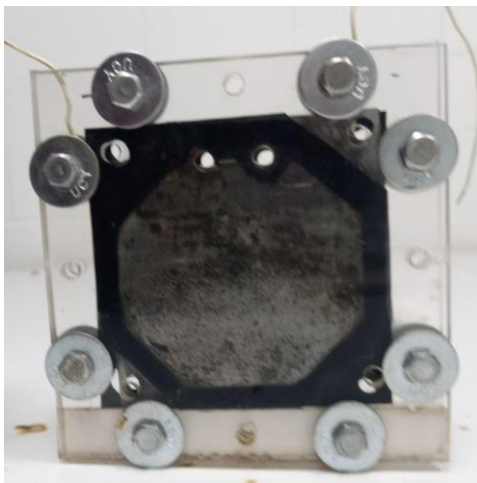


Figura 7. Electrolizador.

### b) Medición de parámetros

Para el desarrollo de la experimentación, fue necesario obtener una aproximación de la resistencia y capacitancia del electrolizador con las diferentes muestras de agua. La medición de los parámetros de resistencia sirve para determinar si es posible alimentar el electrolizador con 24 V sin exceder la corriente que la fuente puede suministrar (8 A) y con ello proteger el equipo. La capacitancia permite verificar si el electrolizador se llenó de la muestra de agua por completo, ya que una baja capacitancia, del orden de los picofaradios, indica que se tiene un material dieléctrico con menor constante de permitividad que el agua ya que la permitividad del aire es de 1.00059 y la del agua es de 80.4 [14], lo que indica que el electrolizador está vacío o que le falta colocar más agua. En cambio, una alta capacitancia, del orden de milifaradios, representa que no se tiene aire entre las placas del electrolizador y por ende el electrolizador se encuentra lleno de agua.

Los valores registrados por el puente RLC, se registran en la tabla 2.

Tabla 2. Datos medidos con el puente RLC

Electrolito	AD_Ag	AP_Ag	AR_Ag	AM_PV
Resistencia [ $\Omega$ ]	580	12.3	9.72	1.38
Capacitancia [mF]	1.953	1.707	2.82	1.98

Como es posible apreciar la capacitancia del electrolizador registrada para cada tipo de agua, se mantiene en el orden de los milifaradios, lo que indica que el electrolizador está lleno de agua. También con el valor de resistencia registrado se pudo determinar que es posible realizar la prueba con las muestras de agua AD\_Ag, AP\_Ag y AR\_Ag, utilizado un voltaje de 24 V ya que la corriente demandada por el electrolizador no superará los 8 A. La muestra AM\_PV, debido a la baja resistencia que presenta el electrolizador llenado con agua de mar, no es posible alimentar el circuito con 24 V ya que superaría la corriente que la fuente puede suministrar, por este motivo se optó por utilizar un voltaje a 10 V para obtener un valor aproximado de 7.2 A durante la prueba.

### c) Realización de pruebas

Durante las pruebas a los diferentes tipos de agua, se registró un calentamiento ocasionado por el efecto Joule, debido a la corriente que pasa a través del electrolizador y la resistencia de éste, figura 8.

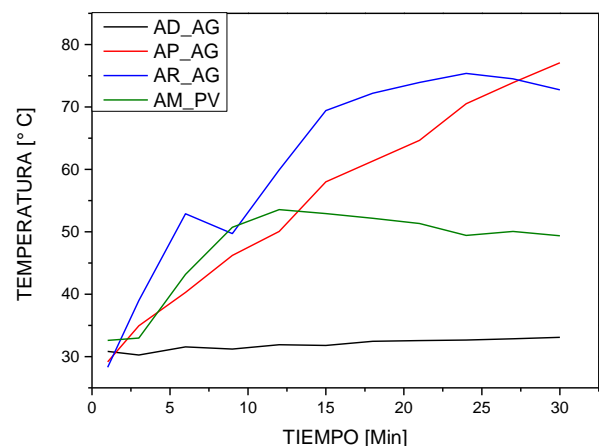


Figura 8. Registro de temperatura en las diferentes muestras de agua.

El comportamiento de la temperatura en la muestra AD\_Ag, no presentó un incremento de temperatura significativo lo anterior se atribuye a que en su composición química carece de impurezas. Referente al

comportamiento de la muestra AP\_Ag, tiene un incremento constante de temperatura durante todo el periodo de la prueba. La muestra de agua AR\_Ag, tiene un comportamiento de aumento en exponencial, presentando un declive en temperatura de 3.2 ° C al minuto 9, este comportamiento es debido a que en ese punto en específico el transitorio que se presenta en el electrolizador termina. Finalmente, la muestra AM\_PV, presenta un incremento de temperatura en el intervalo de tiempo de 0 a 12 min, posterior a este intervalo de tiempo la temperatura registrada durante la experimentación presenta un ligero decremento en su temperatura.

En la tabla 3, se registran los valores de temperatura ambiente, temperatura inicial y final del electrolizador.

Tabla 3. Registro de temperaturas.

Prueba	T ambiente	T inicial	T final
AD_Ag	32.35	30.8333333	33.1
AP_Ag	33.9	29.1666667	77.0666667
AM_PV	37.175	32.6	49.3666667
AR_ag	37.45	28.3	72.7333333

La muestra AD\_Ag tiene un comportamiento muy constante respecto a su temperatura, teniendo solo un aumento de 2.27 ° C, durante toda la prueba, esto confirma el porqué el agua destilada es utilizada en los electrolizadores industriales ya que su comportamiento es estable. A diferencia de las muestras AP\_Ag y AR\_Ag en donde se registró un incremento de temperatura de 47.9 y 44.43 ° C, respectivamente, lo anterior es causa de la cantidad de elementos que contienen cada una de ellas por ejemplo sodio, potasio, calcio, magnesio, cloro, azufre, fósforo y en el caso de Aguascalientes mayores cantidades de flúor [15,16]; los cuales son elementos conductivos y por ende la interacción de la corriente con este tipo de aguas hace que se incremente la temperatura del electrolizador. Por último, la muestra AM\_PV, registra un incremento de temperatura de 16.76 ° C, el cual es un incremento bastante alto considerando que la prueba fue realizada usando 14 V menos que las otras muestras de agua. Es evidente que el agua de mar por sus altas concentraciones de sal presente un incremento de temperatura elevado a pesar de la disminución del voltaje para la realización de esta prueba [17].

La figura 9 y 10, muestran la respuesta del voltaje y la corriente en función del tiempo, para las muestras de agua AD\_Ag, AP\_Ag y AR\_Ag.

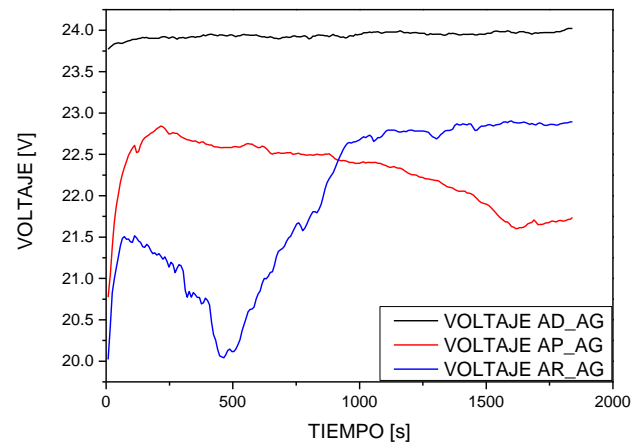


Figura 9. Voltaje durante las pruebas a 24 V.

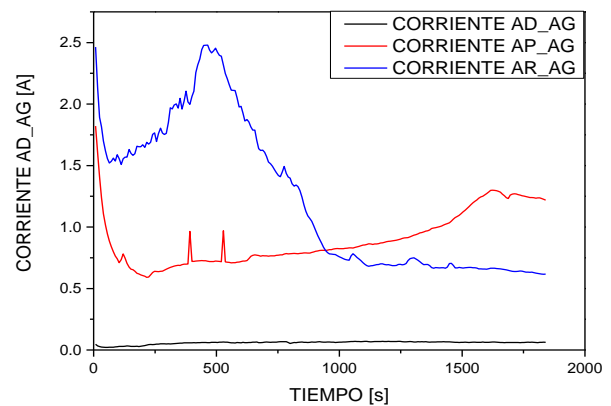


Figura 10. Corriente durante las pruebas a 24 V.

Las figuras anteriores muestran que la muestra de agua AD\_Ag, sigue manteniéndose constante durante toda la prueba, teniendo un comportamiento prácticamente lineal tanto para corriente como para voltaje y presenta un ligero transitorio de duración de 110 s. La muestra AP\_Ag, presenta un incremento de voltaje en su transitorio el cual termina a los 392 s, para posteriormente decrementar su voltaje de operación de 22.6 V a 21.6 V, en lo que respecta a la corriente se cuenta con un comportamiento inverso al voltaje, se registran dos picos de corriente a los 392 y a los 528 s, estos incrementos de corriente pueden ser explicados debido a la corrosión que se presenta en el ánodo. En la muestra AR\_Ag, se visualiza un evidente transitorio el cual termina a los 480 s y su decremento de voltaje es más súbito comparado con la muestra AP\_Ag, este comportamiento también es presenciado en la corriente, después del transitorio tiene un incremento de voltaje lineal de los 480 s hasta los 1000 s y posteriormente tiene un comportamiento prácticamente lineal a diferencia de la muestra AP\_Ag; lo anterior pudiese determinar que la muestra de agua AR\_Ag a pesar de presentar un transitorio mayor comparado con la muestra AP\_Ag, tiene un comportamiento lineal después

de los 1000 s, lo que hace que el agua residual sea un candidato para ser utilizada como agua para el electrolizador.

La muestra AM\_PV fue graficada de manera independiente debido a que la prueba se llevó a cabo configurando la fuente a 10 V, su comportamiento de voltaje y corriente se puede apreciar en la figura 11 y 12, respectivamente.

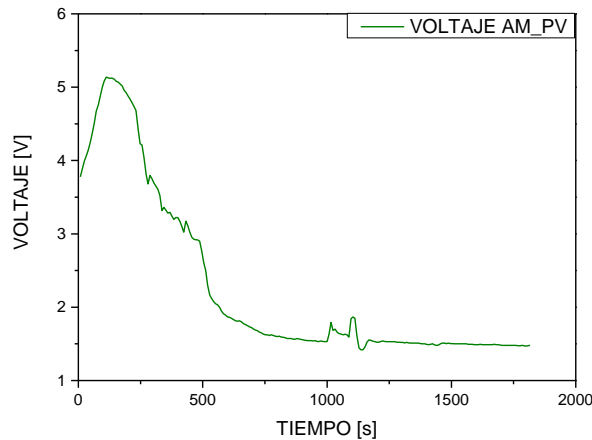


Figura 11. Voltaje durante las pruebas a 10 V.

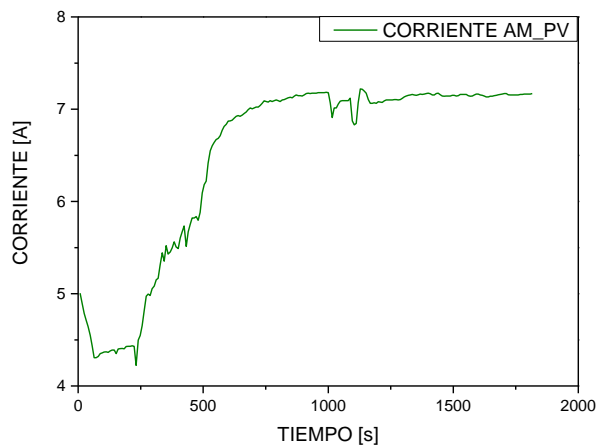


Figura 12. Corriente durante las pruebas a 10 V.

Es posible observar en estas gráficas que esta muestra presenta un transitorio de 736 s, que la coloca como la muestra en donde se presenta el transitorio con mayor tiempo de duración, otro de los inconvenientes es que presenta un comportamiento no lineal en el intervalo de tiempo de 976 a 1160 s, esto se podría explicar debido a un comportamiento no esperado en los electrodos del electrolizador, es decir, que el área efectiva fue cubierta por la oxidación y sal de mar y ocasionando un comportamiento inestable del electrolizador.

En las figuras 13 a 16 se puede apreciar la corrosión en el cátodo y ánodo del electrolizador, izquierda y derecha, después de las pruebas realizadas.



Figura 13. Electrodo después de la prueba, AD\_Ag.



Figura 14. Electrodo después de la prueba, AP\_Ag.



Figura 15. Electrodo después de la prueba, AR\_Ag.



Figura 16. Electrodo después de la prueba, AM\_PV.

Las figuras anteriores confirman las discusiones presentadas en las gráficas anteriores. La figura 13, muestra que tanto el ánodo como el cátodo no presentan ningún tipo de oxidación, aún y cuando la presencia de oxígeno es evidente durante la prueba del electrolizador, esto confirma que el agua destilada tiene además de una buena estabilidad tanto en temperatura, voltaje y corriente, una corrosión prácticamente imperceptible, lo que la hace el tipo de agua ideal para usar en un electrolizador, aunque su costo sea elevado. En la muestra

AP\_Ag, se observa un ligero tono negro en el ánodo, lo que implicaría que se comenzaba a realizar el proceso de oxidación, figura 14. La oxidación de la muestra AR\_Ag, es ligeramente mayor que la presentada en la muestra AP\_Ag, pero es importante recalcar que la muestra de agua residual aún no pasa por un proceso final para la utilización del agua como la potable, es decir, que el agua residual, presenta un comportamiento mejor que el agua potable tanto en transitorio como en estabilidad del electrolizador, además de que la oxidación presentada no es relevante para el correcto funcionamiento del electrolizador, figura 15.

Lo anterior da evidencia de que es posible utilizar el agua residual de las plantas tratadoras de agua como combustible del electrolizador para la producción de hidrógeno verde, evitando así algunos procesos extra que se llevan a cabo para poder obtener el agua potable. Finalmente, en la figura 16, se observa una oxidación alta en ambos electrodos, dicha oxidación se presenta en tonos de color amarillo, negro, verde y naranja; todo es debido a la alta concentración de sal en la muestra. La oxidación que presenta al final de esta prueba puede ocasionar un problema muy fuerte en el electrolizador ya que los depósitos de sales en los electrodos disminuirían el área de trabajo del electrolizado haciéndolo obsoleto. Los electrolizadores que usaron aguas con bajos niveles de pureza, como la de mar, no aumentaron su potencia gradualmente debido a los residuos que se formaron en su superficie formando una capa pasiva que disminuye la eficiencia del electrolizador [18].

Con los valores registrados de voltaje y corriente, durante las pruebas realizadas a cada muestra de agua, es posible calcular el valor de resistencia promedio, conductancia y resistividad de cada muestra de agua utilizando la ecuación 1, 2 y 3, respectivamente, tabla 4 muestra la caracterización eléctrica de las muestras de agua.

Tabla 4. Conductancia de cada electrolito

Electrolito	AD_Ag	AP_Ag	AR_Ag	AM_PV
Resistencia promedio [Ω]	419.46	24.65	18.52	0.34
Conductancia [S]	0.0024	0.0406	0.0540	2.8596
Resistividad [Ωm]	2196.175	129.104	96.974	1.83

La tabla 4 muestra que, realizando un análisis, en términos eléctricos, la muestra de agua que permite obtener la mayor cantidad de hidrógeno con la menor cantidad de potencia eléctrica será aquella que tenga la mayor conductividad eléctrica y la menor resistividad, ya que de esta manera se garantiza el flujo de la corriente a través del electrolizador, recordando que la producción

del hidrógeno es en función de la corriente y no del voltaje [19]. Entonces la muestra de agua AM\_PV, sería la ideal para alimentar al electrolizador; sin embargo, esta presenta un gran inconveniente que es la generación de residuos y la corrosión a los electrodos [20], lo cual puede causar la necesidad de mantenimientos más seguidos a la máquina o bien la destrucción de los electrodos utilizados.

En base a lo anterior la muestra AR\_Ag, presenta un comportamiento eléctrico favorable, además de que la corrosión a los electrodos fue mínima, por esta razón se propone utilizar agua residual como una buena alternativa en los electrolizadores para la producción del hidrógeno verde.

### CONCLUSIONES

Conforme a las pruebas realizadas de las diferentes muestras de agua, se pudo determinar que:

Al depositar una capa de níquel de 12 μm, no se evita la formación de oxidación en cada muestra de agua analizada, pero se garantiza que se pudo proteger el acero de la corrosión para todas las muestras utilizadas en este experimento [21].

El registro de temperatura del electrolizador fue incrementándose para la mayoría de las muestras de agua utilizadas, con excepción del agua destilada, la cual no presenta impurezas, el agua potable y el agua residual tuvieron un incremento de temperatura aproximado de 40° C respecto a la temperatura ambiente registrada. Destacando que la muestra AR\_Ag, a partir del minuto 20 presentó un ligero decremento en la temperatura, a diferencia de la muestra AP\_Ag, cuya temperatura continuó en aumento.

La muestra de agua AD\_Ag, presenta un comportamiento lineal en cuanto temperatura, corriente y voltaje, además no presenta oxidación en los electrodos debido a la pureza química de la misma; pero su performance eléctrico no es el más adecuado para utilizarse en los electrolizadores ya que presenta una alta resistividad de más de 22 veces comparada con la muestra AR\_Ag.

La oxidación que se presentó en los electrodos fue bastante al utilizar la muestra de agua AM\_PV en el electrolizador, esto debido a las grandes cantidades de sal que están presentes en el agua de mar. El análisis de los valores eléctricos de esta muestra la convierten en el mejor tipo de agua, ya que cuenta con la más alta conductancia y por ende la más baja resistividad de todas las muestras, pero no es posible utilizarla en los electrolizadores por el problema de la oxidación de los electrodos.

La muestra de agua Potable, AP\_Ag, tuvo un comportamiento irregular a lo largo de la prueba, ya que los valores de voltaje y corriente no lograron estabilizarse, lo que podría ocasionar que el electrolizador no logre una producción adecuada de hidrógeno.

Con los resultados obtenidos al analizar todas las muestras de agua, la muestra AR\_Ag, que corresponde al agua residual, presenta un comportamiento estable en términos de voltaje y corriente a partir de los 1000 s, pero presenta un transitorio más largo que la muestra AP\_Ag y menor que la muestra AM\_PV. En términos eléctricos es la muestra que presenta los segundos mejores valores de resistividad y conductancia, además no causa una oxidación evidente en los electrodos.

Fundamentados con los datos obtenidos en esta investigación se sugiere el uso de agua residual para la producción de hidrógeno verde, considerando que solo presenta un transitorio ligeramente mayor que las demás muestras analizadas, es decir, que la estabilidad del electrolizador tardaría un periodo de tiempo de aproximadamente 17 min, pero después de ese tiempo el comportamiento del electrolizador fue constante.

#### AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Instituto Tecnológico de Aguascalientes por las facilidades para la utilización de material y uso del laboratorio de ingeniería eléctrica.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Elizabeth Ramírez Mondragón, "Desarrollo de un electrodo catalítico compuesto de Ni<sub>2</sub>P-MoS<sub>2</sub>/MWCNT para la evolución de hidrógeno," 2020.
- [2] Burin Yodwong. (2022) Contribution to the development of a high-power low-voltage DC-DC converter for proton exchange membrane electrolyzer applications.
- [3] M. T. Luis Enrique, "Desarrollo de un electrolizador alcalino mono polar con diafragma de materiales alternativos," in *Instituto de Investigación e Innovación de Energías Renovables.*, 2019, p. 22.
- [4] L. P. Jennyfer Paola, D. Z. Pedro Yecid J. J. Carlos Iván, "Creación de una planta productora de Hidrógeno por medio del proceso de electrolisis de aguas residuales en la ciudad de Bogota.," p. 145, 2016.
- [5] Juan David Guerrón Gomez, *Generador de Hidrógeno verde para condiciones marinas*. Bogota: Universidad de Los Andes, 2022.
- [6] R. G. WILLIAM SAMUEL, *ENERGÍA ELÉCTRICA SUSTENTABLE: PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO DEL AGUA DEL ESTERO SALADO DE GUAYAQUIL*. Guayaquil Ecuador:

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, 2020.

- [7] Gianpaolo Vitale Damien Guilbert, "Experimental Validation of an Equivalent Dynamic Electrical Model for a Proton Exchange Membrane Electrolyzer," *IEEE*, p. 2, 2018.
- [8] V. P. JUAN DAVID Q. F. QUICENO CASTAÑEDA, "DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO POR ELECTRÓLISIS," *Universidad Tecnológica de Pereira*, p. 54, 2013.
- [9] Bruno Rendé Huertas Eric Fabrega, *Desarrollo de un modelo de funcionamiento de electrolizadores alcalinos autopresurizados, para la optimización de su sistema de control*. Buenos Aires, 2020.
- [10] J.D. Gallego J. M. Hernández, "Deposición electrolítica de Níquel," Guadalajara, España, 2015.
- [11] G. V. Javier, "Diseño de un convertidor electrónico para un electrolizador alcalino.," *Universidad de Quintana Roo*, p. 91, 2020.
- [12] G. J. Nicolás T. L. Marcos Danilo Esteban, "DISEÑO DE UNA CELDA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE LA ELECTRÓLISIS DEL AGUA," in *Universidad EIA.*, 2021, pp. 25-26.
- [13] Mónica Sánchez Delgado, Lourdes Rodríguez María del Carmen Clemente, "Modelado de sistemas de electrolisis alcalina para la producción de hidrógeno a partir de energías renovables," *Universidad Politecnica de Madrid*, p. 18, 2020.
- [14] Patricio Cordero S.,: Universidad de Chile, 2017, p. 37.
- [15] T.V. Rodolfo, M. A. Carlos B. P. Adrián, "ANÁLISIS DEL RIESGO PARA LA SALUD PÚBLICA OCASIONADO POR LA EXPOSICIÓN A FLUORUROS EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES, MÉXICO," *Revista Internacional de Contaminación Ambiental - UNAM*, vol. 18, no. 4, pp. 171-177, 2002.
- [16] B. L. Jeniffer. (2007, Junio) Estudios sobre la concentración de contaminantes en el agua del cauce del Río San Pedro. [Online]. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/229/284193.pdf?sequence=2>
- [17] I.E. Tereshchenko, C.O. Monzón, M.E. González-Ruelas, E. Godínez-Domínguez A.E. Filonov, "Variabilidad Estacional de los Campos de Temperatura y Salinidad en la Zona Costera de los Estados de Jalisco y Colima México," *Ciencias Marinas*, vol. 26, no. 2, pp. 303-321, 2000.
- [18] A. G. Elizabeth, "Evaluación electroquímica de distintos arreglos de electrolizadores alcalinos.," *Instituto Politécnico Nacional*, p. 64, 2015.



- [19] Héctor Holgado Secas,, 2012, pp. 112-113.
- [20] M. M. Marisol Soledad, "Desarrollo de un ánodo electrocatálítico para electrólisis de agua de mar," in *Programa de Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Concepción Chile, 2022, pp. 111-112.
- [21] Jorge Eparquio Martínez Tibaduiza, "Diseño e Implementación de un cargador de baterías controlado," Tunja, Colombia, 2021.

### ROLES DE CONTRIBUCIÓN

ROL	Autor (es)
Conceptualización	Andrés Iarir Perea.
Curación de datos	Heikki Isa Perea-Esparza.
Metodología	Christian Geovanni Hernández-Murillo.
Administración del proyecto	Mario Salvador Esparza-González.
Recursos	Andrés Iarir Perea <<Igual>> Mario Salvador Esparza-González. <<Igual>> Luis Antonio Castañeda-Ramos. <<Igual>>
Supervisión	Mario Salvador Esparza-González.
Redacción, borrador original	Andrés Iarir Perea.
Redacción, revisión y edición	Christian Geovanni Hernández-Murillo. <<Igual>> Mario Salvador Esparza-González. <<Igual>> Luis Antonio Castañeda-Ramos. <<Igual>>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.