



ANEXO 1

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
CON EL FINANCIAMIENTO DEL FEDU

1. Título del proyecto

PRODUCCIÓN DE HIDROGENO MEDIANTE LA ELECTROLISIS DEL AGUA A PARTIR DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA REGIÓN DE PUNO

2. Área de Investigación

Área de investigación	Línea de Investigación	Disciplina OCDE
Combustión		

3. Duración del proyecto (meses)

12 meses

4. Tipo de proyecto

Individual	☒
Multidisciplinario	☐
Director de tesis pregrado	☐

4. Datos de los integrantes del proyecto

Apellidos y Nombres	Vilca Callata Leonidas
Escuela Profesional	Ingeniería Mecánica Eléctrica
Celular	917776004
Correo Electrónico	lvilca@unap.edu.pe

- I. Título PRODUCCIÓN DE HIDROGENO MEDIANTE LA ELECTROLISIS DEL AGUA A PARTIR DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA REGIÓN DE PUNO

II. Resumen del Proyecto de Tesis

La sostenibilidad energética y la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, en la producción de energía en la actualidad son factores importantes que determinan el desarrollo energético. Por ello el objetivo de este estudio es determinar la producción de hidrogeno a partir de la energía solar fotovoltaica en el altiplano peruano. Se utilizará el método de la electrolisis del agua, utilizando la energía solar fotovoltaica como fuente de electricidad para alimentar los electrodos (ánodo y cátodo), en configuración de 8 placas



de acero INOX-304 en serie llamado celda de combustible, para la obtener hidrogeno y oxigeno mediante la reacción electrolítica del agua. Los resultados determinaran la producción de hidrogeno y la pureza de este gas, utilizando energía renovable, siendo un sistema sostenible y amigable para el medio ambiente en el Altiplano peruano.

III. Palabras claves (Keywords) Celda de combustible, electrolisis del agua, energía solar, fotovoltaica, hidrogeno.

IV. Justificación del proyecto

(El calentamiento global es un problema mundial a gran escala, por la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera como el dióxido de carbono (CO₂), por fuentes de energía convencional proveniente de hidrocarburos, por ello se plantea el estudio de otra fuente de energía que sea sostenible y amigable al medio ambiente. El hidrogeno es el combustible que tiene un impacto negativo al medio ambiente casi cero, es un vector energético muy eficiente en comparación a otras energías, no es muy estudiado en la actualidad, es considerado como el combustible del futuro.

La producción de hidrogeno en la actualidad es muy importante, debido a la escasez de los combustibles fósiles, la contaminación medio ambiental, el calentamiento global. El hidrogeno como fuente de energía renovable, es una alternativa energética, frente a los problemas que vivimos en la actualidad.

V. Antecedentes del proyecto

La emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera, por la acción antropogénica en la producción energía, es uno de los principales responsables del calentamiento global y el cambio climático en la actualidad (de_Richter *et al.*, 2016; Vural, 2020), siendo uno de los problemas más relevantes en los últimos años, causando el incremento de la temperatura de la superficie terrestre (Lau *et al.*, 2012), utilizando



como principal recurso energético a los combustibles fósiles, energías no renovables (Martins *et al.*, 2018). Sin embargo, el cambio climático es la principal razón que incita a cambiar el uso de los combustibles fósiles a energías renovables (Mutezo y Mulopo, 2021; Smil, 2016).

Las energías renovables constituyen un factor fundamental para el desarrollo energético y sostenible de la humanidad (Wang y Liu, 2020), siendo importante por ser limpia, amigable con el medio ambiente y para proteger a la atmosfera (Azam *et al.*, 2021), pudiendo ser una opción para reducir los problemas de cambio climático y evitando la quema de combustibles fósiles (Mohd Chachuli *et al.*, 2021), cubriendo parte de la demanda de energía a nivel mundial, como la energía solar, por la abundancia de la radiación solar (Praveen *et al.*, 2020) y el potencial del hidrogeno, por su portabilidad energética (Ishaq y Dincer, 2021).

El hidrogeno es un combustible limpio frente a los combustibles fósiles (Züttel, 2003), debido a su portabilidad de energía, almacenamiento flexible, utilizado como pila de combustible en procesos libres de carbono (Acar y Dincer, 2019), tiene un impacto muy reducido al medio ambiente y es un combustible alternativo del futuro (Zhiznin *et al.*, 2020), por lo tanto el hidrogeno es una de las mejores alternativas para superar los desafíos energéticos y el calentamiento global en la actualidad (Walsh *et al.*, 2019). El hidrogeno se puede producir a través de energías renovables y no renovables (Singh *et al.*, 2020). Sin embargo la baja densidad del hidrogeno es una limitante para su almacenamiento (Barthelemy *et al.*, 2017).

VI. Hipótesis del trabajo

1.1. Hipótesis General

- a) Se producirá hidrogeno verde mediante la electrolisis del agua a partir de la energía solar fotovoltaica en la región de Puno.

1.2. Hipótesis Específicas



- a) El potencial de la energía solar en el sistema fotovoltaico para la producción de hidrogeno, es influenciado por los días soleados, parcialmente nublados y lluviosos.
- b) El diseño de un sistema de conversión electrolítica del agua para producir hidrogeno, está en función a la configuración de las placas electrolíticas de acero inoxidable y el electrolizador.
- c) La producción de hidrogeno mediante la electrolisis del agua, se determinará en función a la reacción del electrolizador y la energía eléctrica.

VII. Objetivo general

- a) Determinar la producción de hidrogeno mediante la electrolisis del agua a partir de la energía solar fotovoltaica en la región de Puno.

VIII. Objetivos específicos

- a) Determinar el potencial de la energía solar en el sistema fotovoltaico para la producción de hidrogeno.
- b) Diseñar un sistema de conversión electrolítica del agua para producir hidrogeno.
- c) Evaluar la producción de hidrogeno mediante la electrolisis del agua.

IX. Metodología de investigación

1.3. Lugar de estudio

El proyecto de investigación está ubicado en la ciudad de Puno, provincia de Puno, departamento de Puno; ubicado en las coordenadas geográficas: latitud sur $-15^{\circ} 50' 15''$, longitud oeste $-70^{\circ} 01' 18''$ a 3810 m de altitud, el mes con temperatura más alta es noviembre (16.8°C) y temperatura en julio.

1.4. Materiales

Para el diseño de investigación los siguientes procedimientos:

1.4.1. Celda de combustible y sistema fotovoltaico

Se diseñará una celda de combustible para la producción de hidrogeno, utilizando placas de acero inoxidable INOX-304, en forma de hexágono con un área de 64 cm², en configuración de 8 placas en serie, separados con empaque de goma de 2.5 mm de espesor. La energía para alimentar la celda de combustible será suministrada por energía solar, mediante dos módulos fotovoltaicos de 100 W, conectados a dos baterías en paralelo de 90 Ah.

1.4.2. Método de medición de hidrogeno

Los gases producidos por la celda de combustible, serán almacenados en un tanque de alta presión de 5 litros, la medición de la presión se realizara con un instrumento de presión analógico de 0 a 10 Bar (Figura 4), con salida analógica de corriente de 4 a 20 mA conectado a un Controlador Lógico Programable (PLC) para el almacenamiento de los datos, con una frecuencia de 10 min, además, para la medición de la concentración de gas, se realizara con un sensor de gas de hidrogeno MQ8, conectado a una placa de control y enlazado con el PLC.

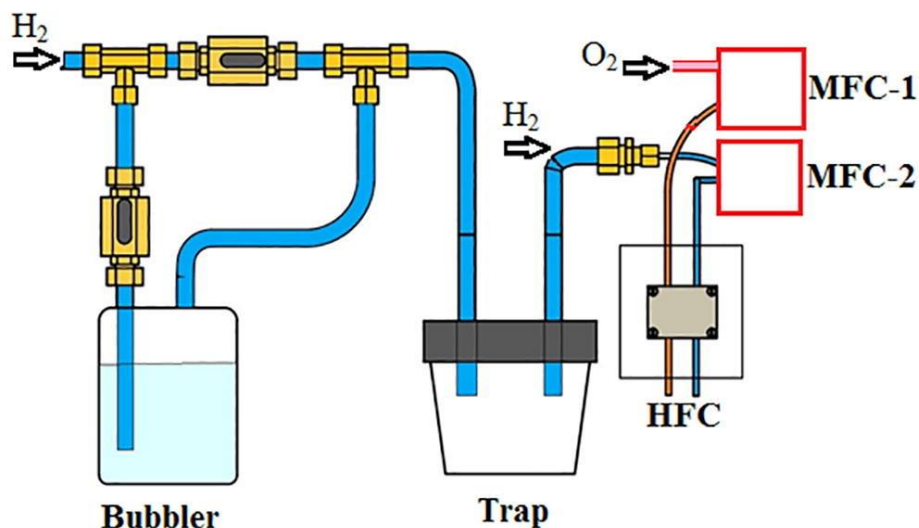


Figura 4. Sistema de extracción de hidrogeno.

Fuente: (Castelino *et al.*, 2020)

1.4.3. Sistema fotovoltaico y producción de hidrogeno

Se utilizarán dos módulos fotovoltaicos de 100 W instalados con un soporte estructural, con un ángulo de inclinación de 15° , esto debido a la latitud de la zona y orientado al norte, conectado al regulador de carga de 20 A y dos baterías de 90 Ah, el conductor utilizado para la conexión del sistema fotovoltaico con la celda de combustible es de 4 mm^2 , por la cantidad de corriente que tiene que soportar. La figura 5 muestra la configuración completa del experimento.

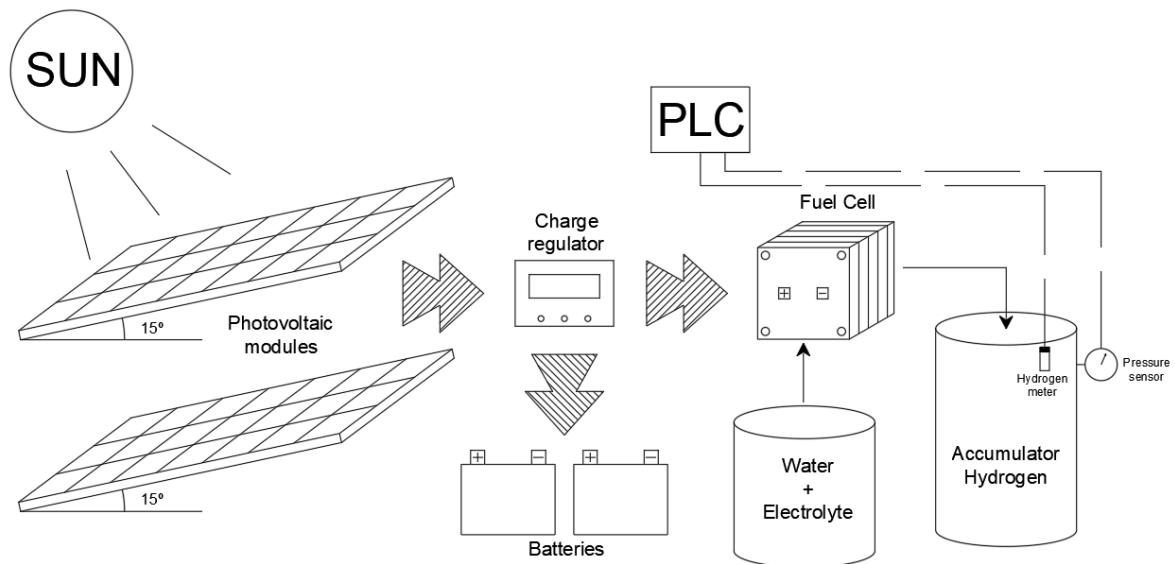


Figura 5. Configuración esquemática experimental para la producción de hidrogeno.

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros experimentales de los módulos fotovoltaicos son los siguientes, mostrados en la Tabla 1:

Tabla 1. Parámetros del módulo fotovoltaico.

TEC-M100-18	
PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES
Tecnología	Monocristalino
Potencia máxima (W)	100
Tensión máxima (V)	18.8
Corriente máxima (A)	5.32
Tensión a circuito abierto (V)	22.7
Corriente de corto circuito (A)	5.85
Temperatura de operación	-40°C a 80°C
Área (mm^2)	1010 x 660



STC

AM1.5, 1000W/m².
25°C

1.5. Recolección de datos por objetivos específicos

- a) Primer objetivo, se realizará la medición diaria de la irradiación solar durante la producción de hidrogeno, con un intervalo de cada 10 min.
- b) Segundo objetivo, se construirá una celda de combustible, con acero inoxidable en configuración de 8 placas en serie para la producción de hidrogeno.
- c) Tercer objetivo, se evaluará la producción de hidrogeno, con el sensor de presión (para la cantidad de hidrogeno) y el sensor de gas para determinar la pureza de la producción de hidrogeno. El tiempo estimado de la experimentación oscila entre un mes a cuatro meses.

--

X. Referencias (Listar las citas bibliográficas con el estilo adecuado a su especialidad)

- Acar, C., & Dincer, I. (2019, 2019/05/01/). Review and evaluation of hydrogen production options for better environment. *Journal of Cleaner Production*, 218, 835-849. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.046>
- Azam, A., Rafiq, M., Shafique, M., Zhang, H., & Yuan, J. (2021, 2021/03/15/). Analyzing the effect of natural gas, nuclear energy and renewable energy on GDP and carbon emissions: A multi-variate panel data analysis. *Energy*, 219, 119592. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119592>
- Barthelemy, H., Weber, M., & Barbier, F. (2017). Hydrogen storage: recent improvements and industrial perspectives. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(11), 7254-7262.
- Bhatia, S. C. (2014). 1 - Energy resources and their utilisation. In S. C. Bhatia (Ed.), *Advanced Renewable Energy Systems* (pp. 1-31). Woodhead Publishing India. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-269-3.50001-2>
- Castelino, P., Shah, A., Gokhale, M., Jayarama, A., Suresh, K. V., Fernandes, P., Prabhu, S., Duttagupta, S., & Pinto, R. (2020, 2020/03/19/). Optimum hydrogen flowrates and membrane-electrode clamping pressure in hydrogen fuel cells with dual-



- de_Richter, R. K., Ming, T., Caillol, S., & Liu, W. (2016, 2016/06/01/). Fighting global warming by GHG removal: Destroying CFCs and HCFCs in solar-wind power plant hybrids producing renewable energy with no-intermittency. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 49, 449-472.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2016.02.027>
- Gabler, A., Müller, C. I., Rauscher, T., Köhring, M., Kieback, B., Röntzsch, L., & Schade, W. (2017). Ultrashort pulse laser-structured nickel surfaces as hydrogen evolution electrodes for alkaline water electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(16), 10826-10833.
- Hosenuzzaman, M., Rahim, N., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., Malek, A. A., & Nahar, A. (2015). Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 284-297.
- Ishaq, H., & Dincer, I. (2021, 2021/01/01/). Comparative assessment of renewable energy-based hydrogen production methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110192>
- Kakoulaki, G., Kougias, I., Taylor, N., Dolci, F., Moya, J., & Jäger-Waldau, A. (2020). Green hydrogen in Europe—A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables. *Energy Conversion and Management*, 113649.
- Kakoulaki, G., Kougias, I., Taylor, N., Dolci, F., Moya, J., & Jäger-Waldau, A. (2021, 2021/01/15/). Green hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables. *Energy Conversion and Management*, 228, 113649.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113649>
- Lau, L. C., Lee, K. T., & Mohamed, A. R. (2012, 2012/09/01/). Global warming mitigation and renewable energy policy development from the Kyoto Protocol to the Copenhagen Accord—A comment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5280-5284.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.006>
- Liu, W., Zuo, H., Wang, J., Xue, Q., Ren, B., & Yang, F. (2021, 2021/01/06/). The production and application of hydrogen in steel industry. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.12.123>
- Madsen, R. T., Klebanoff, L. E., Caughlan, S. A. M., Pratt, J. W., Leach, T. S., Appelgate, T. B., Kelety, S. Z., Wintervoll, H. C., Haugom, G. P., Teo, A. T. Y., & Ghosh, S. (2020, 2020/09/21/). Feasibility of the Zero-V: A zero-emissions hydrogen fuel-cell coastal research vessel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(46), 25328-25343.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.019>

- Martins, F., Felgueiras, C., & Smitková, M. (2018, 2018/10/01/). Fossil fuel energy consumption in European countries. *Energy Procedia*, 153, 107-111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.050>
- Mazloomi, S., & Sulaiman, N. (2012). Influencing factors of water electrolysis electrical efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 4257-4263.
- Mohd Chachuli, F. S., Mat, S., Ludin, N. A., & Sopian, K. (2021, 2021/01/01/). Performance evaluation of renewable energy R&D activities in Malaysia. *Renewable Energy*, 163, 544-560. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.160>
- Mutezo, G., & Mulopo, J. (2021, 2021/03/01/). A review of Africa's transition from fossil fuels to renewable energy using circular economy principles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110609>
- Nouri-Khorasani, A., Ojong, E. T., Smolinka, T., & Wilkinson, D. P. (2017). Model of oxygen bubbles and performance impact in the porous transport layer of PEM water electrolysis cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(48), 28665-28680.
- Praveen, R. P., Keloth, V., Abo-Khalil, A. G., Alghamdi, A. S., Eltamaly, A. M., & Tlili, I. (2020, 2020/12/01/). An insight to the energy policy of GCC countries to meet renewable energy targets of 2030. *Energy Policy*, 147, 111864. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111864>
- Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017, 2017/07/01/). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590-601. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>
- Sellami, M. H., & Loudiyi, K. (2017). Electrolytes behavior during hydrogen production by solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1331-1335.
- Singh, R., Singh, M., & Gautam, S. (2020, 2020/10/15/). Hydrogen economy, energy, and liquid organic carriers for its mobility. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.065>
- Smil, V. (2016). Examining energy transitions: A dozen insights based on performance. *Energy Research & Social Science*, 22, 194-197.
- Sui, J., Chen, Z., Wang, C., Wang, Y., Liu, J., & Li, W. (2020, 2020/10/15/). Efficient hydrogen production from solar energy and fossil fuel via water-electrolysis and methane-steam-reforming hybridization. *Applied Energy*, 276, 115409. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115409>
- Vural, G. (2020, 2020/12/01/). How do output, trade, renewable energy and non-renewable energy impact carbon emissions in selected Sub-Saharan African



Countries? Resources Policy, 69, 101840.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101840>

Walsh, B. S., Parratt, S. R., Hoffmann, A. A., Atkinson, D., Snook, R. R., Bretman, A., & Price, T. A. (2019). The impact of climate change on fertility. *Trends in ecology & evolution*, 34(3), 249-259.

Wang, Q., & Liu, Y. (2020, 2020/10/05/). India's renewable energy: New insights from multi-regional input output and structural decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production*, 124230.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124230>

Yates, J., Daiyan, R., Patterson, R., Egan, R., Amal, R., Ho-Baille, A., & Chang, N. L. (2020, 2020/10/21/). Techno-economic Analysis of Hydrogen Electrolysis from Off-Grid Stand-Alone Photovoltaics Incorporating Uncertainty Analysis. *Cell Reports Physical Science*, 1(10), 100209.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2020.100209>

Zhiznin, S. Z., Timokhov, V. M., & Gusev, A. L. (2020, 2020/11/13/). Economic aspects of nuclear and hydrogen energy in the world and Russia. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(56), 31353-31366.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.260>

--

XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto (Señalar el posible uso de los resultados y la contribución de los mismos)

Si habrá resultados

XII. Impactos esperados

i. Impactos en Ciencia y Tecnología

Si

ii. Impactos económicos

Si

iii. Impactos sociales

Si

iv. Impactos ambientales

Si



- XIII.** Recursos necesarios (Infraestructura, equipos y principales tecnologías en uso relacionadas con la temática del proyecto, señale medios y recursos para realizar el proyecto)

Paneles solares

- XIV.** Localización del proyecto (indicar donde se llevará a cabo el proyecto)

Región de Puno

- XV.** Cronograma de actividades

Tabla 2. Cronograma de Actividades.

ACTIVIDADES PROGRAMADAS	ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS (2021)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Búsqueda de información Preliminar.	X									
Sistematización de Informaciones	X	X								
Elaboración del Proyecto		X								
Prueba Piloto		X								
Ajustes del proyecto de tesis			X							
Presentación Proyecto de tesis			X							
Aprobación de Proyecto de tesis				X						
Ejecución de Proyecto de Campo				X	X	X	X	X		
Preparación de Informe							X	X	X	
Presentación de Informe Final									X	X
Aprobación										X
Sustentación										X

- XVI.** Presupuesto

RUBRO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO SUB TOTAL
Servicio Técnico	U	2	S/.650.00	S/.650.00
Acero INOX-304	plancha	1	S/.350.00	S/.350.00
Fuente de alimentación logo	U	1	S/.350.00	S/.350.00
PLC LOGO	U	1	S/.800.00	S/.800.00
Módulo de expansión Logo	U	1	S/.650.00	S/.650.00
Solarímetro	U	1	S/.2500.00	S/.2500.00
Soda caustica	U	1	S/.400.00	S/.400.00
Logística de gabinete	U	1	S/.700.00	S/.700.00
Impresiones	U	1	S/.700.00	S/.700.00



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN



Gastos Generales	U	1	S/.700.00	S/.700.00
Modulo fotovoltaico 200W	U	1	S/.350.00	S/.350.00
Imprevistos	U	1	S/.2000.00	S/.2000.00
TOTAL				S/.10,150.00