



DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE HYDROGEN GENERATOR SYSTEM FOR FISHING BOATS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE HIDRÓGENO PARA EMBARCACIONES PESQUERAS

Bernal Castro Carlos Daniel¹✉, Almeyda Tejada Leonardo ¹, Poma Mendoza Franz Stiven ¹, Linares Weilg Carlos , Huavil Francia Marcos Fabio ¹

¹Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Lima, Perú

✉ carlos.bernal@ummsm.edu.pe

Received: 23 novembro 2019 / Accepted: 12 dezembro 2019 / Published: 17 dezembro 2019

ABSTRACT. Currently, the naval industry is responsible for 10% of the global CO₂ emissions, and according to the figures of the International Maritime Organization (IMO), in 2020 with the growth of the naval fleet, 1500 million tons of CO₂ will be emitted. In addition, in Peru we have 20,000 fishing vessels that are the livelihood of 45,000 peruvian families, who fail to meet their basic needs due to the use of fossil fuel generates a high expense for their economy. The present investigation consists in the design and construction of a hydrogen generator system that has a 316 steel metal plate cell, which uses seawater as the main one to operate the engines of the boats, use fossil fuels. This constant system of five (5) stages: Seawater collection, Water treatment (filtering of impurities), Water electrolysis, Gas treatment (drying) and Gas injection to the engine. These stages in turn are composed of individual equipment and parts. In this way, we could help reduce the CO₂ emissions emitted by these vessels, avoiding oil spills and raising the living standards of fishermen and their families.

RESUMEN. Actualmente, la industria naval es el responsable del 10% de emisiones globales de CO₂, y según cifras de la Organización Marítima Internacional (OMI), en el 2020 con el crecimiento de la flota naval, se emitirán 1500 millones de toneladas de CO₂. Además, en el Perú contamos con 20,000 embarcaciones pesqueras que son el sustento de 45,000 familias peruanas, que no logran satisfacer sus necesidades básicas debido a que el uso del combustible fósil genera un gasto elevado para su economía. La presente investigación consiste en el diseño y construcción de un sistema generador de hidrógeno que cuenta con una celda de placas metálicas de acero 316, que emplea el agua de mar como insumo principal para hacer funcionar los motores de las embarcaciones, dejando de utilizar los combustibles fósiles. Este sistema consta de cinco (5) etapas: Captación de agua de mar, Tratamiento de aguas (filtrado de impurezas), Electrólisis del agua, Tratamiento del gas (secado) e Inyección del gas al motor. Estas etapas a su vez están compuestas por equipos y partes individuales. De esta manera, se estaría ayudando a reducir considerablemente las emisiones de CO₂ emitidas por estas embarcaciones, evitando los derrames de petróleo y elevando el nivel de vida de los pescadores y sus familias.

Keywords: Seawater, fuel cell, fishing vessels, electrolysis, hydrogen

Palavras-chave: Agua de mar, celda de combustible, embarcaciones pesqueras, electrólisis, hidrógeno



1 INTRODUCCIÓN

El hidrógeno es un combustible de emisión cero que mediante celdas electroquímicas o processos de combustión en motores internos, logra propulsar vehículos o dispositivos eléctricos, naves espaciales, entre otros. Potencialmente puede ser producido en masa y comercializado para su uso en vehículos terrestres de pasajeros y aeronaves.

Debido a que el hidrógeno puro no ocurre naturalmente, se requiere substanciales cantidades de energía para su producción industrial, habiendo diferentes formas de producirlo como la electrólisis y el proceso de formación vapor – metano. En la electrólisis, se conduce electricidad a través del agua para separar los átomos de hidrógeno de los átomos de oxígeno. Este método a su vez, puede utilizar diferentes fuentes de energía tales como la eólica, solar, geotermal, hidráulica, combustibles fósiles, biomasa, entre otras.

La presente investigación propone un sistema complejo que mediante una batería de 12 V y 9A logre utilizar el agua de mar para producir hidrógeno, y posteriormente inyectarlo a un motor de combustión interna. Esta sería una forma adecuada de reducir el alto consumo de combustibles fósiles que hasta la fecha ha originado una constante contaminación ambiental, y ha perjudicado la economía de los pescadores.

2 MÉTODO

2.1 ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

En el Perú contamos con alrededor de 20,000 embarcaciones pesqueras artesanales que son el sustento de 45,000 familias peruanas. La pesca artesanal es el sustento de dichas familias, y el uso de combustibles fósiles como gasolina o diésel, representan un gasto bastante significativo para su economía.

Además el uso de estos hidrocarburos no solo afecta el medio ambiente por las emisiones elevadas de dióxido de carbono (CO₂), sino que originan derrames de petróleo y representan un gasto bastante elevado para su economía, lo que les incapacita de poder satisfacer sus necesidades básicas, originando malestar y una baja calidad de vida en la población.



FIGURA 1 – EMBARCACIÓN PESQUERA ARTESANAL



FUENTE: Propia (2019)

2.2 ANÁLISIS DE NUEVAS SOLUCIONES

El sistema consta de una celda que contiene placas de acero inoxidable que están unidas por pernos, y tienen capas de caucho entre ellas, garantizando que el equipo esté completamente presurizado y aislado a la vez. Además se utiliza racores y mangueras especiales para el transporte del agua de mar a la celda, así como para el transporte del hidrógeno producido por la misma. Para obtener la energía necesaria para producir la reacción de hidrólisis utilizamos un transformador de 12V y 9A, luego de hacer las adaptaciones eléctricas necesarias pudimos hacer funcionar el prototipo utilizando para cada una de las pruebas: agua de mar

FIGURA 2 – DISEÑO DEL SISTEMA GENERADOR DE HIDRÓGENO



FUENTE: Propia (2019)



2.3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

El proceso de generación de gas hidrógeno consta de las siguientes etapas:

I) Captación de agua

La alimentación del agua de mar hacia la celda se realiza mediante una bomba centrífuga de agua que alimentará al sistema, que estará conectado a un microprocesador que regulará la presión de entrada del agua de mar hacia la etapa de filtrado, cabe decir que su volumen a utilizar estará calculado en función al recorrido promedio de la embarcación pesquera. Es importante mencionar que nuestra propuesta no almacena hidrógeno ni agua de mar, solo usa la cantidad requerida a utilizar para que el motor de la embarcación del barco pueda funcionar es por ello que tiene una seguridad garantizada.

II) Tratamiento del agua

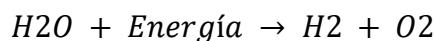
Luego de consultar los estudios físicos – químicos realizados por IMARPE (Instituto del Mar del Perú), y de consultar con biólogos marinos sobre las posibles razones de haber obtenido dichos precipitados en las pruebas iniciales de nuestro prototipo, encontramos que el mar peruano, tiene algo bastante característico, amplia presencia de microalgas, que producen como parte de su metabolismo hierro (Fe), es decir que nuestro mar tiene altas concentraciones de hierro en ella, además de otras especies metálicas y no metálicas en forma iónica o de solución.

Esta parte en específico facilitará el estudio en el laboratorio, ya que para nosotros es de vital importancia que el agua de mar llegue con las condiciones necesarias para su óptimo funcionamiento.

III) Electrólisis del agua

En la electrólisis se produce la descomposición del agua (H_2O) en los gases oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) por medio de una corriente eléctrica continua suministrada por una fuente de energía tal como batería de 12 V y 9A que se conecta mediante electrodos al agua. Para disminuir la resistencia al paso de corriente a través del agua, esta se suele acidular añadiendo pequeñas alícuotas de ácido sulfúrico o bien añadiendo un electrolito fuerte como el hidróxido de sodio ($NaOH$).

Se puede representar en la siguiente reacción:



Para calcular la cantidad de energía necesaria, usaremos la primera y segunda ley de Faraday con respecto a la electrólisis:

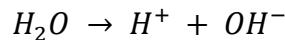
$$m = \frac{Q}{q \cdot n} \times \frac{M}{Na} = \frac{1}{q \cdot Na} \times \frac{Q \cdot M}{n} = \frac{1}{F} \times \frac{Q \cdot M}{n} = \frac{1}{96485} \times \frac{Q \cdot M}{n} \quad (1)$$

Donde:

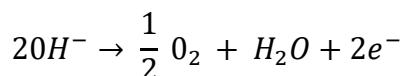
- m = la masa de la sustancia producida en el electrodo (en gramos)
- Q = la carga eléctrica total que pasó por la solución (en culombios)
- q = la carga del electrón = 1.602X10⁻¹⁹culombios por electrón
- n = el número de valencia de la sustancia como ion en la solución (electrones por ion)
- F = q. Na = 96485 C. mol⁻¹ es la constante de Faraday
- M = la masa molar de la sustancia (en gramos por mol), y
- Na = el Número de Avogadro = 6.022x10²³ iones por mol.

Ahora, se procederá a calcular el volumen del gas total que generará nuestro sistema generador de hidrógeno. Considerando las condiciones de presión y temperatura de 1 atm y 25°C, durante un minuto.

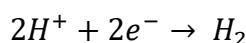
Como el electrolito se trata de agua de mar, se realizará la disociación de la solución:



En el ánodo (oxidación):



En el cátodo (reducción):



Se calculará la carga eléctrica Q:

$$Q = I \times T$$

$$Q = 10 \times 60 = 600C$$

Luego, se procederá a calcular el número de moles de hidrógeno (H₂):

$$n_{H_2} = \frac{Q}{2F} \times 0.05$$



$$n_{h2} = \frac{600}{2 \times 96485} \times 0.05 = 1.5546 \times 10^{-4}$$

De la ecuación de los gases ideales, se procederá a calcular los volúmenes de hidrógeno y oxígeno:

$$V_{h2} = n_{h2} \times \frac{R \cdot T}{P}$$

$$V_{h2} = 1.5546 \times 10^{-4} \times 1.641 \times 10^{-4} \times \frac{298K}{1 \text{ atm}} = 760.22 \text{ cm}^3$$

$$V_{h2} = 760.22 \text{ cm}^3 = 0.76L$$

Se calculará el volumen de oxígeno:

$$V_{o2} = \frac{V_{h2}}{2} = \frac{760.22}{2} = 380.11 \text{ cm}^3 = 0.38L$$

Al sumar ambos volúmenes de hidrógeno y oxígeno, se obtendrá el volumen del gas total:

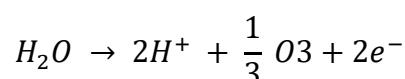
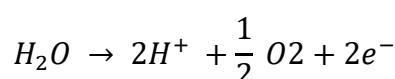
$$V_{total} = V_{h2} + V_{o2} = 760.22 + 380.11 = 1140.33 \text{ cm}^3$$

$$V_{total} = 1140L$$

La fuente de energía eléctrica se conecta a dos electrodos típicamente hechos de algún metal inerte como el platino o el acero inoxidable, como dos chinchetas, las cuales son puestas en el agua. En una celda propiamente diseñada, el hidrógeno aparecerá en el cátodo (el electrodo negativamente cargado, donde los electrones son bombeados al agua), y el oxígeno aparecerá en el ánodo (el electrodo positivamente cargado).

Se producen las siguientes reacciones:

En el ánodo:



En el cátodo:

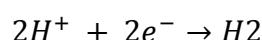
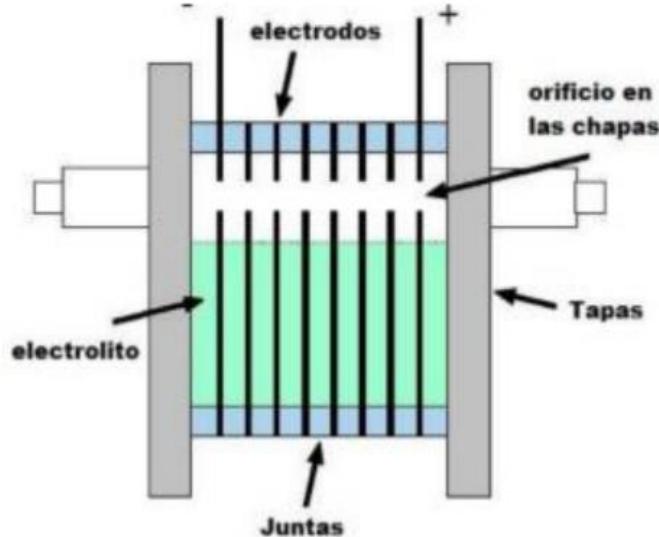




FIGURA 3 – PARTES DE UNA CELDA



FUENTE: Pearltrees (2013)

IV) Tratamiento del gas

La etapa de tratamiento de gases tiene la finalidad de retirar algunas impurezas remanentes del hidrógeno producido en la etapa anterior, con la finalidad de que el hidrógeno y oxígeno se encuentren en condiciones de hacer una correcta combustión.

V) Inyección del gas al motor

Finalmente, está la etapa de inyector de gases que permite una inyección controlada de gases al motor de combustión interna.

3 RESULTADOS

Las primeras pruebas fueron bastante satisfactorias en la producción de dicho gas, sin embargo, se produjeron sales al interior de la celda, que luego de un posterior estudio bibliográfico, de laboratorio y consultar con personas relacionadas al campo, entendimos que se trataban de Fe(OH)_3 - hidróxido de hierro e Ca(OH)_2 - hidróxido de calcio, principalmente. Es a partir de este análisis en donde entendemos que para el utilizar el agua de mar, requiere de un proceso de filtrado previo para poder funcionar óptimamente.

4 DISCUSIÓN

- El uso del combustible hidrógeno en lugar de otros combustibles es la alternativa más eco amigable para el sector pesquero artesanal.



- El uso del combustible hidrógeno en lugar de otros combustibles es la alternativa más eco amigable para el sector pesquero artesanal.
- El gas hidrógeno ayudará a reducir considerablemente las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) ocasionadas por el transporte marítimo, a través de celdas generadoras de hidrógeno teniendo como insumo principal el agua de mar.
- El posicionamiento de las nuevas alternativas de energía eco amigable.
- Se ha comprobado que es posible reducir cerca del 80% de las emisiones de dióxido de carbono generadas por las embarcaciones pesqueras artesanales pequeñas y medianas.
- La eficiencia energética disminuye en proporción la corriente aumente, manteniendo la superficie de las placas constante. Si se desea obtener más eficiencia energética, se procederá a incrementar la superficie de la placa en proporción a la corriente, manteniendo la misma densidad de corriente.
- El acero inoxidable 316-L es el material más rentable para fabricar las placas, debido a que el níquel que tiene mejores características cualitativamente se encuentra en un rango de precio mayor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen las contribuciones a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), la Incubadora de Empresas 1551 y a la Facultad de Ingeniería Industrial por el apoyo brindado durante la presente investigación.

REFERENCIAS

HORDERSKI, M. Alternative fuels: The future of hydrogen. **CRC Press**, Taylor & Francis Group, 2007.

HOLGADO SECAS, H; RODRÍGUEZ CASTILLO, M. Disponível em <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15994/PFC_hector_holgado_secas.pdf> pp 112-113, 2011-2012.

AYARZA GÓMEZ, O. Disponível em <https://scr.sunarp.gob.pe/repositorio/publicaciones/articulos-registrales/0002calf_insc_Embarpa_Oswald%20Ayarza.pdf>.

GULBRANDSEN, O. **Ahorro de combustible en pequeñas embarcaciones pesqueras.** Disponível en <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2017001082>>.



CERDA D'AMICO, R. Disponible en <http://www.subpesca.cl/portal/618/articles-84661_documento.pdf>.

CERDA, R., AHUMADA M., GONZÁLEZ E. & QUEIROLO D. 2014. **Modelo estructura de costos de la flota pesquera nacional y plantas de proceso.** Informe Final. Licitación No 4728- 57-LE13. 101 pp.

KLEEBERG, F. y NIETO, M. (2001). La industria pesquera en el Perú. Universidad de Lima, Fondo Editorial.

GALARZA E., KÁMICHE, J. **Pesca artesanal: Oportunidades para el desarrollo regional.** Universidad del Pacífico, 2015.