

# Prototipo de un generador de energía a base electrólisis de H<sub>2</sub>O como alternativa de motorización.

Cruz Alfaro, Victor Hugo

2023

---

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5696>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

# Prototipo de un generador de energía a base electrólisis de H<sub>2</sub>O como alternativa de motorización

Cruz Alfaro Víctor Hugo (cuarto semestre en Ingeniería Mecánica)<sup>1</sup>, Haddad Toledo Manuel Alejandro (cuarto semestre en Ingeniería en Biotecnología)<sup>1</sup>, Pérez Alemán Isaac Antonio (tercer semestre en Ingeniería Mecatrónica)<sup>1</sup>, Soriano Olguin Cristian (cuarto semestre en Ingeniería Mecánica), Rocío Ramírez Rodríguez (profesora responsable)<sup>1</sup> Jordán Lima Gutiérrez. (profesor asesor)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

## Resumen

En los últimos cincuenta años, ha habido un aumento en el uso de combustibles de energías no renovables, un recurso que se puede acabar en los próximos 100 años. Es por eso que se ha buscado alternativas de energía en automóviles, como la electrólisis. Sin embargo, los generadores de energía en base de electrólisis no son tan normalizados en la actualidad, eso se debe por problemas de energización, aceleración y especialmente la regulación de temperatura. Por esa razón se propuso desarrollar un prototipo de generador de energía basado en electrólisis con una temperatura constante. Para esto, se construyó un generador de energía mediante dos recipientes de 750 ml, se realizaron pruebas de conductividad mediante un multímetro con agua destilada sólo, con NaCl y CuSO<sub>4</sub> de 30% y 45% para determinar cuál es el que tenía mejor conductividad y menor cambio de temperatura, y para estabilizar la temperatura se agregó un anticongelante 50/50% en un vaso de precipitado de 1000 ml, se colocó el generador a dicho vaso y se midió la temperatura con un sensor. Una vez hecho esto, se observó que el CuSO<sub>4</sub> fue el mejor conductor de electricidad con 250 Ohm y la temperatura con el anticongelante estuvo en un rango de 55 a 61 °C. Estos resultados, pueden servir como una base para futuras investigaciones del tema, para un generador de una escala mayor de 750 ml o incluso para un motor.

**Palabras clave:** Electrólisis, generador de energía, hidrógeno, temperatura

\***Autor Corresponsal:** 194886@iberopuebla.mx

## Introducción

Los combustibles fósiles, tales como el carbón, el petróleo y el gas natural, son fuentes de energía no renovable que representan aproximadamente el 80% de la energía utilizada a nivel mundial. Tiene capacidad para suministrar electricidad, calor y transporte, sin embargo, libera dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático y sus consecuentes impactos negativos en la salud y el medio ambiente. Durante los últimos 50 años, ha aumentado la población y con eso el consumo de los combustibles fósiles. Como no son productos renovables, puede que, aproximadamente en 100 años se vaya a acabar este tipo combustible [1].

Las energías renovables corresponden a un tipo de recursos energéticos que emanan de fuentes naturales y que poseen la capacidad de reponerse a una tasa superior a su consumo [2]. Existen diferentes tipos de energía renovable, como la energía hidráulica, que utiliza agua y emite bajas cantidades de gases de efecto invernadero. Sin embargo, para lograr una producción de energía más sostenible y eficiente, el uso de hidrógeno verde producido a partir de la electrólisis del agua con energía renovable se presenta como una alternativa prometedora [3].

El hidrógeno es un elemento químico que se caracteriza por contar con un protón en su núcleo atómico y por ser uno de los elementos más abundantes en la Tierra, prácticamente inagotable. Además, su utilización como fuente de energía presenta ventajas en cuanto a su baja toxicidad y no contaminación en la naturaleza, lo que lo convierte en una alternativa sostenible y con gran potencial en el campo de la energía [4]. La producción de hidrógeno verde se realiza

mediante la utilización de energía renovable, como la solar o eólica, para llevar a cabo el proceso de electrólisis del agua. En este proceso, se utiliza la electricidad generada a partir de fuentes renovables para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno, produciendo así hidrógeno verde [5]. La tecnología se fundamenta en la generación de hidrógeno, mediante un proceso químico denominado electrólisis. Este proceso se basa en la utilización de corriente eléctrica para separar el hidrógeno del oxígeno presente en el agua, con un compuesto, como la sal, siendo este un electrolito (Fig. 1). En caso de que la electricidad empleada provenga de fuentes renovables [6]. La electrólisis sucede por la reacción que tiene lugar en una unidad llamada electrolizador [7]. Estos dispositivos de electrolizador constan de un ánodo y un cátodo separados por un electrolito. El dispositivo puede variar en tamaño, desde 1L de capacidad hasta para mover un autobús. La reacción química de este proceso es electroquímica, que producen corrientes eléctricas y reacciones químicas que son desencadenadas por el flujo de electricidad [8].

Las ventajas que trae la electrólisis como combustible son que el hidrógeno se usa como un combustible limpio, almacena energía renovable o se puede obtener de diferentes formas. Sin embargo, el hidrógeno verde enfrenta desafíos significativos debido a su alto costo de fabricación y la falta de un sistema eficiente para el suministro de hidrógeno. Mientras que las desventajas parte por la producción de hidrógeno a partir del gas natural es altamente contaminante, y la generación de hidrógeno mediante electrólisis es más costosa [9]. Asimismo, la dificultad de producción porque el hidrógeno no se encuentra de forma aislada en la naturaleza; el costo por litro es de \$66.31 pesos mexicanos (\$3.56 dólares

estadounidenses) hasta el 3 de enero de 2023, sin embargo, al pasar del tiempo ha ido bajando el precio [10].

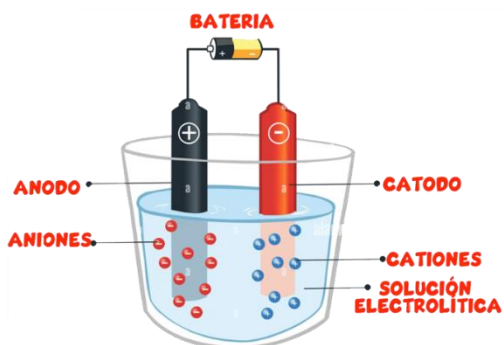


Fig. 1 Método de la obtención de hidrógeno mediante la electrólisis, con sus reacciones electroquímicas tomado de [2].

Este método fue inventado en 1975 por Stanley Meyer [11], llevando cuarenta y ocho años desde que se inventó el método de electrólisis y aún no se ha normalizado el uso en motores o generadores, eso se debe a problemas de energización, optimización del combustible, aceleración y sobre todo temperatura [3]. Debido a que el control de temperatura para el agua ( $H_2O$ ), es inestable. Para un generador, la temperatura estable debe de estar de  $80^{\circ}C$  a  $100^{\circ}C$ , para que pueda realizar sus funciones, sin embargo, no llega a estar en estos, porque aumenta a un rango mayor a  $100^{\circ}C$ , eso significa que no va a funcionar [12].

Por esto, se ha hecho múltiples investigaciones en universidades y empresas a nivel nacional e internacional para solucionar los problemas que tiene la electrólisis y aún se sigue haciendo en la actualidad, porque aún no se ha resuelto los problemas [13]. Por todo lo mencionado anteriormente, es importante que se lleve a cabo este proyecto, para buscar una solución a los problemas que tiene los generadores de energía de electrólisis en la optimización y combustión de temperatura. Por esas razones, no es común el uso de autos de este tipo. Si se resuelven, se solucionará los problemas que tienen los generadores de energía de la electrólisis y con eso, se puede avanzar en los motores.

En este proyecto, se desarrolló un prototipo de generador de energía basado en la tecnología de electrólisis con una optimización y temperatura constante. El generador de energía tiene una capacidad 750 ml, mediante recipientes, que genere hidrógeno, se hará pruebas con agua alcalina para su conductividad y se va a probar con anticongelante para su control de temperatura.

## Metodología

### Construcción del Generador de Electrólisis (GE)

Se utilizaron dos recipientes de polipropileno de 750 ml de capacidad. El recipiente 1 será la Fuente de Energía (FE) se empleó para colocar el cátodo y ánodo, el recipiente 2 es el

Receptor del  $H_2$  (RH2), la tapa del RE se realizó dos perforaciones de un diámetro de 3/8 in. Las perforaciones tenían una distancia de 4.5 cm. En la primera los dos barrenos para introducir el cátodo y el ánodo.

Posteriormente, en la tapa del RH2 se realizó dos barrenos de 1/16 in con una distancia de 4.5 cm entre ellos ubicados céntricamente (figura 2). Uno de los barrenos se introducirá la Manguera de Admisión (MA), y en el otro la Manguera de Emisión (ME). Las mangueras fueron de las siguientes características: de silicón, 1/2 de diámetro y una extensión de 50 cm. La MA se conectó al electrolizador, mientras que la ME conectada al final con una jeringa de insulina con la finalidad de cuantificar el gas producido de la reacción.

### Pruebas de generación de electrólisis.

Se conectó al generador de energía con una batería sellada de ácido-plomo, 12 Vcc 9 Ah, marca esterren, con unos caimanes eléctricos para determinar el amperaje y constatar su funcionamiento.

Se realizó dos pruebas: a) conductividad, presión y temperatura; y b) prueba de anticongelante, las cuales se describen a continuación (Fig. 2).

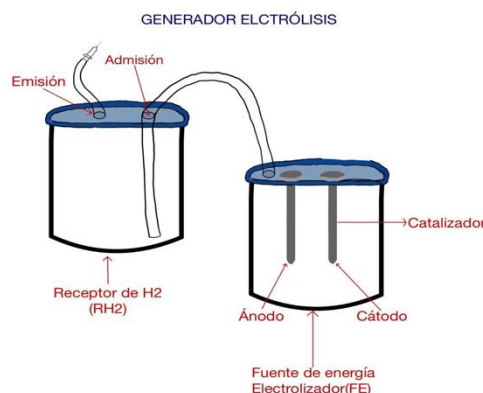


Fig. 2. Generador de electrólisis que se construyó.

### Pruebas de conductividad, presión y temperatura

Se prepararon dos soluciones de 300 ml, la primera de 30 % de NaCl y  $CuSO_4$  y la segunda de 45% de los mismos compuestos. Después, se conectó con un software de LabQuest 2 de Vernier se conectó el sensor de temperatura y de presión de Vernier, después se conectó en una computadora de Windows 10 HP, se abrió la aplicación de LabQuest 2 de la computadora y se aseguró que la unidad de la presión estuviera en kPa y la temperatura en Kelvin y que se registre los datos en un lapso mayor de 30 minutos. Se agregó 600 ml de agua de destilada en FE y en el RH2 se añadió 300 ml de agua destilada, se midió la conductividad con un multímetro de la marca Trupper, después se conecta en un cargador de pila al GE y se pone una manguera en el sensor de presión y en la jeringa del GE, se prende el cargador de baterías en 2 A, se midió el amperaje inicial con un amperímetro de gancho Fluke 400 ACA 600V, se prendió el cargador de pila durante un lapso de diez minutos y una vez pasado este tiempo, se midió el amperaje final con el mismo amperímetro que se midió al principio. Posteriormente se mide la temperatura con el sensor de

temperatura y se recopiló los datos del programa en una hoja de Excel. Para determinar la presencia de hidrógeno se empleó la fórmula Eq (1) del número de moles de los gases ideales. Se quita la manguera del GE se tiró el agua que se usó en el E, y se lavó el recipiente con agua y jabón. Se repitió la prueba dos veces por cada solución y también del agua destilada sin ningún compuesto químico y se calculó en una hoja de Excel el promedio de cada uno y la desviación estándar, y se observó y comparó los datos de conductividad, amperaje, presión, temperatura y número de moles de cada uno.

#### Prueba de temperatura con el anticongelante

Se agregó en un vaso de precipitado de 1000 ml, 350 ml de un anticongelante 50/50% de AutoZone, se puso el recipiente FE con 750 ml de agua destilada, se colocó la manguera al sensor de presión, esa manguera se puso con la jeringa del RH<sub>2</sub>, se colocó el sensor de temperatura en el vaso de precipitado, se midió la conductividad con el multímetro, se conectó la pila del cargador al generador, se prendió la pila en 5 A, se midió el amperaje inicial con un amperímetro y se comenzó a tomar datos en el software de LabQuest. Una vez pasado dos a cinco minutos, se midió el amperaje final, se apagó la pila, se tomó los datos registrados del software y se lavó con agua y jabón el recipiente E.

#### Cálculos numéricos

Durante la prueba de conductividad, se sacó datos de presión (P) en kPa y temperatura (T) en grados Kelvin, para analizar su comportamiento. Con esos datos, más el volumen (V) del recipiente que fue de 750 ml o 0.75 L, se buscó la constante de gases ideales (R) con un valor de 8.3144 L\*kPa/mol\*Kelvin, y con todos estos datos, se calculó la cantidad de número de moles (n), mediante la fórmula del número de moles de los gases ideales Eq (1), para saber la cantidad que había de elementos químicos en las pruebas que se hizo.

$$n = \frac{PV}{RT} \quad (1)$$

## Resultados y Discusión

#### Construcción del GE y pruebas de generación de electrólisis.

Se construyó el prototipo del GE sin tantas complicaciones, ya que, una vez hecho el prototipo, funcionaba sin tanto problema y con eso se pudo probar el amperaje y su funcionamiento.

#### Pruebas de conductividad, presión y temperatura

Se realizó las pruebas de agua destilada sin ningún compuesto químico, NaCl y CuSO<sub>4</sub> de 30% y 45%. De estas pruebas, el que tuvo mayor conductividad fue el CuSO<sub>4</sub> de 30% y 45% con 250 Ohm a diferencia del NaCl de 30% y 45% que su conductividad fue de 22.93. La desviación estándar, los de CuSO<sub>4</sub> de 30% y 45% tuvieron un mayor valor a comparación de los otros. Otros valores que se tomó en cuenta fue la temperatura, el CuSO<sub>4</sub> fue tuvo un menor

aumento a diferencia del NaCl, eso se debe a que la temperatura máxima del CuSO<sub>4</sub> fue de 309.49 °K, mientras que el NaCl llegó hasta 330.2 °K. La presión se mantuvo estable en cualquiera de las pruebas, sin importar que hubo aumento de la temperatura. En la generación de H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> tuvo una mayor cantidad el NaCl del 45% 0.02137 mol, mientras el CuSO<sub>4</sub> del 45% con 0.02327 mol. Se notó que mientras más cantidad de estos dos compuestos, hay más producción de H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. Para una comparación más sencilla con los promedios de cada prueba, se puede consultar a la Tabla 1.

#### Prueba de temperatura con el anticongelante

Una vez que se realizó la prueba de conductividad del CuSO<sub>4</sub> del 45% con agua destilada, se empezó hacer las pruebas del anticongelante 50/50%. Cuando se prendió el cargador de pila, subió la temperatura en un principio, a una temperatura máxima de 61.07 °C al pasar casi 30 segundos, una vez pasado este tiempo, se empezó a bajar, llegando a una mínima de 55.84 °C y la temperatura promedio fue de 56.84 °C (Fig. 3). Con esto, el GE tuvo una temperatura constante por un minuto y no subió más de 65 °C.

Prueba con el anticongelante 50/50% con CuSO<sub>4</sub>

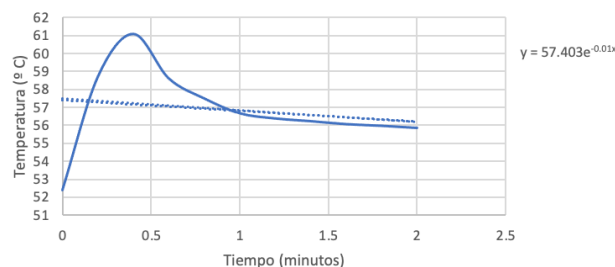


Fig. 3. La Temperatura durante dos minutos del GE con CuSO<sub>4</sub> y anticongelante 50/50%.

#### Análisis a los resultados obtenidos

En este experimento se evaluó el control de temperatura, conductividad y presión de un sistema utilizando anticongelante. A pesar de la estabilidad del anticongelante, no se logró alcanzar el rango de temperatura requerido, que se encontraba en el intervalo de 80 a 100 °C. No obstante, se pudo establecer que se alcanzó la estabilidad de la temperatura en un rango menor. La conductividad del CuSO<sub>4</sub> fue un factor clave en el logro de la estabilidad del sistema de control de temperatura. La adición de CuSO<sub>4</sub> al sistema contribuyó a aumentar la conductividad del medio y, por lo tanto, mejorar la transferencia de calor entre los componentes del sistema. En cuanto a la evaluación de la presión, se encontró que esta se mantuvo estable durante todo el experimento. Esto puede atribuirse a la conductividad del CuSO<sub>4</sub>, que ha sido un factor clave en la generación de una mayor conductividad en el sistema.

A partir de los resultados obtenidos, hemos observado que mediante la aplicación de un aumento en el amperaje y en el tiempo de exposición, se podría llegar a alcanzar un rango de temperatura de hasta 95 °C. Este resultado estaría en línea con el objetivo de cumplir con la función esperada del sistema en términos de control de temperatura.

Tabla 1. Resultados de las pruebas de conductividad con agua destilada, agua destilada con NaCl 30% y 45% y agua destilada con CuSO<sub>4</sub> de 30% y 45%

Agua destilada							
Conductividad (Ohm)	Amperaje inicial	Amperaje final	Temperatura (°K)	Presión (kPa)	Volumen (L)	Número de moles	Desviación estándar
0.877	0	0.1	296.6	78.34	0.75	0.02291	0.010
Agua destilada con NaCl 30%							
Conductividad (Ohm)	Amperaje inicial	Amperaje final	Temperatura (°K)	Presión (kPa)	Volumen (L)	Número de moles	Desviación estándar
22.93	0.2	0.6	308.1	78.2217	0.75	0.02290	0.171
Agua destilada con NaCl 45%							
Conductividad (Ohm)	Amperaje inicial	Amperaje final	Temperatura (°K)	Presión (kPa)	Volumen (L)	Número de moles	Desviación estándar
22.93	0.2	0.8	330.2	78.2217	0.75	0.02137	0.075
Agua destilada con CuSO <sub>4</sub> 30%							
Conductividad (Ohm)	Amperaje inicial	Amperaje final	Temperatura (°K)	Presión (kPa)	Volumen (L)	Número de moles	Desviación estándar
250	0.1	0.8	301.9	79.8984	0.75	0.02387	6.658
Agua destilada con CuSO <sub>4</sub> 45%							
Conductividad (Ohm)	Amperaje inicial	Amperaje final	Temperatura (°K)	Presión (kPa)	Volumen (L)	Número de moles	Desviación estándar
250	0.1	1	309	79.8235	0.75	0.02327	6.57

Es importante destacar que la evaluación de la temperatura en sistemas es un aspecto fundamental para el correcto funcionamiento de diversos procesos, por lo que la identificación de posibles mejoras en el control de la temperatura puede resultar de gran relevancia en diferentes ámbitos científicos y tecnológicos.

### Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

El generador de hidrógeno a base de electrólisis tuvo resultados favorables de temperatura y conductividad, sin embargo, no eran los esperados ya que el amperaje no era el suficiente, al tener esa limitación tuvimos que quitar celdas galvanizadas de acero, ya que a menor amperaje no tiene la potencia suficiente, esta limitación impidió que se llegara al resultado esperado, pero se lograron resultados a favor de los cuales buscábamos mantener la temperatura estable.

Hemos llegado al resultado final el cual gracias a la limitación del amperaje y que no contamos con el equipo profesional necesario en el IDIT, el generador de hidrógeno trabajó con una potencia mínima de dos A sin las celdas de acero galvanizado en el cátodo y ánodo ya que a mayores celdas se requiere mayor amperaje, se pudo ver que compuesto es el que tiene mayor conductividad, y tras varias pruebas llegamos a la conclusión que el sulfato de cobre fue el más conductivo con 250 Ohm. Se vio que a mayor tiempo más se calentaba el compuesto y se optó por aplicar un anticongelante para mantener la temperatura estable y se logró ver mejoras en el resultado

Se recomienda para mejorar este proyecto buscar fuentes de amperaje arriba de los 5 A, hacer el prototipo con materiales

inoxidables y recipientes térmicos. Asegurarse de que el prototipo tenga la capacidad adecuada para su fin. Además, es importante llevar a cabo pruebas exhaustivas para determinar la temperatura óptima del generador y asegurar su eficacia.

También se recomienda estar bajo supervisión de algún profesional en el área ya que el hidrogeno es altamente inflamable y por algún error en pruebas puede llegar a ser muy peligroso. Otra razón del porqué es recomendable estar con algún profesional es para el manejo de ciertos materiales, como el cargador de pila que, si no se conoce su funcionamiento, puede ocasionar accidentes graves y también se aplica para el uso del sensor de temperatura.

Si se logra superar los desafíos mencionados y se desarrolla un prototipo de generador de energía de electrólisis que funcione eficientemente a escala reducida, sería un gran avance ya que hoy en día no es tan común ver proyectos como estos, sin embargo, es favorable llevar la continuidad de estos, ya que aumentaría el uso de energías renovables en el mundo a largo plazo. Por último, este aún con todos los inconvenientes, este proyecto puede servir como base para otras investigaciones del tema, ya sea por cual es el compuesto químico más efectivo para un generador de electrólisis y considerar el anticongelante para estos generadores, para tener una temperatura más estable y también para hacer un proyecto de mayor escala, ya sea para construir un generador mayor de 750 ml o para un motor de un automóvil.

## Referencias

- [1] C. Núñez (2022, noviembre 28) **Explicación de qué son los combustibles fósiles**. [Online]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/explicacion-que-son-combustibles-fosiles>
- [2] United Nations, **¿Qué son las energías renovables?** | Naciones Unidas», United Nations. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- [3] Futura-Sciences, **“Hydraulic energy”**, Futura-Sciences. <http://www.futura-sciences.us/dico/d/sustainable-development-hydraulic-energy-50000649/>
- [4] National Geographic. (s.f.). Propiedades del hidrógeno (H). Recuperado el 24 de abril de 2023, de <https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-hidrogeno>
- [5] El hidrógeno verde: una alternativa para reducir las emisiones y cuidar nuestro planeta, Iberdrola, 22 de abril de 2021. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>
- [6] L. Jiménez Cárdenas, E. Marín Muñoz, **“Diseño e implementación de una celda de hidrógeno en un motor de combustión interna en la ciudad de Bogotá,”** Universidad distrital francisco José de caldas, vol. 1, Sep. 2021.
- [7] **Hydrogen Production: Electrolysis**, Energy.gov. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis>
- [8] N. Chaudhary y M. Khanuja **“Electrochemistry—Concepts and methodologies”** [Online]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128231487000027>
- [9] M. Mandal, “Highly Efficient Bipolar Membrane CO<sub>2</sub> Electrolysis”. Chem Electro Chem.
- [10] S. Alcade (2023, enero 3) **Ventajas e inconvenientes del hidrógeno como combustible alternativo**. [Online]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo-14897>
- [11] Gallivan, Stanley Meyer: **An Infamous Invention and Death**, Institute on the Environment, 29 de Abril de 2022. <https://environment.umn.edu/education/susteducation/stanley-meyer-an-infamous-invention-and-death/>
- [12] Verti, **¿A qué temperatura tiene que estar el motor de un coche?**, Verti, 4 de marzo de 2022. <https://blog.verti.es/temperatura-motor-coche/>
- [13] M. Stavy **“The Carbon Content of Hydrogen Vehicle Fuel Produced by Hydrogen Electrolysis”** Consulting Energy Economist, vol. 1 pp. 1-3, February 2005.