

**Universidad Nacional de Ingeniería
Sistema de estudios de postgrado
Facultad de Electrotecnia y Computación**



**Trabajo investigativo sometido a la consideración del Tribunal
examinador del Programa de Maestría en Energías Renovables
para optar al grado de Master en Energías Renovables**

***Estudio comparativo de los métodos implementados en la
obtención de hidrógeno en Nicaragua con énfasis en la energía
solar***

- 1) Ing. Ileana Patricia Saravia Silva**
- 2) Ing. Armando Antonio Artola Zamora**

Tutor: M.I Ramiro Arcia Lacayo

**Universidad Nacional de Ingeniería
Managua, Nicaragua
2017**

Dedicatoria:

El presente trabajo lo dedicamos a Dios Altísimo por todos los dones que nos regala para ponerlos al servicio de la sociedad, esa fuerza superior que es omnipotente

A nuestros seres queridos quienes con su amor nos inspiran a superar obstáculos y adversidades para alcanzar el éxito.

Agradecimiento:

A Dios por el don de la vida y la inteligencia, por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado cumpliendo nuestras metas. Por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra maestría, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizaje, experiencias y sobre todo felicidad.

A nuestros padres por su apoyo incondicional, y a nuestros amigos que con su confianza logramos realizar la demostración del proyecto.

A nuestros maestros por brindarnos sus conocimientos. especialmente agradecemos al M.I. Ramiro Arcia por su tutoría y a la MSC. Ernestina Tercero por su asesoría, estar siempre dispuesto a ayudarnos.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA por darnos la oportunidad de estudiar y poder profesionalizarnos en el campo de las energías renovables.

Hoja de aprobación:

Este trabajo fue aceptado por el tribunal examinador compuesto por:

Msc. María Virginia Moncada Balmaceda

Msc. José Manuel Arcia Salmerón

Msc. Pedro Joaquín Pérez Orozco

Maestranes:

Ing. Ileana Patricia Saravia Silva

Ing. Armando Antonio Artola Zamora

Índice:

1	Introducción.....	13
2	Justificación.....	15
3	Objetivos	17
3.1	Objetivo General	17
3.2	Objetivos específicos	17
4	Marco referencial	18
4.1	Energía solar.....	18
4.1.1	Panel solar fotovoltaico	18
4.1.2	Tipos de celdas fotovoltaicas	19
4.1.3	La energía solar en el desarrollo del sistema energético	20
4.1.4	La energía solar en Nicaragua	20
4.1.5	Potencial solar en Nicaragua	21
4.1.6	El Hidrógeno	22
4.2	Métodos para obtener el Hidrógeno	23
4.2.1	Obtención a partir de combustibles fósiles	24
4.2.1.1	Reformado de hidrocarburos y metanol mediante vapor	24
4.2.1.2	Producción a partir de carbón	25
4.2.1.3	Procesos de oxidación parcial de hidrocarburos	25
4.2.2	Obtención a partir de electrólisis del agua	26
4.2.2.1	Electrólisis alcalina	26
4.2.2.2	Electrólisis por membrana de electrolito polimérico	27
4.2.2.3	Electrólisis a altas temperaturas	27
4.2.2.4	Foto electrólisis.....	27
4.2.3	Obtención fotobiológica	27
4.2.4	Obtención por descomposición a alta temperatura	28
4.2.5	Obtención a partir de ruptura termoquímica del agua	28
4.2.6	Obtención a partir de biomasa	29
4.2.6.1	Gasificación de la biomasa.....	29
4.2.6.2	La pirolisis de la biomasa	29
4.2.6.3	Oxidación parcial de la biomasa con agua	30

4.2.6.4 Fermentación.....	30
4.2.7 Desplazamiento del hidrógeno desde los ácidos con los metales	31
4.2.8 Reformado de etanol y azúcares	31
4.3 El hidrógeno y su punto de ignición	32
4.4 El hidrógeno y las celdas fotovoltaicas	33
4.5 Análisis económico de los métodos para obtener el hidrógeno	33
4.6 Almacenamiento del hidrógeno	34
4.6.1 Hidrógeno gaseoso	34
4.6.2 Microesferas	35
4.6.3 Hidrógeno líquido	35
4.6.3 Hidrógeno Sólido	36
4.6.3 Hidruros químicos	37
4.7 Efectos de la exposición al Hidrógeno	37
4.8 Normas de seguridad en la manipulación del hidrógeno.....	38
4.9 Ventajas del hidrógeno como fuente de energía renovable	40
4.10 El hidrógeno en Nicaragua	40
4.11 Equipo de soldadura a gas.....	40
4.12 Mantenimiento del electrolizador	42
5 Metodología	43
5.1 Tipo de método	43
5.2 Recopilación de la información.....	44
6 Resultados	45
6.1 Elaboración de experimento del soldador a gas.....	44
6.2 Voltaje y corriente del electrolizador alcalino	48
6.3 Cálculo de paneles, batería y reguladores de corriente	50
6.3 Aplicaciones de soldador a gas.....	51
6.4 Eficiencia del electrolizador según la ley de Faraday.....	51
6.5 Presupuesto.....	53
6.6 Comparaciones con equipo acetileno	54
7 Discusión.....	55

8 Recomendaciones	57
9 Conclusiones	59
10 Referencias o bibliografía	60
11 Anexos	62
11.1 Tabla 6: Cálculo de la cantidad de paneles solares.....	62
11.2 Tabla 7: Cálculo de capacidad de la batería a utilizar.....	62
11.3 Tabla 8: Cálculo de capacidad del regulador de carga.....	62
11.4 Tabla 9: Eficiencia de electrolizador.....	62
11.5 Tabla 10: Presupuesto de los paneles, batería y controlador de corriente. .	63
11.6 Tabla 11: Presupuesto del electrolizador.....	63
11.7 Tabla 12: Potencia solar instalada en el mundo	64
11.8 Gráfico 1: Evolución del costo de los paneles fotovoltaicos	65
11.9 Tabla 13 Datos de radiación solar en Nicaragua.....	65
11.10 Tabla 14: Parámetros climáticos de Nicaragua	66
11.11 Tabla 15: Ángulos de inclinación para sistemas fijos.....	66
11.12 Tabla 16: Propiedades del hidrógeno gaseoso	67
11.12 Tabla 17: Propiedades del hidrógeno líquido	67
11.13 Gráfico 2: Ángulo de radiación solar	68
11.14 Gráfico 3: Diagrama de un electrolizador.....	69
11.15 Gráfico 4: Estructura de celda de Hidrógeno	69
11.16 Fotografía 1: Celda de hidrógeno (electrolizador)	70
11.17 Fotografía 2: Batería 55 AH.....	71
11.18 Fotografía 3: Hidróxido de Sodio	71
11.19 Fotografías del electrolizador.....	72

Resumen:

El crecimiento de la población mundial demanda gran cantidad de energía. En esta búsqueda se descubren diversas formas de obtenerla, entre ellas tenemos las fuentes de energía renovables y las no renovables.

Analizaremos las renovables debido a que representan el futuro energético mundial. Entre las renovables están: Solar, Eólica, Hídrica, Geotérmica, Biomasa, Hidrógeno, Etc., destacan dos por su brillante futuro y fácil implementación en cualquier lugar del mundo: las cuales son la solar y la obtenida por el hidrógeno.

El sol representa la fuente de todas las energías renovables, la radiación solar en Nicaragua es muy significativa y su aprovechamiento por medio de las celdas fotovoltaicas representa una fuente capaz de cubrir buena parte de la demanda energética nacional.

Por su parte el Hidrógeno obtenido de diversos procesos representa una alternativa para suplir parte de la demanda energética nacional, pero se debe prestar especial cuidado a las normas de seguridad.

En nuestro país, el Hidrógeno es una fuente de energía relativamente nueva, puesto que esta tecnología no se ha explorado desde el punto de vista energético, sin embargo, actualmente es implementado en varias industrias, como la farmacéutica y la metalúrgica.

Existen diversos métodos para obtener el Hidrógeno, en Nicaragua se utiliza el reformado de hidrocarburos por ser más económico, pero la más amigable con el ambiente es el hidrógeno solar, aunque su costo actual es elevado, sin embargo, al pasar los años y bajar los costos de los paneles fotovoltaicos promete ser el más sencillo y viable.

Al unir las energías renovables como la energía solar fotovoltaica, con los electrolizadores, obtenemos el Hidrógeno Solar, el cual consiste en aprovechar el potencial solar para producir suficiente corriente para separar el Hidrógeno y el oxígeno de la molécula de agua y así obtener Hidrógeno.

Dicho Hidrógeno se puede utilizar de diversas maneras: como combustible para producir electricidad, como combustible en vehículos o como complemento en diversos procesos industriales. Para nuestro estudio tomamos la producción del hidrógeno en un proceso industrial: como soldadura a base de Hidrógeno. La celda utilizada en este proyecto es la de Oxi-Hidrógeno (HHO) debido a que se emplearán el Oxígeno y el Hidrógeno para producir una llama y realizar cortes o soldaduras de metales.

Utilizamos una celda de Oxi-Hidrógeno (HHO) para demostrar la viabilidad desde el punto de vista técnico-económico respecto a la forma convencional de realizar

soldaduras y cortes, esto como un ejemplo de la utilidad del hidrógeno como fuente de energía primaria o secundaria en procesos industriales.

Para una mejor producción de Oxi-Hidrógeno (HHO) se adhiere al agua Hidróxido de sodio en diversas concentraciones (al 0-50 y 100% de 1 gm de Hidróxido de sodio por cada litro de agua introducido). La capacidad promedio de producir Oxi-Hidrógeno (HHO) del electrolizador es de 2 Lts, por minuto, con un consumo promedio de 12.5 A, a un voltaje de 12 V.

La fuente energética consiste en 2 paneles fotovoltaicos de 150 W, conectados entre sí en paralelo para cargar la batería y limitando la corriente a 13A. La soldadura realizada por este método posee grandes ventajas respecto al método de Oxi-Acetileno, debido a que su costo es más bajo por lo tanto tiene una mejor tasa de recuperación de la inversión y la soldadura es de mejor calidad.

Abstract:

The growth of the world population demands a lot of energy. In this search we discover different ways to obtain it, among them we have renewable and non-renewable energy sources. We will analyze renewables because they represent the global energy future.

Among the renewable ones are: solar, wind, water, geothermal, biomass, hydrogen, etc., stand out for their bright future and easy implementation anywhere in the world: solar and hydrogen.

The sun represents the source of all renewable energies, solar radiation in Nicaragua is very significant and its use by means of photovoltaic cells represents a source capable of covering a large part of the national energy demand.

For its part, hydrogen obtained from various processes represents an alternative to supply part of the national energy demand, but special care must be taken to safety standards.

In our country, H is a relatively new energy source since this technology has not been explored from the energetic point of view, however, it is currently implemented in several industries, such as pharmaceutical and metallurgical.

There are several methods to obtain hydrogen, in Nicaragua hydrocarbon reforming is used because it is more economical, but the most environmentally friendly is solar hydrogen, although its current cost is high, however, as the years go by and Costs of photovoltaic panels promises to be the simplest and most feasible.

By joining renewable energies such as photovoltaic solar energy, with electrolyzers, we obtain solar hydrogen, which consists of harnessing the solar potential to produce enough current to separate the hydrogen and oxygen from the water molecule and thus obtain hydrogen.

Such hydrogen can be used in various ways: as a fuel to produce electricity, as fuel in vehicles or as a complement in various industrial processes. For our study we take the production of hydrogen in an industrial process: as hydrogen-based welding. The cell used in this project is Oxy-Hydrogen (HHO) because oxygen and hydrogen will be used to produce a flame and cut or weld metals.

We use an Oxy-Hydrogen (HHO) cell to demonstrate technical-economic feasibility with respect to the conventional way of welding and cutting, as an example of the utility of hydrogen as a primary or secondary source of energy in industrial processes.

For better production of Oxy-Hydrogen (HHO) sodium hydroxide is adhered to water in various concentrations (0-50 and 100% of 1 gm sodium hydroxide per liter of water

introduced). The average capacity to produce Oxy-Hydrogen (HHO) of the cell used is 2 Lt per minute, with an average consumption of 12.5 A, at a voltage of 12 V.

The energy source consists of 2 150 W photovoltaic panels, connected together in parallel to charge the battery and limiting the current to 13A. The welding made by this method has great advantages over the Oxi-Acetylene method, because its cost is lower therefore it has a better rate of recovery of the investment and the welding is of better quality.

Abreviaturas

Siglas	Significado
A	Amperio
Aq	Solución acuosa
AC	Corriente alterna
CH ₄	Metano
CNDC	Centro Nacional de despacho de carga
CPOX	Oxidación parcial catalítica
DC	Corriente directa
gm	Gramos
Gw	Gigawats
H	Hidrógeno
H ₂	Hidrógeno molécula
H ₂ O	Agua
HHO	Gas oxi-hidrógeno
IEA	International Energy Agency
LH ₂	Hidrógeno líquido
Lts.	Litros
ml	mililitro
NaOH	Hidróxido de sodio
O	Oxígeno
O ₂	Oxígeno molécula
PEM	Membrana de intercambio protónico
SIN	Sistema interconectado nacional
TPOX	Oxidación parcial térmica
V	Voltios
W	Watts

Introducción:

El Hombre en la búsqueda de obtener energía como fuente de desarrollo y mejora de su estatus de vida, ha utilizado diferentes fuentes básicas de energía a lo largo de la historia. Al principio, y durante milenios, la energía solar fue la única fuente de energía, disponible, pero no se podía aprovechar para realizar ningún trabajo. Posteriormente se usó la madera.

En el siglo XVIII, la madera fue reemplazada por el Carbón, inicialmente como una fuente de energía térmica y posteriormente como una fuente de energía mecánica en la máquina de vapor. El Carbón hizo posible la revolución industrial en el transcurso del siglo XIX. Con la extracción del petróleo que se inició a principios del siglo XX se reemplazó al Carbón.

Por cada átomo de carbono y/o petróleo que extraemos del subsuelo y transformamos en energía, emitimos a la atmósfera una molécula de dióxido de carbono. Con la quema de los combustibles fósiles, estamos heredando un planeta en situaciones catastróficas debido a la contaminación del aire, ríos y suelos, la destrucción de la capa de ozono, lluvia ácida y el calentamiento global del planeta, que ha traído como consecuencia: sequías, deshielo de los casquetes polares, fuertes huracanes e inundaciones y por ende afectaciones a la salud del ser humano.

Para mitigar dichos efectos, se ha comenzado a explorar diversas fuentes de energía renovable como: solar, eólica, geotérmica, hídrica, biomasa; lo cual ha ayudado a reducir la contaminación ambiental, sin embargo, se exploran otras fuentes renovables y/o la combinación de dos o más fuentes de energía renovable para la obtención de la energía eléctrica con el fin de obtener mayor estabilidad y eficiencia. En Nicaragua, el potencial solar es abundante, la energía Solar promete abastecer buena parte de la demanda energética nacional.

Por otra parte, la energía contenida en el Hidrógeno es la energía química renovable que podemos almacenar y transformar en energía eléctrica, cuando sea necesario. Posee el potencial para convertirse en un componente clave de los sistemas energéticos sostenibles y renovables del futuro, con la ventaja que no contaminan el ambiente, pues su producto es agua, calor y energía.

El Hidrógeno actualmente está siendo implementado en la síntesis del amoníaco. La utilización del Hidrógeno está aumentando con rapidez en las operaciones de refinación del petróleo, como el rompimiento por Hidrógeno (*hydrocracking*), y en el tratamiento con Hidrógeno para eliminar azufre. Se consumen grandes cantidades de Hidrógeno en la Hidrogenación catalítica de aceites vegetales líquidos insaturados para obtener grasas sólidas. La Hidrogenación se utiliza en la manufactura de productos químicos orgánicos.

Como refrigerante en generadores eléctricos, producción de ácido clorhídrico, investigaciones criogénicas, combustible en transportes, producción de energía eléctrica en las celdas de combustible, Hidro-Cracking, producción de metanol, combustible para cohetes y como agente de elevación en balones y zeppelines.

El Hidrógeno como fuente renovable es una fuente energética emergente. La tendencia en este siglo XXI es la Integración de una generación distribuida donde las empresas y las comunidades sean generadores y consumidores de su propio Hidrógeno y su propia energía eléctrica, es por ello la necesidad de estudiar y analizar los diferentes métodos para la obtención del mismo de una manera segura, confiable, sostenible y amigable con el ambiente.

Este proyecto plantea el uso del Hidrógeno como alternativa al método oxi-acetileno en la soldadura de metales, auxiliado de los paneles solares fotovoltaicos como fuente de energía, debido a que en nuestro país el potencial de radiación solar es alto.

El sol al irradiar sobre las celdas fotovoltaicas produce electricidad, la cual será aprovechada para separar el Hidrógeno y el oxígeno del agua destilada introducida en un electrolizador. El Hidrógeno obtenido será aprovechado para producir una llama que permita realizar una soldadura de calidad.

El presente trabajo hace un estudio del potencial solar que presenta Nicaragua para la producción de electricidad por medio de paneles fotovoltaicos. Describe las distintas formas de obtener el Hidrógeno, presenta el electrolizador fusionado con las celdas fotovoltaicas para obtener el Hidrógeno solar. Examina distintos escenarios en la electrolisis alcalina calculando los elementos necesarios para la obtención del Hidrógeno, el cual finalmente es implementado en el proceso de soldadura y la comprara con el método Oxi-Acetileno mostrando las ventajas del Hidrógeno solar para soldar.

Justificación:

Con el creciente desarrollo industrial de la sociedad se da una creciente demanda energética, la cual produce la necesidad de explorar diversas formas para satisfacer esta necesidad. Al pasar de los años se van descubriendo y explorando nuevas fuentes de energía amigables con el medio ambiente. Entre estas fuentes de energía tenemos la Solar, Hidro, Eólica, Biomasa, Geotérmica, Hidrógeno, Etc. Entre ellas las más destacadas e inagotables son la Solar y la obtenida del Hidrógeno.

El potencial Solar en Nicaragua es alto debido a su posición geográfica especial, pero lamentablemente por el costo de los paneles no ha sido explotado a su máxima capacidad. Sin embargo, la tendencia de este tipo de tecnología es que su eficiencia aumente con el desarrollo de la electrónica y su costo disminuya, resultando de esta manera una gran oportunidad para el desarrollo de este mercado energético.

El Hidrógeno es una fuente de energía inagotable puesto que compone el 90% de la materia y su implementación como fuente energética no contamina el ambiente. A pesar de sus enormes ventajas, la obtención del Hidrógeno no es tan sencilla, requiere de eficiencia y normas de seguridad para evitar accidentes. Expertos sostienen, que el hidrógeno será el motor de la economía en las próximas décadas. Además de ser un elemento abundante y limpio, es un vector que almacena y transporta energía.

A pesar de su implementación como materia prima en la industria química, de su gran potencial como fuente energética para la producción de electricidad y como combustible en vehículo de Hidrógeno, en nuestro país no se ha desarrollado la tecnología que permita el aprovechamiento del Hidrógeno como fuente energética. En Nicaragua hay un amplio camino por recorrer para lograr el desarrollado de este tipo de potencial. Es por ello la necesidad y gran oportunidad de implementar métodos capaces de obtener el Hidrógeno de manera segura y eficiente.

Existen diferentes métodos en la producción del Hidrógeno, algunos de ellos contaminantes y otros son amigables con el ambiente. Es necesario para un futuro cercano el desarrollo de tecnología que permita obtener el Hidrógeno con métodos no contaminantes y con alta eficacia y confiabilidad.

Esta investigación propone una forma viable para la obtención del Hidrógeno como elemento fundamental en el desarrollo industria metalúrgica del país, como ejemplo del potencial y abundante uso del Hidrógeno como materia prima, dicho método propuesto es el Hidrógeno Solar, es decir, la fusión de la electrólisis y las celdas fotovoltaicas. Se muestra una alternativa sostenible y amigable con el medio ambiente para obtener el Hidrógeno e implementarlo en el proceso de soldadura y corte.

Se deja la puerta abierta para el análisis del Hidrógeno como combustible en la obtención de electricidad. Al utilizar el Hidrógeno como combustible puede llegar a sustituir los Hidrocarburos y así contribuir a la eliminación de los gases de efecto invernadero y reducir el deterioro del ambiente.

Existen varios métodos para la obtención del Hidrógeno, pero el que recomendamos para su implementación es el proceso de electrólisis auxiliado de las celdas fotovoltaicas debido a que es tecnología renovable y no contaminante, el período de recuperación de la inversión es a mediano plazo. El precio de los paneles conforme avance la tecnología electrónica irá disminuyendo y su eficiencia aumentando. En el proceso de electrólisis podemos obtener Hidrógeno y Oxígeno, ambos elementos fundamentales en la industria.

Utilizando la electrólisis solar a gran escala podremos utilizar ambos elementos en diversas aplicaciones. El Oxígeno se puede almacenar y vender en hospitales y en la industria metalúrgica para soldar y cortar piezas metálicas.

El Hidrógeno por su parte se puede almacenar y ser utilizado como combustible en las celdas de combustible para la producción de electricidad a mayor escala y como sistemas aislados, llevando la energía eléctrica a zonas donde no hay acceso a la misma de manera eficiente y estable. El inconveniente que presenta la manipulación del Hidrógeno es que es volátil y se deben seguir normas de seguridad para evitar accidentes, entre ellas tenemos: trabajar en áreas ventiladas, las conexiones de las tuberías deben estar bien selladas o soldadas para eliminar fugas, no inhalar grandes cantidades de Hidrógeno, etc.

Al presentar datos económicos que sustenten la inversión y recuperación de la misma a mediano plazo, se abre camino a proyectos en los cuales se implemente el Hidrógeno como fuente abundante de energía.

Objetivos

Objetivo general

Realizar un estudio comparativo de los diferentes métodos para la obtención del hidrogeno en Nicaragua.

Objetivos específicos

- 1) Valorar la importancia de la energía solar para el desarrollo del sistema energético.
- 2) Evaluar el potencial solar en Nicaragua
- 3) Establecer las ventajas que brinda el Hidrógeno como fuente de energía renovable.
- 4) Indicar las diferentes formas de obtener el Hidrógeno.
- 5) Demostrar por medio de un experimento la electrólisis solar.
- 6) Realizar una evaluación técnico-económica por medio de un experimento, la implementación del Hidrógeno solar en una celda Gas Oxi-Hidrógeno (HHO) para corte y soldadura respecto al método Oxi-acetileno.

Marco Teórico:

Energía Solar:

El sol es una estrella de tipo medio, se estima que tiene una vida de 5,000 millones de años. Tiene un radio de 700,000 Km, con una masa solar de 330,000 veces la masa de la Tierra. Las ondas del sol llegan como ondas electromagnéticas en forma de fotones y se propagan a la velocidad de la luz: (300,000 Km/s). Un rayo de sol tardará unos 8 minutos en llegar a la Tierra. Markus J. Aschwanden (2007). Enciclopedia del sistema solar.

En cada segundo el sol libera una energía de $4 * 10^{26}$ Julios, es decir que llega a la superficie terrestre 885 millones de Terawats por hora (TWh) cada año. Su temperatura es de 5,900 Kelvin. Emite en diferentes longitudes de onda como los rayos ultravioletas, el espectro visible y los rayos infrarrojos.

A la superficie de la Tierra le alcanzan tres tipos de radiaciones:

- 1- Radiación directa:** Es la que llega a la Tierra en línea recta desde el círculo solar.
- 2- Radiación difusa:** Se difunde y dispersa al chocar con la atmósfera. Sufre muchos cambios de dirección, por ello da la sensación que procede de la bóveda celeste.
- 3- Radiación de Albedo:** Procede de cuerpos cercanos.

La potencia de estas radiaciones solares y su aprovechamiento para la generación de energía varían de acuerdo a la hora del día, las condiciones de la atmósfera y la ubicación geográfica. La razón por la que las horas de sol son mayores en verano, así como lo que da lugar a las estaciones del año es que el eje de la Tierra está desviado unos 23, 5°. Para indicar la posición del sol se debe saber el azimut (ángulo que forma la posición del sol respecto al sur) y la altura solar (ángulo que forma la posición del sol respecto a la superficie horizontal).

Panel solar fotovoltaico: Los paneles solares fotovoltaicos son módulos que usan la energía que proviene de la radiación solar para producir electricidad. Dichas celdas se aprovechan del efecto fotovoltaico, mediante el cual la energía luminosa produce cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, por lo que se produce un campo eléctrico con la capacidad de generar corriente. La potencia pico se obtiene bajo una radiación de 1,000 W/m² y una temperatura de célula de 25 °C. Especialistas de la IEA en su estudio sobre Technology Roadmap, Solar Photovoltaic Energy (2014) establecen que para el 2050 su costo de fabricación habrá disminuido considerablemente (**Ver gráfico 1**).

Principio de funcionamiento: Cada célula fotovoltaica está compuesta de, al menos, dos delgadas láminas de silicio. Una dotada con elementos con menos electrones

de valencia que el silicio, denominada P y otra con elementos con más electrones que los átomos de silicio, denominada N. Los fotones procedentes de la radiación solar, inciden sobre la superficie de la capa P del panel, y al interactuar con el material liberan electrones de los átomos de silicio o el arsenuro de galio, los cuales, en movimiento, atraviesan la capa de semiconductor, pero no pueden volver.

Los electrones, son golpeados por los fotones liberándose de los átomos a los que estaban originalmente confinados. La capa N adquiere una diferencia de potencial respecto a la P. Esto les permite circular a través del material y producir electricidad. La corriente producida por un panel fotovoltaico es continua.

Factores de eficiencia de una célula solar

El punto de máxima potencia de un dispositivo fotovoltaico varía con la iluminación incidente. Su eficiencia es la relación del punto de potencia máxima, P_m , entre la luz que llega a la celda irradiación (E , en W/m^2), bajo condiciones estándar (STC) y el área superficial de la célula solar (A_c en m^2).

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$$

Un panel solar genera electricidad incluso en ausencia de luz solar directa aun con cielo nublado. En el Hemisferio Norte, el panel deberá orientarse hacia el sur y en el Hemisferio Sur, hacia el Norte.

Tipo de celdas fotovoltaicas:

Un estudio sobre los tipos de paneles solares fotovoltaicos realizado por Energías renovables info (2014) plantea que existen 3 tipos de paneles fotovoltaicos:

Mono cristalinas: Se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si). Se fabrican con bloques de silicio, que son de forma cilíndrica. Para optimizar el rendimiento y reducir los costes de cada celda solar monocristalina, se recortan los cuatro lados de los bloques cilíndricos para hacer láminas de silicio, y que les da esa apariencia característica.

Estas células generalmente son un azul uniforme. Ventajas: Buen rendimiento de 15% al 21%, buena relación W/m^2 lo que ahorra espacio en caso necesario, dura hasta 25 años. Inconvenientes: Costo elevado. Si el panel se cubre parcialmente por una sombra, suciedad o nieve, el circuito entero puede averiarse.

Policristalino: Están formadas por pequeñas partículas cristalizadas, el silicio en bruto se funde y se vierte en un molde cuadrado, a continuación, se enfría y se corta en láminas perfectamente cuadradas y durante el enfriamiento de silicio en un molde se forman varios cristales. La fotocélula es de aspecto azulado, pero no es uniforme. Ventajas: Células cuadradas que permite un mejor funcionamiento en un módulo, es más barato y se pierde mucho menos silicio que el monocristalino. Inconveniente: menos resistente al calor, baja eficiencia (13-16%), mayor necesidad de espacio.

Capa fina: Se depositan varias capas de material fotovoltaico en una base y dependiendo de cuál sea el material empleado podemos encontrar paneles de capa fina de silicio amorfo (a-Si), de Teluro De Cadmio (CdTe), de Cobre, Indio, Galio y Selenio (GIS/CIGS) o células fotovoltaicas Orgánicas (OPC). Dependiendo del tipo, un módulo de capa fina presenta una eficiencia del 7-13% y debido a que tienen un gran potencial para uso doméstico, son cada vez más demandados. Ventajas: Se pueden fabricar de forma muy sencilla y en grandes remesas lo cual hace que sean más baratos que los paneles cristalinos.

Tienen una apariencia muy homogénea y pueden ser flexibles, lo que permite que se adapten a múltiples superficies, el rendimiento no se ve afectado tanto por las sombras y altas temperaturas y son una gran alternativa cuando el espacio no es problema. Desventajas: Aunque son muy baratos, por su menor eficiencia requieren mucho espacio, al necesitar más paneles, también hay que invertir más en estructura metálica, cableado, etc. Los paneles de capa fina tienden a degradarse más rápido que los paneles monocristalinos y policristalinos, por ello los fabricantes también ofrecen menor garantía.

La energía solar en el desarrollo del sistema energético:

La energía solar es una fuente inagotable y limpia que puede variar el entorno según la cantidad de paneles requeridos, pero que no produce emisiones de CO₂ por lo tanto no contribuye al calentamiento global. Se puede aprovechar para suplir parte de la demanda energética de una nación y del mundo entero. La energía solar puede contribuir grandemente al desarrollo del sistema energético y a la reducción de los gases de efecto invernadero. La IEA en su estudio sobre “Evolución de costes medios de paneles fotovoltaicos en el mundo” (2014), establece que entre los años 2001 y 2016 se ha producido un crecimiento exponencial de la producción fotovoltaica, duplicándose aproximadamente cada dos años. La potencia total fotovoltaica instalada en el mundo (conectada a red) ascendía a 16 (GW) en 2008, 40 GW en 2010, 100 GW en 2012, 180 GW en 2014 y 300 GW en 2016 (**Ver Tabla 12**).

La IEA (2014) estima que la potencia fotovoltaica instalada ha crecido unos 75 GW en 2016 y China ha tomado el liderazgo frente a Alemania, siendo ya el mayor productor de energía fotovoltaica. Para 2019, se estima que la potencia total alcanzará en todo el mundo 396 GW (escenario moderado) o incluso 540 GW (escenario optimista). La importancia de esta fuente de energía radica en que es inagotable y su costo de fabricación va disminuyendo con el tiempo (**ver gráfico 1-Evolución de los paneles fotovoltaicos**). La eficiencia de un panel fotovoltaico va aumentando gradualmente con el tiempo, lo que hace pensar que será una de las fuentes altamente eficiente y que podrá sustituir los combustibles fósiles como energía primaria.

La energía solar en Nicaragua: Por su posición geográfica, Nicaragua presenta una gran ventaja respecto a muchos países del mundo, debido a que la radiación solar es capaz de sostener una generación estable con alta calidad durante el día.

La radiación solar varía según la zona y mes del año (**ver tabla 13**). También influyen los parámetros climáticos puesto que pueden variar la radiación solar durante el día (**ver tabla 14**). Nicaragua posee un proyecto de producción de energía solar que está ubicado en la comunidad La Trinidad, a 12 kilómetros de la ciudad de Diriamba, generando 1.38MW durante el día, dicha generación es capaz de abastecer a toda esta población de esta comunidad.

La central solar posee planes de expansión de hasta 50.5 MW. Muchos sectores usan paneles solares para proveer su energía y minimizar el costo de la energía eléctrica, tales como gasolineras, hoteles, industrias, etc., que utilizan paneles para el su consumo energético, Astro-cartón con una capacidad instalada de 3.1 MW, (Ministerio de Energía y Minas) MEM, en puerto Sandino se instaló la planta Solaris con 12.5 MW.

Potencial solar en Nicaragua: La energía solar en Nicaragua tiene una capacidad de producción de hasta 300 MWhr, pero actualmente se aprovecha muy poco de ello. El Pbro. Julio López de la Fuente creó el mapa solar de Nicaragua en el cual se puede observar la radiación solar según la zona del país (**ver imagen 1**). La disponibilidad de la energía solar varía según las condiciones climáticas, las estaciones del año y las zonas geográficas. La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la altitud. Energías Renovables y Ambiente (2007) Mapa solar de Nicaragua

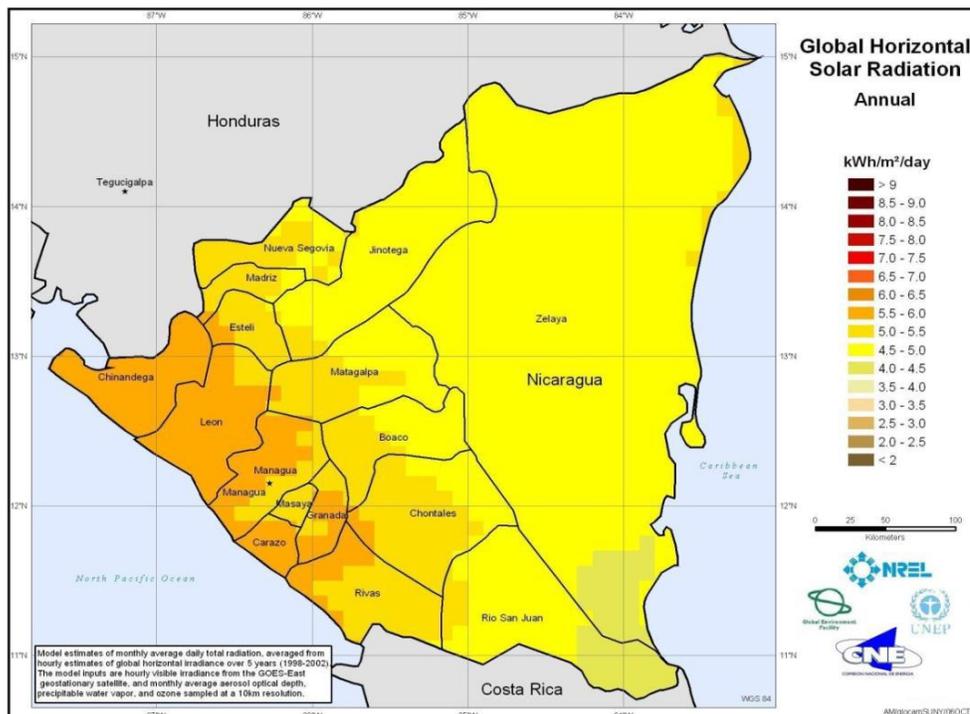


Imagen 1: Mapa solar de Nicaragua muestra la radiación solar en el país.

En dependencia de la Zona del país, el día del año y la hora del día, el potencial solar estimado está entre 3 y 6.6 KWh/M² al día (**ver tabla 13**), si se aprovechara más la capacidad del potencial solar en Nicaragua su capacidad de producción y abastecimiento al SIN se cubriría un 32.29% de la demanda proyectada para el 2019. Para un mejor aprovechamiento de la radiación solar se debe tomar en cuenta el ángulo de la inclinación del panel, según la latitud se escoge el ángulo de inclinación (**ver tabla 15 y gráfico 2**).

La energía solar fotovoltaica y/o térmica, está en crecimiento en distintas zonas del país de manera aislada (no conectada al SIN) por ejemplo el parque solar instalado en la industria cartonera ubicada en Tipitapa, como también el proyecto de la Trinidad que es generación distribuida.

El hidrógeno:

Es el elemento más simple y abundante del universo, componiendo más ese 90% de toda la materia. En la tierra, se encuentra en el agua y toda la materia orgánica. En su estado gaseoso normal, el Hidrógeno es descolorido, inodoro, insípido, y no es tóxico. Su contenido energético 52.000 BTUs/libra.

El Hidrógeno es el gas más liviano conocido (14 veces más liviano que el aire). Es un gas muy inflamable, arde en el aire con una llama casi invisible de matiz azul pálido. Puede ser almacenado, transmitido y utilizado para satisfacer las necesidades energéticas del mundo en el presente y el futuro. Es menos inflamable que la gasolina y emite solamente un décimo del calor radiante del fuego de un hidrocarburo. No quemar, a las víctimas a menos que estén realmente en la llama.

Se producen cada año aproximadamente 400.000 millones de metros cúbicos de hidrógeno, lo que supone un potencial energético equivalente al 10% del petróleo consumido. El Dr. Luis Correas Usón en su estudio sobre la diversificación energética y modelos de consumo y distribución (Aragón-España) plantea que la mayor parte es producida y utilizada por la industria petroquímica y por la de abonos nitrogenados. Dentro de la industria, los mayores consumidores son las empresas que sintetizan amoníaco, seguido de las refinerías de petróleo y las plantas de producción de metanol. El resto está repartido en la industria farmacéutica, de alimentación, electrónica, etc.

La Comisión Europea (2003) en su informe Hydrogenenergy and fuel cells. A vision of our future. Informe EUR 20719 (Bruselas) plantea que en los últimos años el Hidrógeno ha tomado una gran relevancia debido a que puede ser el portador energético del futuro. Además, se emplea en la industria espacial. La industria química y petroquímica es la que más utiliza el Hidrógeno en sus procesos productivos (**ver imagen 2**)

La Asociación Argentina de biocombustible e Hidrógeno en su informe sobre estudios y aplicaciones del Hidrógeno para la generación de energía termoeléctrica (2014) plantea que el Hidrógeno normalmente se obtiene a partir de combustibles

fósiles (Carbón, Petróleo, Metano Y Gas Natural) en un 96% restante, mientras que un 4% es por medio de electrólisis (ver imagen 3). Se necesitan 283 kJ (67.6 kcal) de energía para descomponer 1 mol de agua. $H_2O + 283KJ$



Imagen 2: Consumo de Hidrógeno según su aplicación¹

Métodos para obtener el Hidrógeno:

La producción mundial de Hidrógeno actual por medio del electrólisis solo corresponde al 4%. Mientras que su obtención por medio de gas natural corresponde al 48%



Imagen 3: Producción mundial de Hidrógeno. Distribución por fuente de energía primaria²

¹Diversificación energética y modelos de consumo y distribución: Hidrógeno. Dr. Luis Correas Usón Fundación para el desarrollo de nuevas tecnologías de Hidrógeno en Aragón-España

²Estudios y aplicaciones del Hidrógeno para la generación de energía termoeléctrica. Asociación Argentina de Biocombustible e Hidrógeno

El doctor G. Fierro José Luis (2011) en su estudio sobre el Hidrógeno: metodologías de esta producción plantea los diferentes métodos para obtener el Hidrógeno. Entre los diferentes métodos tenemos:

Obtención a partir de combustibles fósiles: Los Hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e Hidrógeno. La estructura molecular consiste en una armazón de átomos de Carbono a los que se unen los átomos de Hidrógeno. Las cadenas de átomos de carbono pueden ser lineales o ramificadas y abiertas o cerradas.

Reformado de hidrocarburos y metanol mediante vapor: Se trata del método más económico y común de producir Hidrógeno, por lo que al día de hoy aproximadamente la mitad del Hidrógeno producido en el mundo se obtiene a través de este método. Se llama proceso de reformado a la reacción catalítica de una mezcla de vapor de agua e Hidrocarburos a una temperatura más o menos alta para formar Hidrógeno, Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono.

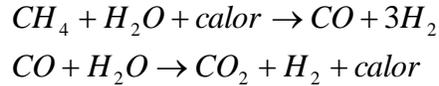
El reformado de Metano (CH_4) con vapor es el proceso más utilizado para producir Hidrógeno. Para el procedimiento de reformado mediante vapor, los combustibles que mejor responden a la reacción son los Hidrocarburos ligeros, entre ellos el gas natural, el propano y el butano. También puede usarse nafta con el empleo de un catalizador adecuado.

El uso de estos Hidrocarburos ligeros es debido a que el procedimiento debe llevarse a cabo con el combustible en estado gaseoso y libre de impurezas que pudieran desactivar los catalizadores, por ejemplo, el Azufre.

Así pues, en primer lugar, se realizará una purificación de la materia base, mediante un proceso de desulfurado. Seguidamente, se produce una primera reacción en hornos tubulares a una temperatura de $800\text{-}900^\circ\text{C}$ y una presión de $20\text{-}25$ bar, de donde se obtiene un gas rico en dióxido de Carbono e Hidrógeno, y en menor cantidad Monóxido de Carbono. dicha reacción es endotérmica.

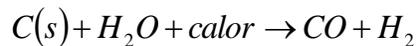
Luego de la primera reacción, se elimina el Dióxido de Carbono por medio de reacciones de cambio de alta a baja temperatura a 400 y 200°C respectivamente y se produce una mezcla gaseosa de Hidrógeno (H_2), Dióxido de Carbono (CO_2), Agua (H_2O) y un poco de Monóxido de Carbono (CO) y Metano (CH_4). Esta segunda reacción es exotérmica, pero no puede aportar energía suficiente que requiere la primera, así que se usa metano como reactivo y combustible para aportar la energía que falta.

Finalmente, este gas resultante rico en Hidrógeno se separa del agua mediante condensación y se purifica mediante sistemas de membranas separadoras, llamado PSA "Pressure Swing Adsorption", de donde sale un Hidrógeno puro al $99,99\%$, cuyo contenido energético es mayor al del Hidrocarburo del cual procede. Como catalizadores se utiliza níquel para la reformación vapor-Hidrocarburo y Óxido de hierro para la reacción del Monóxido de Carbono (CO).



Producción a partir de Carbón: La gasificación del Carbón es el proceso que se usa para producir un Gas a partir del Carbón, un llamado Gas de Síntesis (formado por una mezcla de Monóxido de Carbono e Hidrógeno, entre otros), a partir del Carbón Sólido. Este es el primer método empleado para la producción de Hidrógeno. El proceso de gasificación consiste en la inyección del Carbón con Oxígeno y vapor de Agua en un gasificador, con una cierta temperatura de 700 y 1500°C.

El proceso que se produce en el gasificador es esencialmente una combustión con defecto de aire (10% a 50%). Durante las reacciones mencionadas, el Oxígeno y las moléculas de Agua oxidan el Carbón y producen una mezcla gaseosa de Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Vapor de Agua e Hidrógeno Molecular (CO, CO₂, H₂ y CH₄). El producto final es 'syngas', que en la mayoría de los casos es refinado aún más para obtener una mayor cantidad de Hidrógeno puro.



El Monóxido de Carbono (CO) se puede convertir en Dióxido de Carbono (CO₂) e Hidrógeno. El Hidrógeno producido a partir de Carbón es comercialmente viable, pero es más complicado que a través de Gas Natural. El coste de producción es también superior.

Procesos de Oxidación parcial de Hidrocarburos: Este proceso se denomina POX y consiste en oxidar el Metano (CH₄) de manera parcial (sin que se oxide en su totalidad), siguiendo la reacción: La principal ventaja de este procedimiento es su compatibilidad con Hidrocarburos líquidos, como diésel y fuel oil. Existen dos tipos de oxidación parcial: Oxidación Parcial Térmica (TPOX) y Oxidación Parcial Catalítica (CPOX)

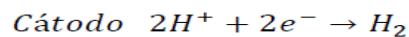
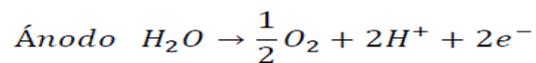
Las reacciones Oxidación Parcial Térmica (TPOX) son dependientes de la proporción aire-combustible, y se llevan a cabo a unas temperaturas de 1200°C o superiores. Mientras que en las Oxidación parcial Catalítica (CPOX) se usa un catalizador que reduce la temperatura requerida alrededor de los 800-900°C. La elección de una u otra técnica depende de los contenidos de azufre que contiene el combustible a usar. Oxidación parcial Catalítica (CPOX) se puede usar si el contenido de Azufre es inferior a las 50 ppm.

Si el contenido en Azufre es mayor, este contaminaría el catalizador, así que se usará el procedimiento térmico Oxidación Parcial Térmica (TPOX) para los combustibles ricos en Azufre. Dicha reacción se lleva a cabo con una eficiencia de alrededor del 70%. La presencia del Monóxido de Carbono (CO) no es conveniente, así que se oxida para convertirlo en Dióxido de Carbono (CO₂) o tratándolo con

vapor de agua para generar más Hidrógeno. Dado que la reacción es exotérmica no hacen falta quemadores para mantenerla.

Un estudio realizado por Bellona Foundation, cuyo presidente era Frederic Hauge (2012) plantea diversos métodos para la obtención del Hidrógeno.

Obtención a partir de electrolisis del agua: La energía eléctrica producida por la celda fotovoltaica se deriva hacia un electrolizador, que es un sistema en el que el paso de la corriente eléctrica disocia agua en sus dos componentes: Oxígeno e Hidrógeno según la reacción

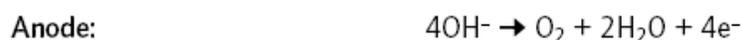


La electrólisis suele llevarse a cabo a temperaturas entre 80-85oC. El Hidrógeno obtenido se puede aprovechar en varios procesos como la soldadura a gas HHO. Para transportarlo se puede comprimir entre 350 a 700bar de presión por medio de un compresor. Al variar la presión del Hidrógeno varía su punto de ignición lo cual permite trabajar con él de manera comprimida. Otra forma de transportarlo es de manera criogénica utilizándolo de forma líquida a -252.882 C. La reacción electrolítica se realiza en medio alcalino debido a que en este medio se incrementa la conductividad eléctrica.

La electrólisis constituye sólo un 4% de la producción de Hidrógeno, aunque la pureza es mayor del 99%.

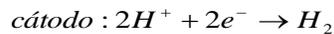
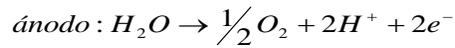
La energía total que se necesita para la electrólisis del agua aumenta lentamente con la temperatura, mientras que la energía eléctrica requerida disminuye.

1. **Electrólisis alcalina:** La electrólisis utiliza una disolución alcalina de Hidróxido de Potasio (KOH) o Hidróxido de Sodio (NaOH) como un electrolito que circula por la celda electrolítica. Se utiliza para aplicaciones estáticas y se puede operar a unos 25 bares. Es una tecnología viable con muchas aplicaciones industriales. Las reacciones en la celda electrolítica son:



Los electrolizadores comerciales consisten en un número de celdas electrolíticas unidas a una celda fija. Se está buscando el diseño de electrolizadores da un menor coste y con mayor eficiencia energética.

2. **Electrólisis por membrana de electrolito polimérico:** Requieren un electrolito no líquido, lo cual simplifica el diseño significativamente. El electrolito es una membrana polimérica ácida. Estos electrolizadores pueden trabajar a varias centenas de bares y se pueden utilizar en aplicaciones estáticas y móviles. El inconveniente de este sistema es limitado tiempo de vida de las membranas, sus principales ventajas son: su mayor seguridad, un diseño más compacto y operar a presiones y temperaturas mayores.



3. **Electrólisis a altas temperaturas:** Está basado en la tecnología de células de combustible a altas temperaturas. Los electrolizadores a altas temperaturas pueden operar a una mayor eficiencia que los electrolizadores ordinarios.

Fotoelectrólisis: Los sistemas fotovoltaicos unidos a electrolizadores están comercialmente disponibles. Los sistemas ofrecen una mayor flexibilidad, produciendo energía desde las células fotovoltaicas e Hidrógeno desde el electrolizador. La Fotoelectrólisis directa representa una alternativa avanzada a la anterior, uniendo los dos sistemas en un único aparato.

Obtención fotobiológica: Ciertas algas y bacterias fotosintéticas pueden producir Hidrógeno bajo determinadas condiciones. Los pigmentos en las algas absorben la energía del sol y las enzimas de la célula actúan como catalizadores para dividir el agua en Hidrógeno y Oxígeno. (A. Melis y col, 1999). Esta producción de Hidrógeno está basada en dos etapas: fotosíntesis y la producción catalizada de Hidrógeno por Hidrogenasas por ejemplo, en las algas verdes (**ver imagen 4**). El Ing. Fabio Andrés Ramos en su estudio sobre la obtención fotobiológica del Hidrógeno nos plantea dicho proceso. Aún se necesitan muchos estudios en esta área. Es de vital importancia conocer el proceso natural de producción de Hidrógeno.

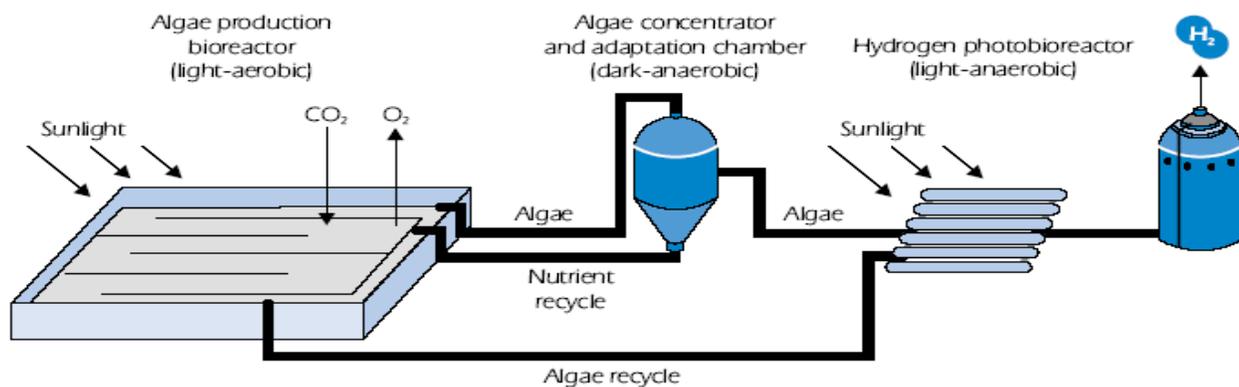


Imagen 4: Obtención fotobiológica del Hidrógeno

Obtención por descomposición a alta temperatura: La ruptura del agua a alta temperatura se produce a unos 3000°C. A esta temperatura, un 10% del agua se descompone y el 90% se recicla.

Hay otros procesos sugeridos que rebajan la temperatura:

1. Ciclos termoquímicos
2. Sistemas híbridos que unen la descomposición térmica y electrolítica
3. Descomposición catalítica directa con separación a través de membrana de cerámica

En estos procesos se puede esperar una eficiencia del 50 %. El problema es que hay que buscar materiales que tengan resistencia a la corrosión a altas temperaturas, ya que los procesos de separación en la membrana se producen a altas temperaturas. La seguridad es muy importante en estos procesos.

Obtención a partir de ruptura termoquímica del agua: La ruptura termoquímica del Agua es la conversión de agua en Hidrógeno y Oxígeno a través de una serie de reacciones químicas controladas (**ver imagen 5**). Estos ciclos tienen un bajo costo y un alto rendimiento y están siendo desarrolladas comercialmente.

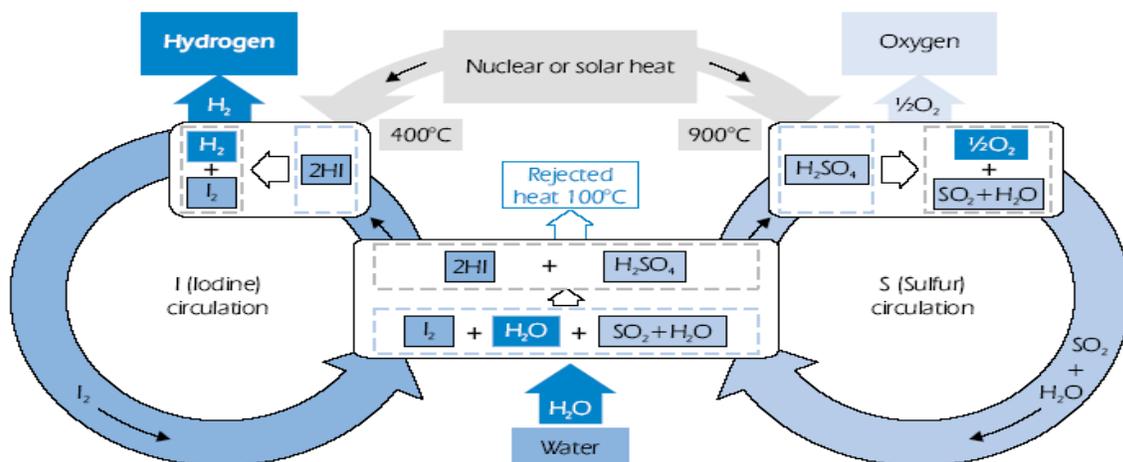
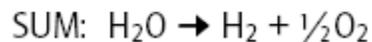
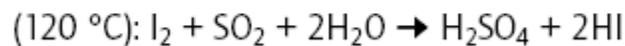
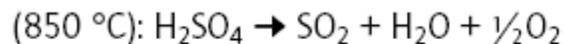


Imagen 5: Ruptura química del agua para obtener Hidrógeno

Obtención a partir de Biomasa: En el proceso de conversión de Biomasa, el Hidrógeno se produce de manera similar que a partir de Carbón por Gasificación. No existen plantas comerciales que produzcan Hidrógeno a partir de Biomasa.

Gasificación de la Biomasa: En este proceso la Biomasa se calienta a alta temperatura, llevándose a cabo una combustión incompleta entre 700 y 1200°C, en un reactor donde se rompen las uniones de las moléculas que forman la Biomasa. Esto genera un Gas constituido principalmente por Hidrógeno, Monóxido de Carbono y Metano. Este Metano se transforma en Hidrógeno y Dióxido de Carbono a partir del mismo método de reformado de vapor (**ver imagen 6**).

La gasificación de la Biomasa presenta una serie de ventajas frente a otros métodos de producción de Hidrógeno, como son que las emisiones de Dióxido de Carbono procedentes de la Gasificación de la Biomasa no contribuyen al incremento neto de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, la gasificación de la Biomasa es actualmente uno de los métodos más avanzados de producción de Hidrógeno a partir de fuentes renovables. Además, una gran variedad de residuos agrícolas y otras fuentes de Biomasa pueden ser utilizadas para producir Hidrógeno, y este hecho, permite que este método pueda ser empleado cerca del punto de uso, reduciendo así los costes.

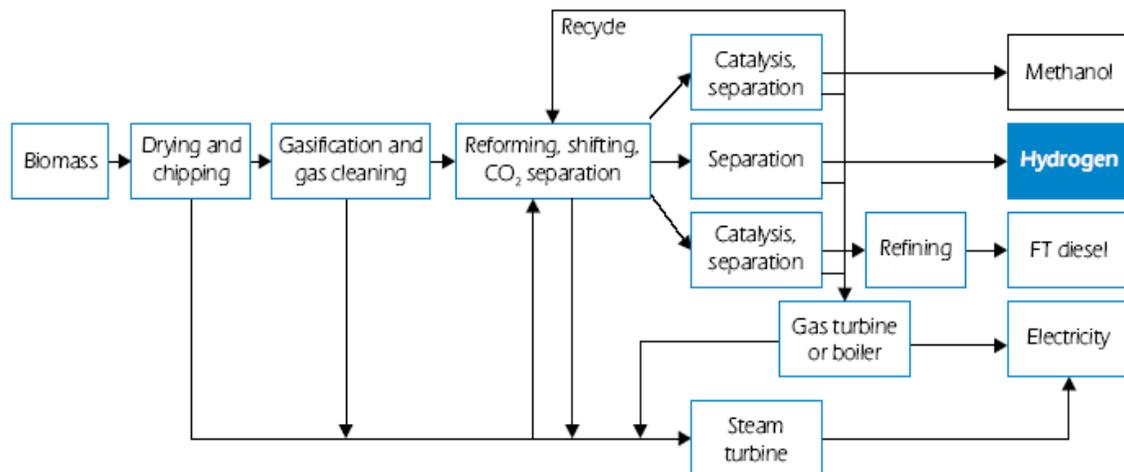


Imagen 6: Obtención del Hidrógeno por medio de la Biomasa

Pirólisis de la Biomasa: Consiste en la combustión incompleta de la Biomasa en ausencia de Oxígeno, a unos 500°C. Se obtiene Carbón Vegetal y Gas mezcla de Monóxido y Dióxido de Carbono, Hidrógeno e Hidrocarburos ligeros.

La pirólisis de la Biomasa: Para la producción de Hidrógeno tiene el potencial de ser competitivo económicamente con los actuales procesos comerciales para la producción de Hidrógeno. El concepto tiene algunas ventajas frente a la tecnología tradicional de gasificación.

El Bioaceite, producido por la pirolisis de la Biomasa, se transporta fácilmente de modo que la segunda etapa de reformado de vapor se puede realizar en diferentes localizaciones, cerca de donde se vaya a utilizar o distribuir el Hidrógeno. La segunda ventaja es el potencial para la producción y recuperación de un subproducto valioso del Bioaceite que puede impactar significativamente en la economía del proceso completo. Por lo tanto, una estrategia para incentivar este tipo de producción de hidrógeno, sería el conseguir un subproducto valioso, como podría ser el Carbón activo, o los adhesivos.

Oxidación parcial de la biomasa con agua en estado supercrítico: Este tipo de proceso implica la producción de Hidrógeno a partir de los combustibles de 'bajo grado' como son las basuras municipales, la Biomasa y el Carbón con alto contenido en Azufre. La oxidación parcial del agua en estado supercrítico implica llevar a cabo reacciones oxidativas en un ambiente de agua en condiciones supercríticas, es decir, vapor a alta presión, en presencia de cantidades limitadas de oxidante, generalmente Oxígeno puro o aire.

La Oxidación parcial in situ calienta rápidamente el medio de gasificación, dando lugar a menos Carbonización y una mejora en la producción de Hidrógeno. Las altas presiones, un ambiente acuoso de alta densidad es ideal para la reacción y la gasificación orgánica. El alto contenido en agua del medio favorece la formación de Hidrógeno y de productos ricos en Hidrógeno y es compatible con pasos con alto contenido en agua como son los fangos y la Biomasa, y elimina la necesidad del proceso de secado de los pastos.

El alto contenido en agua del ambiente también es efectivo para la gasificación de materiales pobres en Hidrógeno como es el Carbón. Actualmente este proceso se encuentra en investigación y desarrollo.

Fermentación: Los méritos específicos del bioproceso son la producción de Hidrógeno a pequeña escala a partir de Biomasa húmeda. La primera fermentación la realiza una bacteria termofílica a una temperatura de 70°C. Las concentraciones típicas de los gases de escape se encuentran entre el 50% en la primera fermentación y superior al 85% en la segunda. Estos gases de escape pueden alimentar directamente una célula de combustible tipo Membrana de Intercambio Protónico (PEM).

La bacteria termofílica produce Hidrógeno libremente en la glucosa, xilosa, oligosacáridos y almidón. La celulosa puede ser fermentada en Hidrógeno con una tasa de conversión baja. Para emplear Biomasa lignocelulósica son necesarios pre-tratamientos e Hidrólisis. Durante la fermentación de una bacteria termofílica, se producen como subproductos ácido acético y en mucha menor medida ácido láctico. Los dos ácidos están listos para ser convertidos en Hidrógeno y Dióxido de Carbono (CO₂) por una bacteria fotoheterotrófica, a temperatura ambiente y en presencia de luz.

Desplazamiento hidrógeno desde los ácidos con los metales: Este es el método más sencillo de obtener hidrógeno en el laboratorio. Se muestra una reacción típica utilizando Ácido Clorhídrico (HCl) y Zinc (Zn): $Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2 + 2Cl^-$.

Utiliza cualquier base o Ácido para producir Hidrógeno, desde Aluminio y Agua, utilizando la siguiente reacción: $2Al + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2$. Esta reacción ilustra lo importante que es almacenar aluminio puro en un lugar seco, ventilado ya que el gas H_2 puede explotar fácilmente si le es permitido acumularse.

Reformado de etanol y azúcares: Una forma simple de transporte del Hidrógeno es mediante precursores renovables, tales como Etanol (C_2H_5OH) y Azúcares ($C_6H_{12}O_6$) en fase líquida. Estos precursores se transforman en Hidrógeno mediante procesos de reformado con vapor de agua o bajo presión en fase líquida en el mismo lugar donde se consume el Hidrógeno. Se realiza en presencia de catalizadores específicos en sistemas de reacción, diseñados para operar bien en fase gaseosa o en fase líquida.

En resumen, podemos decir que hay muchas formas de obtener el Hidrógeno, tales como: procesos de termólisis, electrólisis, reformado de combustibles, gasificación de combustibles y cuyas fuentes primarias pueden ser renovables, combustibles fósiles e incluso la energía nuclear (ver imagen 7).

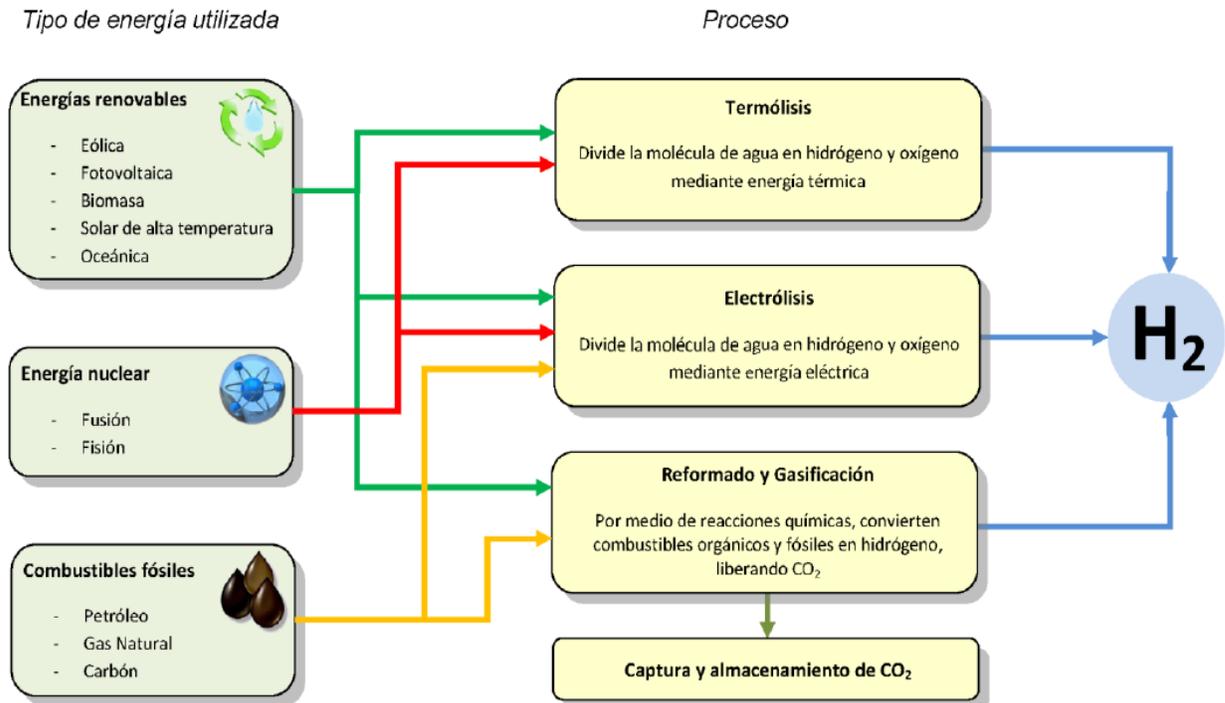


Imagen 7: Diagrama del tipo de energía utilizada en el proceso de obtención del hidrógeno

La eficiencia del proceso de obtención del Hidrógeno varía según la tecnología implementada. En la tabla 1 podemos observar los resultados de la eficiencia y la madurez actual de las tecnologías implementadas en la obtención del Hidrógeno.

TECNOLOGÍA	MATERIA PRIMA	EFICIENCIA	MADUREZ
Gasificación de la biomasa	Biomasa	35-50	Comercial
Fotólisis	Agua y luz solar	0.5	Largo plazo
Fermentación de la biomasa	Biomasa	60-80	Largo plazo
Fotofermentación	Biomasa y luz solar	0.1	Largo plazo
Electrolizadores alcalinos	Agua y electricidad	50-60	Comercial
Electrolizadores PEM	Agua y electricidad	55-70	Corto plazo
Electrólisis a alta temperatura	Agua, electricidad y calor	40-60	Medio plazo
Ciclos termoquímicos	Agua y calor	-	Largo plazo
Fotoelectroquímica	Agua y luz solar	12.4	Largo plazo

Tabla 1: Eficiencia según el método de obtención del Hidrógeno.

El Hidrógeno y su punto de ignición: El Hidrógeno necesita una fuente de ignición externa para que se produzca la ignición. Para que el Hidrógeno arda son necesarias tres condiciones: que el Hidrógeno se mezcle con un oxidante, que la mezcla esté dentro de los límites de inflamabilidad y que esté presente una fuente apropiada de ignición.

Las mezclas de Hidrógeno con Aire, Oxígeno u otros oxidantes son altamente inflamables en un amplio rango de composiciones. Los límites de inflamabilidad, en porcentaje en volumen, definen el rango en el cual los combustibles gaseosos se incendian cuando están expuestos a una fuente de ignición con suficiente energía. Los límites de inflamabilidad son dependientes de la energía de ignición, de la temperatura, de la presión de la presencia de diluyentes y del tamaño y configuración del equipo. El rango de inflamabilidad de las mezclas Hidrógeno-Aire e Hidrógeno-Oxígeno se amplían si la propagación de la llama es hacia arriba y se estrechan si se propaga hacia abajo.

La Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen systems de la NASA establece que los límites de la inflamabilidad del Hidrógeno en aire seco a una presión de 101.3 KPa y una temperatura de 298K son de 4.1% y 74.8%, para el caso de la mezcla del Hidrógeno-oxígeno son de 4.1% y 94%. Un aumento de la presión por encima de 101.3 KPa tiende a aumentar el rango de inflamabilidad disminuyendo el límite inferior y aumentando el superior (**ver tabla 16-Propiedades del hidrógeno gaseoso**)

La temperatura de ignición depende de la concentración y de la presión aplicada al Hidrógeno gaseoso y del contenedor donde se almacene. A una presión de 101.3 KPa del Hidrógeno en aire seco se tiene un rango de ignición entre 773 a 800K y del Hidrógeno con Oxígeno entre 773 a 833K.

El Hidrógeno y las celdas fotovoltaicas: La fusión de la energía solar para obtener la corriente suficiente para la obtención del Hidrógeno abre nuevos campos en las aplicaciones del Hidrógeno solar, entre ellas el soldador solar que consiste en conectar una celda fotovoltaica para producir corriente a bajo voltaje, dicha corriente se aplica a un electrolizador del cual obtenemos H₂ y con el cual se puede soldar metales. En el siguiente gráfico podemos obtener los tipos de energía implementadas para obtener H₂³

Análisis económico de los métodos para obtener el Hidrógeno:

El cálculo del costo de producción de Hidrógeno resulta complicado puesto que este costo se ve fuertemente afectado por el nivel de desarrollo de la tecnología empleada, la disponibilidad de infraestructuras existentes y el costo de la materia prima empleada. Simbeck & Chang (2002)⁴. Plantea la comparación económica de los diferentes métodos implementados en la obtención del hidrógeno.

Tabla 2: Costos de producción de Hidrógeno⁴

Método de producción	Costo de producción estimado	Unidades	Año de la estimación
Reformación de gas natural	€ 0.32	Nm ³ de H ₂	2005
Electrólisis con electricidad convencional	€ 0.23	Nm ³ de H ₂	2005
Electrólisis con electricidad de bajas emisiones de CO ₂	€ 0.27 - 0.36	Nm ³ de H ₂	2005
Bioproceso de dos etapas (fermentación oscura-fotofermentación) utilizando biomasa	€ 0.25	Nm ³ de H ₂	2005
Reformación de biometano	€ 0.32	Nm ³ de H ₂	2005
Electrólisis con electricidad generada a partir de energía eólica	€ 0.25	Nm ³ de H ₂	2005
Electrólisis con electricidad generada a partir de celdas fotovoltaicas	€ 2.95	Nm ³ de H ₂	2005
Fermentación oscura de biomasa	€ 0.29	Nm ³ de H ₂	2005
Gasificación de carbón	US\$ 0.96	kg de H ₂	2003
Gasificación de biomasa y reacción de intercambio	US\$ 9.0 - 14.0	GJ de H ₂	2002
Pirólisis de biomasa	US\$ 3.80	kg de H ₂	2003
Rompimiento térmico de la molécula del agua utilizando energía nuclear	US\$ 1.63	kg de H ₂	2003
Algas fotosintéticas –mutación de <i>Rhodobacter sphaeroides</i>	US\$ 188.0 - 460.0	GJ de H ₂	2002

Nm³, metro cúbico normal.

En la tabla 2 se puede observar que la producción de Hidrógeno utilizando electrólisis a partir de energía solar fotovoltaica presenta un costo de €2.95 por cada NM³ de Hidrógeno. Esto es relativamente más caro que producir Hidrógeno con electricidad convencional (€0.23 por cada NM³ de Hidrógeno) o con el reformado de gas natural (€0.32 por cada NM³ de Hidrógeno), pero su ventaja es que no

³ Los vectores energéticos: <http://o3zono.blogspot.com/2013/06/los-vectores-energeticos.html>

⁴ Costos estimados de producción de hidrógeno de algunos de los métodos más representativos (adaptada de VRIJE y Classen, 2005, Pant y Gupta, 2009; sorensen, 2005).

contamina el ambiente y se puede realizar modularmente, es decir, en cualquier parte del mundo donde exista una radiación solar estable.

En los métodos más baratos para obtener Hidrógeno se usa tecnología que contamina el ambiente y en sus costos debe incluirse el transporte para llevarlo al lugar donde se consumirá el hidrógeno, lo cual eleva el costo real. El costo de producir el Hidrógeno solar disminuye al pasar el tiempo, puesto que la recuperación de la inversión inicial es a mediano plazo y no hay que transportarlo puesto que se produce en el mismo lugar donde se consume.

La electrólisis solar evaluada en este proyecto es para pequeñas cantidades, el resto de alternativas de producción de Hidrógeno se han supuesto para producción central a gran escala, y esta es una de las razones por las que se presenta una diferencia tan grande en los costos entre la producción de hidrógeno a partir del Electrólisis solar y el resto de métodos analizados.

Almacenamiento del Hidrógeno:

Hidrógeno Gaseoso: El almacenamiento y transporte del gas comprimido ha sido extensamente usado durante más de cien años. Pero el inconveniente de almacenar el Hidrógeno como gas comprimido es que requiere el uso de cilindros contenedores a alta presión muy caros, por lo que sólo suele ser práctico para pequeñas cantidades. Los materiales comunes de las bombonas de almacenamiento suelen ser acero ligero, aluminio y sus compuestos y las presiones de almacenamiento van de 3.000 a 10.000 psi (es decir aproximadamente entre 20 y 69 MPa). La única desventaja significativa del almacenamiento del Hidrógeno como gas comprimido a alta presión es el gran volumen. El Cryogas, Hidrógeno gaseoso refrescado a las temperaturas criogénicas, es otra alternativa que se puede utilizar para aumentar la densidad de energía volumétrica del Hidrógeno Gaseoso. Otro nuevo método para almacenar el gas de Hidrógeno a altas presiones es utilizar las microesferas de cristal.

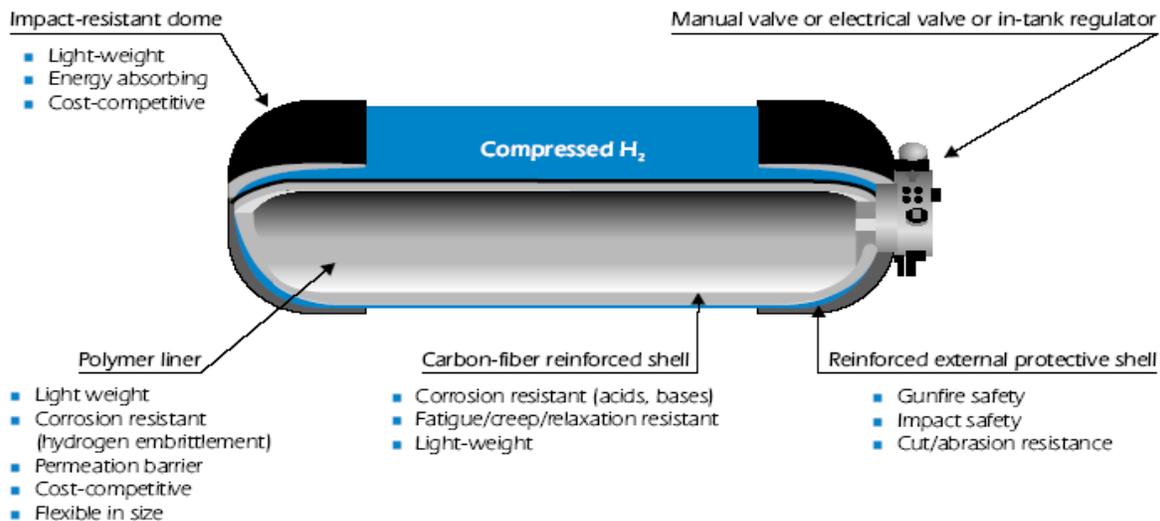


Imagen 8: Composición del tanque de almacenamiento de Hidrógeno.

El tanque compuesto (**ver imagen 8**) presenta muchas ventajas en la utilización del tanque compuesto. Su bajo peso lo hace adecuado y está comercialmente disponible, bien diseñado y probado. Soportan presiones de 350-700 bares. El tanque compuesto no requiere de intercambiadores de calor internos y pueden utilizarse para cryogas. Sus principales desventajas son que se necesita un gran volumen, que su forma cilíndrica hace que sea complicado el almacenaje en el espacio disponible, su alto coste y la energía que se necesita para obtener las altas presiones. Todavía hay unas cuestiones de seguridad que no se han resuelto.

Microesferas de cristal: Para almacenar el gas Hidrógeno en un vehículo se pueden describir tres pasos: carga, relleno y descarga. Primero, las esferas de cristal huecas se llenan de Hidrógeno a alta presión (350-700 bares) y a alta temperatura (300°C) por la impregnación en un recipiente de alta presión. Después, las microesferas se enfrían a la temperatura ambiente y se transfieren al tanque de baja presión del vehículo. Finalmente, las microesferas se calientan a 200-300°C para el lanzamiento controlado de Hidrógeno para el funcionamiento.

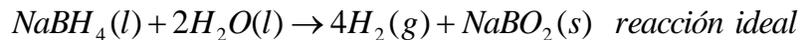
El problema principal con las microesferas de cristal es la densidad volumétrica intrínsecamente baja que puede ser alcanzada y la alta presión requerida para llenarlas. Las microesferas de cristal dejan escapar lentamente el Hidrógeno a la temperatura ambiente. Otro inconveniente práctico es que hay demasiado tiempo muerto al completar el ciclo. El inconveniente operacional principal es la necesidad de añadir calor a temperaturas más altas que las disponibles por la célula de combustible de Membrana de Intercambio Protónico (70-80°C).

La alta temperatura requerida (300°C) también hace difícil la rápida respuesta-control. Sin embargo, existen algunas ventajas claras. Las microesferas de cristal tienen el potencial de ser intrínsecamente seguras y almacenan Hidrógeno a una presión relativamente baja. Esto permite costes bajos del envase. La ventaja técnica significativa es la densidad demostrada del almacenaje de 5,4 % peso Hidrógeno.

Hidrógeno líquido: La forma más común de almacenar Hidrógeno líquido es enfriar hasta temperaturas criogénicas (-253°C) (**ver tabla 17-propiedades del Hidrógeno líquido**). Otra opción es almacenar hidrógeno como constituyente en otros líquidos, como en una solución de Borohidruro de Sodio (NaBH₄), amoníaco o líquidos orgánicos recargables.

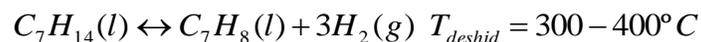
Hidrógeno líquido Criogénico: Se suele expresar mediante Hidrógeno líquido (LH₂). Este producto tiene una mayor densidad energética que cuando se obtiene comprimiendo el gas, no obstante, hay que recalcar que aproximadamente el 30-40 % de la energía se pierde en la producción. La opinión general sobre el Hidrógeno líquido es que no presenta garantías de seguridad y que se necesitan equipos muy avanzados tecnológicamente para su aprovechamiento. La principal ventaja que presenta es que se puede conseguir una alta densidad de almacenamiento a presiones relativamente bajas. Se ha probado su utilización comercial como combustible en vehículos, y en el futuro también se puede utilizar como combustible de aviones.

Soluciones de NaBH₄: Estas soluciones pueden utilizarse como medio para almacenar Hidrógeno Líquido. La reacción catalítica de Hidrólisis es:



La principal ventaja que tiene este método es que permite controlar la generación de Hidrógeno. La desventaja es que en la reacción se produce (NaBO₂) que se debe regenerar a Borohidruro de Sodio (NaBH₄). El uso de estas soluciones en los vehículos de momento no es viable, debido a su elevado coste, ya que se debe reducir el coste de la regeneración. No obstante, hay algunas compañías estadounidenses y japonesas que la están estudiando.

Líquidos Orgánicos Recargables: Algunos líquidos orgánicos pueden ser utilizados de forma indirecta para almacenar Hidrógeno en forma líquida. El proceso se realiza siguiendo los tres pasos que se detallan a continuación: primero, el líquido orgánico se deshidrogeniza para producir Hidrógeno. Segundo, el producto deshidrogenado es transportado hasta la planta central de procesos, mientras que simultáneamente se recircula el tanque con un líquido nuevo rico en Hidrógeno. Finalmente, el líquido agotado en Hidrógeno necesita rehidrogenarse, volviendo a la composición inicial. Un ejemplo de la reacción que se produce es el siguiente:



En general, de estos métodos que hemos visto para almacenar el Hidrógeno en forma líquida se pueden extraer una serie de conclusiones. El transporte y el manejo del Hidrógeno líquido incluyen el transporte de sustancias tóxicas peligrosas y de temperaturas extremas, lo que requiere de una infraestructura industrial segura y bien organizada, que ayude además a disminuir los costes de producción. El Hidrógeno líquido (LH₂) se puede utilizar como combustible para la aviación, mientras que los otros dos tipos pueden suplir la demanda para el transporte terrestre.

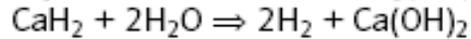
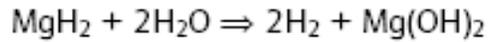
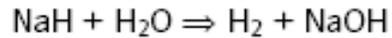
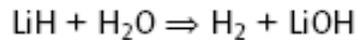
Hidrógeno sólido: Almacenar Hidrógeno en materiales sólidos se presenta como una forma segura y eficiente de almacenar energía. Hay cuatro grupos de materiales: Carbón y otros materiales de gran área superficial, Hidruros químicamente reactivos con agua, Hidruros termoquímicos e Hidruros recargables.

Carbón y otros materiales de gran área superficial: La absorción de Hidrógeno puro molecular ha sido demostrada, pero sólo es posible a temperaturas criogénicas, y se necesitan Carbones de gran área superficial. Esto, unido a la necesidad de utilizar temperaturas muy altas hace que el almacenamiento de Hidrógeno en materiales con base Carbón sea cuestionable.

Hidruros químicamente reactivos con H₂O: Los hidruros químicamente reactivos pueden ser tratados en forma semi-líquida, como un barro de aceite mineral. De esta forma se pueden bombear y tratar de forma segura. La inyección controlada de Agua (H₂O)

se utiliza para generar hidrógeno mediante reacciones de Hidrólisis. La liberación de Hidrógeno es exotérmica por lo que no requiere un gasto de calor.

Algunas reacciones características de este proceso son las siguientes:



Hidruros químicos (térmicos): Los boruros de amonio son otros grupos de Hidruros térmicos que se puede utilizar para almacenar Hidrógeno en estado sólido.

Los resultados preliminares demuestran que Bromuro de amonio (NH_4Br) puede ser descompuesto térmicamente en 4 pasos con obtención de Hidrógeno, sin embargo, la reacción no es reversible y se necesita regeneración.

Comparación de los tres métodos: La comparación entre los tres métodos de almacenar hidrógeno sugiere que las ventajas del Hidrógeno en estado Sólido son:

- Menor volumen
- Menor presión
- Mayor pureza de Hidrógeno.

El gas comprimido y el líquido son las dos formas comercialmente más viables, pero se deben desarrollar los sistemas de almacenaje para que la relación costo-eficiencia sea mejor. Se debe tener en cuenta también las normas de seguridad para todos los sistemas.

Efectos de la exposición al Hidrógeno:

Fuego: Extremadamente inflamable. Muchas reacciones pueden causar fuego o explosión (La mezcla del gas con el aire es explosiva).

Vías de exposición: La sustancia puede ser absorbida por el cuerpo por inhalación. Inhalación: Altas concentraciones de este gas pueden causar un ambiente deficiente de oxígeno. Los individuos que respiran esta atmósfera pueden experimentar síntomas que incluyen dolores de cabeza, pitidos en los oídos, mareos, somnolencia, inconsciencia, náuseas, vómitos y depresión de todos los sentidos.

La piel de una víctima puede presentar una coloración azul. Bajo algunas circunstancias se puede producir la muerte. Las enfermedades respiratorias pre-existentes pueden ser agravadas por la sobreexposición al hidrógeno. Riesgo de inhalación: Si se producen pérdidas en su contenedor, se alcanza rápidamente una concentración peligrosa.

Peligros físicos: El gas se mezcla bien con el aire, se forman fácilmente mezclas explosivas. El gas es más ligero que el aire.

Elevadas concentraciones en el aire provocan una deficiencia de oxígeno con el riesgo de inconsciencia o muerte. No hay advertencia de olor si hay concentraciones tóxicas presentes.

Efectos ambientales del Hidrógeno: Estabilidad ambiental: El Hidrógeno existe naturalmente en la atmósfera. El gas se disipará rápidamente en áreas bien ventiladas.

Efecto sobre plantas o animales: Cualquier efecto en animales será debido a los ambientes deficientes de Oxígeno. No se anticipa que tenga efectos adversos sobre las plantas, aparte de la helada producida en presencia de los gases de expansión rápida.

Normas de seguridad en la manipulación del Hidrógeno: La industria Abello linde.SA (2012) especialistas en manipulación de Hidrógeno, plantea consejos de seguridad en la manipulación del Hidrógeno. Entre dichas recomendaciones podemos destacar las siguientes: El Hidrógeno es más ligero de los gases (la densidad es de 84 g/m^3 a una temperatura de 15°C y 1 bar) (**ver tabla 16**), es por eso que al escaparse inmediatamente se eleva y se acumula en los Techos o zonas similares. No impone un peligro para el medio ambiente. No daña la capa de ozono
Peligros químicos: El calentamiento puede provocar combustión violenta o explosión. Reacciona violentamente con el aire, Oxígeno, halógenos y oxidantes fuertes provocando riesgo de incendio y explosión. Los catalizadores metálicos, tales como platino y níquel, aumentan enormemente estas reacciones.

El Hidrógeno presenta desafíos únicos debido a la facilidad con que se producen fugas, ignición a baja-energía, amplia variedad de mezclas aire-combustible, flotabilidad y su habilidad para debilitar metales lo que se debe considerar para asegurar operaciones seguras. El Hidrógeno líquido posee desafíos adicionales debido al aumento de su densidad y extremadamente bajas temperaturas que se necesitan para mantenerlo en estado líquido.

El Hidrógeno cuando se combina con el aire o el Oxígeno se enciende y puede quemarse en el agua. Cuando el Hidrógeno se combina con un agente oxidante y luego se enciende, el proceso de combustión puede ser explosivo, si este proceso se lleva a cabo en una sala cerrada, con un aumento rápido de presión, puede ser muy destructivo, y tiende a causar calor generado una llama.

La menor cantidad de energía necesaria para encender el Hidrógeno es 0.019 mJ que sólo es $1/10$ de la de gas propano (**ver tabla 16**). El Hidrógeno es un gas muy flexible. Las moléculas pequeñas pueden encontrar su camino en los materiales o ajustadas fisuras, que podrían ser impermeables para otros gases. El Hidrógeno no es tóxico, pero cuando es inhalado en grandes concentraciones causará la asfixia.

El Hidrógeno criogénico en forma líquida o gaseosas (evaporado) puede causar quemaduras criogénicas al entrar en contacto con la piel.

Las líneas de escape de las válvulas de seguridad o bombas de vacío, deben dar al exterior. Las aberturas de escape deben estar claramente marcadas para que, en caso de trabajos en caliente en los alrededores, todo el mundo sea consciente de las precauciones necesarias que deben tomar. Las líneas de suministro de Hidrógeno deben tener una válvula de cierre al entrar en un área bajo techo. El Hidrógeno en el interior de instalaciones no se usará bridas ciegas o conexiones roscadas, con el fin de evitar la fuga de gas en la sala.

Las salas con instalaciones de hidrógeno tendrán una efectiva ventilación natural o forzada. El contenido de Hidrógeno en la sala puede ser controlado a través de un sistema de alerta (explosímetro). Las conexiones de las tuberías en las instalaciones de Hidrógeno, siempre que sea posible, estarán de forma permanente soldadas, porque esto asegura estanqueidad de larga duración. Cuando los tubos que pueden ser separados están conectados con accesorios roscados o bridas, se utilizará equipos a prueba de fugas.

En conexiones de las tuberías que están roscadas, se deben usar accesorios de compresión. Los equipos eléctricos no se utilizarán o bien serán instalados si no se dispone de su clasificación de uso para atmósferas explosivas.

Trabajar con fuego (soldadura, corte, soldering, molienda) sólo está permitida si el área de trabajo está libre de Hidrógeno. Esto debe ser verificado con un explosímetro, en ningún caso con una llama abierta, el aire y el Oxígeno tienen que mantenerse lejos de instalaciones de Hidrógeno. Si las conexiones existen, por ejemplo, en equipos de soldadura que funciona con Hidrógeno y Oxígeno, tiene que ser instaladas válvulas de retención para asegurarse que no es posible para uno de los gases de entrar en la línea del otro.

Antes de poner en funcionamiento las instalaciones de Hidrógeno, el aire tiene que ser eliminado, mediante el bombeo de vacío o purga. El método más seguro está purgando con nitrógeno, si el contenido de Oxígeno en la instalación es del 1 % del volumen. Si el Hidrógeno está escapando sin intención, el suministro de gas tiene que ser cortado por el cierre de los controles necesarios. No debe ser intentado reparar la fuga mientras que el Hidrógeno se escapa, por el peligro de una ignición. Si una gran cantidad de Hidrógeno ha fugado a la atmósfera, existe un grave peligro de una explosión.

El personal tiene que salir de la sala, la que luego tiene que estar muy bien ventilada. Con el fin de probar la efectividad de la ventilación, un chequeo de medición debe llevarse a cabo. Si el escape de Hidrógeno se ha prendido fuego, puede ser extinguido por el cierre de las líneas de suministro de Hidrógeno. Si esto no funciona, no intente apagar el fuego, el Hidrógeno no se debe utilizar para el llenado de globos de juguete, debido al peligro de una explosión.

El Hidrógeno no debe ser utilizado como energía para los sistemas neumáticos, por ejemplo, de pintura en aerosol o por procesos similares. El Hidrógeno no debe inhalarse intencionalmente en grandes dosis. El efecto sofocante puede comenzar después de la inhalación de una respiración profunda.

Ventajas del Hidrógeno como fuente de energía renovable:

- 1) La fuente para obtenerlo es diversa y abundante.
- 2) La combustión del hidrógeno es limpia, puesto que su producto es el agua evitando así la contaminación del medio ambiente.
- 3) Tiene amplia utilización tanto para producir electricidad como en la industria.

El Hidrógeno en Nicaragua

El Hidrógeno en Nicaragua no ha sido explotado como fuente de energía primaria. Sin embargo, representa una alternativa para el desarrollo energético e industrial del país. Actualmente en nuestro país, el Hidrógeno es implementado en la industria química como uno de los elementos básicos en varios procesos como la producción de amoníaco para fertilizantes o la desulfuración de los productos derivados del petróleo en la refinería Puma. También es usado en la industria metalúrgica como mezclas ternarias ($Ar/CO_2/H_2$) para los procesos de soldadura de alta calidad en acero inoxidable.

También se usa hidrógeno en mezclas para realizar soldaduras como: Hidrógeno-Nitrógeno, Hidrógeno-Argón. La industria que provee al país de este elemento es la empresa Productos del Aire, quienes lo procesan por medio del método reformado de Hidrocarburos y Metanol.

El Hidrógeno tiene muchas limitantes para su implementación masiva en el país, entre dichas limitaciones tenemos almacenamiento, requerimiento, transporte, etc. Pero dado el gran potencial que presenta como materia prima para procesos industriales y energéticas, se puede realizar la generación distribuida del mismo y eliminar parte de las limitaciones antes descritas. El Hidrógeno es un elemento que prevé, revolucionará la industria y promoverá el desarrollo económico del país.

A pesar de que existen diversas formas de obtener el Hidrógeno, la electrólisis solar es una de las formas más sencillas y amigable con el ambiente puesto que no lo contamina. El presente trabajo investigativo plantea una forma de obtener Hidrógeno e implementarlo en la industria metalúrgica para obtener una soldadura de gran calidad por medio de un equipo de soldadura a gas HHO.

Equipo de soldadura a gas

Un equipo de soldadura a gas es un conjunto de partes que genera una llama con alta temperatura, que permita la fusión, la unión o el corte de piezas metálicas. El soldador de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO), utiliza energía eléctrica y agua en un

sistema generador que separa el Oxígeno y el Hidrógeno del agua para introducirlo en el soplete. La combustión de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO), alcanza temperaturas de hasta 2,800°C y puede ser usada en el proceso de soldadura de la mayoría de materiales. El Gas Oxi-Hidrógeno (HHO), puede producirse a partir del Electrólisis del agua.

Es necesario que haya electrolitos disueltos en el agua, con el fin de aumentar su conductividad y acrecentar el rendimiento de la producción, se genera electrolitos alcalinos y el más común de estos es el Hidróxido de Sodio (NaOH). En este trabajo utilizaremos celdas secas ya que son las más eficientes, con alta optimización de la corriente, en cambio, las celdas húmedas presentan pérdidas de corrientes que no aportan gas y calientan el electrolito de forma indeseada deteriorando la eficiencia del electrolizador.

El electrolizador es el conjunto de celdas electroquímicas encargadas de la descomposición del agua líquida en Hidrógeno y Oxígeno (**Ver gráfico 3**). En este trabajo se desarrolla un electrolizador constituido por celdas individuales interconectadas, cada celda está constituida de placas paralelas rectangulares, con electrodos, formadas de acero inoxidable con trazas de Níquel y están energizadas con voltaje de polaridad contraria (**Ver gráficos 4**). En el caso del tercer experimento se encuentra el agua con el electrolito disuelto, de 10mg al 100% de Hidróxido de Sodio (NaOH) (**ver fotografía 3**). La distancia de separación es solo de 1 mm y se logra por medio de un empaque sintético de neopreno.

En la parte inferior se coloca la carcasa de Nylon Sólido de 200mm, luego se pone un empaque de neopreno 1/16", luego la primera lamina de acero inoxidable A304 con sus perforaciones, el ideal que se debe usar para estos casos es el acero Inox 316L con Molibdeno, pero es de difícil acceso puesto que no hay en el país y su costo es elevado. Posteriormente se coloca otro empaque de neopreno 1/16", y otra lámina de acero inoxidable con 1mm de separación y así sucesivamente hasta completar 9 láminas, y por último se coloca la carcasa de Nylon Sólido de 200mm para completar todo el electrolizador.

Las placas están conectadas entre sí por medio de una barra roscada Inoxidable, acoplada a los conectores eléctricos (**Ver fotografía 1**). En la instalación de la empaquetadura se debe tomar en cuenta la temperatura, (puede deteriorar la integridad del empaque y permitir que escape el NaOH) y la presión de la mordaza (debe ser pareja en las cuatro esquinas del electrolizador, presiones dispares también pueden dar lugar a pérdidas de electrolito).

La salida de la celda va conectada a un recipiente llamado burbujeador, que es un depósito de material sintético PVC o Polipropileno que dispone de un tapón roscado grande con norma anti-explosión. También recoge el Gas Oxi-Hidrógeno (HHO) de la reacción, así como servir de anti retorno de gas y protege la celda, además funciona como alimentador continuo de electrolito que mantiene la celda siempre llena. Forma un circuito cerrado entre él y la celda. Todas esas conexiones se hacen

por medio de racores y conectores para manguera de material sintético y así evitar corrosión.

Válvulas anti-retorno o anti-flama: Evita que las llamas retornen al tanque de burbuja a través de las mangueras, evitando así el riesgo de explosión.

Soplete: Dispositivo donde se lleva a cabo la combustión de los gases y se produce la llama. Es el elemento que manipula el operario con el fin de aplicarle calor a los materiales que serán sometidos al proceso de soldadura, corte o recubrimiento. Generalmente son de bronce y tiene incorporado un regulador de presión manual que permite el control del flujo gaseoso.

Mantenimiento del electrolizador:

Diariamente se debe explorar el esquema del electrolizador buscando posibles fugas del gas HHO y/o agua. Si se presenta alguna fuga de agua o gas se debe realizar un reapriete de los pernos, pero si aún así sigue la fuga, deberá reemplazar la pieza que ocasiona dicha fuga.

Semanalmente debe realizarse limpieza de los bornes del electrolizador y chequear el estado de las celdas debido a la exposición a la corrosión de las mismas. Bimensualmente de debe realizar limpieza de las celdas cambiando los separadores de neopreno si se encuentran dañados.

Metodología:

Enfoque del trabajo investigativo: Este estudio contiene un enfoque mixto debido a que consta de dos partes. En la primera parte es de carácter cualitativo donde se investiga la utilización de la energía solar y del Hidrógeno en Nicaragua y en la segunda parte es de carácter experimental donde se elabora un proyecto mediante el cual se manipulan variables independientes y se analiza el efecto que tienen sobre las variables dependientes.

El alcance del presente trabajo realizado en la primera parte es de carácter investigativo, explorando diversa literatura sobre la radiación solar, el Hidrógeno y los electrolizadores.

En la segunda parte el tipo de investigación es cuantitativa experimental se estudia la variación de la corriente sobre la producción del Oxi-Hidrógeno y respecto a la llama para producir la soldadura de calidad.

Durante el desarrollo de este trabajo se realizan pruebas que describen el funcionamiento del electrolizador a través de experimentos, manipulando variables como la intensidad de corriente y voltaje de la celda fotovoltaica para medir el efecto de éstas sobre la cantidad de Hidrógeno producido en el electrolizador.

En la parte experimental se cumple con los tres requisitos.

- **El primer requisito** Es la manipulación intencional de una o más variables independientes. Es decir, manipular la corriente.
- **El segundo requisito** Consiste en medir el efecto que la variable independiente tiene en la variable dependiente, es decir medir la variación del tiempo en la producción del Gas Oxi-Hidrógeno (HHO).
- **El tercer requisito** Que todo experimento debe cumplir es el control o la validez interna de la situación experimental.

El tipo de método implementado en la segunda parte es el experimental:

Se estudia el efecto de la intensidad de la corriente en la tasa de producción de Oxi-Hidrógeno por medio de experimentos, donde se analizan diversos niveles de corriente para la obtención de diversa cantidad de hidrógeno. Los experimentos son realizados para observar el comportamiento del electrolizador, es decir, la cantidad de Hidrógeno producido (variable dependiente) frente a los cambios de voltaje, intensidad y temperatura de la celda fotovoltaica (variables independientes).

Recolección de la información

- **Fuentes de información primaria:**

Datos obtenidos por las pruebas experimentales realizadas al poner en funcionamiento el electrolizador para la producción de Oxi-Hidrógeno.

Variables:

En el desarrollo de éste trabajo de investigación, se identifican los siguientes tipos de variables: independiente y dependiente.

- **Las variables independientes que se toma será:**

La Intensidad de la celda fotovoltaica para la producción de hidrógeno. Las variables dependientes serán la cantidad de hidrogeno producido.

Se crea un electrolizador alimentado por un panel fotovoltaico en el cual se toman anotaciones sobre la corriente y el voltaje y la eficiencia del sistema según Faraday.

Resultados:

Se realizó una prueba de generación de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO) la cual tiene los siguientes componentes:

- Celda de Hidrógeno (electrolizador)
- Batería 55 AH
- 10 mg de Hidróxido de Sodio
- Agua pura o destilada
- Alimentación eléctrica
- Paneles Solares 150 W

Elaboración de experimento del soldador a gas:

Se construyó un electrolizador con 18 placas de Acero Inoxidable 304 cuyas medidas son 4 x 8 x 1 mm conectados en 8 bloques en serie y cada bloque con 2 placas en paralelo (**ver fotografía 4**). Dicho electrolizador está acoplado a 2 paneles fotovoltaicos paralelos entre sí quienes le proveen la corriente necesaria para realizar la electrólisis. Para limitar la corriente se acopla al sistema un limitador de corriente. El electrolizador produce gas HHO cuyo flujo es utilizado para realizar soldaduras u cortes, sustituyendo el método oxicorte (oxi-acetileno).

El experimento consta de varias etapas entre ellas tenemos:

- 1) Experimento con agua sin catalizador: consiste en utilizar un litro de agua destilada para producir gas HHO, pero la conductividad del agua en estas condiciones es muy baja y por lo tanto después de 9 min no hay reacción. En la tabla 3 podemos observar que al pasar el tiempo no se obtenía reacción. Dicho experimento, fue repetido en varias ocasiones, pero el resultado es el mismo.

Tabla 3: Resultados del experimento 1

Tiempo	Corriente demandada (A)	Voltaje (V)	Potencia demandada (w)
1 min	1.1	11	13.2
3 min	1	11.1	12.1
3.5 min	0.9	11.05	10.845
4.5 min	0.8	11.1	9.68
6 min	0.6	12.07	7.242
8 min	0.6	11.9	7.14
9 min	0.9	12.03	10.827

Experimento A: Experimento con panel solar y sin electrolito:

Agua Pura introducida para la reacción: 1 Lts

Producción de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO): Nula

Tiempo promedio del experimento: 9 min

Forma de obtención de corriente eléctrica: Panel solar

Cantidad de paneles: 1 de 150W

Corriente Máxima demandada: 1.1 A

Costo: \$594.514

- 2) Experimento con agua con catalizador al 50%. Consiste en utilizar un litro de agua destilada para producir gas HHO y se le agrega Hidróxido de sodio como catalizador. El agua destilada es introducida en el electrolizador y se le agregan 5mg de Hidróxido de sodio para producir una reacción y que la conductividad del agua aumente. En la tabla 4 podemos observar que en este segundo experimento con 10 mg de soda caustica al 50%, a los 8 min obtuvimos 3 Lts de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO).

Tabla 4: Resultados del experimento 2

Tiempo	Corriente demandada (A)	Voltaje (V)	Potencia demandada (w)
30 s	0.5	12	6
1 min	0.7	12.1	8.47
2 min	1.4	12	16.8
3 min	3	11.98	35.94
4 min	3.1	12	37.2
4.5 min	4	12.2	48.8
5 min	6.8	12.3	83.64
6 min	8.4	12.2	102.48
7 min	9.3	12.2	113.46
7.5 min	10.5	12.1	127.05
8 min	12	12.2	146.4

Experimento B: Experimento con panel solar y electrolito al 50%:

Agua pura introducida para la reacción: 1 Lts

Producción de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO): 3 litros

Tiempo promedio para producción de HHO: 8:00 min

Forma de obtención de corriente eléctrica: Panel solar

Cantidad de paneles: 2 de 150W

Corriente Máxima demandada: 12 A

Costo: \$882.

- 3) Experimento con agua con catalizador al 100%. Consiste en utilizar un litro de agua destilada para producir gas HHO y se le agrega Hidróxido de sodio como catalizador. El agua destilada es introducida en el electrolizador y se le agregan 10mg de Hidróxido de sodio para producir una reacción más rápida y que la conductividad del agua aumente. Un litro de agua destilada con 10 mg de soda caustica al 100%, a los 2 min se obtuvo 4 lts de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO) esto se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5: Resultados del experimento 3

Tiempo	Corriente demandada (A)	Voltaje (V)	Potencia demandada (w)
20 s	5	12	60
30 s	7	12.1	84.7
40 s	9	12	108
50 s	10	12	120
1 min	10.5	12.1	127.05
1 min 20 s	11.2	12	134.4
1 min 30 s	11.7	12.07	141.219
1 min 40 s	12	12.05	144.6
2 min	12.5	12.1	151.25
2 min 10 s	12.3	12.06	148.338
2 min 15 s	12.5	12.03	150.375

Experimento C: Experimento con panel solar y electrolito al 100%:

Agua pura introducida para la reacción: 1 Lts

Producción de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO): 4 litros

Tiempo promedio para producción de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO): 2:35 min

Forma de obtención de corriente eléctrica: Panel solar

Cantidad de paneles: 2 de 150W

Corriente Máxima demandada: 12.5 A

Costo: \$1245.864

Para los experimentos A, B Y C se utilizan paneles solares cuya función es mantener la energía necesaria para el proceso del electrólisis y evitar que la batería se descargue. La potencia necesaria estará relacionada con los niveles de producción de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO) requeridos según el proceso de soldadura que ha de llevarse a cabo. La conexión de los paneles es en paralelo manteniendo la corriente limitada en cada panel por medio de los controladores de corriente.

De los tres experimentos realizados el más eficiente fue el tercero y de él se puede concluir que la corriente de trabajo es aproximadamente 12.5 A puesto que con esta corriente se produjeron los 4 lts de gas HHO, los 4 lts producidos se consumieron en aproximadamente 30 min. Si no tuviese el controlador de corriente y siguiese

aumentando la corriente solo obtendríamos pérdidas por calor. Por cada minuto trabajado se producen 2 lts de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO) gaseoso.

En todos los experimentos se puede observar un aumento de la corriente provocado por la carrera térmica generada

En el experimento C (más eficiente), el voltaje y la corriente necesaria se suministra con 2 paneles fotovoltaicos de 150W c/u conectados en paralelo, acoplados a tres baterías de capacidad 55 AH, con un voltaje de 12V y una corriente de aproximadamente 12.5 A, garantizando la corriente necesaria para la descomposición electroquímica del agua en las celdas que conforman el electrolizador.

Voltaje y corriente del electrolizador alcalino:

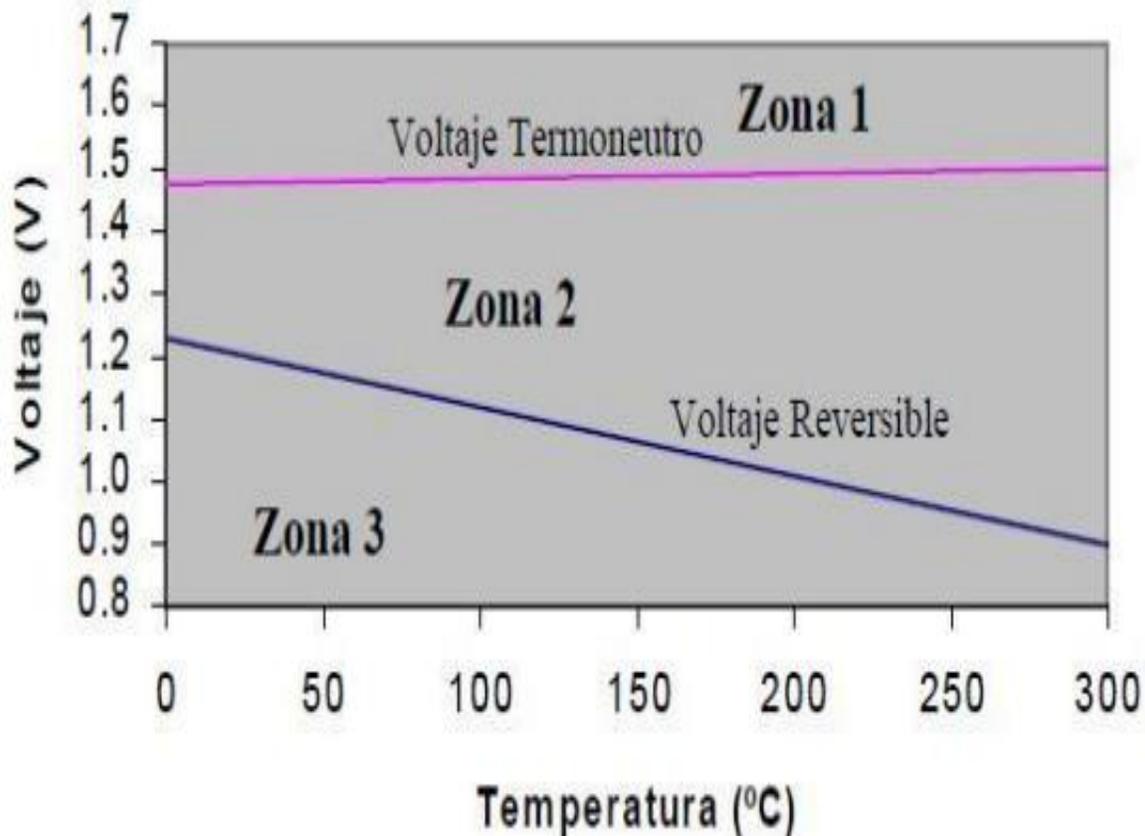


Imagen 9: Zona de trabajo de un electrolizador

En la zona III de la imagen 9, la electrólisis es imposible, no circula ninguna intensidad por los electrodos de la celda y el voltaje suministrado no vence el potencial termodinámico necesario para separar el Hidrógeno del Oxígeno en la molécula del agua. En la zona II, sí ocurre la electrólisis, pero este proceso es endotérmico, o sea, absorbe el calor, por esta razón la producción de Hidrógeno ocurre a expensas de la energía eléctrica suministrada y de la energía térmica (calor) que toma el sistema del medio ambiente.

En la zona I, la energía eléctrica suministrada se emplea en producir Hidrógeno, pero parte también se transforma en energía térmica, lo que origina que la solución se caliente, es decir, aumenta su temperatura durante el proceso lo cual hace ineficiente el sistema y provoca daños en el mismo. (Ley de SHOCKLEY de la cual podemos interpretar que, al aumentar la corriente por encima del valor de saturación, la temperatura del dispositivo tiende a aumentar deteriorando la eficiencia y la vida útil del mismo)

Para la temperatura normal de trabajo (70-80 C) el voltaje ideal de cada celda es de 1.34 V y como el electrolizador posee 18 celdas con arreglo serie paralelo (9 módulos conectados en serie, cada módulo posee 2 celdas en paralelo) el voltaje del sistema y el suministrado por el panel fotovoltaico es de 12V. El panel fotovoltaico utilizado es el seg-150 ofrecido por Tecnosol con 20 años de garantía con una potencia de 150 W y un voltaje de 12V.

La producción de gas HHO es directamente proporcional al consumo de la corriente eléctrica. En condiciones de 0 °C y 1 atm se necesita aproximadamente 1.594 A para cada una de las células, mientras que se necesita más corriente si se mide el volumen de gas a temperatura ambiente en una celda electrolítica alcalina. Para nuestro caso y debido al arreglo serie-paralelo de las celdas, la corriente medida por celda es de 6.25 A en radiación pico. Con una corriente total del circuito de 12.5A

Para evitar que la corriente se exceda de lo necesario, se instala un módulo que la controle. Dicho módulo es CML 30 de Tecnosol capaz de resistir corrientes de hasta 30^a debido a la conexión en paralelo de los paneles fotovoltaicos. El CML 30 controla la corriente por debajo de 13 A.

El agua destilada necesaria para el proceso se obtiene al exponer agua potable al sol en un recipiente doble con vidrio. El agua potable se evapora y se condensa en el vidrio en seguida cae a un recipiente más grande y luego alimenta el sistema electrolizador.

Todo el proceso lo podemos observar en la imagen # 10, donde cada elemento del sistema tiene una función determinada. Primeramente, los paneles fotovoltaicos generan energía eléctrica que apoyas en un regulador de carga alimentan de manera constante un banco de baterías; al almacenar esta energía se garantiza mantener un flujo constante mediante de dos líneas que están acopladas al electrolizador donde se realiza el proceso de separación del agua en Hidrógeno y Oxígeno. El agua es provista por un recipiente que a la vez está acoplada a un recipiente que aprovecha la radiación solar para obtener agua destilada.

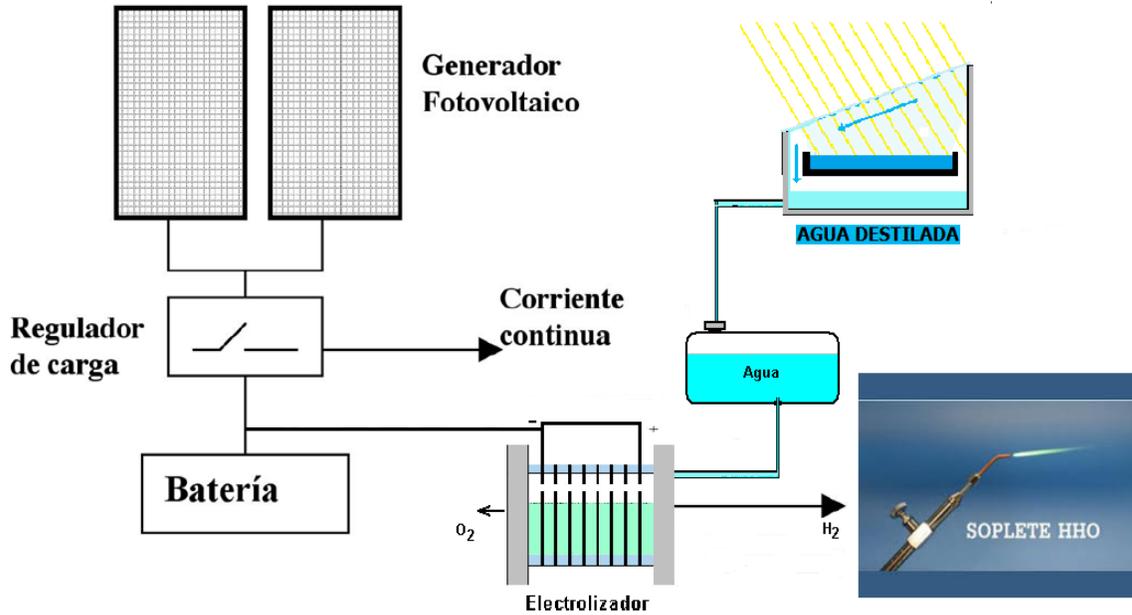


Imagen 10: diagrama de la obtención del Hidrógeno solar

Cálculos sobre los paneles, batería y regulador de corriente:

El cálculo de los paneles solares está detallado en la tabla 6.

$$\begin{aligned}
 \text{Cantidad paneles} &= \frac{I * \text{horas de radiación solar} * V}{\left(\frac{\text{radiación solar}}{1000}\right) * 0.8 * .85 * \text{capacidad del panel}} \\
 &= \frac{12.5 * 5.5 * 12}{\left(\frac{5000}{1000}\right) * 0.8 * 0.85 * 150} = 1.375
 \end{aligned}$$

En la tabla 7 podemos obtener la capacidad del banco de batería para suministrar la energía necesaria para la electrólisis, aunque el día esté nublado o la radiación solar sea b

$$\begin{aligned}
 \text{Banco de batería} &= \frac{\text{tiempo sin brillo} * \text{potencia necesaria}}{\text{eficiencia} * \text{tipo de descarga}} \\
 &= \frac{(1 * 825)/(0.8 * 0.5)}{12} = 171.85AH
 \end{aligned}$$

En la tabla 8 obtenemos la capacidad del regulador de carga.

$$I = \frac{\text{Capacidad máxima de los paneles}}{\text{voltaje del sistema}} = \frac{300w}{12v} = 25 A$$

Buscamos un regulador que se aproxime a la corriente del sistema y encontramos uno de 30A.

Aplicaciones del soldador a gas

Estos equipos substituyen la soldadura Oxi-Acetilénica y las bombonas de Oxígeno, Butano, Acetileno, Propano y Metano. Genera su propio combustible mediante una celda electrolítica de electrodos múltiples, descomponiendo el Agua en Hidrógeno y Oxígeno mediante electrólisis avanzada y componiendo un gas diatómico Gas Oxi-Hidrógeno (HHO) neutro de enorme poder calorífico, capaz de alcanzar temperaturas de 1500°C a 4000°C; dependiendo del metal que toca la llama.

La utilidad práctica de este equipo podría ser para talleres, aplicados a joyería de precisión, trabajos submarinos, náutica, trabajos en vidrio (funde, cristaliza, restaura, etc.), restauración de bronce, fontanería, carpintería metálica, trabajos en hierro y acero, electricidad, electrónica, trabajos en cobre, trabajos en materiales nobles (oro, platino, plata), tuberías de gas, instalación de aire acondicionado, cuchillería, cortar y soldar chapa de acero, esmaltar metales, trabajos en cuarzo, chapistería, cortar, soldar, fundir, artesanías varias etc. Capaz incluso de trabajar bajo el agua.

Entre otras características, produce hasta 180 Lts de gas por litro de agua consumido. La combustión de gases es respetuosa con el medio ambiente y no contaminante. Puede usarse para soldar sopletes universales y cualquier tipo de boquilla con anti retorno. La presión se autorregula y auto controla según las necesidades del trabajo a realizar y no hay que desmontar nada en la unidad. Puede usar agua del grifo (agua común) o destilada. Al ser similar este proceso al que se da en soldadura y corte por oxi-acetilénica, según, se pueden hacer comparaciones muy interesantes

Eficiencia del electrolizador según ley de Faraday:

La eficiencia de los electrolizadores puede ser medida por la segunda ley de Faraday para la electrólisis, la cual establece que: "Para una determinada cantidad de electricidad (carga eléctrica), la masa depositada de una especie química en un electrodo, es directamente proporcional al peso equivalente del elemento. El peso equivalente de una sustancia es su masa molar dividido por un entero que depende de la reacción que tiene lugar en el material". Michael Faraday planteó la ecuación para conocer la cantidad de masa que se desprende en una reacción electroquímica en un electrolizador. De ella podemos conocer la eficiencia del mismo.

Expresado matemáticamente se obtiene:

$$m = \frac{I * t}{96500} * \frac{M}{n}$$

De donde:

m es la masa de la sustancia producida en el electrodo (en gramos),

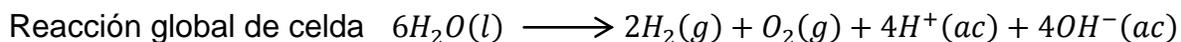
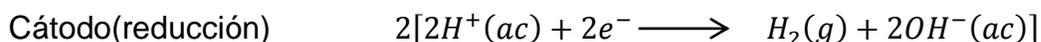
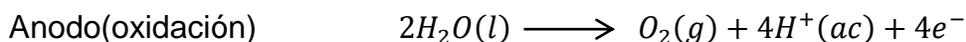
n es número de valencia de la sustancia como ion en la solución (electrones por ion),

I es la corriente eléctrica (en amperios)

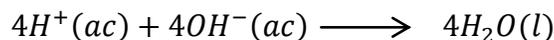
t es el tiempo transcurrido (en segundos)

M es la masa molar de la sustancia (en gramos por mol)

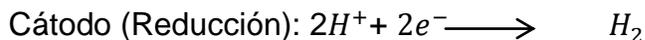
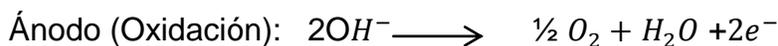
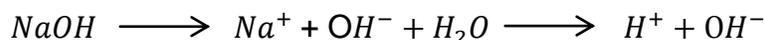
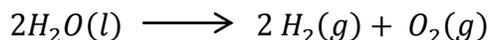
La electrolisis de cualquier disolución acuosa requiere la presencia de un electrolito que conduzca la corriente en la disolución. Si los iones del electrolito se oxidan y se reducen con menos facilidad que el agua, entonces, el agua reacciona en ambos electrodos.



Si se mezclan las disoluciones anódicas y catódicas, los iones H^+ y OH^- reaccionan formando agua:



La reacción neta de la electrolisis es, la descomposición del agua:



Para un litro de agua

$$\rho \text{ agua} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{lt}}$$

$$\rho: \frac{m}{v} \therefore m = \rho \text{ agua} * 1\text{lt}$$

$$m = \left(1 \frac{\text{kg}}{\text{lt}}\right) * (1\text{lt}) = 1 \text{ kg}$$

Número de moles:

$$n = \frac{\text{masa}}{\text{peso mol}} = \frac{1000\text{gm}}{18\text{gm/mol}} = 55.555 \text{ moles}$$

El volumen de hidrogeno y oxigeno generado por cada litro de agua es:

$$Pv = nRt$$

$$V_{H_2} = (55.555 \text{ mol})(0.0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}})(307^\circ\text{K}) / 1\text{atm}$$

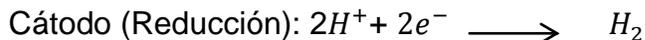
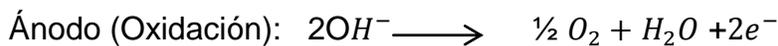
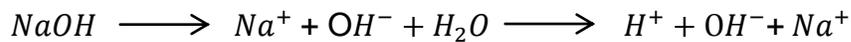
$$V_{H_2} = 1,399.53557 \text{ lts}$$

$$V_o = \left(\frac{1}{3}\right)(1399.5357) = 466.511856 \text{ lts}$$

Lo cual significa que por cada lts de agua se producirán 1399.53557 lts de Hidrógeno. Si la producción de nuestro electrolizador es de 120lts/h tendremos que dicho volumen será producido en un lapso de 11.66h, por lo tanto, cada hora se producirán 120lts de H.

Según los resultados del tercer experimento que es el más eficiente tenemos:

I=12.5A, t: 1 h, V: 12V, Electrolito: 10mg de NaOH, producción 2 lts/min de HHO



$$q = I * t = 12.5A * 1 \text{ min} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 45000 \text{ C}$$

$$m = \frac{I * t * M}{96500 * n}$$

$$m = \frac{I * t * M}{96500 * n} = \frac{45000C * 18 \text{ gm/mol}}{96500C/mol * 1}$$

= 8.39378gm de H desprendidos en la reacción electroquímica.

Calculo la cantidad de moles de H_2 : $n_{H_2}: \frac{q}{F} = \frac{45000 \text{ C}}{(96500 \frac{\text{C}}{\text{mol}})} = 0.47368421 \text{ mol}$

La eficiencia del electrolizador la encontramos en la tabla 9 y está dado por:

$$\eta = \frac{\text{Producción} * 2.4}{P \text{ del sistema}} = \frac{120\text{Lts} * h * 2.4 \frac{\text{W}}{\text{Lts} * h}}{288\text{W}} = 163.2\% = 63.2\% \text{ de eficiencia}$$

Presupuesto:

En la tabla 10 tenemos el presupuesto de los paneles, batería y controlador de corriente y en la tabla 11 se detalla el costo de elaborar un electrolizador. Cabe mencionar que el período de recuperación de la inversión en la creación de la celda de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO) es a corto plazo, puesto que el costo es de \$125.34 y los demás accesorios como paneles solares, batería y regulador de corriente suman un costo de \$1245.864, los demás accesorios como boquilla anti retorno, tubería, etc. tiene un costo aproximado de \$160 para un total de \$1514.86

Comparación económica del Sistema Oxi-Acetileno con el Oxi-Hidrógeno:

El costo de un tanque de Oxígeno es de \$32 y el del acetileno es de \$38, lo cual, dependiendo del uso, si el corte o soldadura dura aproximadamente 20 días, con lo cual si hacemos un cálculo obtendremos un período de recuperación de la inversión de 15 meses.

Comparaciones con equipo acetileno

La eficiencia del proceso es de 63.2%, una flama de Gas Oxi-Hidrógeno (HHO) difiere del acetileno por los siguientes factores:

- El Oxi-Hidrogeno corta un 20% más rápido que el acetileno.
- El Oxi-Hidrogeno calienta menos alrededor del punto de interés, cosa que si se da en acetileno.
- El Oxi-Hidrogeno produce llama neutra; o sea más limpia.
- El Oxi-Hidrogeno no genera gases que pueden ser perjudiciales para la salud.
- La conductividad térmica es muy alta.
- La calidad del corte es muy buena.
- La llama es muy enfocada, o sea, que permite hacer trabajos más finos.
- No tiene olor ni produce UV.
- La flama da menor temperatura 2660°C y la punta del soplete no produce quemaduras si se llegase a tocar por accidente.
- El acetileno se quema en tres fases, el Gas Oxi-Hidrógeno (HHO) en una sola.
- La flama no tiene color.
- La flama obtenida por combustión del Gas Oxi-Hidrógeno (HHO) es muy pura y es de muy alta resolución y buena.
- Potencia calorífica, el calor aplicado se distribuye en un área mucho más pequeña, esto permite hacer trabajos de gran calidad y precisión.
- La llama posee menos luminosidad y daña menos la retina del ojo.

Lo anteriormente expresado está planteado por Schimpke P. & Horn, H.A(1969) en su tratado General de Soldadura. Vol 1. (1969).

Discusión:

La contaminación y el uso de los combustibles fósiles contribuyen al deterioro del medio ambiente y por ende afecta a la población directa o indirectamente. Es por ello que estamos obligados moralmente a buscar e implementa tecnología que permita el desarrollo sostenible de la población, pero sin dañar el medio ambiente.

El uso de tecnología renovable para procesos industriales representa un gran avance y abre un camino para el desarrollo industrial, energético y económico de las naciones.

Para el desarrollo de este proyecto se decide implementar paneles solares fotovoltaicos como fuente de energía debido a la facilidad de implementación en cualquier lugar de nuestra bella nación.

Los paneles fotovoltaicos se utilizan como medio de obtención de la corriente necesaria para efectuar la electrólisis, con la cual se obtiene el hidrógeno necesario para realizar una soldadura de buena calidad.

El uso de baterías de descarga de ciclo profundo es para garantizar la continuidad de la corriente necesaria para realizar el proceso. Las baterías de ciclo profundo pueden llegar a cumplir 2000 ciclos durante su vida útil; descargando y cargando su energía lenta, pero constantemente. Esto equivale a aproximadamente 4-8 años de vida útil en dependencia de su uso. Posteriormente a este período se puede reciclar dicha batería evitando así daños al medio ambiente. Las baterías de ciclo profundo cerradas no requieren mayor mantenimiento.

Un electrolizador consiste en un ánodo, un cátodo, una fuente de energía de corriente continua (para este caso el panel fotovoltaico) y un electrolito. La corriente continua es aplicada para mantener un flujo eléctrico constante del polo negativo al cátodo, donde los electrones son consumidos por los iones del hidrógeno (protones) para formar hidrógeno. Cada celda del electrolizador trabaja con un voltaje máximo de 1.34 V debido a que voltajes mayores ocasionan una saturación y calentamiento adicional del mismo.

La eficiencia del sistema cumple con la ley de Faraday que es 2.4 W/Lts*H superándolo en un 63.2%, por lo tanto, podemos decir que es práctica la realización del mismo para obtener el Hidrógeno con alta pureza para ser implementado en el proceso de soldadura.

La utilización de este método es viable económicamente, puesto que el período de recuperación de la inversión es de 15 meses respecto al equipo soldador oxi-acetileno.

Este método posee un costo inicial mayor que otros métodos, pero su fortaleza radica en:

El período de recuperación de la inversión inicial es a mediano plazo.

- 1) La vida útil del sistema oscila entre 3 y 5 años dependiendo del uso y el de los paneles fotovoltaicos es de 25 años.
- 2) El sistema es modular, es decir que se pueden sustituir elementos dañados.
- 3) La fuente de energía es inagotable.
- 4) La tecnología implementada no daña el medio ambiente puesto que el subproducto del proceso es agua y calor.
- 5) Los accesorios implementados pueden ser reciclados.
- 6) No requiere equipo muy sofisticado para su replicabilidad.

Este método plantea una alternativa al uso del método oxi-acetileno con tecnología renovable obteniendo una eficiencia de 63.2%. No será necesario pagar transporte del hidrógeno puesto que se utiliza en el mismo lugar donde se genera.

Recomendaciones:

El Hidrógeno tiene grandes ventajas por su versatilidad debido a que puede implementarse en diversas actividades industriales. Nicaragua utiliza muy poco el Hidrógeno, lo cual deja abierto un amplio camino para explorar sus diversas aplicaciones.

EL Hidrógeno solar producido (Hidrógeno producido por medio de electricidad procedente de paneles fotovoltaicos) se puede utilizar como combustible para la generación de electricidad, como combustible en vehículos, como refrigerante en equipos de generación, etc. Por lo cual vale la pena seguir estudiándolo y analizando la viabilidad de sus aplicaciones.

Respecto a la energía solar recomendamos:

- 1) Aprovechar el privilegiado lugar que posee nuestro país respecto a la radiación solar incorporando la energía solar fotovoltaica en diversos proyectos y/o fusionarlo con tecnología compatible en la búsqueda de energía más limpia y eficiente.
- 2) La eficiencia de los paneles solares es muy baja, pero al avanzar la electrónica aumentará, lo cual permitirá mejorar la eficiencia de proyectos como este.

En el proceso de soldadura con HHO se puede considerar los siguientes aspectos:

- 1) La durabilidad del electrolizador puede mejorar considerablemente con placas de acero 316L con Molibdeno debido a que las placas utilizadas en este proyecto son a cero grados 304 la cual se oxidan con mayor facilidad que el 316L. Se utilizó el acero 304 debido a la dificultad de conseguir el acero 316L.
- 2) La eficiencia del electrolizador se puede mejorar al disminuir la corriente que circula por el electrolizador.
- 3) Para minimizar posibles fugas es necesario utilizar tuberías soldadas acopladas al electrolizador o usar teflón en las partes que se necesite sean parte rizados.
- 4) El Hidrógeno es muy volátil, es por ello que se deben tomar las medidas de seguridad planteadas en este estudio u otras que le permita manipular el Hidrógeno sin que represente algún peligro.

- 5) El almacenamiento del Hidrógeno requiere condiciones especiales como altas presiones y/o Hidrógeno criogénico, pero existen alternativas que vale la pena estudiar como el almacenamiento por medio de micro-esferas, este campo de estudio puede ser abordado en un trabajo posterior.
- 6) Los componentes de los electrolizadores deben ser escogidos según sus propiedades resistentes a la corrosión.
- 7) El electrolito más eficiente para este proceso es el Hidróxido de potasio por sus propiedades químicas.

Conclusiones:

- 1) Se determinó que la energía solar es la fuente de energía más abundante e inagotable a disposición del hombre, es capaz en sus diversas formas de suplir la demanda energética de una nación. También la tecnología solar va incrementando en cuanto a eficiencia y disminuyendo en costo, lo cual abre una ventana para aprovechar el gran potencial solar, principalmente en los países tropicales.
- 2) Como resultado de la evaluación se situó a Nicaragua en un rango de radiación solar de 3 a 6.6KWH/m², lo que favorece la explotación de este recurso teniendo la capacidad de cubrir un 32% de la demanda nacional con energía solar.
- 3) Se estableció por medio del estudio de literatura existente que el Hidrógeno representa una fuente inagotable de energía que no contamina el ambiente en su explotación y la tecnología para aprovecharlo está emergiendo para usos industriales. En Nicaragua se usa en manufactura farmacéutica y metalurgia, sin embargo, por ser tecnología relativamente nueva no se utiliza como fuente de energía renovable, sino como elemento secundario en procesos como soldadura y corte.
- 4) Se encontraron diversos métodos para la obtención del Hidrógeno entre ellos el “Reformado de combustibles” que es el más utilizado por sus bajos costos. En segundo lugar, el “Método Químico”; pero el más amigable con el medio ambiente y con gran potencial es “La Electrolisis del Agua”, en el cual se separa el Hidrogeno del Oxígeno por medio de la aplicación de electricidad
- 5) Se demostró mediante un ejercicio práctico que la electrólisis solar aprovecha la radiación solar de una zona y la aprovecha para producir electricidad con la cual se descompone la molécula de agua en Hidrógeno y Oxígeno. Los dispositivos para producir el hidrógeno solar tienen una amplia aplicación en la industria, entre ellas la de corte y soldadura. Con el desarrollo tecnológico bajan los contos y la electrólisis solar llegará a ser el método óptimo.
- 6) La celda Gas Oxi-Hidrogeno (HHO) se puede usar en los procesos industriales y claramente presenta ventajas. El período de recuperación de la inversión es corto y representa un gran potencial, la utilización del Hidrógeno para el desarrollo de la industria.

Bibliografía:

- 1) A. Melis, L. Zhang, M. Forestier, M. L. Ghirardi, M. Seibert (1999). Proceedings of the 1999 U.S DOE Hydrogen Program Review
- 2) Aguer Hortal M & Miranda Barreras Ángel L. (2007). El hidrógeno, Fundamento de un futuro equilibrado. (2da ed.) España.
- 3) Ehl, Rosemary Gene; Ihde, Aaron (1954). «Faraday's Electrochemical Laws and the Determination of Equivalent Weights». Journal of Chemical Education 31 (Mayo): (pp. 226-232). USA
- 4) Linares Hurtado J & Moratilla Soria B. (2007). Análisis de situación y prospectiva de nuevas tecnologías energéticas. El hidrógeno y la energía. Madrid. (pp. 978).
- 5) Markus J. Aschwanden (2007). «The Sun». En Lucy Ann McFadden, Paul R. Weissman, Torrence V. Johnsson. Encyclopedia of the Solar System. Academic Press. p. 80. (2da ed.) USA
- 6) Rifkin, J (2007) La economía del hidrógeno. El nacimiento de la economía del hidrógeno. (Cap. 8, pp. 267). Barcelona, España.
- 7) SCHIMPKE, P.; HORN, H.A. Tratado General de Soldadura. Vol 1. (1969) Soldadura y corte con soplete. (pp. 413). Barcelona, Gustavo Gili.SA
- 8) Simbeck & Chang (2002), 'Hydrogen supply: cost estimate for hydrogen pathways – scoping analysis. National Renewable Energy Laboratory. USA
- 9) Tamborero del Pino J, (2010) NTP 495: Soldadura oxiacetilénica y oxicorte: normas de seguridad. Ministerio de Trabajo y asuntos sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España.

Páginas Web

- 10) Abello linde.SA (2012). Consejos de seguridad en la manipulación del hidrógeno. Recuperado el 10 de Febrero 2016, de [http://www.abellolinde.es/internet.lg.lg.esp/es/images/CS_13_%20v%2012_%20\(manipulaci%C3%B3n%20de%20hidr%C3%B3geno\)316_25939.pdf?v=4.0](http://www.abellolinde.es/internet.lg.lg.esp/es/images/CS_13_%20v%2012_%20(manipulaci%C3%B3n%20de%20hidr%C3%B3geno)316_25939.pdf?v=4.0)
- 11) Botas J A, Calles J, Dufour J. (2004). La economía del hidrógeno una visión global sobre la revolución energética del siglo XXI. Recuperado el 15 de Marzo 2016, de http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/documentos/LAECONO_MIADELHIDROGENO.pdf

- 12) Comisión Europea (2003) Hydrogenenergy and fuel cells. A vision of our future. Informe EUR 20719 EN, European Commission, Directorate-General for Research, Directorate J – Energy, Bruselas. Recuperado el 20 de Enero 2016, de http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/hydrogen-report_en.pdf
- 13) Dr. Luis Correas Usón (2010) Diversificación energética y modelos de consumo y distribución: Hidrógeno. Fundación para el desarrollo de nuevas tecnologías de Hidrógeno en Aragón-España <http://slideplayer.es/slide/4697415/>
- 14) Energías Renovables y Ambiente (2007) Mapa solar de Nicaragua. Recuperado el 20 de febrero del 2016, de <http://fuentesrenovables.blogspot.com/2007/12/mapa-solar-de-nicaragua.html>
- 15) Energías renovables info. (2014). Tipos de paneles fotovoltaicos. Recuperado el 10 de Febrero del 2016, de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>
- 16) G. Fierro José Luis. (2011). El Hidrógeno: metodologías de producción. España. Recuperado el 10 de Enero del 2016, de http://www.fgcsic.es/lychnos/es_es/articulos/hidrogeno_metodologias_de_pr oduccion
- 17) Hydrogen Bellona Report (2002), "Hydrogen - Status and possibilities" Recuperado el 10 de Enero del 2016, de <http://www.interstatetraveler.us/Reference-Bibliography/Bellona-HydrogenReport.html>
- 18) International Energy Agency. (2014) Evolución de costes medios de paneles fotovoltaicos en el mundo. (pp. 13) Francia. Recuperado el 15 de Mayo del 2016, de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf
- 19) Méndez, Ángeles (2010) Obtención del hidrógeno | La Guía de Química. Recuperado el 10 de mayo del 2016, de <http://quimica.laguia2000.com/general/obtencion-del-hidrogeno#ixzz3ofuYYdjD>
- 20) Roper, L. David (2016). «World Photovoltaic Energy» . Recuperado el 10 de Mayo de 2016. <http://www.roperld.com/science/worldphotovoltaicenergy.htm>

Anexos

Tabla 6: Calculo de la cantidad de paneles solares

Descripción	Cantidad	Unidad
Corriente necesaria	12.5	A
Horas de uso	5.5	h
Voltaje	12	V
Potencia necesaria	825	Wh/día
Radiación solar promedio en Managua	5000	W/m ² /día
Potencia total necesaria	970.59	Wh/día
Cantidad de paneles necesarios	1.375	

Tabla 7: Calculo de capacidad de la batería a utilizar

Descripción	Cantidad	Unidad
Tiempo sin brillo solar	1	días
Demanda energética	825	Wh/día
Eficiencia de la batería	80	%
Descarga máxima	50	%
Voltaje del sistema	12	V
Potencia del banco de batería	2062.5	W/h
Capacidad total del banco de batería	171.875	Ah

Tabla 8: Calculo de capacidad del regulador de carga

Descripción	Cantidad	Unidad
Potencia máxima de los paneles	300	W/día
Voltaje del sistema	12	V
Corriente en el controlador	25	A
Regulador de corriente comercial	30	A

Tabla 9: Eficiencia de electrolizador

Descripción	Cantidad	Unidad
Potencia necesaria en el sistema	176.47	W
Producción de HHO por hora	120	Lts*H
Por la ley de Faraday	2.4	W/Lts*H
Potencia del sistema por Faraday	288	W
Eficiencia del electrolizador	163.20	%
Eficiencia real	63.20	%

Tabla 10: Presupuesto de los paneles, batería y controlador de corriente

ítem	Descripción de materiales	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (\$)	Precio sin IVA (\$)	Precio Total (\$)	Precio Total (\$)
1	Módulo solar Tecnosol 150W-12V	2	pieza	250	500	75	575
2	Batería de ciclo profundo	3	pieza	162	486	72.9	558.9
3	controlador 30 A	1	pieza	75	75	11.25	86.25
4	Conductor sólido AGW #14	4	mts	5.59	22.36	3.354	25.714
						Total	1245.864

Tabla 11: Presupuesto del electrolizador

Ítem	Descripción de materiales	Cantidad	unidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)	IVA (\$)	Total (\$)
1	NYLON Solido de 200 mm	0.06	mts	406.68	24.40	3.66	28.06
2	Lamina lisa A/Inoxidable 4 x 8 x 1 mm 304	0.25	pliego	119.17	29.79	4.47	34.26
3	3/8 x 3' Barra roscada Inox	1		16.31	16.31	2.45	18.75
4	Neopreno 1/16	2	ft	7.93	15.86	2.38	18.24
5	3/8 " Tuerca Hex Inox	12		0.20	2.41	0.36	2.77
6	3/8" Arandela plana Inox	8		0.13	1.00	0.15	1.15
7	Juego de Cople Conector Truper Coral 3/8	1			7.50	1.13	8.63
8	Manguera plástica. P/Gas Transp. Reforzada	20	ft	0.22	4.42	0.66	5.08
9	Manguera Abasto Ac.inox.p/inod.12" Fluidmaster	2	pieza	3.44	6.89	1.03	7.92
10	Arandela Ho lisa 3/8"	12	pieza	0.02	0.25	0.04	0.29
11	Arandela de acero a presión 3/8"	12	pieza	0.01	0.16	0.02	0.18
						Total	125.34

Tabla 12: Potencia solar instalada en el mundo:

Potencia total instalada (MWp) por país															
País	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Total mundial	2220	2798	3911	5340	6915	9443	15 772	23 210	39 778	69 684	102 024	138 900	177 000	230 000	~300 000
Unión Europea	389	590	1297	2299	3285	5257	10 554	16 357	29 328	51 360	68 640	78 970	86 674	95 200	~101 500
China	-	-	-	-	-	-	-	-	893	3093	8043	19 800	28 100	43 000	77 000
Japón	636,8	859,6	1132	1421,9	1708,5	1918,9	2144	2627	3617	4914	6704	13 600	23 300	33 300	42 410
Estados Unidos	212,2	275,2	376	479	624	830,5	1168,5	1255,7	2519	4383	7665	12 100	18 600	28 400	40 610
Alemania	278	431	1034	1926	2759	3835,5	5340	9959	17 320	24 875	32 411	35 600	38 128	39 550	40 600
Italia	22	26	30,7	37,5	50	120,2	458,3	1157	3502	12 764	16 987	18 400	18 500	18 800	19 160
India	-	-	-	-	-	-	-	-	189	461	1839	2180	3382	5130	10 000
Reino Unido	4,1	5,9	8,2	10,9	14,3	18,1	22,5	29,6	72	1014	1831	2706	5000	8437	
Francia	17,2	21,1	26	33	43,9	75,2	179,7	335,2	1025	2831	3843	4598	5700	6800	
Australia	39,1	45,6	52,3	60,6	70,3	82,5	104,5	183,6	504	1298	2291	3100	4100	4728	
España	7	12	23	48	145	693	3354	3438	3892	4214	4537	4651	4656	4667	
Bélgica	-	-	-	-	-	-	-	574	803	2018	2650	2865	3100	3200	
Corea del Sur	5,4	6,8,5	13,5	35,8	81,2	357,5	441,9	662	754	1006	1448	2384	3200		
Grecia	-	-	-	-	-	-	-	55	206	631	1536	2523	2595	2600	
República Checa	-	-	-	-	-	-	-	463,3	1953	1960	2022	2132	2134	2134	
Canadá	10	11,8	13,9	16,7	20,5	25,8	32,7	94,6	200	563	831	1275	1775	2240	
Tailandia	-	-	-	-	-	-	-	-	28	149	359	676	1300	1600	
Sudáfrica	-	-	-	-	-	-	-	-	40	41	41	s.d.	800	1361	
Suiza	19,5	21	23,1	27,1	29,7	36,2	47,9	73,6	111	216	416	716	1036	1350	
Holanda	26,3	45,7	49,2	50,7	52,2	52,8	57,2	67,5	97	118	321	6654	1000	1320	
Rumanía	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49,5	1150	1293	1301	
Bulgaria	-	-	-	-	-	-	-	5,7	18	133	933	1019	1022	1040	
Austria	10,3	16,8	21,1	24	25,6	27,7	32,4	52,6	103	176	418	690	830	900	
Chile	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,7	s.d.	362	848	
Taiwán	-	-	-	-	-	-	-	-	32	102	206	376	776	800	
Israel	-	-	0,9	1,3	1,8	3	24,5	66	196	250	433	683	766		
Dinamarca	1,6	1,9	2,3	2,7	2,9	3,1	3,3	4,6	7,1	17	394	594	636	685	
Eslovaquia	-	-	-	-	-	-	-	0,2	145	488	523	537	590		
Portugal	1,7	2,1	2,7	3	3,4	17,9	68	102,2	131	144	244	278	346	454	
Ucrania	-	-	-	-	-	-	-	-	3	190	326	s.d.	s.d.	432	
Rusia	-	-	-	-	-	-	-	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	407	
México	16,2	17,1	18,2	18,7	19,7	20,8	21,8	25	31	37	52	70	200	300	
Argelia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	274	
Turquía	0,9	1,3	1,8	2,3	2,8	3,3	4	5	6	7	9	15	58	249	
Eslovenia	-	-	-	-	-	-	-	9	36	90	198	255	256		
Malasia	-	-	-	5,5	7	9	11	15	15	36	78	170	220		
Pakistán	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	210	
Bangladesh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	167	
Filipinas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	132	
Luxemburgo	-	-	-	-	-	-	-	27	27	30	76	100	110	120	
Perú	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	s.d.	114		
Suecia	3,3	3,6	3,9	4,2	4,8	6,2	7,9	9	11	16	24	43	79		
Jordania	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,4	75	
Lituania	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	68	68		
Chipre	-	-	-	-	-	-	-	3,3	6,2	10	17	35	65		
Malta	-	-	-	-	-	-	-	2	2	11,5	18	25	54		
Hungría	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	15	38		
Polonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7		34		
Croacia	-	-	-	0,5	1,2	3,2	5,6	12,1	16,4	16,4	21,7	24,7	33		
Ecuador	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26		
Noruega	6,4	6,6	6,9	7,3	7,7	8,8,3	9	9	10	10	10		13		
Finlandia	-	-	-	-	-	-	-	5	7	8	8		10		
Brasil	-	-	-	-	-	-	-	-	27	32					
Argentina	-	-	-	-	-	-	-	1,2	6,2						

Grafico 1: Evolución del costo de los paneles fotovoltaicos

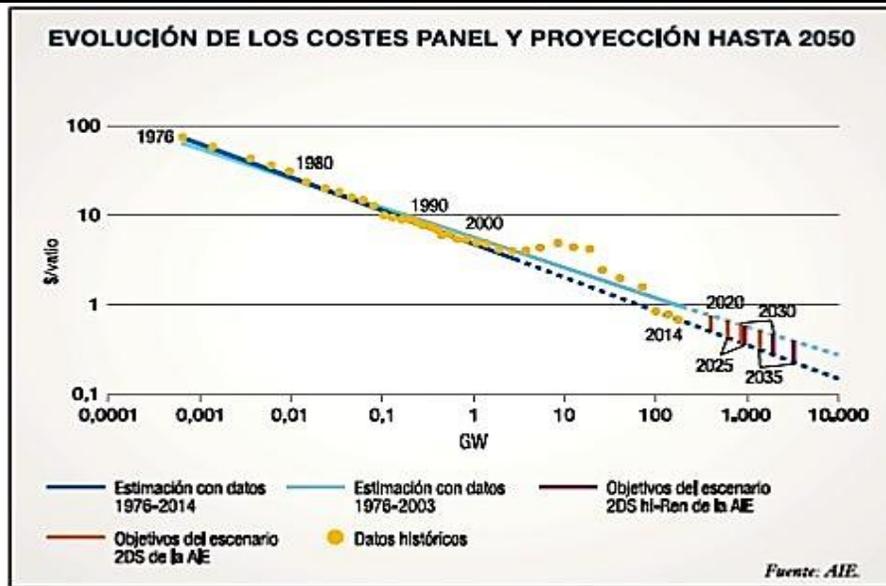


Tabla 13: Datos de radiación solar en Nicaragua.

Datos de Radiación Solar (Whr/m ² -día)													
Poblado	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
San Carlos	4.3	4.95	5.7	5.5	4.98	4.3	3.85	4.2	4.4	4.3	4.1	3	4.47
El Rama	4	4.95	5.7	5.7	4.97	4.4	3.85	4.2	4.4	4.3	4.1	3.8	4.53
Villa Sandino	4.6	4.95	5.7	5.85	5.05	4.5	3.85	4.2	4.6	4.7	4.5	4.1	4.72
Juigalpa	4.9	5.25	6	5.85	5.2	4.7	4.55	4.8	5	4.9	4.7	4.4	5.02
Rivas	5.5	6.15	6.6	6.15	5.35	4.9	4.9	5	5	4.9	4.7	4.7	5.32
Masatepe	5.5	5.85	6.3	6.15	5.35	5	4.9	5.2	5.2	4.9	4.7	4.7	5.31
Managua	5.2	5.85	6.3	6.15	5.43	5	4.9	5.4	5.2	4.9	4.7	4.7	5.31
Nagarote	5.2	5.85	6.3	6	5.35	5.1	5.25	5.4	5	4.9	4.7	4.7	5.31
Chinandega	5.2	5.85	6.3	5.85	5.35	5.1	5.25	5.4	4.8	5	4.7	4.7	5.29
Ocotal	4.6	5.25	5.7	5.85	5.28	5.2	4.9	5.4	5.2	4.9	4.5	4.4	5.1
Jinotega	4.9	5.25	6	5.85	5.28	5	4.9	5.4	5.2	4.9	4.7	4.7	5.17
Muy Muy	4.6	5.25	6	5.7	5.13	4.7	4.55	5	5	4.7	4.5	4.4	4.96
Siuna	4	4.65	5.1	5.4	4.98	4.4	3.85	4.2	4.2	4.1	3.9	3.8	4.38
Pto. Cabeza	3.7	4.65	5.1	5.55	4.9	4.4	4.2	4.4	4.4	4.1	3.9	3.8	4.43
Bluefields	4	4.95	5.7	5.85	5.05	4.4	4.2	4.4	4.4	4.3	4.1	3.8	4.6
Granada	5.2	5.85	6.3	6.15	5.35	4.8	4.9	5.2	5.2	4.9	4.7	4.7	5.27
Malacatoya	4.9	5.55	6.3	6	5.35	4.8	4.9	5.2	5.2	4.9	4.7	4.7	5.21
Morrito	4.6	5.25	6	5.85	5.2	4.5	4.2	4.4	4.8	4.7	4.5	4.1	4.84
Cardenas	5.2	5.85	6.3	6.15	5.28	4.7	4.9	4.8	4.8	4.7	4.5	4.7	5.16
Punta Gorda	4	4.95	5.7	5.85	5.05	4.3	4.2	4.4	4.4	4.3	4.1	3.8	4.59
Monkey Poin	4	4.95	5.7	5.7	5.05	4.4	4.2	4.4	4.4	4.1	3.9	3.8	4.55
Puerto Isabel	4	4.55	5.4	5.55	5.05	4.4	4.2	4.4	4.4	4.1	3.9	3.8	4.48
Sandy Bay	3.7	4.65	5.1	5.55	4.98	4.4	4.2	4.4	4.4	4.1	3.9	3.8	4.43

Fuente UCA- Estación

Lugares en donde existen gradualmente radiaciones solares en Nicaragua

Tabla 14: Parámetros climáticos de Nicaragua

Parámetros climáticos promedio de Managua, Nicaragua 													[ocultar]
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima media (°C)	31.0	32.1	33.6	34.3	34.0	31.4	30.9	31.4	30.3	30.8	30.6	30.8	31.8
Temperatura mínima media (°C)	20.4	20.6	21.7	22.6	23.4	23.0	22.6	22.4	22.2	22.1	20.9	20.0	21.8
Lluvias (mm)	9	5	3	8	130	224	144	136	215	280	42	8	1204
Días de lluvias (≥ 1.0 mm)	1	0	0	0	11	13	15	15	15	15	5	0	90
Horas de sol	263.5	254.2	291.4	276.0	229.4	186.0	151.9	195.3	210.0	223.2	231.0	248.0	2759.9
Humedad relativa (%)	69	64	62	61	70	80	79	81	82	83	78	73	73.5

Fuente: Wetter Spiegel online⁷

Tabla 15: Ángulos de inclinación para sistemas fijos

Latitud del lugar (en grados)	Angulo de inclinación fijo
0° a 15°	15°
15° a 25°	La misma latitud
25° a 30°	Latitud más 5 °
30° a 35°	Latitud más 10 °
35° a 40°	Latitud más 15 °
40° o más	Latitud más 20 °

Tabla 16: Propiedades del hidrógeno gaseoso

Temperatura de autoignición	858 K
Mínima energía para la ignición	0.02 mJ
Límites de inflamabilidad en el aire	4.1 – 75 (vol. %)
Límites de detonabilidad en el aire	18.3 – 59 (vol. %)
Temperatura de la llama	2318 K
Velocidad de detonación	1.48 – 2.15 km/s
Sobrepresión de la detonación	1470 kPa
Calor de combustión inferior	120 kJ/g
Calor de combustión superior	142 kJ/g
Velocidad de combustión a NTP	265 – 325 cm/s
Porcentaje de energía térmica radiada	≈ 21 %
Flujo de calor emitido	1.53 x 10 ⁻² kJ/cm ² ·s
Energía de explosión	2 kg TNT/m ³
Velocidad ascensional NTP	1.2 – 9 cm/s
Velocidad de difusión en el aire a NTP	≈ 2 cm/s
Coefficiente de difusión a NTP	0.61 cm ² /s
Composición estequiométrica a NTP	29.53 vol. %
Limitación de oxígeno	5 vol.%
Viscosidad del gas a NTP	8.9 x 10 ⁻⁵ g/cm·s
Quenching gap a NTP	0.06 cm
Densidad del gas	0.0838 kg/m ³
Peso Molecular	2.02 g/mol
Punto de ebullición	20.3 K
Toxicidad	No es tóxico

Tabla 17: Propiedades del hidrógeno líquido

Temperatura del líquido a NBP	20.3 K
Calor de vaporización	0.46 MJ/kg
Densidad del H ₂ L a NBP relativa al aire a STP	≈ 1.04
Densidad del líquido a NBP	71 kg/m ³
Densidad del vapor a NBP	1.34 kg/m ³
Relación líquido NBP/gas NTP	845
Relación vapor NBP/gas NTP	53
Viscosidad de NBP líquido	13.56 g/cm·s
Velocidad de vaporización de vertidos sin arder	2.5 – 5.0 cm/min
Velocidad de combustión de vertidos	3.0 – 6.6 cm/min
Energía por explosión de combustible líquido NBP	1.71 g TNT/cm ³

Gráfico 2: Ángulo de radiación solar:

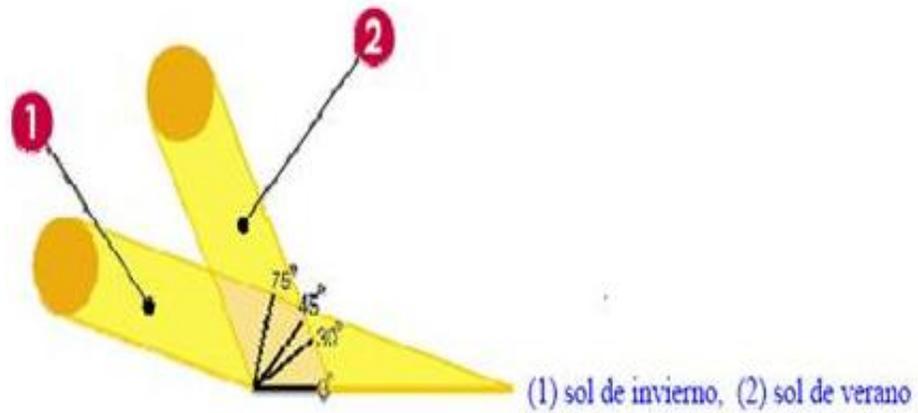


Gráfico 3: Diagrama de un electrolizador:

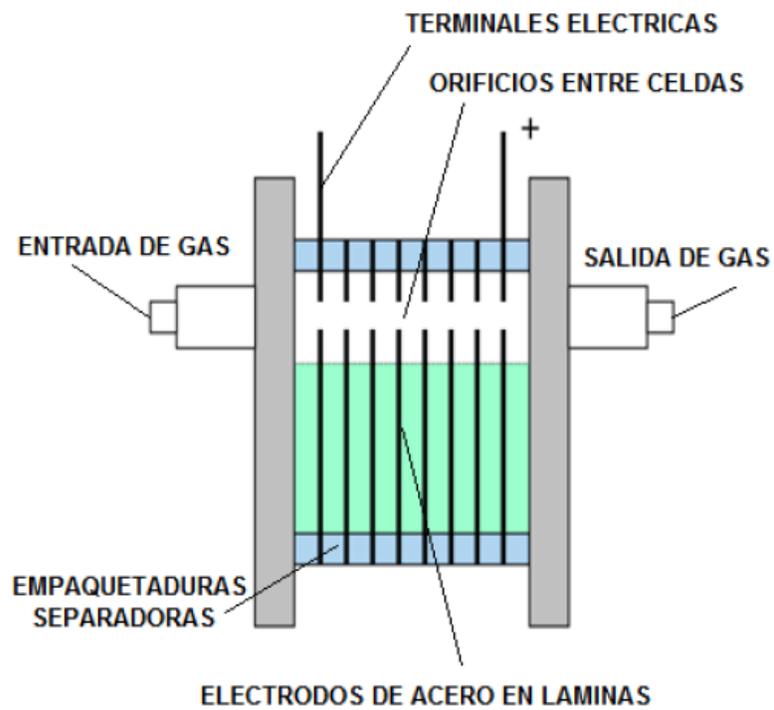
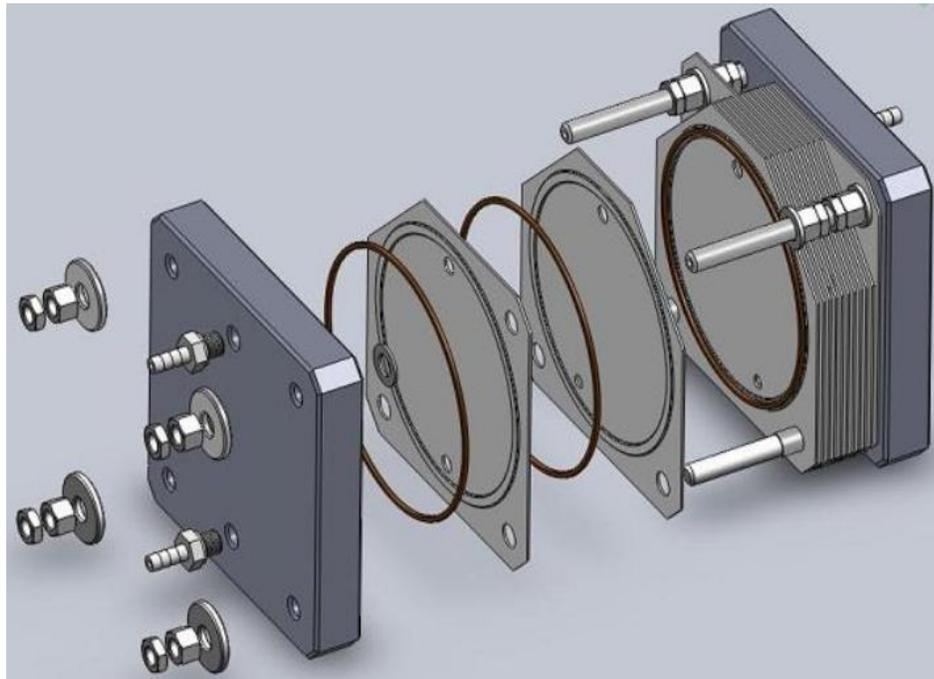
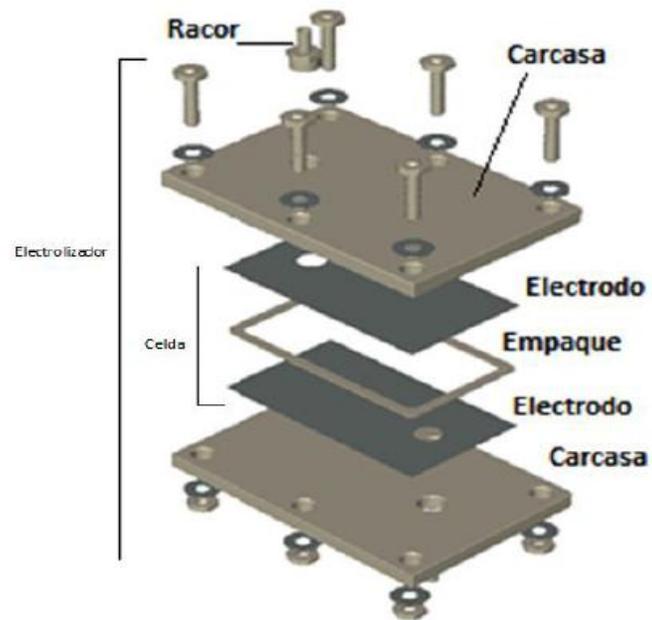


Grafico # 4: Estructura de celda de Hidrógeno:



Fotografía # 1: Celda de Hidrógeno (electrolizador)



Fotografía # 2: Batería 55 AH



TIPO BCI 42 REFORZADA	
Tensión Nominal:	12 V
Capacidad de Arranque en frío (-18°C):	500 A
Capacidad de Reserva (27°C):	90 min
Capacidad de Arranque (CA):	625 A
Capacidad de (Amper-Hora):	55 AH

Fotografía # 3: Hidróxido de Sodio (NaOH)



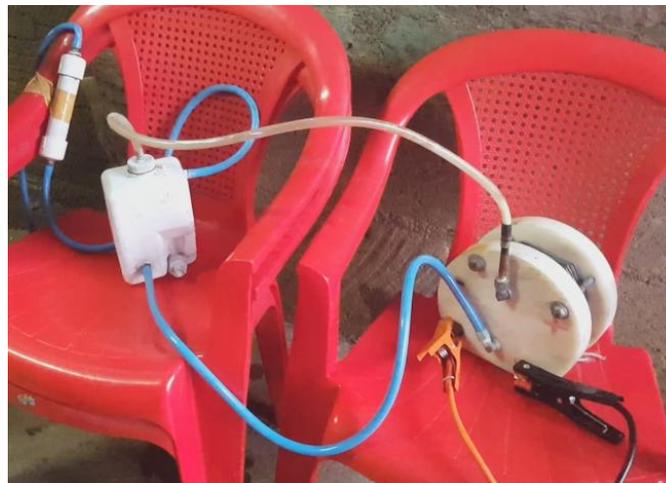
Fotografía # 4: Burbujeador



Fotografía # 5: Panel Solar



Fotografía # 6: Conexiones



Fotografía # 6: Integrantes



Hoja en blanco: