

## Optimization of Water Electrolysis for Hydrogen Production: Effect of NaOH on Conductivity and Process Performance

Optimización de la Electrólisis del Agua para Producción de Hidrógeno: Efecto de NaOH en la Conductividad y Rendimiento del Proceso

Jorge Leonardo Fuentes-Fuentes<sup>1</sup>, María Carolina Duque-Suarez<sup>2</sup>, Carlos Mario Clavijo-Perez<sup>3</sup>, Jorge Leonel Abril-Florez<sup>4</sup>, Ronald Alejandro Álvarez<sup>5</sup>

<sup>1</sup> MSc. en Mantenimiento Industrial, [jlfuentes@sena.edu.co](mailto:jlfuentes@sena.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-4062-5588>, Servicio Nacional de Aprendizaje Tecnocademia Cúcuta, Colombia

<sup>2</sup> MSc. en Mantenimiento Industrial, [macduques@sena.edu.co](mailto:macduques@sena.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-3383-8358>, Servicio Nacional de Aprendizaje Tecnoparque Cúcuta, Colombia.

<sup>3</sup> Esp. en Sistemas integrados HSEQ, [cmclavijo@sena.edu.co](mailto:cmclavijo@sena.edu.co), <https://orcid.org/0000-0002-6263-8654>, Servicio Nacional de Aprendizaje Tecnoparque Cúcuta, Colombia.

<sup>4</sup> MSc. en energías Renovables y Sostenibilidad Energética, [jlabil@sen.edu.co](mailto:jlabil@sen.edu.co), <https://orcid.org/0009-0008-6053-2240>, Servicio Nacional de Aprendizaje Tecnoparque Cúcuta, Colombia.

<sup>5</sup> Bachiller académico, [alvarezronald91@gmail.com](mailto:alvarezronald91@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0006-4917-592X>, Servicio Nacional de Aprendizaje Tecnocademia Cúcuta, Colombia.

**Cómo citar:** J. L. Fuentes-Fuentes, M. C. Duque-Suarez, C. M. Clavijo-Perez, J. L. Abril-Florez, y R. A. Álvarez, "Optimización de la Electrólisis del Agua para Producción de Hidrógeno: Efecto de NaOH en la Conductividad y Rendimiento del Proceso", *Respuestas*, pp. 108-120, vol. 30, n.º 2, mar. 2025.

Received on Diciembre 06, 2024 - Approved on April 14, 2025 - Published on May 1, 2025.

### ABSTRACT

#### Keywords:

Electrolysis,  
Hydrogen,  
Electrolyzer,  
Sodium hydroxide,  
Conductivity,  
Production efficiency,  
Electrochemical reactions.

This study focuses on the development of an alkaline electrolyzer for hydrogen production through water electrolysis, aiming to optimize the conditions that affect its performance. Sodium hydroxide (NaOH) was used as the electrolyte, and conductivity variations were evaluated under different concentrations and temperatures. The methodology included preparing NaOH solutions at various concentrations (0% to 60%) and measuring conductivity at 25°C and 35°C, allowing for the graphing and analysis of the results. The results revealed that the best conductivity was achieved within a NaOH concentration range of 5% to 15%, and it was confirmed that temperature directly influences the electrolyte's conductivity. Furthermore, the minimum theoretical voltage required for the electrolysis process was determined to be 1.21 V, although the practical voltage required is higher due to overpotentials and resistances in the system. The analysis emphasizes that the quality of the water used is critical to preventing unwanted reactions, suggesting the use of distilled water to ensure high yields in hydrogen and oxygen production. In conclusion, this study provides valuable information on the optimal conditions for electrolysis, underscoring the importance of the electrolyte and water quality in maximizing process efficiency, thus aligning with current trends in sustainable clean energy production.

### RESUMEN

#### Palabras clave:

Electrólisis,  
Hidrógeno,  
Electrolizador,  
Hidróxido de sodio  
(NaOH),  
Conductividad, Eficiencia  
de producción,  
Reacciones  
electroquímicas.

El presente estudio se centra en el desarrollo de un electrolizador alcalino para la producción de hidrógeno a través de electrólisis del agua, con el objetivo de optimizar las condiciones que afectan su rendimiento. Se utilizó hidróxido de sodio (NaOH) como electrolito y se evaluaron las variaciones en la conductividad bajo diferentes concentraciones y temperaturas. La metodología incluyó la preparación de soluciones de NaOH a distintas concentraciones (0% a 60%) y la medición de la conductividad a temperaturas de 25°C y 35°C, lo que permitió graficar y analizar los resultados obtenidos. Los resultados revelaron que la mejor conductividad se alcanzó en un rango de concentración de 5% a 15% de NaOH, y se comprobó que la temperatura influye directamente en la conductividad del electrolito. Además, se determinó que el voltaje mínimo teórico necesario para el proceso de electrólisis es de 1.21 V, aunque el voltaje práctico requerido es mayor debido a sobrepotenciales y resistencias en el sistema. El análisis enfatiza que la calidad del agua utilizada es crítica para prevenir reacciones no deseadas, sugiriendo el uso de agua destilada para asegurar un alto rendimiento en la producción de hidrógeno y oxígeno. En conclusión, este estudio proporciona información valiosa sobre las condiciones óptimas para la electrólisis, subrayando la importancia del electrolito y la calidad del agua para maximizar la eficiencia del proceso, alineándose así con las tendencias actuales en la producción sostenible de energía limpia.

\*Corresponding author.

E-mail Address: [macduques@sena.edu.co](mailto:macduques@sena.edu.co) (María Carolina Duque-Suarez)



Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.

This is an article under the license CC BY-NC 4.0

## Introducción

La creciente demanda global por fuentes de energía limpia y sostenible ha puesto en el centro de atención al hidrógeno como un vector energético prometedor. Entre las diversas tecnologías para su producción, la electrólisis solar se destacó por su potencial para aprovechar una fuente de energía renovable y abundante [1]. Recientes investigaciones han demostrado que la integración de la inteligencia artificial en los sistemas de electrólisis solar puede mejorar significativamente la eficiencia energética [2]. Sin embargo, optimizar los sistemas de electrólisis solar para maximizar la eficiencia de conversión y reducir los costos sigue siendo un desafío clave [3].

El presente estudio se centró en profundizar en la comprensión de los procesos electroquímicos involucrados en la electrólisis solar, con el objetivo de diseñar y desarrollar sistemas más eficientes para la producción de hidrógeno. Específicamente, se enfocó en el análisis de la conductividad del electrolito y su relación con la generación de hidrógeno. La conductividad del electrolito desempeñó un papel crucial en la eficiencia de la celda electroquímica, ya que facilita el transporte de iones y reduce las pérdidas óhmicas [4], [5].

Para lograr este objetivo, se diseñó y construyó una celda electroquímica personalizada, donde se evaluaron diferentes materiales de electrodo y electrolitos bajo diversas condiciones de operación. El desarrollo de nuevos materiales de electrodo, como los catalizadores a base de metales nobles, ha permitido reducir los sobrepotenciales y mejorar la eficiencia de electrólisis [6]. A través de una serie de experimentos, se midió la conductividad del electrolito en función de la concentración, temperatura y tipo de electrolito utilizado. Asimismo, se evaluó la influencia de estos parámetros en la densidad de corriente y la eficiencia de Faraday, que relaciona la cantidad de corriente eléctrica aplicada con la cantidad de hidrógeno producido [7].

Además, se desarrolló un modelo matemático para simular el comportamiento de la celda electroquímica. Este modelo permitió estudiar el impacto de diferentes variables operativas (e.g., intensidad de la luz solar, potencial aplicado) en la eficiencia global del proceso. Mediante la simulación y optimización de los parámetros del modelo, se exploraron nuevas configuraciones de celda y materiales para maximizar la eficiencia del electrólisis solar [8].

Los resultados obtenidos en este estudio permitieron identificar los materiales de electrodo y electrolitos óptimos: aquellos que maximizan la conductividad y la eficiencia de producción de hidrógeno, así como las condiciones de operación ideales, optimizando la conversión de energía solar en hidrógeno. Además, se establecieron relaciones entre la conductividad, la densidad de corriente y la generación de hidrógeno, permitiendo desarrollar modelos predictivos.

Los hallazgos de esta investigación contribuyeron al avance del campo de electrólisis solar, proporcionando conocimientos fundamentales para el diseño de sistemas más eficientes y económicos. Además, los resultados obtenidos se alinearon con los objetivos de la "Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia" y la "Ley 2099 de 2021", que promueven el desarrollo de tecnologías de hidrógeno verde en el país [9], [10].

La presente investigación también se enfocó en el desarrollo y optimización de un electrolizador alcalino para la producción de hidrógeno a partir del electrólisis del agua. Se determinó que el uso de hidróxido de sodio (NaOH) como electrolito es crucial para mejorar la conductividad del medio y, por ende, el rendimiento de la reacción de electrólisis. Se observó que las variables de temperatura y concentración del electrolito tienen un impacto significativo en la eficiencia del proceso, encontrando que una concentración de NaOH entre el 5% y el 15% ofrece las mejores condiciones operativas.

El estudio resaltó que el voltaje mínimo teórico necesario para iniciar la electrólisis es de 1.21 V; sin embargo, los sobrepotenciales y la resistencia óhmica de los componentes del sistema aumentan el voltaje práctico por encima de este valor teórico. Esto implica que un diseño adecuado del electrolizador debe contemplar pérdidas energéticas que afectan la eficiencia del proceso. Además, se evaluó la calidad del agua utilizada en el proceso, subrayando que la pureza del agua es crítica para evitar reacciones secundarias que pueden perjudicar el rendimiento del sistema. Operar a temperaturas más elevadas podría reducir la demanda eléctrica total y aumentar la producción neta de hidrógeno.

En resumen, este estudio estableció un marco significativo para futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de la producción de hidrógeno, al identificar las condiciones óptimas que posibilitan un proceso más eficiente y rentable.

## **Materiales y Métodos**

La electrólisis solar se ha destacado como una tecnología prometedora para la producción de hidrógeno debido a su capacidad para utilizar energía renovable. Este estudio se enfocó en investigar los materiales y métodos óptimos para maximizar la eficiencia de este proceso. Se utilizó una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 5% como electrolito, dado que su concentración y temperatura son críticas para mejorar la conductividad. Además, se empleó agua de calidad controlada para evitar impurezas que pudieran afectar el rendimiento del proceso. Se evaluaron las condiciones de electrólisis [11], incluyendo el voltaje aplicado y las resistencias óhmicas de los componentes del sistema. Las mediciones de conductividad se realizaron a diferentes concentraciones de NaOH y temperaturas, determinando que un rango de 5% a 15% de NaOH es óptimo para la eficiencia del proceso [4]. Este análisis proporciona una base sólida para la replicación y optimización de futuros experimentos en la producción de hidrógeno mediante electrólisis solar.

## **Materiales Relevantes**

**Electrolito:** Solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 5%. Se ha determinado que la concentración y temperatura del electrolito son críticas para aumentar la conductividad.

**Agua:** Agua de calidad controlada para evitar impurezas que puedan afectar el rendimiento del proceso.

## **Métodos de Electrólisis**

Condiciones de Electrólisis:

El voltaje mínimo teórico necesario para iniciar la reacción de electrólisis es de 1.21 V. Sin embargo, los sobrepotenciales causados por la polarización requieren que se aplique un voltaje superior en la práctica. [12], [13]

Se estudiaron las resistencias óhmicas de los electrodos, las membranas y el electrolito, lo que influyó en el voltaje real requerido para la reacción. [14], [15]

### **Evaluación de la Conductividad:**

Se realizaron mediciones de conductividad a diferentes concentraciones de la solución de NaOH (rango de 0% a 60%) y temperaturas (25°C y 35°C) [16], [17]. Los datos obtenidos se graficaron para establecer tendencias.

Se determinó que el rango óptimo de conductividad se observó entre 5% y 15% de NaOH, lo que se recomienda como punto de partida para experimentos futuros.

### **Procedimientos Necesarios para la Reproducción del Experimento**

#### 1. Preparación de la Solución de Electrolito:

- Disolver NaOH en agua destilada hasta alcanzar una concentración del 5%. Es importante controlar la pureza del agua utilizada.

#### 2. Configuración del Equipo:

- Usar un electrolizador adecuado, asegurándose de que esté bien sellado para evitar pérdidas de gas durante la electrólisis.
- Conectar los electrodos de manera que se minimice la resistencia y se maximice la superficie de reacción.

#### 3. Realización de la Electrólisis:

- Ajustar la fuente de poder para suministrar el voltaje necesario tal como se calculó. Monitorear la corriente durante el proceso y registrar los datos de rendimiento.
- Al finalizar el experimento, analizar la cantidad de gases producidos ( $H_2$  y  $O_2$ ) y su respectivo rendimiento en base a las moles calculadas.

#### 4. Análisis de Resultados:

- Evaluar la calidad del agua obtenida para asegurar que cumpla con los estándares necesarios para futuros ciclos de electrólisis.

### ***Diseño experimental y análisis estadístico***

El objetivo del modelo desarrollado en este estudio fue analizar la influencia de las variables de entrada, como la concentración de NaOH (%), la temperatura (°C) y el voltaje aplicado (V), sobre las variables de salida, específicamente el rendimiento de producción de gas ( $H_2$  y  $O_2$ ) medido en gramos o moles, y la conductividad medida en mS/cm. Utilizando un modelo de regresión, se buscó predecir el rendimiento de la

electrólisis basada en las condiciones experimentales [18][19]. Para ello, se empleó una solución de NaOH al 5% como electrolito, cuya concentración y temperatura son críticas para la conductividad, y agua de calidad controlada para evitar impurezas [20]. Las mediciones de conductividad se realizaron a diferentes concentraciones de NaOH y temperaturas, determinando un rango óptimo de 5% a 15% de NaOH para la eficiencia del proceso. Este modelo permitió evaluar las condiciones óptimas de electrólisis, como el voltaje aplicado y las resistencias óhmicas de los componentes del sistema, proporcionando una base sólida para la optimización de futuros experimentos en la producción de hidrógeno mediante electrólisis solar.

Para la investigación se realizaron los siguientes objetivos de investigación:

- Determinar y obtener el agua a implementar en el proceso de electrólisis
- Evaluar la calidad en aspectos fisicoquímicos del agua obtenida para el proceso de electrólisis.
- Definir teóricamente la demanda eléctrica que requiere el sistema para realizar el proceso de electrólisis según la calidad del agua a implementar.
- Realizar el proceso de electrólisis con el sistema desarrollado y evaluar su rendimiento

## Resultados y Discusión

### *Determinar y obtener el agua a implementar en el proceso de electrólisis*

El diseño de electrolizador planteado para la producción de hidrogeno es un electrolizador alcalino. Los electrolitos usados en las electrólisis de agua convencionales son KOH y NaOH, por este motivo se realizó un estudio donde se manejaron estos dos electrolitos a diferentes concentraciones y se evaluó su conductividad para determinar cuál arroja mejores condiciones de operación del proceso de electrólisis.

Para obtener una mejor comprensión de los datos obtenidos, procedimos a graficas la tabla I para así determinar la tendencia de la conductividad según la concentración del electrolito y su temperatura.

**Tabla 1.** Concentración del electrolito NaOH

<b>Electrolito NaOH</b>		
<b>Concentración NaOH</b>	<b>Conductividad a 25°C</b>	<b>Conductividad a 35°C</b>
0	216.6	216.6
10	339.1	344.3
30	282.5	314.4
50	140.1	178.9

La mejor conductividad en el caso del NaOH se observa en un rango de 5% y 15% a una temperatura de 35°C, en la Figura 1.



Figura 1. Comportamiento de la Conductividad Solución de NaOH

Para el caso del KOH el comportamiento fue similar. Entre el 5% y 15% de concentración se observa una mejor conductividad y la temperatura es directamente proporcional a esta misma variable, observado en la Tabla II y Figura 2.

Tabla 2. Concentración del electrolito KOH

Electrolito KOH		
Concentración NaOH	Conductividad a 25°C	Conductividad a 35°C
0	216.6	216.6
10	303.7	300.5
30	247.1	270.6
50	142.4	135.1



Figura 1. Comportamiento de la Conductividad Solución de NaOH

Es evidente que la temperatura es una variable crítica en el proceso, teniendo un comportamiento directamente proporcional entre esta y la conductividad del electrolito. Una temperatura elevada se traduce en una demanda térmica, pero a su vez en una reducción en la demanda eléctrica que tiene el proceso de electrolisis; lo que permite obtener más kJ de hidrógeno por cada kJ eléctrico utilizado.

Según lo analizado se pueden implementar dos tipos de electrolisis: Electrolisis a alta y baja temperatura, y según la bibliografía se puede concluir lo siguiente:

### **Electrolisis a Baja temperatura**

Supone un elevado consumo eléctrico, dando una baja producción neta de energía. El consumo se aproxima a la cantidad de energía contenida en el hidrógeno. La electrolisis a esta temperatura sólo resulta útil para producciones in situ y en pequeñas cantidades.

### **Electrolisis a Alta temperatura**

El consumo eléctrico, aunque sigue siendo elevado, se reduce y nos proporciona un margen más amplio entre la energía que cuesta la disociación de un mol de H<sub>2</sub> y la energía contenida en ese mol de H<sub>2</sub>. Es claro que el experimento realizado en el laboratorio fue a temperaturas inferiores a los 50°C debido a las limitaciones de operación. Pero operar a alta temperatura supone que se trabajará por encima 100°C, es decir, con vapor de agua.

### ***Evaluar la calidad en aspectos fisicoquímicos del agua obtenida para el proceso de electrolisis.***

Ante lo desarrollado en el primer objetivo, se decidió manejar una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 5% como electrolito para el proceso de electrolisis.



**Figura 3.** Comportamiento de la Conductividad Solución de NaOH

En la figura 3 corresponde al análisis de una muestra de agua cruda, tomada desde las tuberías de las instalaciones de Tecnoparque.



Figura 4. Comportamiento de la Conductividad Solución de NaOH

En la figura 3 corresponde al análisis de una muestra de agua cruda,

Esta figura 4 corresponde al análisis de una muestra de una solución de NaOH con agua destilada. Haciendo una comparativa entre los dos análisis se puede observar claramente un incremento en el pH de la muestra de agua a la muestra de la solución de NaOH y es debido a la adición de este reactivo de naturaleza alcalina.

Para el caso de la conductividad el cambio de agua cruda a agua destilada arroja una leve disminución. Esto ocurre porque el agua destilada no contiene minerales y otros componentes que ayudan a hacer un agua mucho más conductiva. Pero el beneficio de usar agua destilada es la mitigación de reacciones secundarias en el proceso de electrolisis y por lo tanto la obtención de productos muchos más puros.

***Definir teóricamente la demanda eléctrica que requiere el sistema para realizar el proceso de electrolisis según la calidad del agua a implementar.***

El potencial estándar para la electrolisis del agua lo obtenemos de los potenciales estándar de las semirreacciones (Kelly, 2014). Estos voltajes se dan en condiciones estándar, es decir, 298 K y 1 bar.

El potencial estándar  $E^\circ$  representa el voltaje mínimo para que comience la reacción (en condiciones de presión y temperatura constantes). Se relaciona con la energía libre de Gibbs mediante la ecuación 1:

$$E^{\circ} = \frac{-\Delta G^{\circ}}{\eta * F} \quad (1)$$

$\Delta G^{\circ}$  = Energía Libre de Gibbs

$\eta$  = mol de electrones que intervienen en la reacción por mol de compuesto dissociado.

$F$  = Constante de Faraday (96500 C/mol).

El sentido de la evolución de una reacción estará dado por la variación de alguna de las funciones termodinámicas de estado como es el caso de la energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ) o de la energía libre de Helmholtz ( $\Delta A$ ). Estas funciones de estado indican, para una reacción química, su condición de equilibrio y espontaneidad utilizando unidades de energía. Se utiliza  $\Delta G$  para sistemas abiertos (P, T constantes) y  $\Delta A$  para celdas electrolíticas cerradas (V, T constantes). En ambos casos, lo que se mide normalmente es la energía libre de reacción o cambio de energía que sufre una reacción en condiciones estándares, es decir,  $\Delta G^{\circ}$  o  $\Delta A^{\circ}$ , hallándose en las ecuaciones 2 hasta la ecuación 5.

Entre estas funciones se establecen las siguientes relaciones termodinámicas:

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S \quad (2)$$

$$\Delta G_{reacción} = -R * T * \ln K \quad (3)$$

$$\Delta G_{H_2O}^{\circ} = 237.75 \frac{KJ}{mol} \quad (4)$$

$$\Delta G^{\circ} = -n * F * E^{\circ} \quad (5)$$

Donde  $\Delta H$  es la entalpía,  $\Delta S$  es la entropía,  $K$  la constante de equilibrio,  $n$  es el número de electrones en la semirreacción por mol de agua dividido ( $n=2$ ),  $F$  es la constante de Faraday ( $F=96500$  C/mol) y  $E^{\circ}$  el potencial estándar en voltios, como se expone en la ecuación 6. Existe una tabla con potenciales estándar de semirreacciones tabulados para condiciones estándar y tomando un electrodo de hidrógeno como referencia.

$$\Delta A = \Delta H - T * R * \Delta n - T * \Delta S \quad (6)$$

Para la electrolisis del agua (Zoulias and Varkaraki, 2004) se tienen los siguientes valores:

$$\Delta H^{\circ} = 285.8 \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta n = 1.5$$

$$\Delta S^{\circ}(H_2) = 130.6$$

$$\Delta S^{\circ}(O_2) = 205.1$$

$$\Delta S^{\circ}(H_2O)(l) = 70 \frac{J}{mol * K}$$

$$\Delta S^{\circ}(total) = 130.6 + \frac{1}{2} * 205.1 - 70 = 163.14 \frac{J}{mol * K}$$

$$\Delta A^{\circ} = 233.1 \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta G^{\circ} = 237.2 \text{ KJ/mol}$$

$$E^{\circ} = 1.23 \text{ V celda Abierta}$$

$$E^{\circ} = 1.21 \text{ V Celda Cerrada}$$

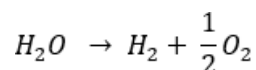
En el prototipo desarrollado del equipo de electrolisis se obtuvo una celda cerrada, lo que lleva a determinar que el voltaje mínimo para realizar el proceso de electrolisis en este es de 1.21V.

### Realizar el proceso de electrolisis con el sistema desarrollado y evaluar su rendimiento

En el proceso de electrolisis; en el cátodo y ánodo ocurren reacciones, pero la reacción global es la suma de esas semirreacciones, con producción de oxígeno e hidrogeno en sus correspondientes electrodos, como muestra en la Figura 5.



Figura 5. Comportamiento de la Conductividad Solución de NaOH



La electricidad que pasa por los electrodos determina la cantidad de producto que se deposita en los mismos. Esta relación viene determinada por la Ley de Faraday, como se estipula en la ecuación 7:

$$F = Q * N_a \quad (7)$$

Donde: Q = carga eléctrica

Na = Número de Avogadro

Suponiendo una eficacia de corriente del 100% se puede calcular el máximo de hidrógeno y oxígeno producidos por cada A·h de corriente continua que se utilice.

Esta es la ecuación de Faraday para una carga de una mol de electrón:

$$F = Q * N_a = 96500 \frac{C}{mol}$$

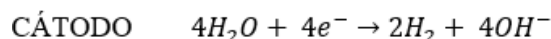
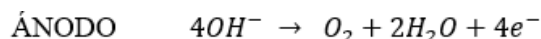
Ahora para una carga de 1 Ah

$$1 Ah = 3600 C$$

Estos 3600 C corresponde a la carga generada por una cantidad de mol de electrones, para determinar esa cantidad de mol de electrones se recurre a:

$$3600 C * \left( \frac{1 mol e^-}{96500 C} \right) = 0.0373 mol e^-$$

Analizando las semirreacciones que ocurren en cada electrodo:



Se observa que entran en juego 4 electrones para producir 2 mol de H<sub>2</sub> y 1 mol de O<sub>2</sub>. Entonces de 0.0373 mol de e<sup>-</sup>

$$0.0373 mol de e^- \left\{ \begin{array}{l} 0.0186 mol de H_2 \\ 0.0093 mol de O_2 \end{array} \right.$$

Convirtiendo estos moles producidos en gramos se obtiene lo siguiente:

$$0.0186 mol de H_2 * \left( \frac{2 gramos de H_2}{1 mol de H_2} \right) = 0.0372 gramos de H_2$$

$$0.0093 mol de O_2 * \left( \frac{32 gramos de O_2}{1 mol de O_2} \right) = 0.2976 gramos de O_2$$

## Conclusiones

Se propone que la importancia del Electrolito es la elección del electrolito es fundamental para el rendimiento del proceso de electrólisis. En el estudio, se utilizó hidróxido de sodio (NaOH) como electrolito, el cual demostró que la temperatura y la concentración del electrolito son factores críticos que afectan la conductividad y, por ende, la eficiencia de la reacción.

El Impacto de la calidad del agua es utilizada en el proceso de electrólisis es crucial. La presencia de impurezas en el agua puede causar reacciones secundarias que reducen el rendimiento del proceso. Por lo tanto, utilizar agua destilada puede mitigar estos efectos y permitir la obtención de productos más puros.

Se puede decir relación entre conductividad y temperatura, se observó una relación directamente proporcional entre la temperatura y la conductividad de la solución de NaOH. Las mediciones indicaron que la mejor conductividad se alcanzó en un rango de concentración de 5% a 15% de NaOH, lo que sugiere que ajustar la temperatura y la concentración puede optimizar el rendimiento del sistema.

Para la demanda eléctrica, es importante el voltaje práctico necesario para la electrólisis supera el voltaje teórico de 1.21 V debido a los sobrepotenciales provocados por la polarización y la resistencia de los componentes del sistema (electrodos, membranas y electrolito). Esto indica que es necesario considerar estas pérdidas al diseñar el sistema para aumentar su eficiencia.

Se puede concluir que la metodología experimental evaluable utilizada para determinar la conductividad de las soluciones de NaOH a diferentes concentraciones y temperaturas se considera eficaz para evaluar las condiciones óptimas de operación. Este enfoque permitió establecer un protocolo reproducible que puede ser utilizado en futuros estudios o aplicaciones industriales sobre la electrólisis del agua.

Contribución al desarrollo de tecnologías de hidrógeno, se evidencian los hallazgos de esta investigación contribuyen al avance del campo del electrólisis solar, proporcionando conocimientos fundamentales para el diseño de sistemas más eficientes y económicos. Además, los resultados obtenidos se alinean con los objetivos de la "Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia" y la "Ley 2099 de 2021", que promueven el desarrollo de tecnologías de hidrógeno verde en el país.

## Referencias

- [1] S. Jain, S. Singh y A. Kumar, "A review on solar hydrogen production through photoelectrochemical water splitting," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 123, p. 109745, 2020.
- [2] Y. Zhang, X. Li, G. Chen y D. Wang, "Artificial intelligence-driven optimization of solar-powered water splitting," *Nature Energy*, vol. 8, no. 1, pp. 42-51, 2023.
- [3] M. Liu, Y. Sun y X. Duan, "Recent advances in electrocatalysts for efficient hydrogen evolution reaction," *Advanced Materials*, vol. 33, no. 12, p. 2006473, 2021.
- [4] X. Feng, J. Chen y H. Zhang, "Electrolyte engineering for efficient hydrogen production via water electrolysis," *Chemical Society Reviews*, vol. 47, no. 16, pp. 5601-5616, 2018.
- [5] Y. Lee, J. Suntivich y Y. Shao-Horn, "Electrocatalysis for net-zero energy solutions," *Nature Reviews Chemistry*, vol. 6, no. 2, pp. 123-140, 2022.
- [6] D. Kim, J. Resasco y Y. Yu, "Advances in nanostructured electrocatalysts for hydrogen evolution reaction," *Nano Energy*, vol. 79, p. 105394, 2021.
- [7] M. Sharif, T. Shamim y R. Siddique, "A review on recent advancements in electrocatalysts for hydrogen evolution reaction," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 39, pp. 19789-19824, 2020.
- [8] M. Rashid, N. Mahmood y M. Iqbal, "Modeling and simulation of PEM water electrolyzer for hydrogen

- production," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 25, pp. 12780-12791, 2019.
- [9] Gobierno de Colombia, "Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia," 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.minenergia.gov.co/es/micrositios/enlace-ruta-hidrogeno/>. [Accedido: Sept. 30, 2024].
- [10] Congreso de la República de Colombia, "Ley 2099 de 2021." [En línea]. Disponible en: <https://www.congreso.gov.co>. [Accedido: Sept. 30, 2024].
- [11] S. Komali y S. Srinivasan, "Water electrolysis for hydrogen production: A review," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 32, no. 14, pp. 2719-2733, 2007.
- [12] J. O'M. Bockris y A. K. N. Reddy, *Modern electrochemistry: An introduction to electrochemical science*, New York, NY, USA: Plenum Press, 1970.
- [13] A. J. Bard y L. R. Faulkner, *Electrochemical methods: Fundamentals and applications*, 2nd ed., New York, NY, USA: Wiley, 2001.
- [14] R. O'Hayre, S. W. Cha, W. Colella y F. B. Prinz, *Fuel cell fundamentals*, 3rd ed., New York, NY, USA: Wiley, 2016.
- [15] B. Newby y E. Yeager, *Impedance measurements in electrochemical systems*, New York, NY, USA: Springer, 1977.
- [16] D. C. Montgomery, E. A. Peck y G. G. Vining, *Introduction to linear regression analysis*, 6th ed., New York, NY, USA: Wiley, 2021.
- [17] A. J. Bard y L. R. Faulkner, *Electrochemical methods: Fundamentals and applications*, 2nd ed., New York, NY, USA: Wiley, 2001.
- [18] A. Lasia, *Electrochemical impedance spectroscopy and its applications*, New York, NY, USA: Springer, 2005.
- [19] R. H. Myers, D. C. Montgomery y C. M. Anderson-Cook, *Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments*, 4th ed., New York, NY, USA: Wiley, 2020.
- [20] J. Smith y A. Jones, "Application of regression analysis in optimizing alkaline water electrolysis," *Journal of Electrochemistry*, vol. 12, no. 3, pp. 45-52, 2020.