


CONESCAPANHONDURAS2025paper94.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14348:477757737

Submission Date

Jul 31, 2025, 10:45 PM CST

Download Date

Aug 12, 2025, 2:54 PM CST

File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper94.pdf

File Size

499.5 KB

4 Pages




2,757 Words

14,064 Characters

3% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 3%  Internet sources
- 1%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags




0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 3%  Internet sources
- 1%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	www.proceedings.com	<1%
2	Internet	eprints.whiterose.ac.uk	<1%
3	Internet	www.hydrogen.energy.gov	<1%
4	Internet	doczz.es	<1%
5	Internet	www.yamathosupply.com	<1%
6	Internet	worldwidescience.org	<1%
7	Internet	www.ngvjournal.com	<1%

Aprovechamiento de energía fotovoltaica de voltaje CC variable mediante la producción de hidrógeno

Resumen—Esta investigación evalúa la viabilidad técnica de un sistema de producción de hidrógeno alimentado por módulos fotovoltaicos conectados directamente a fuentes de voltaje variable en corriente continua (CC). Se desarrolló un modelo experimental, incorporando mecanismos de separación de gases mediante campanas o membranas protónicas, y se realizaron pruebas con un arreglo independiente de 4 módulos de 4 W. Asimismo, se analizó el sistema fotovoltaico del edificio B1 de la UNAH, como base para futuras implementaciones. Para la medición de hidrógeno, se utilizó un sensor MQ-8, permitiendo evaluar la concentración en condiciones reales. El estudio considera la influencia de la variabilidad solar, la calidad del agua y la eficiencia general del sistema como base para futuras optimizaciones.

Palabras Clave—Electrólisis, Medición de concentración, Producción de hidrógeno, Separación de gases, Sistema fotovoltaico, Viabilidad técnica

I. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos han aumentado nuestra demanda energética. En Honduras, la demanda supera la capacidad de generación, planteando desafíos para el suministro eléctrico. Los módulos solares fotovoltaicos almacenan energía en baterías cuando alcanzan el valor de voltaje necesario para alimentar el banco de baterías, pero en las horas con me-nos radiación, la energía producida no es aprovechada.

La investigación se centra en usar un sistema de producción de hidrógeno con módulos solares fotovoltaicos, evaluando su viabilidad como una alternativa de aprovechamiento de energía generada y no aprovechada. Se utilizaron las instalaciones fotovoltaicas del edificio B1 y un arreglo de 4 paneles para pruebas con el prototipo P-HHO.

El objetivo central es analizar la viabilidad técnica de implementar un sistema de producción y separación de hidrógeno utilizando voltaje de corriente continua variable proveniente de paneles solares. Para ello, se construyeron prototipos como el P-HHO1. La producción de hidrógeno fue cuantificada utilizando sensores de concentración de H_2 , lo que permitió valorar el rendimiento del sistema frente a las variaciones propias de la radiación solar.

El estudio busca responder cómo aprovechar las variaciones de voltaje en corriente continua de los sistemas fotovoltaicos mediante un sistema de producción de hidrógeno. La hipótesis plantea una alternativa para utilizar esa energía con un proceso de electrólisis que permita la generación de hidrógeno mediante la separación de gases.

II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

A. Diseño del prototipo experimental

Como paso fundamental para el desarrollo de esta investigación, se consideró necesario construir un prototipo

funcional que permitiera evaluar el comportamiento real del sistema de producción de hidrógeno. Esto facilitó la medición de parámetros clave y la validación experimental del diseño bajo condiciones reales de operación.

Se planificó la disposición óptima de los componentes del sistema, buscando maximizar la eficiencia en la producción y separación de gases, así como garantizar la compatibilidad con el suministro de voltaje variable proveniente de los paneles fotovoltaicos.

B. Integración de Componentes

Los recipientes plásticos fueron ubicados estratégicamente para garantizar un flujo adecuado de agua destilada y facilitar el proceso de electrólisis. En su interior se integra-ron celdas construidas con placas de acero inoxidable, material seleccionado por su resistencia a la corrosión debido al contacto constante con el agua. Estas celdas actuaron como electrodos, positivos y negativos, permitiendo la electrólisis

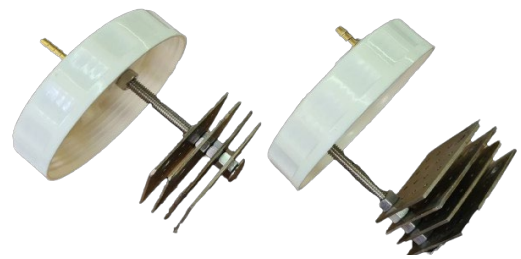


Fig. 1. Electrodo instalados en las tapaderas de los recipientes

El sistema incluyó un microcontrolador Arduino Nano, un sensor de gas MQ-8 y una pantalla LCD 16x2 con interfaz I2C. El sensor permitió medir la concentración de hidrógeno generado durante la electrólisis, mientras que la pantalla facilitó la visualización en tiempo real de los datos obtenidos, todos los componentes se integraron dentro de una carcasa impresa en 3D y todos los componentes se integraron dentro un gabinete para mejor manipulación y movilidad del prototipo.

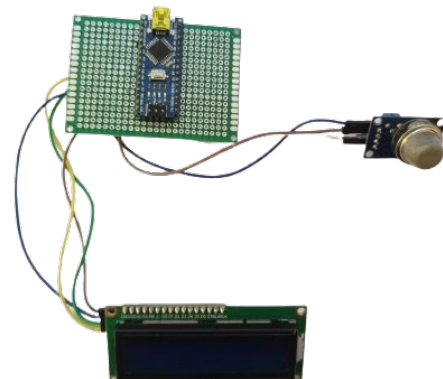


Fig. 2. Circuito medidor de concentración de Hidrógeno



Fig. 3. Medidor de Concentración



Fig. 4. Montaje final del prototipo P-HHO

Una vez finalizada la construcción del prototipo, se realizaron pruebas experimentales para verificar la respuesta del sensor MQ-8 y el inicio efectivo del proceso de electrólisis. Los resultados obtenidos sirvieron como base para futuros ajustes y mejoras en el rendimiento del sistema.

III. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS

A. Determinación de parámetros para la electrólisis en el prototipo

Para definir las condiciones óptimas de funcionamiento del prototipo, se evaluaron sus parámetros operativos. En particular, para dimensionar el electrolito necesario, se consideró que cada recipiente contiene 5.4554 litros de agua destilada y que el sistema funcionaría durante 8 horas con una corriente de 1.16 A, basada en pruebas con cuatro paneles solares de 5 Wp. A partir de estos datos, se calcularon los moles de electrones requeridos para la generación de oxígeno e hidrógeno.

La cantidad de moles de electrones calculó utilizando la fórmula de la ley de Faraday, la cantidad de moles de agua descompuesta considerando una relación 2:1 con los moles de electrones necesarios se determinó los moles de agua.

$$n_{\text{agua}} = \frac{n_{\text{electrones}}}{2} \quad (1)$$

$$n_{\text{agua}} = 0.1725 \text{ moles de agua}$$

Finalmente, para determinar la cantidad de hidróxido de sodio necesaria, se utilizará la relación estequiométrica entre

este electrolito y el agua. El hidróxido de sodio se emplea como electrolito porque aumenta la conductividad del agua, facilitando el paso de corriente eléctrica.

Con base en esta relación, se determinó que se requieren 2 moles de hidróxido de sodio por cada mol de agua descompuesta. Por lo tanto, la cantidad de moles de hidróxido de sodio necesarios se calculará de acuerdo con esta proporción.

$$n_{\text{NaOH}} = n_{\text{agua}} \times 2 \quad (2)$$

$$n_{\text{NaOH}} = 0.345 \text{ moles de NaOH}$$

Para convertir los moles de hidróxido de sodio a gramos, se utilizó su masa molar, aproximadamente 40 g/mol. Aplicando este valor, la cantidad de hidróxido de sodio necesaria corresponde a 13.8 gramos.

Teniendo en cuenta los parámetros y cálculos realizados previamente, se determinaron las condiciones mínimas de operación del prototipo para asegurar un proceso de electrólisis eficiente y una separación efectiva de gases.

TABLA I. PARÁMETROS DE LAS PRUEBAS DC

Parámetro	Especificación
Cantidad de agua	5.45 litros
Tipo de agua	Destilada
Canridad de electrolito	69 g
Tipo de electrolito	NaOH
Voltaje mínimo	2 V
Corriente mínima	0.06 A

Los valores mínimos de funcionamiento son 2 voltios a una corriente de 0.06 amperios

B. Pruebas experimentales de P-HHO y Cálculos de producción de hidrógeno

Para las pruebas experimentales, se utilizó un arreglo compuesto por cuatro módulos sola-res de 5 Wp c/u, con características individuales de 17.5 V y 0.29 A a potencia máxima, y una corriente de cortocircuito de 0.31 A. Los paneles fueron conectados en paralelo, manteniendo un voltaje de 17.5 V y alcanzando una corriente total de 1.16 A. El sistema fue instalado temporalmente junto al edificio B2 de la Facultad de Ingeniería para facilitar las mediciones experimentales. Durante las pruebas, se monitorearon tres parámetros principales:

- Voltaje de salida de los módulos solares.
- Corriente de entrada al prototipo.
- Concentración de hidrógeno en la salida del prototipo

Estas mediciones permitieron evaluar el desempeño del prototipo P-HHO bajo condiciones reales de operación con voltaje CC variable. Con base en los resultados obtenidos, se estimó la cantidad de hidrógeno generado y se proyectó el funcionamiento del sistema en la configuración fotovoltaica

disponible en el edificio B1. Los datos recopilados durante las mediciones del 23 de noviembre de 2023 se muestran en la siguiente figura.

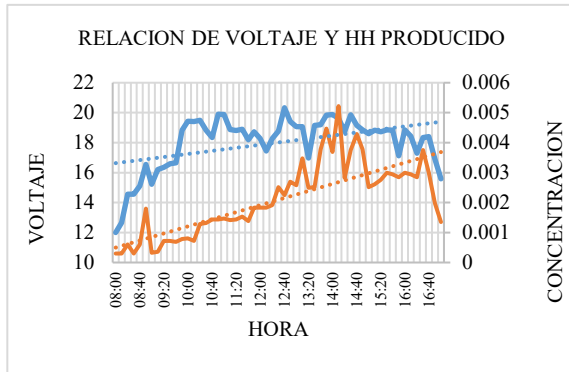


Fig. 5. Relación de voltaje vs concentración de HH día 23/11/23

El 23 de noviembre se registró una generación total de 121.80 Wh, valor que se utilizó para estimar la producción diaria de hidrógeno bajo condiciones reales de operación. Considerando que en Honduras el promedio de horas sol pico (HSP) oscila entre 5 y 6 horas por día, se estimó una producción aproximada de **0.1105 litros diarios** de hidrógeno bajo las condiciones previamente descritas.

El 24 de noviembre de 2023 se realizaron nuevas mediciones, obteniendo los siguientes resultados:

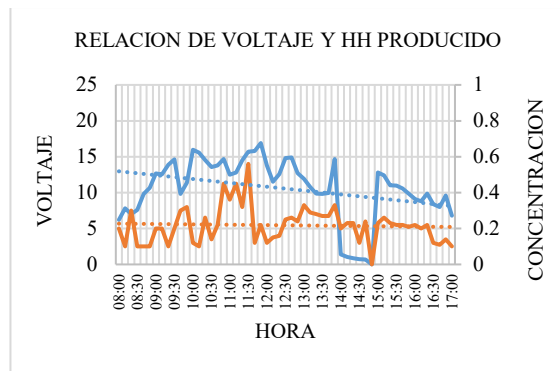


Fig. 6. Relación de voltaje vs concentración de HH día 24/11/23

La generación total para el 24 de noviembre de 2023 fue de 41.82 Wh, lo que representa una menor captación energética. Bajo condiciones operativas diferentes, esta energía permitió estimar una producción de 0.03597 litros diarios de hidrógeno.

Estos valores de producción fueron obtenidos por medio de la ecuación:

$$V_{gas} = \left(\frac{ppm}{10^6}\right) \times (V_{recip}) \quad (3)$$

Donde:

$Vol\ g$ = Volumen del gas

Ppm = Concentración del HH

$Vol\ r$ = Volumen total del recipiente

C. Evaluación de resultados

Con los valores experimentales, se evaluó el comportamiento del prototipo en caso de implementarse en un sistema fotovoltaico de mayor capacidad. Para ello, se utilizaron los valores nominales de los módulos fotovoltaicos instalados en el edificio B1, con el objetivo de estimar la energía generada bajo condiciones ideales y proyectar la posible producción de hidrógeno.

La instalación fotovoltaica del edificio B1 (UNAH – Ciudad Universitaria) está compuesta por un arreglo de 12 módulos solares conectados en serie, alcanzando un voltaje total estimado de 320.4 V en condiciones nominales. Cada módulo tiene una potencia nominal de 190 W, por lo que el arreglo completo alcanza una capacidad total de 2,280 W ($190\text{ W} \times 12$).

TABLA III. PARÁMETROS DE LOS MÓDULOS SOLARES DEL EDIFICIO B1.

Parámetro	Especificación
Peak Power	190 W
Vpeak power	26.7 V
Ipeakpower	7.12 A

Para estimar la cantidad de hidrógeno liberado en un sistema de mayor capacidad, se consideraron condiciones ideales de operación con un voltaje de 320 V el cual corresponde a todo el arreglo fotovoltaico, una corriente de 7.12 A y un tiempo de funcionamiento continuo de 8 horas (equivalente a 28,800 segundos). Estos parámetros resultaron en una carga eléctrica total de 6,558,720 C.

A partir de esta carga, y aplicando la ley de Faraday, se calculó una generación de aproximadamente 33.98 moles de hidrógeno. Posteriormente, utilizando el volumen molar estándar de 22.4 L/mol (a condiciones normales de presión y temperatura), se estimó que esta cantidad equivale a 761.15 litros de hidrógeno.

Este resultado permite proyectar el potencial del prototipo si se implementa con un sistema fotovoltaico de mayor escala, como el instalado en el edificio B1, mostrando una producción significativamente superior respecto al prototipo operando con el arreglo de cuatro paneles.

Para estimar la energía diaria teórica del sistema del edificio B1, se multiplicó la potencia total instalada (2,280 Wp) por las horas de sol pico, obteniendo un valor en Wh/día.

$$Energía_{Placa} = 8\text{ h} \times 2,280\text{ Wp} \quad (4)$$

$$Energía_{Placa} = 18.24\text{ Wp}$$

A partir de la energía generada el 23/11/23 (121.8 Wh), se estimaron las horas de sol pico reales dividiendo dicho valor entre la potencia nominal del arreglo del edificio B2 (4 paneles $\times 5\text{ Wp} = 20\text{ W}$), obteniendo aproximadamente 6.1 HSP.

$$HSP = Energía_{Reales} / P_{total\ B2} \quad (5)$$

$$HSP = 121.80 / 20\text{ Wp}$$

$$HSP = 6.09 \text{ h}$$

Con base en las HSP estimadas, se calcula la energía diaria teórica del sistema del edificio B1 para extrapolar la producción de hidrógeno mediante una relación proporcional con el arreglo experimental.

$$Energía_{total} = HSP \times P_{total \text{ B1}} \quad (6)$$

$$Energía_{total} = 13.88 \text{ kWh/día}$$

A partir de la energía teórica calculada para el sistema del B1, se estimó el volumen de hidrógeno mediante una relación proporcional con la energía real medida (121.80 Wh/día) y el volumen obtenido experimentalmente en un día soleado (0.1105 L).

$$Vol \text{ de } H = \left(\frac{Energía_{total}}{Energía_{real}} \right) \times 0.1105 \text{ l} \quad (7)$$

$$Volumen \text{ de } H \approx 12.59 \text{ litros}$$

Para un día medianamente soleado con 6.09h de luz con el sistema propuesto la producción de hidrógeno sería igual a 12.59 l. El 24 de noviembre, el sistema experimental produjo **0.03597 L** de hidrógeno bajo las siguientes condiciones observadas. Las horas solares pico se calcularon la ecuación (5):

$$HSP = Energía_{Reales} / P_{total \text{ B2}}$$

$$HSP = 41.82 / 20 \text{ Wp}$$

$$HSP = 2.09 \text{ h}$$

Se calculó la energía total con la potencia instala en el arreglo de paneles del edificio B1 utilizando la ecuación (6).

$$Energía_{total} = HSP \times P_{total \text{ B1}}$$

$$Energía_{total} = 4.76 \text{ kWh/día}$$

Se aplicó una relación proporcional para estimar el volumen de hidrógeno producido la cual se describe en la ecuación (7) con base en la energía generada ese día.

$$Vol \text{ de } H = \left(\frac{Energía_{total}}{Energía_{real}} \right) \times 0.03597 \text{ l}$$

$$Volumen \text{ de } H \approx 4.09 \text{ litros}$$

Los valores reales de producción de hidrógeno difirieron significativamente de los teóricos, posiblemente debido a pérdidas por fugas en los recipientes y la falta de aislamiento adecuado. No obstante, los resultados obtenidos demuestran el

potencial del sistema y sugieren oportunidades de mejora para futuras optimizaciones.

IV. CONCLUSIONES

La implementación de un sistema de producción de hidrógeno alimentado directamente por energía fotovoltaica de voltaje variable constituye una alternativa técnicamente viable para el aprovechamiento de excedentes solares y condiciones de baja irradiancia. En regiones con alta variabilidad climática, como Honduras, donde las fluctuaciones en la radiación solar afectan el punto de máxima potencia de los módulos fotovoltaicos, este sistema permite capturar y utilizar de manera eficiente la energía que, de otro modo, no sería aprovechada por dispositivos convencionales. Este aprovechamiento puede optimizarse aún más mediante la incorporación de un circuito de transición que detecte cuando el sistema principal no está consumiendo la energía generada por el panel solar, redirigiéndola automáticamente al sistema productor de hidrógeno. Así, se maximiza el uso de la energía disponible, fomentando soluciones energéticas más resilientes y sostenibles, especialmente en contextos descentralizados o fuera de la red eléctrica.

El diseño con cámaras separadas permitió la recolección parcial de los gases, aunque la amplia distancia entre electrodos exigió mayor volumen de electrolito para mantener la conductividad, lo que incrementó el consumo energético y redujo la eficiencia del sistema.

Si bien el sistema demostró ser funcional, su eficiencia podría optimizarse mediante mejoras en los materiales y en la configuración del montaje. Esta evaluación pone en evidencia tanto su potencial como sus limitaciones, y establece una base técnica sólida para futuras investigaciones en producción de hidrógeno alimentada por energía solar.

REFERENCIAS

- [1] C. Sanabria, «“DÉFICIT DE GENERACIÓN EN HONDURAS”», 20 Noviembre 2023. [En línea]. Available: : <https://es.linkedin.com/pulse/déficit-de-generación-en-honduras-christian-sanabria>.
- [2] W. Brown, «“Aplicaciones del hidrógeno como portador de energía limpia en el sector del transporte”», IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vols. %1 de %2vol. 8, núm. 2, pp. 614-625, 2017.
- [3] Y. Y. W. L. y. R. J. Xinyi Zhao, «“A hydrogen load modeling method for integrated hydrogen energy system planning”», 12 10 2023. [En línea]. Available: : <https://ieeexplore.ieee.org/document/10066443>.
- [4] Q. X. C. Z. y. J. W. Hai Jiao Guo, «Analysis of wind-hydrogen coupling with coal-to-methanol system for green low-carbon methanol synthesis», IEEE Xplore, n° <https://ieeexplore.ieee.org/document/10116609>, 2023.
- [5] F. A. J. S. L. C. F. H. M. J. Burriel Martí, de *Química analítica cualitativa*, Editorial Paraninfo, 2007