



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

**Diseño de sistema de generación de hidrógeno verde con
energía fotovoltaica, para uso en cocinas de inducción,
Namballe – Cajamarca 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Carhuatocto Collantes, Eliot Andrein (orcid.org/0000-0003-1168-6792)

Carrasco Pezantes, Simeon Rodolfo (orcid.org/0000-0002-2200-8324)

ASESOR:

Ing. Salazar Mendoza, Aníbal Jesús (orcid.org/0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Innovación Tecnológica y Desarrollo Sostenible

CHICLAYO – PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedicado a mi madre, por ser mi fortaleza y mi principal motivadora, mi padre y amigo que me impulsa a ser mejor ejemplo para mi familia, a mi esposa que es parte fundamental en mi vida y mi tesoro que es mi hijita, que son mi motivo de superación, por ellos es que me esfuerzo dando lo mejor de mí en lo que me he propuesto, con la finalidad de concretar mis objetivos trazados, y llegar a ser un buen profesional.

Carhuatocto Collantes, Eliot Andreín

Esta tesis está dedicado a mi madre que me impulsa y motiva siempre a no dejarme vencer por las problemas de la vida, a mi padre, mi gran maestro, el cual me apoya de manera incondicional en muchos aspectos de mi vida; ellos me han enseñado la humildad y la perseverancia y a no rendirme ante un obstáculo y ante nadie. Para ellos dedico este esfuerzo hecho investigación.

Carrasco Pezantes, Simeón Rodolfo

Agradecimiento

Los autores de esta investigación, queremos agradecer este trabajo a Dios, quien guía y fortalece nuestros caminos del bien. Asimismo, agradecer el apoyo constante de nuestras familias. Agradecer a la plana docente de la Universidad Cesar Vallejo, de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica por su formación en esta grandiosa carrera profesional.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen.....	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1. Tipo y diseño de investigación	16
3.2. Variables y operacionalización.....	16
3.3. Población, muestra y muestreo.....	16
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.5. Procedimientos.....	17
3.6. Método de análisis de datos.....	18
3.7. Principios Básicos de Bioética.....	18
IV. RESULTADOS.....	19
V. DISCUSIÓN	49
VI. CONCLUSIONES	54
VII. RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS.....	56
ANEXOS	63

Índice de tablas

Tabla 1. Técnicas e instrumentos del estudio	17
Tabla 2. Caracterización de las cocinas de inducción	19
Tabla 3. Potencias de cocinas de inducción comerciales	23
Tabla 4. Ingreso de datos al software de la Nasa Power	25
Tabla 5. Irradiación solar en Namballe.....	26
Tabla 6. Entalpías de formación y entropía molar estándar	30
Tabla 7. Número de mol de los elementos	30
Tabla 8. Parámetros de diseño del tanque de hidrógeno verde	37
Tabla 9. Propiedades termodinámicas del hidrógeno	39
Tabla 10. Datos técnicos de la electrobomba.....	41
Tabla 11. Datos técnicos del compresor	41
Tabla 12. Datos técnicos del acumulador	43
Tabla 13. Datos técnicos del controlador de tensión	44
Tabla 14. Datos técnicos de la celda de combustible.....	45
Tabla 15. Datos técnicos del electrolizador	46
Tabla 16. Inversión en equipos y materiales	47
Tabla 17. Evaluación financiera	48

Índice de figuras

Figura 1. Partes del equipo fotovoltaico de producción de hidrógeno verde	10
Figura 2. Funcionalidad de un electrolizador.....	11
Figura 3. Funcionalidad de una pila de combustible	11
Figura 4. Eficiencia energética en cocinas	20
Figura 5. Gasto energético en cocinas.....	22
Figura 6. ubicación geográfica de Namballe	24
Figura 7. Irradiación solar en Namballe periodo 2000 - 2021	26
Figura 8. Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos.....	27
Figura 9. Sistema de producción de hidrógeno verde para cocinas de inducción	28
Figura 10. Reactivos y productos en una celda de combustión	29
Figura 11. Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico seleccionado	36
Figura 12. Curva de interrelación entre volumen, factor de construcción y diámetro.	41
Figura 13. Geometría y accesorios de seguridad del tanque de hidrógeno	40

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo de estudio, diseñar un sistema de generación de hidrógeno verde con energía fotovoltaica, para uso en cocinas de inducción, Namballe – Cajamarca. El tipo de investigación es aplicada con diseño no experimental transversal. La muestra consistió en sistemas fotovoltaicos para generar energía eléctrica para cocinas en la ciudad de Namballe. Para el diseño se realizó un análisis comparativo entre distintas cocinas (gas, inducción y vitrocerámica), donde la cocina de inducción tiene los mejores parámetros energéticos, con una eficiencia de 84% y potencia de 11.50 KW. La irradiación solar es de 4.25 KWh/m²/día, donde los paneles fotovoltaicos deben estar inclinados 17.90°. La demanda máxima de hidrógeno verde requerida es 1.8 Kg/día. El tanque de hidrógeno tiene un diámetro y longitud de 73.25 y 84 pulgadas respectivamente. El sistema cuenta con paneles monocristalinos de 605 W, con celdas de combustible de intercambio protónico de 3.83 KW/celda y electrolizador con celdas de 4.5 KW/celda. El análisis económico determinó que el estudio es factible con un beneficio económico de 3090.53 dólares/año, inversión de 6919.00 dólares y retorno de la inversión de 2.2 años. El valor actual neto es de 4503.28 dólares con una tasa interna de rentabilidad de 35%.

Palabras clave: Hidrógeno verde, pilas de combustible, energía fotovoltaica, electrolizador.

Abstract

The objective of this research was to design a green hydrogen generation system with photovoltaic energy, for use in induction cookers, Namballe - Cajamarca. The type of research is applied with a non-experimental cross-sectional design. The sample will consist of photovoltaic systems to generate electricity for kitchens in the city of Namballe. For the design, a comparative analysis was carried out between different kitchens (gas, induction and vitroceramic), where the induction kitchen has the best energy changes, with an efficiency of 84% and a power of 11.50 KW. Solar irradiation is 4.25 KWh/m²/day, where the photovoltaic panels must be inclined at 17.90°. The maximum demand for green hydrogen required is 1.8 Kg/day. The hydrogen tank has a diameter and length of 73.25 and 84 inches respectively. The system has 605 W monocrystalline panels, with 3.83 KW/cell proton exchange fuel cells and an electrolyser with 4.5 KW/cell cells. The economic analysis reduces that the study is feasible with an economic benefit of 3090.53 dollars/year, an investment of 6919.00 dollars and a return on investment of 2.2 years. The net real value is \$4,503.28 with an internal rate of return of 35%.

Keywords: Green hydrogen, fuel cells, photovoltaic energy, electrolyser.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el mundo, las economías de las viviendas se han visto mermadas por factores externos, como por ejemplo la actual pandemia ha golpeado y sigue golpeando al mundo, generando que los precios suban de forma preocupante, en especial los combustibles como el gas doméstico y entre otros servicios que utilizan corriente eléctrica. Por lo expuesto se desarrolla la realidad problemática en tres dimensiones internacional, nacional y local.

A nivel internacional existe una crisis de abastecimientos de combustibles, debido a que mientras transcurre el tiempo, se tiene mayor dependencia a los combustibles derivados del petróleo y gas natural (Simón & Cortés, 2021). Aunque muchos departamentos científicos de hidrocarburos estiman que estos combustibles solo duraran hasta el año 2060 (Medina, 2021). Por lo cual es relevante buscar nuevas formas de generación de combustibles, como el hidrógeno verde a partir de las fuentes renovables (energía solar y energía eólica) (Reyes, 2020). Si bien es cierto la era del petróleo, gas natural y carbón que cubren el 85% planeta del consumo energético en el planeta, llegarán a su final, pues será una obligación dejarlos de utilizarlos para de esta manera proteger el medio atmosférico (Zabaloy, 2020). En cambio, el combustible del futuro como el hidrógeno verde, tiene prácticamente una insignificante evacuación de gases de efectos invernaderos en su proceso de producción (Jiménez, 2019). Pero a pesar que el hidrógeno verde tiene grandes ventajas comparado frente a los actuales combustibles convencionales, pues en el mundo solo representa el 1.25% del gasto energético (Zuriaga, 2019). Una de las gran limitantes en la producción de hidrógeno son sus costos operativos y costos de almacenamiento, precios que se reducirán cuando el hidrógeno verde inicie su expansión por el mundo (Cordonasu, 2021). Asimismo, la energía fotovoltaica que es la fuente fundamental para producir de hidrógeno verde, ha incrementado su utilización durante los últimos 10 años de 2.4 a 3.2% del total de energía mundial (López, 2021). En consecuencia, es más rentable producir hidrógeno verde con las energías renovables en comparación a producir energía eléctrica directamente para el usuario (Ángel & Serrano, 2018). En el mundo los países que han empezado con proyectos en la generación de hidrógeno verde son:

Estados Unidos, Australia, Países Bajos, China, Alemania, Arabia Saudita y Chile como único país de América del Sur (Urquiza, 2021).

En el Perú la producción de hidrógeno verde por fuentes de energía fotovoltaica y eólica, aún no tiene significancia. Pero si la energía fotovoltaica la cual representa el 1.43% del flujo energético total en el país, frente a la energía eólica que representa el 1.1% (Arroyo, 2017). El Perú como un país comprometido con impulsar la descarbonización a través del hidrógeno, ha creado la Asociación Peruana de Hidrógeno (H₂ Perú) para comprometer a las empresas y usuarios a la utilización de este recurso energético que es el más abundante en el planeta y universo, pero que se necesita de un determinado proceso para separarlo del agua (Ortiz, Mendoza, & Camarena , 2020).

La producción de hidrógeno verde puede ser una de las alternativas más viables para reducir los costos GLP doméstico en el Perú, donde el GLP almacenado en balones de 15 a 20 kilos han incrementado sus costos hasta en un 50% por arriba del precio base. Esta problemática afecta a las familias más pobres, ya que ellos son los últimos consumidores en la cadena de producción y en los cuales recae el precio final sobrevalorado. Pero el uso más rentable del hidrógeno verde, estaría acompañado del uso de cocinas de inducción, las cuales tienen una mejor eficiencia energética frente a las cocinas convencionales de gas. Las cocinas convencionales tienen menos perdidas de calor en consecuencia permiten un mayor ahorro de energía eléctrica.

Como solución a los altos costos del GLP doméstico, se plantea la producción de hidrógeno verde para ser utilizado en cocinas de inducción. El hidrógeno verde será producido con energía fotovoltaica, luego será almacenado en tanques, para luego ser utilizado en celdas de combustible y transformarlo en energía eléctrica trifásica y al voltaje requerido por la cocina de inducción. Esta problemática se planteará, tomando como muestra al distrito de Namballe, ubicado en el departamento de Cajamarca, con una superficie terrestre de 693 km² y una población de 11600 habitantes, para evaluar su impacto técnico y económico.

En consecuencia, a la problemática descrita, fue planteada la siguiente **formulación del problema** ¿De qué manera el diseño de un sistema de

generación de hidrógeno verde con energía fotovoltaica, producirá energía eléctrica para el funcionamiento en cocinas de inducción en Namballe – Cajamarca 2022?

La formulación del problema conllevó a plantear la siguiente **hipótesis**: El diseño de sistema de generación de hidrógeno verde con energía fotovoltaica, producirá energía eléctrica eficientemente en cocinas de inducción en Namballe Cajamarca 2022.

Para dar solución a la problemática, se planteó el siguiente **objetivo general**: Diseñar un sistema de generación de hidrógeno verde con energía fotovoltaica, para uso en cocinas de inducción, Namballe – Cajamarca. Y para lograrlo, se planteó en consecuencia los siguientes **objetivos específicos**: (1) Caracterizar las distintas cocinas (gas, inducción y vitrocerámica) para determinar la cocina óptima con la cual trabajará el sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta los distintos parámetros como: eficiencia energética, consumo de energía y energía pérdida al medio atmosférico, (2) Evaluar la irradiación solar promedio más estable en Namballe, e inclinación de los paneles solares recomendado por el software Nasa Power, (3) Calcular la demanda máxima de hidrógeno verde requerido para el funcionamiento de las cocinas de inducción, (4) Dimensionar la red de distribución fotovoltaica y de hidrógeno verde, realizando el dimensionamiento y selección de equipos y accesorios, (5) realizar un análisis de sensibilidad económico.

La investigación se **justificó** desde aspecto teórico, porque aporta una base científica en un estudio que no se abunda en el tema actualmente, como es la producción de hidrógeno verde para ser utilizado en cocinas de inducción. Desde el aspecto metodológico es un estudio de impacto positivo en el sistema energético del país y sobre todo a la población de Namballe, ya que el hidrógeno verde será el combustible del futuro. Y desde el aspecto socioambiental, este tipo de proyectos contribuyen a la reducción drástica del dióxido de carbono y de todos los gases de efectos invernaderos que se producen cuando se utilizan combustibles no renovables.

II. MARCO TEÓRICO

En fundamento científico, se cuentan con los siguientes ***antecedentes o teorías relacionadas al tema***, las cuales son una recopilación y análisis de artículos científicos a nivel internacional, nacional y local.

En el investigador (Puig, 2021) en su trabajo titulado “*Generación de hidrógeno verde para uso industrial en Herogra Fertilizantes*”, realizó un estudio pre-experimental. El autor diseñó un sistema fotovoltaico de paneles monocristalinos de 2500 Wp, para producir hidrógeno verde en un electrolizador de 2 KW (60 celdas), con un electrodo de 45 cm². El tanque con material de hidruro metálico de aluminio de 100 m³, para luego ser usado en pilas de combustible de 500 W (52 celdas) con un área de electrodo de 75 cm². Donde el sistema de pilas de combustible tuvo una eficiencia de 87.14%, siendo superior al sistema de electrolisis con una eficiencia de 56.23%. El proyecto tuvo un retorno operacional de la inversión de 5 años, con una tasa interna de rentabilidad del 75%.

(Calcino, 2021) realizó el estudio “*Producción y almacenamiento hidrógeno verde para aplicaciones energéticas en Chile*”, la metodología utilizada fue pre-experimental, aplicada. El autor analizó la obtención y almacenaje del hidrógeno a partir de fuentes fotovoltaicas. El autor analizó su propuesta con una potencia fotovoltaica de 23 MW, para producir 1984 Kg/día de hidrógeno verde, el cual equivale a 53447 KWh de energía eléctrica anual, equivalente a una potencia eléctrica de 2 MW/día. Donde una planta de hidrógeno con esta capacidad tendría una inversión de 3428277.00 dólares, con un valor actual neto positivo de 4625325.00 dólares. Asimismo, el autor indicó que la mejor manera de almacenar el hidrógeno verde es en su forma líquida, ya que se tendría una inversión de 2799331.00 dólares y un valor actual neto superior de 10286326.00 dólares.

(Carrasco, 2018) en su trabajo realizó un estudio no experimental. El autor propuso el uso de cocinas eléctricas de inducción en reemplazo de las cocinas a gas licuado de petróleo (GLP), debido a que las cocinas de inducción tienen una eficiencia en promedio de 85% en comparación a las de gas que tienen una eficiencia de 47%. Asimismo, el autor indicó que con las cocinas de inducción se tiene un ahorro 23.10 soles/mensuales. También el uso de cocinas de inducción

conduce a un ahorro de energía de 1216 GWh/año y una reducción de la masa de dióxido de carbono de 415858 Ton/año.

Gernot (2021) en su artículo *Cheap solar PV and expensive climate change*. El artículo analiza la supuesta mallaucción del coste de la concepción fotovoltaica para el comunicado Global Energy Outlook de la Agencia Internacional de Energía. Los subsidios gubernamentales a la industria de la energía solar, así como las estrategias para solucionar las inversiones en energía solar, se analizan en un estudio de Jessica Trancic, científica de equipos de energía del MIT, sobre el rol indispensable de la energía solar en la indagación, el crecimiento y el ahorro. En la escala de mejora de la energía fotovoltaica, se concluye que las energías renovables ahora contribuyen elocuentemente a la economía del hogar, tanto para las entidades como para el país.

García (2019) Colombia, en su indagación "*Equipos solares para abastecer una universidad*" Con el siguiente objetivo: Colocar un equipo fotovoltaico para dispositivos móviles. Impacto negativo en el oportunidad ambiente a escala global en la actualidad. Con este objetivo en mente, la estabilización de una malla independiente o independiente, teniendo en cuenta su independencia y facilidad de diseño e implementación, se llevó a cabo mediante el aprovechamiento de una metodología descriptiva no experimental. Conclusión: Los equipos de energía renovable ayudan a minimizar la contaminación ambiental, ya que el aprovechamiento de riquezas naturales no renovables y contaminantes como los combustibles fósiles, aumentan el CO_2 en la atmósfera.

Ziyad y Fionn (2018) *Domensualtic photovoltaic systems: the governance of occupant use*. Su objetivo central es el control efectivo de los equipos fotovoltaicos nacionales (PV) en Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, en el transcurso de la fase de abastecimiento, generalmente no se observa un área en estudios previos sobre eficiencia energética, centrándose principalmente en la aplicación. Y una práctica fotoeléctrica completa de los reclamantes. Sólo después de la ordenación. Las casas agitaron el 29% de las salidas totales de CO_2 en el Reino Unido, pero todavía había una comprensión limitada del gasto de energía más alto de las regulaciones de vivienda, muy popular, lo que llevó a una "distancia" de desempeño. Estudios recientes detectan esta distancia para utilizar tecnologías de ahorro de energía. La idea de

traducción a la malla de actores (ANT) se utiliza para estudiar cómo una malla de actores fotovoltaicos ofrece decisiones sobre el diseño del equipo y su integración en la casa, así como la forma en que esto confirma la participación de las direcciones. De esta malla. Las visitas de video y las entrevistas semiestructuradas se aplican en 4 (cuatro) comunidades participativas y dos estudios en caso de que la Comunidad no haya participación que haya revelado el impacto de los actores no infantiles, la persona implica cómo los expertos en tecnología fotovoltaica desarrollan escenarios y prácticas fotovoltaicas. Esto también muestra, que "ocupantes adquiridos" se denomina intermediarios principales de trabajos participativos, mientras que los desarrolladores familiares son importantes intermediarios de trabajos, no participan.

Cabezas, et al., (2018) México, en su tesis, su objetivo fue proporcionar corriente eléctrica y agua temperada a las áreas que experimentan mucho sol y altas temperaturas (climas continentales y regiones de gran altitud)". Indagación aplicada y experimental. Se ha propuesto un dispositivo (panel) que funciona como células fotovoltaicas y térmicas, creado colocando una capa de agua sobre células fotovoltaicas ("módulos fotovoltaicos" fabricados mediante la modificación de módulos fotovoltaicos comerciales) para proporcionar electricidad y agua temperada en una sola unidad, para el aprovechamiento doméstico en áreas de difícil acceso. Se aplicó el método descriptivo no experimental. Además del agua temperada, se obtiene una mejora significativa al incrementar la eficiencia de las células fotovoltaicas. Combinando los dos efectos se obtiene un mejor beneficio de la energía solar.

Barrera y Castilla (2018) Bogotá, en su indagación "Instalación de equipos fotovoltaicos para una comunidad rural". Su objetivo es estudiar la viabilidad y el diseño de un equipo de producción de energía. Ha demostrado la idoneidad de los equipos fotovoltaicos no obstante intermitentes, lo que no los convierte en un equipo energético más rentable, sino que se apoya en un equipo de almacenamiento. Por medio de otro equipo se dará solución a los dilemas energéticos provocados por apagones, con el método descrito. El equipo fotovoltaico de 12,41 kW con almacenamiento está diseñado para su aprovechamiento en condiciones de tiempo nublado y especialmente de noche.

Salamanca (2017) Colombia, en su estudio, su principal objetivo fue conocer cómo beneficiarse de un recurso renovable como es la energía solar para aprovechamiento doméstico. Metodología: El estudio piloto aplicado, los equipos fotovoltaicos utilizados, así como los equipos fotovoltaicos, proporcionan seguridad para el equipo de módulos solares propuesto. Como resultado, utilizando método descriptivo no experimental, muestra cómo minimizar los niveles de contaminación y así también el gasto de energía realizados por las entidades de servicios públicos y realizar este modo de equipo de aislamiento en la ciudad, tema de gran interés en la actualidad.

Peña, et al., (2017) Colombia, implementaron un diseño de un sistema fotovoltaico para la generar energía eléctrica, para la concepción de energía eléctrica es en gran parte para compensar las carencias de gasto de las industrias. Los procesos de producción a escala global y con crecimiento poblacional contribuyen a un aumento del gasto de energía, generando así un gran gasto de riquezas naturales, como agua dulce, y agotando las reservas de petróleo que utilizo. Método de escritura interactivo. Conclusión: Los módulos solares se instalan en el techo del laboratorio y tratan de evitar obstrucciones en el área, proteger los módulos del viento y lluvias fuertes, y evitar que los árboles frutales caigan sobre las hojas del sol. Buscó recibir la radiación solar completa.

Arencibia (2017), el resultado final de lo investigado cuyo objetivo fue evaluar la importancia de energía eléctrica lograda mediante Panel Solar conducida hacia aprovechamientos domésticos. Metodología: indagación aplicada, experimental. La ESFV (energía solar fotovoltaica) viene a ser una provechosa fuente de Energía Renovable generadora de electricidad utilizando PSFV (Panel Solar Foto Voltaico) convirtiendo radiación solar en energía eléctrica, aplicable a diversas tareas en la vida diaria. Conclusiones: De ser posible el abastecimiento a los pobladores, de PSFV (módulos solares) a bajo precio o mediante crédito bancario, en forma gradual sería factible la concepción de energía a los viviendas a bajo costo, pero demorara en un inicio la amortización de lo invertido.

Teorías relacionadas al tema, se describen las variables de estudio, como es el equipo fotovoltaico y la energía eléctrica. Un equipo fotovoltaico, se define como todos los componentes eléctricos, mecánicos y electrónicos destinados a

capturar y convertir la energía solar en energía eléctrica apta para su aprovechamiento. (REDALYC, 2016).

Un equipo fotovoltaico, es una fuente renovable de electricidad lograda directamente de la radiación solar por medio de un dispositivo semiconductor conocido como celda fotovoltaica, o depositando metales sobre un sustrato llamado celdas solares de lámina delgada. Este modo de energía se utiliza más comúnmente para generar electricidad en serie por medio de mallas de repartimiento, no obstante, también puede abastecer muchas aplicaciones y electrodomésticos independientes y cabañas. La electricidad se encuentra en las montañas o en las viviendas aisladas de la malla. (Aquima, 2019).

Un equipo fotovoltaico para la concepción de energía renovable, que es fundamental para el abastecimiento de energía en una zona geográfica de difícil dirección y sin electricidad comercial, ya que el costo de los equipos fotovoltaicos ha disminuido en los últimos años, y estos equipos se han convertido en equipos más accesibles y son una alternativa a muchos lugares de bajo gasto. (Núñez & Cruz, 2013)

En el equipo fotovoltaico, las mallas son un proceso de ordenación en el que se superponen tres elementos: módulos fotovoltaicos, transformadores y la línea principal de la malla. El generador fotovoltaico se conecta a la malla convencional por medio de un inversor, lo que ahorra la energía generada. (Cornejo, 2013)

Un equipo fotovoltaico al transformar la radiación del sol en energía eléctrica por medio de los módulos, la captura de esta radiación produce energía limpia que malluce elocuentemente las salidas de dióxido de carbono, en qué módulos se instalan y el número de módulos a instalar en este equipo. La energía producida por los equipos fotovoltaicos, se almacena en bancos de baterías. Los equipos acopiados a la malla no requieren baterías porque la energía se almacena en la propia malla (Buele & Chazi, 2019).

El aprovechamiento de las tecnologías fotovoltaicas, se convierte en unas oportunidades importantes para la electrificación de áreas rurales, asentamientos humanos y ciudades remotas en diferentes partes del mundo que no están conectadas a la malla pública o tienen un equipo de abastecimiento de energía deficiente. En el caso particular de Perú, la adopción de equipos

fotovoltaicos u otras tecnologías renovables está sujeta a una expansión bienvenida en el caso de instalaciones en ciudades de dirección remota. (Pérez S. , 2019)

Equipo Fotovoltaico: La potencia eléctrica que genera un equipo fotovoltaico depende del número de horas que el sol incide en los módulos solares, así como de los módulos colocados, orientación, inclinación, radiación solar incidente, calidad de la ordenación, etc., montaje y fuerza nominal. Una célula fotovoltaica es un dispositivo que absorbe la energía del sol. Estos componentes del equipo fotovoltaico pueden crear lo que es la energía eléctrica haciendo querencia de la radiación solar que los ilumina. Las células corresponden a constar de un material semiconductor que funcione tomando fotones del sol. El componente más común es la silicona.

Hidrógeno: El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo y, sin embargo, en la Tierra, raramente se encuentra en estado libre. A diferencia del carbón, el petróleo o el gas, el hidrógeno no es un recurso natural, no se puede obtener de la naturaleza por tareas de minería o extracción como es el caso de los recursos fósiles en general. El hidrógeno es un portador de energía (como la electricidad), es necesario producirlo a partir de otras materias primas (agua, biomasa, recursos fósiles), y para convertir estas materias en hidrógeno hay que seguir unas transformaciones en las que se consume algún tipo de energía primaria (nuclear, renovable o fósil) (Linares & Moratilla, 2022)

Hidrógeno verde: El hidrógeno verde se produce a partir de agua y energías renovables. La obtención es por el proceso de electrólisis a partir de fuentes renovables, lo cual consiste en la descomposición de las moléculas de agua (H_2O) en oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) (Puig, 2021).

Se muestra un sistema fotovoltaico en la figura 1, el cual produce electricidad continua, siendo esta utilizada en un electrolizador para la sustancia del agua en las moléculas de hidrógeno y oxígeno. Luego el hidrógeno verde producido se almacena en tanques, para luego ser empleado en celdas de combustible, que transforman la energía del hidrógeno verde en conjunto con el oxígeno, en electricidad trifásica al voltaje requerido por los artefactos de uso doméstico. Se debe entender que un pila de combustible o también llamada pila de hidrógeno, cumple el mismo funcionamiento que un electrolizador, pero a la inversa.

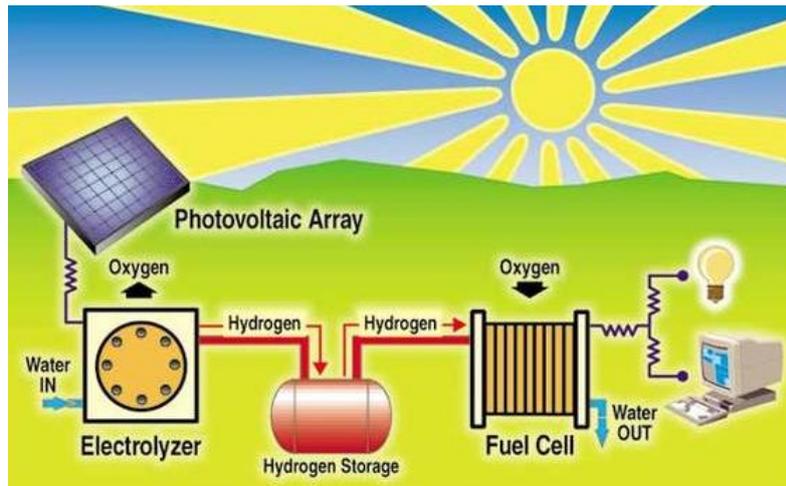


Figura 1. Partes del equipo fotovoltaico de producción de hidrógeno verde

Fuente: (Martinez , 2021)

Generador solar: Consiste en un conjunto de módulos fotovoltaicos comisionados de sugestionar la radiación resplandeciente del sol y convertirla en tensión continua. (Pérez A. , 2021).

Acumulador: Es un conector que acumula energía generada por el transformador. Con el paquete de baterías, logra obtener energía durante varias horas cuando no haya luz o cuando está nublado (Pérez A. , 2021).

Regulador de carga: Evite sobrecargar o sobrecargar el colector, ya que esto cautiliza daños irreparables. Además, asegura que el equipo esté funcionando al máximo rendimiento en todo momento. (Pérez A. , 2021).

Inversor: Convierte la tensión continúa acumulada adentro del colector en tensión alterna (230 V) (Pérez A. , 2021).

Electrolizador: El electrolizador es un aparato que permite producir hidrógeno mediante un proceso químico (electrólisis) capaz de separar las moléculas de hidrógeno y oxígeno de las que se compone el agua usando electricidad (Martín, 2021). En la figura 2, se muestra un electrolizador, que es instrumento donde se realiza el proceso de electrólisis, donde una fuente de voltaje continuo, se colecta a los electrodos ánodo y cátodo para separar la sustancia del agua en las moléculas de hidrógeno y oxígeno. En cátodo se produce el hidrógeno verde y en el ánodo el oxígeno.

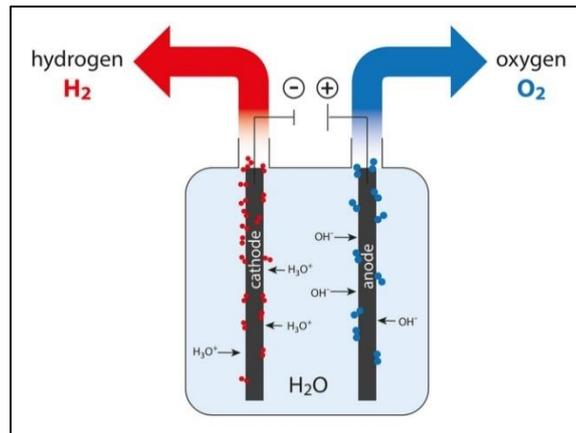


Figura 2. Funcionalidad de un electrolizador.

Fuente: (Ramírez, 2021)

Tanque de combustible de hidrógeno: son tanques especiales y están hechos de materiales compuestos, donde el principal material es el aluminio y polipropileno expandido, debido a las óptimas propiedades mecánicas de este material y a las bajas temperaturas que soporta (Milner, 2021).

Celdas de combustible: Una celda de combustible está compuesta por dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separados por un electrolito que facilita la transferencia iónica. Entre los electrodos se genera una corriente eléctrica que, a diferencia de lo que ocurre en una pila o batería convencional, no se agota con el tiempo funcionamiento, sino que se prolonga mientras con el suministro de los reactivos (Helena, 2021), tal como se muestra en la figura 3.

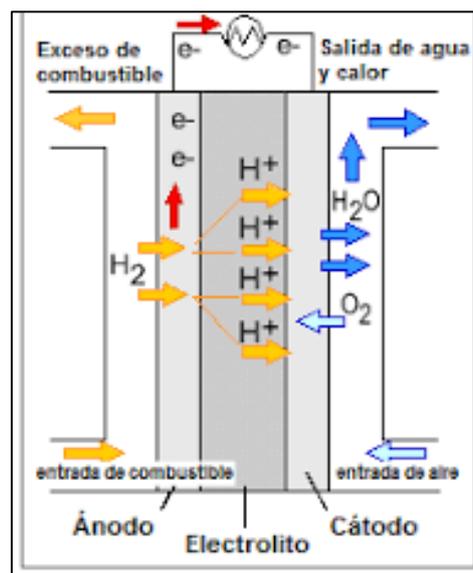


Figura 3. Funcionalidad de una pila de combustible

Fuente: (Rozo, 2017)

Continuando con las teorías, tenemos la segunda variable, la energía eléctrica: entre las diversas formas de potencia, la corriente eléctrica, es decir, la corriente obtenida por una diferencia de potencial entre dos puntos específicos a los que está conectado el transmisor. Esta conexión crea una tensión establecida en la transferencia de cargas negativas (a menudo nombradas electrones) a su sitio de agotamiento.

La electricidad es fundamental en nuestro día a día y está presente en todo: para el aprovechamiento de electrodomésticos, para la calefacción, para el visionado de noche, en procesos industriales. (Desqbre, 2021).

Dimensiones de la energía eléctrica:

Resistencia: La resistencia es parte de la capacidad física básica, específicamente la capacidad para realizar una actividad o intentar durante el mayor tiempo posible. La firmeza es la idoneidad de ejecutar una acción o ejercicio mientras pasa un período de lapso, como correr o andar en bicicleta.

Potencia: La capacidad es la suma de trabajo ejecutado por unidad de tiempo. Alcanza estar concerniente con el modo de cambio de corriente en el régimen o el lapso que lleva perfeccionar una labor.

Tensión: La capacidad, es la suma de trabajo ejecutado por unidad de tiempo. Alcanza estar concerniente con el modo de cambio de corriente en el régimen o el lapso que lleva perfeccionar una labor.

Tensión nominal: Se define como el valor diferencial de la potencia representada en equipos o instalaciones eléctricas. (Desqbre, 2021).

SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED (SFCR)

El origen de los SFCR se remonta a mediados de la década de los 70 en los Estados Unidos, con la elaboración, por parte de la Administración federal, de las primeras recomendaciones relativas al aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en edificio, pronto surgieron los primeros proyectos demostrativos en edificios residenciales y comerciales —el primero del que tenemos noticia, en Arlington, Universidad de Texas, en 1978. El éxito inicial de estos proyectos, unido a un apoyo decidido por parte de la administración, dio lugar a un notable crecimiento de los SFCR.

Europa, por su parte, hubo de esperar hasta finales de la década de los 80 para albergar sus primeros SFCR en Alemania, Austria y Suiza caracterizada inicialmente por proyectos de demostración tecnológica, la situación ha ido evolucionando a lo largo de la década de los 90 en el sentido de incrementar tanto el número de realizaciones como el de países implicados. Algunos datos representativos son:

- Estados Unidos. Es el primer país del mundo en potencia fotovoltaica total instalada, con 74,8 MW a finales de 1996. Existen numerosos programas para el fomento de los SFCR promovidos por las administraciones federales, estatales y las compañías eléctricas. Las medidas adoptadas van desde la subvención parcial de los sistemas fotovoltaicos hasta subvenciones a través de la tarificación, así como incentivos fiscales. Por otra parte, el gobierno federal lanzó, en junio de 1997, la llamada “Iniciativa del millón de tejados solares”, mediante la cual se pretende completar tal cantidad de sistemas fotovoltaicos y solares térmicos en edificios para el año 2010.
- Japón, segundo país en cuanto a potencia fotovoltaica instalada (26 MW a finales de 1996), es hoy el primer país inversor en SFCR. En 1994 el gobierno lanzó el llamado “Programa de los 70.000 tejados”, orientado a la subvención parcial de SFCR en el sector doméstico. En este contexto se instalaron 20 MW en el periodo 1994-1996 y están previstos 37 MW —9.400 tejados— para 1997, 400 MW para el año 2000, y 4.600 MW para el 2010.
- Alemania. El “Programa de los 1.000 tejados fotovoltaicos”, de ámbito federal y estatal, supuso la instalación de 5,3 MW de SFCR en el periodo 1990-1993. En 1996, resultado de la combinación de diversas medidas favorecedoras, la demanda de estos sistemas se incrementó notablemente hasta situarse en 6 MW, manteniéndose la expansión del mercado en la actualidad (se prevé en 1997 un incremento en la potencia instalada de 10 MW). Existen programas en numerosos estados y ciudades (entre ellas las más importantes del país), relativos a la subvención de los sistemas en su fase inicial ó a través de la tarificación, créditos especiales y beneficios fiscales.
- Austria. Entre 1992 y 1995 el gobierno implementó el “Programa 200 kW de tejados fotovoltaicos”, al cual se han sumado además diversos edificios con programas propios de tarificación favorables a los SFCR.

- Suiza. Con una capacidad total instalada de 8,1 MW a finales de 1996, la administración federal la incrementó hasta 50 MW en el año 2008. Entre otras medidas, cabe destacar un “Programa de 1.000 tejados fotovoltaicos”, de carácter privado, que ha supuesto la instalación de 3 MW en viviendas particulares, así como un programa demostrativo de instalación de 1 MW en centros educativos y diversas medidas de tarificación adoptadas por gobiernos regionales
- Holanda. A finales de 1996 existían 215 SFCR, con un total de 598 kW. El gobierno alcanzó, a través del “Plan 250 MW”, esta capacidad instalada en el año 2010 y pretende incrementarla en 1.000 MW para el 2020.
- Australia. La construcción de la villa olímpica para los Juegos Olímpicos de Sydney 2000 Instaló 665 SFCR, con un mínimo de 1 kW por cada uno, en un proyecto promovido por la Administración y la compañía eléctrica local.
- España. En 1996 con 13 MW totales instalados.
- En México, desgraciadamente no existe una explotación adecuada del recurso solar, la mayoría de la energía fotovoltaica instalada es en oficinas gubernamentales, escuelas, y hospitales, la planta solar Aura 1 es el primer proyecto de gran escala que se establece en el país con 39 megawatts de potencia, y con su entrada en operación México se ubica entre los 20 países del mundo con mayor capacidad de energía (es el 19 a nivel mundial y el segundo en Latinoamérica después de Perú).
- Esta situación contrasta, sorprendentemente, con la disponibilidad de excelentes recursos solares. Existen programas de ámbito estatal y regional para la promoción de SFCR En cuanto a las características y tamaño de los sistemas, la evolución sufrida por los SFCR revela una tendencia hacia una mayor integración arquitectónica de los módulos fotovoltaicos a medida que se explota su potencial como elementos constructivos, así como una mayor variedad en cuanto a la potencia de los sistemas en función del tipo de edificio. Así, en la actualidad existen módulos fotovoltaicos que actúan como tejados, parasoles, muros cortina, lucernarios, etc. La potencia unitaria de los SFCR varía entre 1 y 500 kW, y sus lugares de ubicación son viviendas, escuelas, centros comerciales,

industrias, edificios institucionales, etc. Obviamente, el objetivo general que persigue la ingeniería de los SFCR es maximizar la generación de energía eléctrica, en el marco de los condicionantes particulares que suponen las características del sistema (tamaños y eficiencias de sus componentes), del lugar (evolución de la radiación solar y la temperatura ambiente) y de la ubicación concreta (orientación y eventuales sombras sobre la superficie del generador).

- El cálculo preciso de dicha energía es un problema complejo, no sólo por su propia naturaleza la radiación solar y la temperatura ambiente son funciones del tiempo, cuya descripción matemática dista de ser sencilla, sino también por la dificultad inherente a la adquisición de algunos datos necesarios (la información relativa al sombreado, por ejemplo). Abordar “en detalle” este problema supone trabajar en una escala horaria de tiempos (casi 6.000 cálculos por año), utilizar modelos anisotrópicos para describir el comportamiento de la radiación difusa, y proceder a laboriosos levantamientos topográficos para determinar la duración y efecto de las sombras proyectadas por cualquier obstáculo circundante. El esfuerzo que, en su conjunto, esto representa, es difícilmente justificable para todas y cada una de las ya, actualmente, numerosas realizaciones concretas que componen esta aplicación de la tecnología fotovoltaica. En su lugar, ha ido tomando carta de costumbre el recurso a estimaciones groseras como, por ejemplo, la mera multiplicación de un valor de irradiación por otro de potencia pico, los cuales, por un lado, suelen conducir a estimaciones muy alejadas del comportamiento real de los sistemas y, por otro, no permiten evaluar el impacto de las características peculiares de cada uno de los elementos del sistema. En definitiva, tales estimaciones no permiten realizar ejercicio alguno de optimización y, en consecuencia, no tienen cabida en el marco de una práctica razonable de la ingeniería.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo **aplicada**, la cual tiene como fundamento resolver una problemática en específico de un fenómeno, dado bajo ciertos parámetros, donde se utilizan las leyes y las teorías exactas de la ciencias numéricas (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Por lo consiguiente la investigación es de tipo aplicada porque se pretende diseñar un sistema autónomo fotovoltaico, haciendo uso de las ciencias de la termodinámica, transferencia de calor y electricidad, para la generación de electricidad en cocinas de inducción.

Asimismo, el diseño de investigación es **No-Experimental** transversal (M→O1, O2), el cual no manipula deliberadamente las variables de estudio, se establece como la base inicial del conocimiento o comportamiento de un fenómeno en un periodo de tiempo, bajo la característica de un sustento científico (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Por lo consiguiente la investigación es de diseño no experimental transversal, ya que busca la relación que implicaría el diseño de un sistema fotovoltaico (variable independiente) en la generación de energía eléctrica para cocinas (variable dependiente), donde el análisis de datos se efectuara en un periodo de tiempo, siendo este el año 2021 en la ciudad de Namballe.

3.2. Variables y operacionalización.

Variables

Variable Independiente:

- Sistema de generación de hidrógeno verde con energía fotovoltaica

Variable Dependiente:

- Energía eléctrica

3.3. Población, muestra y muestreo.

Población:

Sistemas fotovoltaicos en la región de Cajamarca.

Muestra:

Sistemas fotovoltaicos para generar energía eléctrica para cocinas en la ciudad de Namballe/Departamento de Cajamarca.

Muestreo:

La investigación tiene un muestreo no probabilístico, es decir tiene la característica de un muestreo por conveniencia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Tabla 1. Técnicas e instrumentos del estudio

Técnica	Instrumento de recolección de datos
Análisis documentario	Fichas de registro de irradiación solar
	Fichas de registro de consumo de energía

Fuente: Elaboración propia

3.5. Procedimientos.

La investigación para lograr su objetivo, contó con el siguiente procedimiento:

- Se recolecto mediante las fichas de registro la irradiación solar mínima, promedia y máxima en la ciudad de Namballe, haciendo uso del mapa solar del Perú y desde el aplicativo Solar CCEEA (Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas) de la Nasa, que entrega el valor de la irradiación solar según la longitud y latitud del lugar donde se implementará el proyecto de generación de energía eléctrica para las cocinas eléctricas, en este caso el distrito de Namballe.
- Se recolecto información en fichas de registro el consumo o gasto energético en cocinas de la ciudad de Namballe, se recolectarán datos como potencia eléctrica, tiempo de operación y consumo eléctrico. Adicionalmente a los parámetros eléctricos: amperaje y voltaje.
- Con la información recolectada de los instrumentos, se determinó el gasto de energía eléctrica anual, para compararlo con la cantidad de energía eléctrica que se puede obtener de la energía solar, y de esta manera establecer la cantidad de paneles o módulos solares que se deben implementar.

- Luego, se identificaron los requerimientos de la energía eléctrica para el uso en cocinas en el distrito de Namballe, estos requerimientos serán: cantidad de módulos, acumuladores, controladores e inversores. Es decir, estos requerimientos irán consecuentemente según el tipo de energía eléctrica, amperaje y voltajes, que requieran las cocinas para su correcto funcionamiento.
- Finalmente se diseñó el sistema fotovoltaico óptimo para la utilización en cocinas en el distrito de Namballe. Mediante una simulación de los resultados de este diseño, lo cual también incluye un análisis de costos, basado en la inversión para la implementación de esta tecnología y beneficio útil.

3.6. Método de análisis de datos.

El método del análisis de la recolección de datos, se efectuó mediante la utilización del programa Excel, en el cual se tabularon tablas de frecuencia absoluta los datos como: la irradiación solar, potencia eléctrica y consumo de energía eléctrica. Con el ordenamiento de la información en tablas Excel, se obtuvo un mejor análisis, para el desarrollo de los objetivos específicos. Asimismo, en el mismo programa se elaboraron gráficos de barras comparativos de consumos de energía eléctrica con un sistema de generación fotovoltaica y con un sistema convencional de energía eléctrica. También se utilizó este mismo software para la simulación de los resultados del diseño óptimo, donde mediante el ingreso de la irradiación solar, se estimen todos los parámetros eléctricos a los cuales operaría este sistema (consumo eléctrico, potencia, amperaje y voltaje), incluyendo toda su instrumentación (módulos, controladores, inversores y conductores).

3.7. Principios Básicos de Bioética.

El autor de la presente investigación se compromete a respetar la propiedad intelectual académica, y no incurrir en la falsedad de recolección de datos, ni en el plagio académico. Asimismo, el autor se compromete a realizar una manipulación veraz de la recolección de la información. Finalmente, el autor se hace responsable por el incumplimiento de los puntos descritos y por otros que vayan en contra de los principios éticos de la investigación universitaria.

IV. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS COCINAS DE INDUCCIÓN EN EL MERCADO NACIONAL

En este objetivo específico, justificaremos el uso de las cocinas de inducción, frente a las cocinas de vitrocerámica y gas, desde el punto de vista de la ingeniería. Es importante seleccionar un tipo de cocina que tenga menos gasto energético (energía eléctrica y gas según corresponda), porque se trabajará con un sistema fotovoltaico, donde el gasto energético es directamente proporcional a la potencia fotovoltaica que a su vez está en relación a la cantidad de paneles fotovoltaicos.

Tabla 2. Caracterización de las cocinas de inducción

COCINAS DE INDUCCIÓN	COCINAS DE VITROCERÁMICA	COCINAS DE GAS
		
<p>Concepto: Este tipo de cocinas tiene una placa en la cual se origina la transferencia de calor mediante un campo magnético.</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Genera calor instantáneo en contacto con el recipiente. • Rapidez de transferencia de calor, lo cual es proporcional al ahorro de energía eléctrica. • Alta eficiencia energética. • No existen residuos de energía después del proceso de calentamiento. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Su precio fabricación es 25% más caro que una cocina de vitrocerámica y 40% más caro que una cocina a gas. 	<p>Concepto: Este tipo de cocinas tiene una placa la cual se calienta mediante resistencias eléctricas.</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Su precio de fabricación es 25% en promedio más barato que las cocinas de inducción. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mientras las resistencias no alcanzan la temperatura correcta, no se da inicio al proceso de calentamiento del recipiente. • Se gasta energía eléctrica extra para que las resistencias alcancen la temperatura correcta. • Baja eficiencia frente a las de inducción. • Existe calor residual. 	<p>Concepto: Este tipo de cocina tiene un quemador donde se produce la mezcla de aire y gas. Donde el flujo de calor se regula, mediante una llave.</p> <p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se genera calor instantáneo. • Su precio de fabricación es económico que las cocinas de inducción y de vitrocerámica. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exceso de combustible (gas) transferido por convección al medio atmosférico. • Baja eficiencia energética, en comparación a las cocinas de inducción y vitrocerámicas.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora es relevante, determinar el consumo de energía eléctrica equivalente que consumiría cada cocina:

a) Eficiencia energética en cocinas:

Artículos científicos del departamento de energía de los Estados Unidos, concluyeron que las cocinas a gas (GLP) tienen una eficiencia energética del **40%**. Mientras que las cocinas eléctricas de vitrocerámica poseen un **74%** y las cocinas de inducción con un **84%** (Tama, 2020).

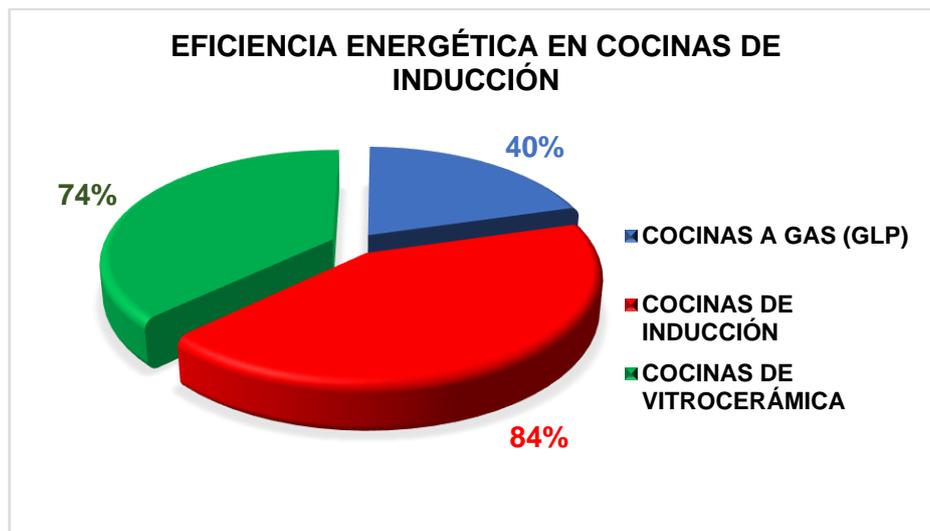


Figura 4. Eficiencia energética en cocinas

Fuente: Elaboración propia.

Nota: cabe mencionar que las cocinas a gas natural, tienen en promedio igual eficiencia energética en comparación a las cocinas de gas licuado de petróleo.

b) Consumo energético

Cocinas a gas (GLP):

De datos de Osinergmin, se especifica que un tanque de GLP de 15 kilogramos en promedio es equivalente a 194 KWh/mes (Garay, 2021). La energía desperdiciada a la atmósfera sería:

$$E_{\text{desperdiciada}}_{\text{gas}} = (1 - \eta_{\text{gas}}) * C_{\text{energía}}_{\text{gas}}$$

Dónde:

$E_{\text{desperdiciada}}_{\text{gas}}$: Energía que se desperdicia con el uso de cocinas a gas (KWh/mes)

η_{gas} : Rendimiento promedio de cocinas a gas, $\eta_{\text{gas}} = 40\%$

$C_{\text{energía gas}}$: Consumo promedio de energía en cocinas a gas, $C_{\text{energía gas}} = 194 \frac{\text{KWh}}{\text{mes}}$

Tenemos:

$$E_{\text{desperdiciada gas}} = (1 - 0.40) * 194 \text{ KWh/mes}$$

$$E_{\text{desperdiciada gas}} = 116.40 \text{ KWh/mes}$$

Cocinas a vitrocerámica:

De datos de Osinergmin, se especifica que una cocina de vitrocerámica tiene un consumo en promedio mensual de 110 KWh (Garay, 2021). La energía desperdiciada a la atmósfera sería:

$$E_{\text{desperdiciada vitrocerámica}} = (1 - \eta_{\text{vitrocerámica}}) * C_{\text{energía vitrocerámica}}$$

Dónde:

$E_{\text{desperdiciada vitrocerámica}}$: Energía que se desperdicia en cocinas a vitrocerámica, (KWh/mes)

$\eta_{\text{vitrocerámica}}$: Rendimiento de cocinas a vitrocerámica, $\eta_{\text{vitrocerámica}} = 74\%$

$C_{\text{energía vitroc.}}$: Consumo de energía en cocinas a vitrocerámica, $C_{\text{energía vitroc.}} = 110 \frac{\text{KWh}}{\text{mes}}$

Tenemos:

$$E_{\text{desperdiciada vitrocerámica}} = (1 - 0.74) * 110 \text{ KWh/mes}$$

$$E_{\text{desperdiciada vitrocerámica}} = 28.60 \text{ KWh/mes}$$

Cocinas a inducción:

De datos de Osinergmin, se especifica que una cocina de inducción tiene un consumo en promedio mensual igual al de una cocina de vitrocerámica 110 KWh (Garay, 2021). La energía desperdiciada a la atmósfera sería:

$$E_{\text{desperdiciada inducción}} = (1 - \eta_{\text{inducción}}) * C_{\text{energía inducción}}$$

Dónde:

$E_{\text{desperdiciada inducción}}$: Energía que se desperdicia en cocinas a inducción, (KWh/mes)

$\eta_{\text{inducción}}$: Rendimiento de cocinas a inducción, $\eta_{\text{inducción}} = 84\%$

$C_{\text{energía inducción}}$: Consumo de energía en cocinas a inducción, $C_{\text{energía inducción}} = 110 \frac{\text{KWh}}{\text{mes}}$

Tenemos:

$$E_{\text{desperdiciada inducción}} = (1 - 0.84) * 110 \text{ KWh/mes}$$

$$E_{\text{desperdiciada inducción}} = 17.60 \text{ KWh/mes}$$

Los resultados, respecto gasto energético se muestran en la figura 5. Donde se determinó que la cocina de inducción tiene una mejor eficiencia energética, desperdiciando en promedio un 15% (17.6/116.4) de la energía al medio atmosférico en comparación a las cocinas a gas. En consecuencia, la mejor cocina para trabajar con un sistema fotovoltaico es la **cocina de inducción**.

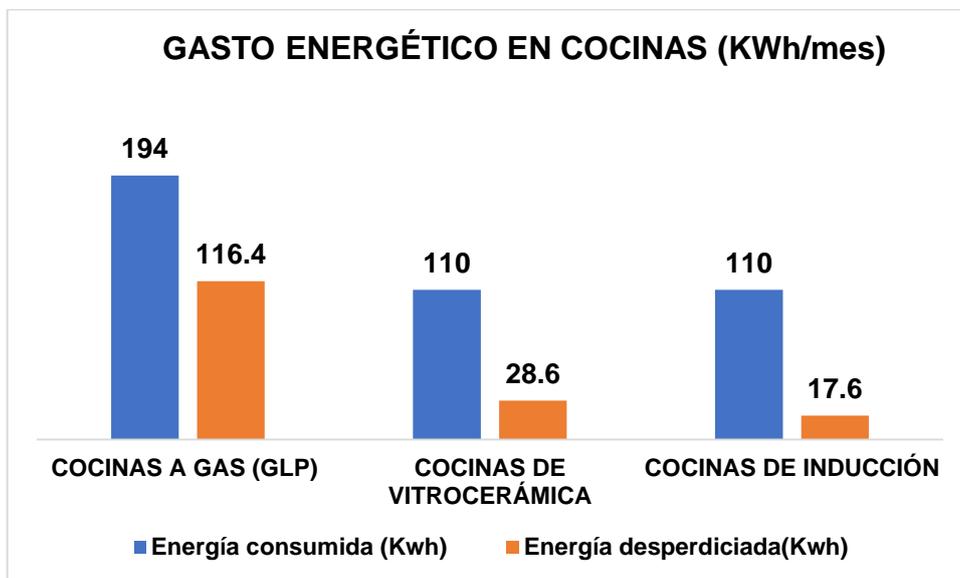


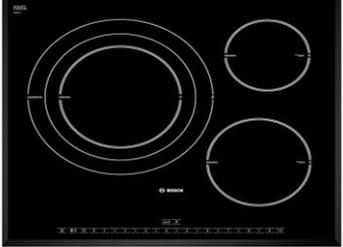
Figura 5. Gasto energético en cocinas

Fuente: Elaboración propia.

c) Potencias nominales en cocinas de inducción

En el mercado nacional (Perú) existen cocinas de inducción de 1 a 4 zonas de cocción, y la potencia varía dependiendo de la cantidad de zonas de cocción. Tal como se muestra tabla 3, la potencia aumenta dependiendo de la cantidad de zonas de cocción. En esta investigación se trabajó con cocinas de inducción de 4 zonas de cocción con una potencia nominal de 11.50 KW, con el fin de abarcar a toda la población de cocinas de inducción, ya que dicha cocina de 4 zonas de cocción es la más utilizada en el sector domiciliario.

Tabla 3. Potencias de cocinas de inducción comerciales

Zonas de cocción	Datos técnicos
1 zona	 <p>• Potencia: 1800 W (1.8 KW) • Tensión: 220 V • Corriente: 8.1 A • Calibre del conductor: 2 mm² (AWG 14)</p>
2 zonas	 <p>• Potencia: 4300 W (4.3 KW) • Tensión: 220 V • Corriente: 19.5 A • Calibre del conductor: 3 mm² (AWG 12)</p>
3 zonas	 <p>• Potencia: 7200 W (7.2 KW) • Tensión: 220 V • Corriente: 33 A • Calibre del conductor: 5 mm² (AWG 10)</p>
4 zonas	 <p>• Potencia: 11500 W (11.5 KW), incluye potencia del horno. • Tensión: 220 V • Corriente: 52.3 A • Calibre del conductor: 5 mm² (AWG 10)</p>

Fuente: Elaboración propia.

4.2. IRRADIACIÓN SOLAR EN NAMBALLE – CAJAMARCA

El parámetro más importante a evaluar en un sistema autónomo fotovoltaico es la irradiación solar, y determinar el valor más estable en el tiempo, para evitar deficiencias en el suministro eléctrico a las cocinas de inducción.

El distrito de Namballe, perteneciente al departamento de Cajamarca, cuenta una población de 11600 habitantes y una superficie terrestre de 693 km² (MDN, 2022)

Coordenadas geográficas

- Latitud: -5.00417
- Longitud: -79.0878
- Latitud: 5° 0' 15" Sur
- Longitud: 79° 5' 16" Oes



Figura 6: Ubicación geográfica de Namballe
Fuente: Google Maps, 2022

Las coordenadas de latitud y longitud, nos permiten tener con exactitud la irradiación solar. De la página Nasa Power ingresamos estas coordenadas y se obtienen los datos que se muestran en la tabla 4.

Los datos ingresados en la tabla 4, contemplo la evaluación de la irradiación durante los últimos 21 años (2000-2021) para analizar las variaciones de la irradiación solar en Namballe. Asimismo, para tener un mayor precisión se seleccionó una irradiación hacia debajo de onda corta para paneles fotovoltaicos planos inclinados.

Tabla 4. Ingreso de datos al software de la Nasa Power

The screenshot shows the 'POTENCIA Punto único' interface with the following steps and values:

- 1. Elija una comunidad de usuarios:** Energía renovable
- 2. Elija un Promedio Temporal:** Mensual y Anual
- 3. Ingrese Lat/Lon o agregue un punto al mapa:** Lat: -5.00417, Lon: -79.0878
- 4. Seleccione Fecha de inicio de extensión de tiempo:** 2000 (AAAA), Fecha final: 2021 (AAAA)
- 5. Seleccione el formato de archivo de salida:** CSV
- 6. Seleccione Parámetros (Límite de 20 parámetros):** El período temporal de Climatología tiene la mayor cantidad de parámetros. Haga doble clic en las carpetas para expandir y mostrar los parámetros disponibles.

Parámetros de búsqueda:

- Flujos solares y relacionados
 - Irradiación hacia abajo de onda corta en toda la superficie del cielo
- Parámetros para paneles fotovoltaicos inclinados
 - Irradiación hacia abajo de onda corta en toda la superficie del cielo

Fuente: (NASA, 2022)

En la tabla 5 y figura 7, se muestran los datos de irradiación solar en Namballe, durante los 21 últimos años, ha registrado una irradiación mínima promedio de 4.25 KWh/m²/día y una irradiación máxima promedio de 4.89 KWh/m²/día. Por lo consiguiente para tener un diseño confiable se tomará la irradiación más baja con el valor de 4.25 KWh/m²/día.

$$\varphi = 4.25 \text{ KWh/m}^2/\text{día}$$

Tabla 5. Irradiación solar en Namballe

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual
 Dates (month/day/year): 01/01/2000 through 12/31/2021
 Location: Latitude -5.0042 Longitude -79.0878
 Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 2037.88 meters
 The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999
 Parameter(s):
 ALLSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kW-hr/m²/day)
 -END HEADER-

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2000	5.30	4.53	4.55	4.43	4.42	4.02	4.58	4.85	5.15	5.93	6.20	4.74	4.89
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2001	3.90	3.79	4.01	3.85	4.00	3.79	4.22	4.71	5.05	5.58	4.94	4.72	4.38
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2002	4.75	3.68	3.99	3.93	4.18	4.50	4.25	4.90	5.51	4.76	4.62	4.24	4.45
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2003	3.81	3.55	4.03	4.29	4.10	4.31	4.62	5.04	5.28	5.36	5.31	4.50	4.52
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2004	5.11	3.74	3.86	4.61	4.77	4.29	4.24	5.41	4.96	4.99	5.49	4.97	4.71
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2005	4.91	3.57	3.85	4.14	4.77	4.54	5.22	4.92	4.98	5.31	5.89	4.80	4.75
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2006	4.54	3.54	3.98	4.69	4.70	4.39	4.46	4.74	5.18	5.68	5.23	4.53	4.64
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2007	3.51	4.30	3.80	4.22	4.46	4.10	4.84	4.52	4.82	5.20	4.72	5.12	4.47
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2008	3.56	3.71	4.26	4.38	4.12	3.77	3.57	4.08	4.90	4.94	5.21	5.34	4.32
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2009	3.64	3.60	3.98	4.22	4.45	4.01	4.24	4.78	5.17	5.49	5.28	4.26	4.43
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2010	3.41	3.54	3.73	4.11	4.39	4.11	4.91	4.79	4.65	5.77	5.86	4.64	4.50
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2011	4.36	4.36	5.09	4.28	4.45	4.04	4.14	4.95	4.75	5.46	5.51	4.32	4.64
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2012	3.64	4.05	4.22	4.58	3.94	4.01	4.31	4.74	5.16	4.87	5.07	4.94	4.46
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2013	3.52	4.15	3.98	4.72	4.06	4.27	4.66	4.97	5.49	5.00	6.07	4.93	4.65
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2014	3.79	3.36	3.94	4.37	3.83	3.97	4.82	4.55	5.37	5.08	5.39	4.86	4.45
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2015	4.10	3.98	3.77	3.89	3.63	3.64	4.07	4.93	5.17	4.76	4.66	4.33	4.25
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2016	4.13	3.39	3.89	4.33	4.61	4.35	4.38	5.24	5.31	5.75	6.03	4.60	4.67
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2017	3.99	4.54	4.21	3.93	3.68	4.11	4.39	4.74	4.68	5.21	5.59	4.64	4.47
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2018	4.53	3.80	3.89	4.54	4.07	4.58	4.45	5.13	5.53	5.36	5.06	4.36	4.61
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2019	4.09	3.60	3.93	4.43	4.18	4.31	4.64	4.99	5.32	4.84	4.91	4.28	4.46
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2020	4.76	4.11	4.35	4.37	4.30	4.65	4.49	5.31	5.06	5.42	5.52	4.31	4.72
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2021	4.00	4.54	4.17	4.43	4.26	3.83	4.51	4.60	5.13	5.15	5.18	4.73	4.54

Fuente: (NASA, 2022)

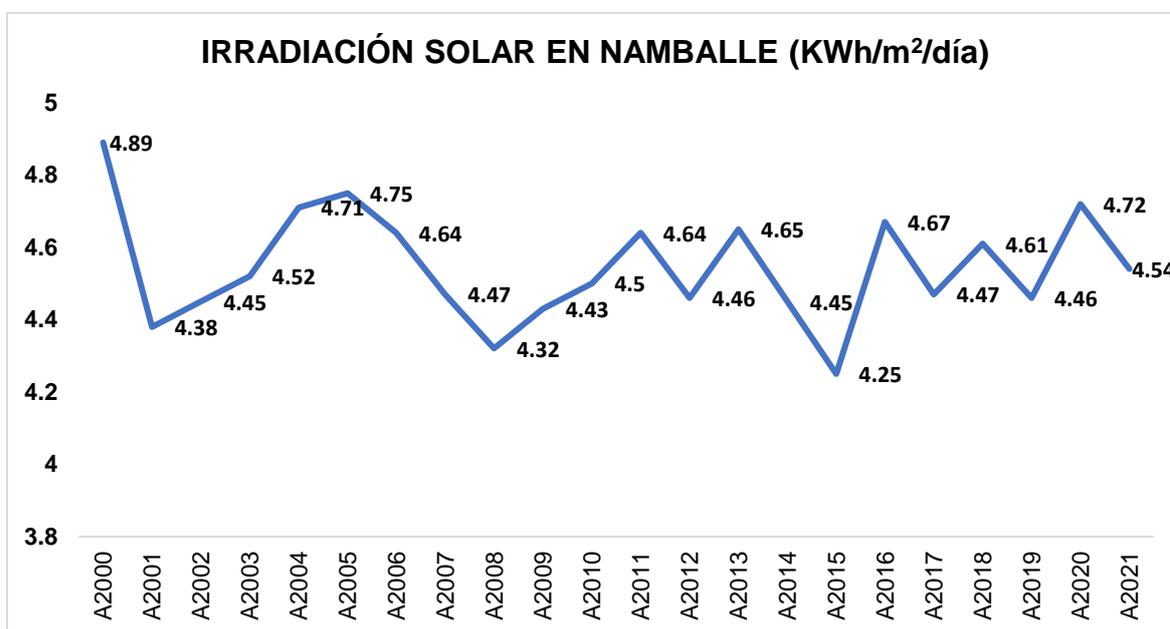


Figura 7. Irradiación solar en Namballe periodo 2000 - 2021

Fuente: (NASA, 2022)

Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos:

Una vez determinada la irradiación solar, se procede a determinar el ángulo al cual estarán inclinados los paneles fotovoltaicos. En la tabla 5, se muestra que la elevación de la MERRA es: $C=0.5*0.625=0.3125$ radianes con orientación al ecuador. Por lo consiguiente el ángulo de inclinación de los paneles es:

$$\beta = \frac{180^\circ}{\pi} * C$$

$$\beta = \frac{180^\circ}{\pi} * 0.3125 = 17.90^\circ$$

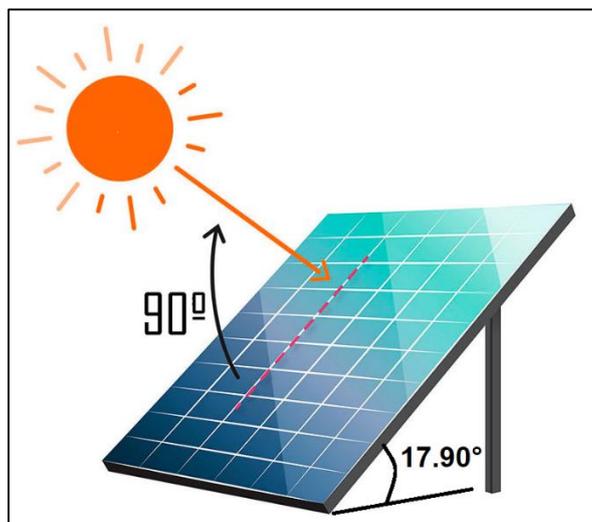


Figura 8. Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8, se muestra la ubicación del ángulo de inclinación que deben adaptar los paneles fotovoltaicos, siendo este de 17.90° en dirección al ecuador. Con este ángulo de inclinación los rayos de irradiación solar incidirán sobre la superficie transversal del panel con un ángulo de 90° (perpendicular), en el cual se logra la máxima captación de la energía solar.

4.3. DEMANDA MÁXIMA DE HIDRÓGENO VERDE REQUERIDO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LAS COCINAS DE INDUCCIÓN

Para poder determinar la demanda máxima de hidrógeno es relevante conocer como funcionaria el proceso para su producción. En la figura 9, los paneles fotovoltaicos al absorber parte de la irradiación solar, está la transforman en energía eléctrica continua, el cual es regulado (controlador) a un voltaje estable para la batería (acumulador), para luego, separar la sustancia del agua en las moléculas de hidrógeno y oxígeno en un electrolizador. El hidrógeno obtenido se almacena en un tanque, para luego ser utilizado en una celda de combustible (proceso inverso de la electrólisis) y obtener energía eléctrica y voltaje en fase trifásica, requerida para la cocina de inducción y equipos intervinientes en el proceso.

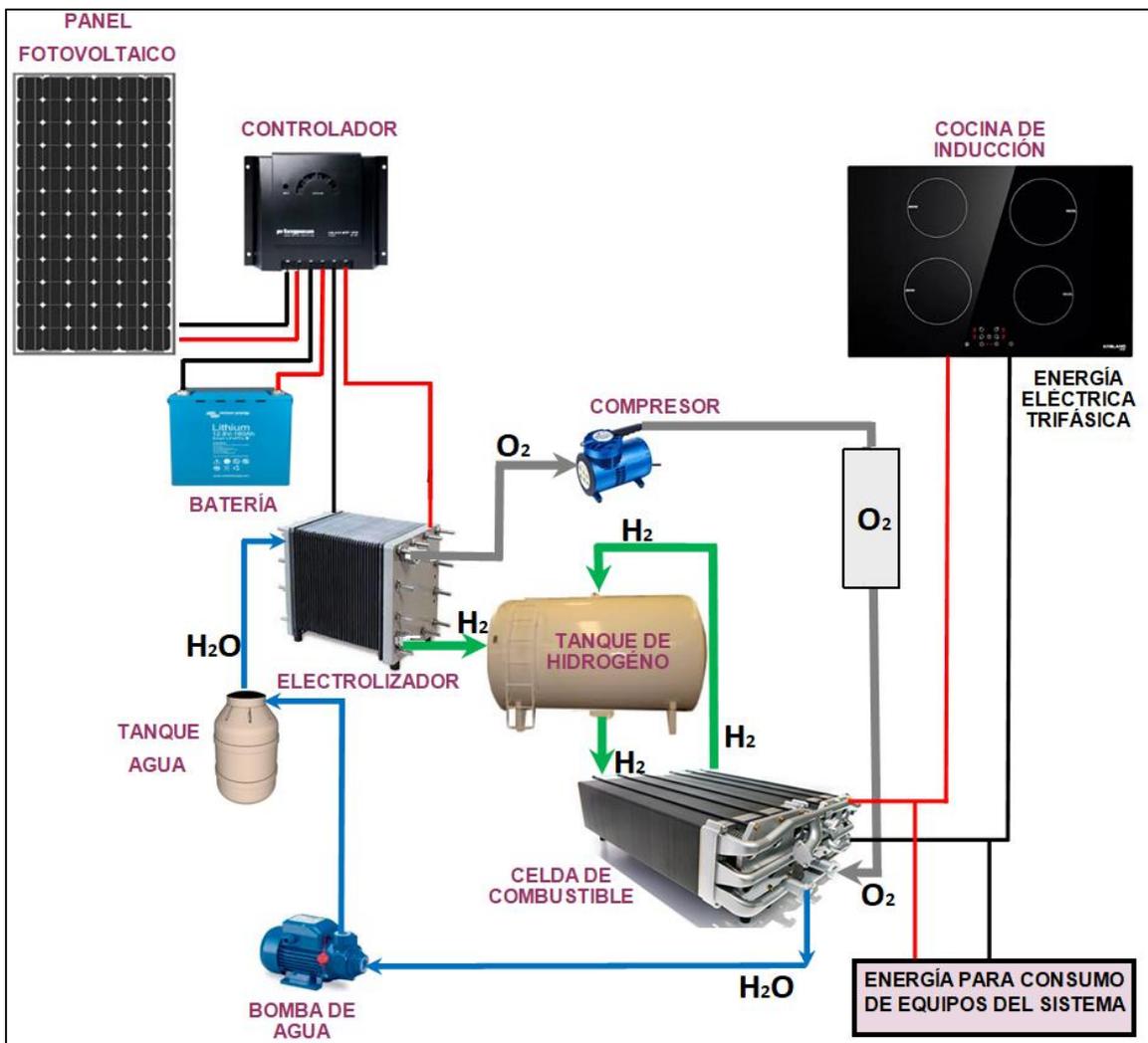


Figura 9. Sistema de producción de hidrógeno verde para cocinas de inducción

Fuente: Elaboración propia.

BALANCE ELECTROQUÍMICO EN CELDA DE COMBUSTIBLE

En la figura 10, se muestra el esquema de la celda de combustible, donde los reactivos: hidrógeno verde y oxígeno, al entrar entre contacto entre átomos se rompen y dan origen nuevos enlaces, obteniendo los productos como el agua y flujo eléctrico.

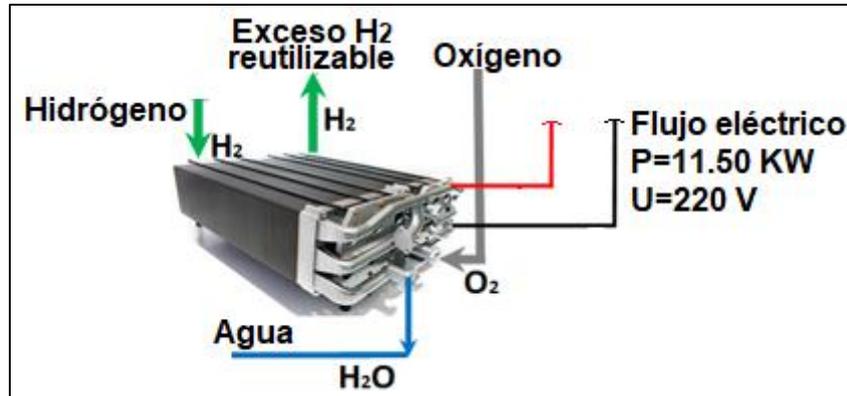


Figura 10. Reactivos y productos en una celda de combustión

Fuente: Elaboración propia.

a) Energía Eléctrica:

La potencia eléctrica máxima requerida por una cocina de inducción de 4 zonas de cocción es 11.50 KW, la cual es utilizada en un tiempo máximo de 3 horas/día (1 hora en promedio por cada comida). Por lo cual la energía eléctrica máxima requerida en un día, sería:

$$E_{\text{máx}} = P * t$$
$$E_{\text{máx}} = 11.50 \text{ KW} * \frac{3 \text{ horas}}{1 \text{ día}}$$
$$E_{\text{máx}} = 34.50 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} = 124200 \frac{\text{KJ}}{\text{día}}$$

Por lo consiguiente, se necesita una energía eléctrica en servicio máxima por día de 124200 KJ/día para que una cocina de inducción de 4 zonas de cocción pueda trabajar eficientemente.

b) Entalpías de formación y entropía molar estándar:

La entalpia de formación es la variación de entalpia máxima (\bar{h}_f) que se puede lograr en una reacción, donde actúan los reactantes y productos. Mientras que

la entropía molar estándar (\bar{S}°), es la entropía de todos los reactantes y productos a una temperatura de 25°C (298°K) y presión atmosférica de 1bar. Los valores de entalpia de formación y entropía molar estándar, son extraídas de tablas termodinámicas, como se muestra en tabla 6.

Tabla 6. *Entalpias de formación y entropía molar estándar*

Sustancia	Fórmula	\bar{h}_f° kJ/kmol	\bar{S}° kJ/kmolK
Agua	H ₂ O(l)	-285,830	69.92
Oxígeno	O ₂ (g)	0	205.04
Hidrógeno	H ₂ (g)	0	130.68

Fuente: (Incropera, 2010)

c) Ecuación de balance electroquímico

La ecuación contempla el ingreso de los reactivos en estado gaseoso, tanto del hidrógeno verde y oxígeno, y como productos el agua en fase liquida y el flujo eléctrico. Tal como se expresa en forma general en la siguiente ecuación.



También es necesario recalcar, que la sustancia del agua, se separa en las moléculas de hidrógeno y oxígeno. Como se muestra en la siguiente ecuación:

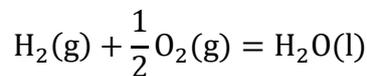


Tabla 7. *Número de mol de los elementos*

	Elemento		
	H ₂ O	H ₂	O ₂
Número de Kmol "n"	1	1	1/2

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la **ecuación electroquímica** que rige, el funcionamiento de una celda de combustible es:

$$\Delta G = \Delta S * T - \Delta H$$

Donde: ΔG : es la energía eléctrica generada por una sola celda de combustible (KJ), ΔS es la entropía del sistema (KJ), ΔH es la entalpia del sistema (KJ) y T es la temperatura absoluta con un valor estándar de 298°K.

Procedemos a calcular la entalpía de formación:

$$\Delta H = \left(\sum n * \bar{h}_f^\circ \right)_{\text{Productos}} - \left(\sum n * \bar{h}_f^\circ \right)_{\text{Reactivos}}$$

$$\Delta H = n_{\text{H}_2\text{O}} * (\bar{h}_f^\circ)_{\text{H}_2\text{O}} - n_{\text{H}_2} * (\bar{h}_f^\circ)_{\text{H}_2} - n_{\text{O}_2} * (\bar{h}_f^\circ)_{\text{O}_2}$$

$$\Delta H = 1\text{Kmol} * -285.83 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}} - 1\text{kmol} * 0 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}} - 0.5\text{kmol} * 0 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}}$$

$$\Delta H = -285.83 \text{ KJ}$$

Procedemos a calcular la entropía:

$$\Delta S = \left(\sum n * \bar{S}^\circ \right)_{\text{Productos}} - \left(\sum n * \bar{S}^\circ \right)_{\text{Reactivos}}$$

$$\Delta S = n_{\text{H}_2\text{O}} * (\bar{S}^\circ)_{\text{H}_2\text{O}} - n_{\text{H}_2} * (\bar{S}^\circ)_{\text{H}_2} - n_{\text{O}_2} * (\bar{S}^\circ)_{\text{O}_2}$$

$$\Delta S = 1\text{Kmol} * 69.92 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol K}} - 1\text{Kmol} * 130.68 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol K}} - 0.5\text{Kmol} * 205.04 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol K}}$$

$$\Delta S = -163.28 \frac{\text{KJ}}{\text{K}}$$

Reemplazando la entalpía y la entropía en la ecuación electroquímica, sería:

$$\Delta G = \Delta S * T - \Delta H$$

$$\Delta G = -163.28 \frac{\text{KJ}}{\text{K}} * 298 \text{ K} - (-285.83 \text{ KJ})$$

$$\Delta G = -48372 \text{ KJ}$$

La energía eléctrica que se puede llegar a producir con una celda de combustible, sería:

$$EE_{\text{celda}} = |\Delta G|$$

$$EE_{\text{celda}} = |-48372 \text{ KJ}|$$

$$EE_{\text{celda}} = 13.44 \frac{\text{KWh}}{\text{día}}$$

d) Cantidad de celdas de combustible (CC):

La cocina de inducción de 4 etapas de cocción, requiere como máximo una energía de 34.50 KWh/día, por lo tanto la cantidad de celdas requeridas, sería:

$$CC = \frac{E_{\text{máx}}}{EE_{\text{celda}}}$$

$$CC = \frac{34.50 \frac{\text{KWh}}{\text{día}}}{13.44 \frac{\text{KWh}}{\text{día}}}$$

$$CC = 2.6 \approx 3$$

Recalculando la energía máxima con 3 celdas de combustible:

$$E_{\text{real}}^{\text{máx}} = EE_{\text{celda}} * CC$$

$$E_{\text{real}}^{\text{máx}} = 13.44 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} * 3$$

$$E_{\text{real}}^{\text{máx}} = 40.32 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} = 145152 \frac{\text{KJ}}{\text{día}}$$

Por lo tanto, la energía disponible diaria disponible para la cocina de inducción es de 40.32 KWh/día

e) Tensión entregada por las celdas de combustible (U_{cc})

$$U_{\text{cc}} = \frac{|\Delta S * T|}{C_f * \varepsilon}$$

Donde: C_f es la constante de faraday con un valor de $96485.30 \frac{\text{C}}{\text{mol e}^-}$ y ε es la cantidad de mol electrón que puede provocar un mol de hidrógeno, con un valor de $\frac{2 \text{ mol e}^-}{1 \text{ mol H}_2}$

Reemplazando:

$$U_{\text{celdas}} = \frac{\left| -163280 \frac{\text{J}}{\text{K}} * 298 \text{ K} \right|}{96485.30 \frac{\text{C}}{\text{mol e}^-} * \frac{2 \text{ mol e}^-}{1 \text{ mol H}_2}}$$

$$U_{\text{celdas}} = 250 \text{ V}$$

f) Eficiencia de las celdas de combustible (η_{cc}):

Es importante, saber la eficiencia a la cual trabajaran las celdas de combustible, ya que de ello dependerá su funcionamiento correcto a lo largo del tiempo.

$$\eta_{\text{cc}} = 1 - \frac{|\Delta S * T|}{E_{\text{real}}^{\text{máx}}}$$

$$\eta_{\text{cc}} = 1 - \frac{\left| -163.28 \frac{\text{KJ}}{\text{K}} * 298 \text{ K} \right|}{145152 \frac{\text{KJ}}{\text{día}}}$$

$$\eta_{\text{cc}} = 67\%$$

g) Flujo másico de hidrógeno verde:

El flujo másico de hidrógeno verde, se determina mediante la siguiente expresión:

$$\dot{m} = \frac{E_{\text{máx}}}{\eta_{\text{cc}} * FC}$$

Donde: FC es un factor de conversión equivalente a 33.30 KWh/KgH₂. La Agencia Internacional de Energía (AIE), en sus estudios determinó que un 1 Kg de hidrógeno verde genera 33.3 KWh (Roca, 2021).

$$\dot{m} = \frac{40.32 \frac{\text{KWh}}{\text{día}}}{0.67 * 33.3 \frac{\text{KWh}}{\text{Kg}}}$$

$$\dot{m} = 1.8 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

4.4. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN FOTOVOLTAICA Y DE HIDRÓGENO VERDE

4.4.1. PANELES FOTOVOLTAICOS:

La energía máxima requerida por la cocina de inducción es 40.32 KWh/día, la cual será suministrada por las celdas de combustible. Asimismo, el electrolizador como proceso inverso de una celda de combustible, requerirá de un consumo de energía igual de 40.32 KW/día (energía de ingreso).

Pero debido a las diversas pérdidas existentes en los equipos del sistema fotovoltaicos como: batería, controlador, equipos de protección y conductores eléctricos, la energía proporcionada por el panel fotovoltaico debe ser mayor a 40.32 KW/día, para cumplir eficientemente con la demanda de energía solicitada por la cocina de inducción.

Pérdidas en el sistema fotovoltaico:

- a) Pérdidas por batería (P_b):** en el sistema fotovoltaico se utilizarán batería de gel, las cuales son las adecuadas para trabajar con paneles solares. Este tipo de baterías tienen pérdidas en el orden máximo de 0.25%
- b) Pérdidas en controlador (P_c):** se utilizará un regulador o controladores PWM (Pulse-width modulation, modulación por ancho de pulsos), para regular la tensión entre el panel fotovoltaico y la batería. Este tipo de controladores tienen pérdidas en el orden máximo de 3%.
- c) Pérdidas en equipos de protección (P_e):** Se utilizarán equipos de protección personal como interruptores termomagnéticos y diferenciales, los cuales causan una pérdida máxima del 1.5%.
- d) Pérdidas en conductores (P_{cd}):** Los conductores o cables eléctricos, serán seleccionados mediante la norma AWG (calibre de alambre americano), los cuales llegan a tener pérdidas máximas de 0.5% en sistemas fotovoltaicos.
- e) Tiempo de autonomía (T_a):** los días de autonomía son los días con deficiencia solar, debido a problemas de lluvias. También se considera como tiempo de autonomía a todo aquello que paralice parcial o totalmente el sistema fotovoltaico. El tiempo de autonomía varía según las regiones del Perú, para la costa sería de 1 a 2 días, en la sierra 2 a 3 días y en la selva 3

días. Según la ubicación geográfica de los paneles fotovoltaicos, el tiempo de autonomía sería de 2 días.

- f) **Profundidad de batería (P):** La profundidad de descarga de la batería, es el principal parámetro que limita la vida útil de un batería. Los distintos fabricantes de baterías sugieren que la batería tenga una profundidad de descarga entre 50 a 60%, para que de esta manera la batería logre llegar a su vida máxima, para la cual fue diseñada. Por lo consiguiente se tomará una profundidad de 60%.

Energía proporcionada por los paneles fotovoltaicos:

Como ya se mencionó, la energía requerida por los paneles fotovoltaicos, debe ser superior a la energía máxima real requerida por la cocina de inducción, esto se debe a las diversas pérdidas producidas en el sistema fotovoltaico.

$$(E)_{PPF} = \frac{E_{\text{real}}^{\text{máx}}}{\left(\frac{100 - (P_c + P_e + P_{cd})}{100}\right) * \left(1 - \frac{P_b * T_a}{P}\right)}$$

Donde:

$(E)_{PPF}$: Energía proporcionada por los paneles fotovoltaicos (KW/día)

$E_{\text{real}}^{\text{máx}}$: Energía máxima requerida por la cocina de inducción, $E_{\text{real}}^{\text{máx}} = 40.32 \text{ KW/día}$

P_c : Pérdidas en controlador, $P_c = 3\%$

P_e : Pérdidas en equipos de protección, $P_e = 1.5\%$

P_{cd} : Pérdidas en conductores, $P_{cd} = 0.5\%$

P_b : Perdidas por batería, $P_b = 0.25\%$

T_a : Tiempo de autonomía, $T_a = 2 \text{ días}$

P : Profundidad de batería, $P = 60\%$

$$(E)_{PPF} = \frac{40.32 \text{ KW/día}}{\left(\frac{100 - (3 + 1.5 + 0.5)}{100}\right) * \left(1 - \frac{0.25 * 2}{60}\right)}$$

$$(E)_{PPF} = 42.80 \text{ KW/día}$$

Se necesita que los paneles fotovoltaicos entreguen una energía máxima por día de 42.80 KW/día.

Energía proporcionada de un panel fotovoltaico

Del proveedor de paneles fotovoltaicos en el Perú, EVANS, seleccionamos el panel fotovoltaico monocristalino con la mayor potencia, es decir de 605 W, para reducir la cantidad de paneles a utilizar.

Cabe precisar que en el mercado nacional existen dos tipos de celdas fotovoltaicas: policristalinas y monocristalinas, diferenciándose ambos en tres aspectos: económico, eficiencia y vida útil. Los monocristalinos cuestan 30% que los policristalinos, tienen eficiencias de 20 a 23% y una vida máxima de 30 años, mientras que los policristalinos tienen eficiencias en el rango de 14 a 18% y tienen una vida estimada máxima de 15 años. Por tales consideraciones se seleccionó células monocristalinas. En la tabla 8, se muestran las especificaciones técnicas del panel fotovoltaico de 605 W seleccionado del proveedor EVANS.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS STC*			CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS		
P _{MAX}	605 W		TIPO DE CELDA	Monocristalino	
V _{MP}	34.6 V		NÚMERO DE CELDAS	120	
I _{MP}	17.49 A		ESPESOR DEL VIDRIO	3.2 mm	
V _{OC}	41.7 V		MATERIAL DEL MARCO	Aluminio anodizado	
I _{SC}	18.57 A		CAJA DE CONEXIÓN	IP68	
EFICIENCIA MÓDULO	21.40 %		CABLE	4 mm ² / 12 AWG	
VOLTAJE MÁXIMO DEL SISTEMA	1500 V		CONECTORES	MC4	
VALOR MÁXIMO DE FUSIBLE	30 A		CÓDIGO	PESO	MEDIDAS LARGO X ANCHO X ALTO
TOLERANCIA DE POTENCIA	(0 ~ +5) W				
COEFICIENTE DE TEMPERATURA	P _{MAX} (% / °C)	-0.34	P30V-605W	30.9 kg	217.2 x 130.3 x 3.5 cm
	I _{SC} (% / °C)	0.04			
	V _{OC} (% / °C)	-0.25			

Figura 11. Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico seleccionado

Fuente: Fabricante EVANS

La energía que proporciona un panel fotovoltaico, se determina mediante la siguiente expresión:

$$E_{PF}^{m\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x} * \varphi}{\eta_p}$$

Donde:

$E_{PF}^{m\acute{a}x}$: Energía máxima que puede entregar un solo panel fotovoltaico (KWh/día)

$P_{m\acute{a}x}$: Potencia máxima entregada por un solo panel fotovoltaico, $P_{m\acute{a}x} = 605 \text{ W}$

Φ : Irradiación solar en Namballe, $\varphi = 4.25 \text{ KWh/m}^2/\text{día}$

η_p : Eficiencia del panel, $\eta_p = 21.40\%$

$$E_{PF}^{m\acute{a}x} = \frac{605 * 4.25}{0.2140}$$

$$E_{PF}^{m\acute{a}x} = 12015 \frac{Wh}{d\acute{a}a} = 12.015 \text{ KWh/d}\acute{a}a$$

Cantidad de paneles fotovoltaicos monocristalinos:

La cantidad de paneles a utilizar, se determina como la raz3n entre la energ3a proporcionada por los paneles fotovoltaicos y la energ3a m3xima entregada por un solo panel fotovoltaico. Es decir:

$$C_{\text{paneles}} = \frac{(E)_{PPF}}{E_{PF}^{m\acute{a}x}}$$

$$C_{\text{paneles}} = \frac{42.80 \text{ KW/d}\acute{a}a}{12.015 \text{ KWh/d}\acute{a}a}$$

$$C_{\text{paneles}} = 4 \text{ paneles}$$

El sistema fotovoltaico, requerir3 de 4 paneles fotovoltaicos monocristalinos, con una potencia unitaria de 605 W.

4.4.2. DISEÑO DEL TANQUE DE HIDR3GENO:

El tanque se dise1ar3 mediante la Norma T3cnica Peruana NTP 111.011 “Gas natural seco y sistemas de tuber3as para instalaciones internas residenciales y comerciales” y el c3digo ASME (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mec3nicos) – Secci3n VIII – DIV.1 “Dise1o de tanques de combustible a presi3n”.

La NTP 111.011 y c3digo ASME – Secci3n VIII – DIV.1, indican que un **recipiente horizontal con tapas semi-el3pticas a gas como el hidr3geno verde**, debe contar con los siguientes par3metros para su dise1o:

Tabla 8. Par3metros de dise1o del tanque de hidr3geno verde

Material y resistencia (S)	Presi3n (P)	Temperatura (T)	Margen de corrosi3n (MC)	Velocidad de corrosi3n (VC)	Eficiencia de soldadura (E)
Acero al carb3n SA-285 Grado C, con un esfuerzo admisible de 6.5 Kpsi	14.5 Psi	293 K	0.125 in	3.5 mil3simas de in/a1o	85% A tope en ambos lados

Fuente: Par3metros recomendados por la NTP 111.011 y c3digo ASME – Secci3n VIII – DIV.1

Vida útil del tanque (VU):

Es importante determinar la vida útil estimada, que tendrá el tanque horizontal de hidrógeno verde, mediante los parámetros establecidos. La vida útil se determinará mediante la siguiente expresión matemática:

$$VU = \frac{MC}{VC}$$

Donde:

VU: Vida útil del tanque (años)

Velocidad de corrosión, VC= 3.5 milésimas de in/año

Margen de corrosión, MC = 0.125 in

Reemplazando:

$$VU = \frac{0.125 \text{ in}}{3.5 * 10^{-3} \frac{\text{in}}{\text{año}}} = 36 \text{ años}$$

Se estima que la vida útil del tanque horizontal de hidrógeno verde, tenga una vida útil de 36 años.

Capacidad máxima de tanque de hidrógeno verde ($m_{\text{máx}}$):

El tanque tendrá un almacenamiento de 1.8 kilogramos de hidrógeno verde/día, pero la capacidad máxima debe ser superior al valor de almacenamiento diario. Por lo consiguiente el tanque tendrá una capacidad máxima que duplique el valor de almacenamiento diario. Es decir:

$$m_{\text{máx}} = 2 * \dot{m}$$

Donde:

$m_{\text{máx}}$: Capacidad máxima de almacenamiento de hidrógeno verde (Kg)

\dot{m} : Flujo de hidrógeno verde, $\dot{m} = 1.8 \text{ Kg/día}$

$$m_{\text{máx}} = 2 * 1.8 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} = 3.6 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

Propiedades del hidrógeno:

El hidrógeno verde dentro de sus propiedades termodinámicas más relevantes, tiene a la densidad, de la cual depende directamente el tamaño del tanque. Debido a la utilización de celdas de combustible, es necesario el hidrógeno verde se almacene en estado de gas para ser utilizado inmediatamente. Por lo tanto, la densidad del hidrógeno en estado gaseoso es 0.089 Kg/m³.

Tabla 9. Propiedades termodinámicas del hidrógeno

Propiedad	Valor
Densidad (gas)	0.89 kg/m ³
Densidad (líquido)	70.79 kg/m ³
T° de ebullición	-252.76 °C
Velocidad de llama	346 cm/s
Rango de Ignición	4 – 7 % en aire
Energía de Ignición	0.02 MJ
Poder Calorífico Superior	33.3 Kwh/kg

Fuente: (Jiménez, 2019)

Volumen máximo del tanque de hidrógeno verde ($V_{m\acute{a}x}$):

El volumen máximo que puede almacenar el tanque de hidrógeno verde, sería:

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{m_{m\acute{a}x}}{\rho_{H_2}}$$

Donde:

$V_{m\acute{a}x}$: Volumen máximo del tanque de hidrógeno verde (m³)

ρ_{H_2} : Densidad del hidrógeno verde, $\rho_{H_2} = 0.089 \frac{Kg}{m^3}$

$m_{m\acute{a}x}$: Capacidad máxima, $m_{m\acute{a}x} = 3.6 \frac{Kg}{d\acute{a}a}$

Tenemos:

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{3.6 \frac{Kg}{d\acute{a}a}}{0.089 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V_{m\acute{a}x} = 40 \frac{m^3}{d\acute{a}a}$$

Transformando el volumen de m³/día en pie³/día para efectos de cálculos posteriores tenemos:

$$V_{m\acute{a}x} = 1413 \frac{pie^3}{d\acute{a}a}$$

Presión de diseño (P)

El tanque debe ser diseñado con una presión superior a la temperatura de almacenamiento del hidrógeno verde, el código ASME, recomienda sumar a la presión de almacenamiento $P_o=30$ Psi.

$$P = P_o + 30$$

$$P = 14.5 + 30 = 44.5 \text{ psi}$$

Factor de construcción del diseño (FCD):

Es un parámetro que afecta directamente al diámetro interior del tanque del cilindro (figura 11). Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$F = \frac{P}{MC * S * E}$$

Donde:

F: Factor de construcción del diseño (in^{-1})

S: Esfuerzo admisible del material del tanque; $S= 6.5 \text{ Kpsi}$.

E: Eficiencia de la soldadura a tope ambos lados, $E=85 \%$

P: Presión de diseño del tanque de hidrógeno verde, $P=44.5 \text{ Psi}$

MC: Margen de corrosión, $MC=0.125 \text{ in}$.

Reemplazando:

$$F = \frac{44.5 \text{ Psi}}{0.125 \text{ in} * 6500 \text{ Psi} * 0.85}$$
$$F = 0.1 \text{ in}^{-1}$$

Diámetro interior óptimo del tanque de hidrógeno verde:

Para calcular el diámetro interior del tanque horizontal, se debe intersectar el volumen máximo del tanque que se encuentra en la columna (línea vertical), con el factor de construcción del diseño (línea inclinada o diagonal). Por lo tanto, en la figura 11, intersectando $1413 \text{ pie}^3/\text{día}$ con 0.1 in^{-1} , obtenemos que el diámetro interior del tanque de hidrógeno verde sería:

$$D_{\text{int.}} = 6 \text{ pies} = 72 \text{ in} = 1828.8 \text{ mm}$$

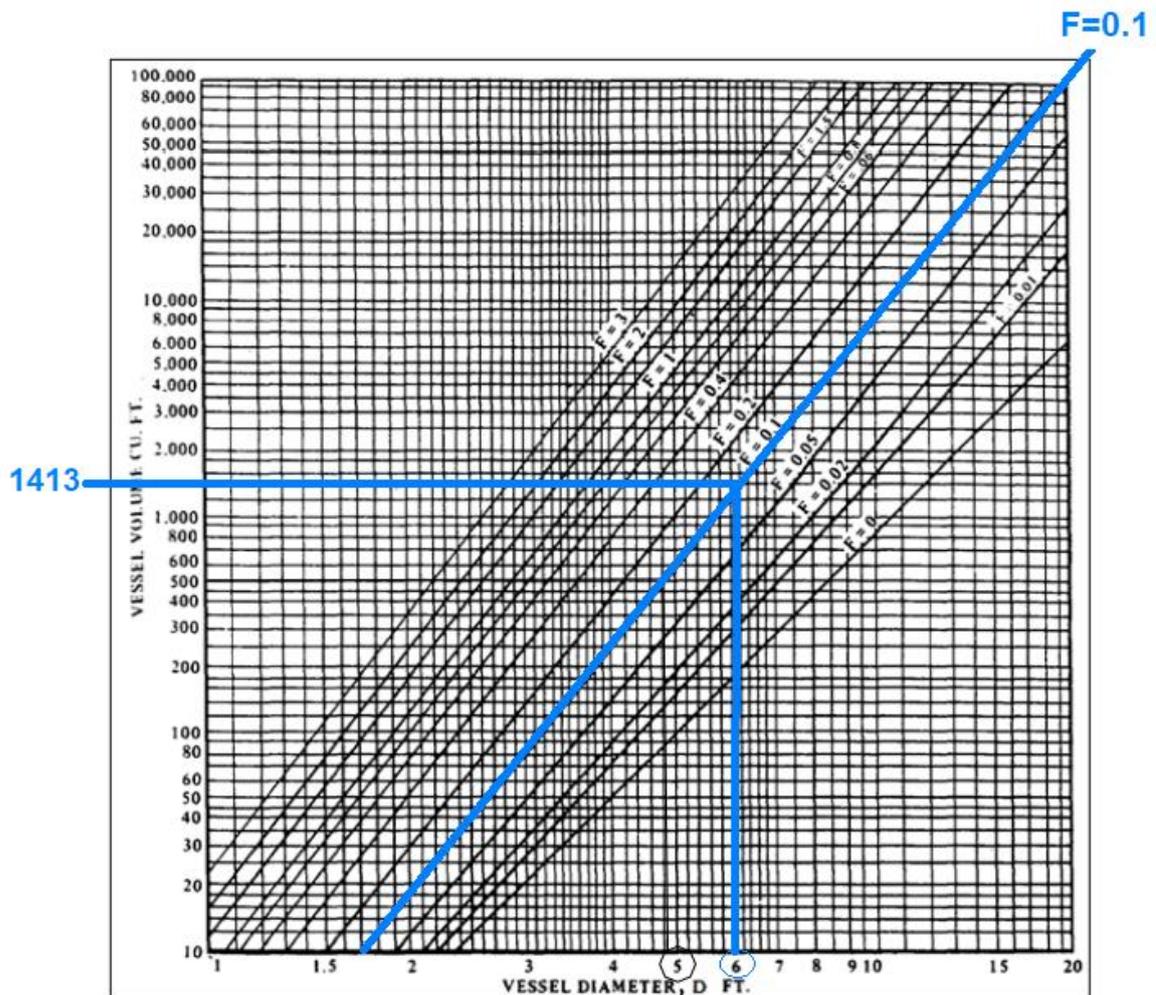


Figura 12. Curva de interrelación entre volumen, factor de construcción y diámetro.

Fuente: Código ASME – Sección VIII – DIV.1

Longitud del tanque de hidrógeno verde (L)

La longitud de un tanque horizontal con tapas semi-elípticas de altura estrechada, se determina mediante la formulación:

$$L = 0.3 * \frac{V_{\text{máx}}}{D_{\text{int}}^2} - 0.78 * D_{\text{int}}$$

Donde:

L: Longitud del tanque de hidrógeno verde (pie)

$V_{\text{máx}}$: Volumen máximo en el tanque de hidrógeno verde (pie³), $V_{\text{máx}} = 1413 \text{ pie}^3$

D_{int} : Diámetro interior del tanque de hidrógeno verde, $D_{\text{int}} = 6 \text{ pie}$

Tenemos:

$$L = 0.3 * \frac{1413 \text{ pie}^3}{(6 \text{ pie})^2} - 0.78 * 6 \text{ pie}$$

$$L = 7 \text{ pie} = 84 \text{ in} = 2134 \text{ mm}$$

Espesor del cuerpo del tanque de hidrógeno (te):

El espesor del cuerpo del tanque es la suma del espesor del margen de corrosión y del espesor base del material. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$t_e = t + 2 * MC$$

Donde:

t_e : Espesor total del cuerpo del material (in)

MC: Margen de corrosión, MC=0.125 in.

t: Espesor base del material, el cual se determina mediante la siguiente expresión:

$$t = \frac{0.5 * P * D_{int}}{S * E - 0.6 P}$$

Combinando ambas ecuaciones obtenemos la ecuación:

$$t_e = \frac{0.5 * P * D_{int}}{S * E - 0.6 P} + 2 * MC$$

También:

P: Presión de diseño, P=44.5 Psi

D_{int} : Diámetro interior del tanque, $D_{int} = 72$ in

E: Eficiencia de la soldadura, E=85 %

S: Esfuerzo admisible del material, S= 6.5 Kpsi.

Sustituyendo:

$$t_e = \frac{0.5 * 44.5 * 72}{6500 * 0.85 - 0.6 * 14.5} + 2 * 0.125$$

$$t_e = 0.54 \text{ in} \approx \frac{5}{8} \text{ in}$$

Espesor de pared de las tapas semi- elípticas (te):

De la misma manera el espesor de pared de las tapas semi – elípticas, es la suma del espesor del margen de corrosión y del espesor base del material. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$t_e = t + 2 * MC$$

Donde:

t_e : Espesor total del cuerpo del material de las tapas semi -elípticas (in)

MC: Margen de corrosión, MC=0.125 in.

t: Espesor base del material, el cual se determina mediante la siguiente expresión:

$$t = \frac{0.5 * P * D_{int}}{S * E - 0.1 P}$$

Combinando ambas ecuaciones obtenemos la ecuación:

$$t_e = \frac{0.5 * P * D_{int}}{S * E - 0.1 P} + 2 * MC$$

También:

P: Presión de diseño, P=44.5 Psi

D_{int}: Diámetro interior del tanque, D_{int} = 72 in

E: Eficiencia de la soldadura, E=85 %

S: Esfuerzo admisible del material, S= 6.5 Kpsi.

Sustituyendo:

$$t_e = \frac{0.5 * 44.5 * 72}{6500 * 0.85 - 0.1 * 14.5} + 2 * 0.125$$

$$t_e = 0.54 \text{ in} \approx \frac{5}{8} \text{ in}$$

Altura interior y exterior de la tapa semi – elíptica:

Las alturas interiores y exteriores de las tapas semi-elípticas, se determinan mediante las siguientes formulaciones:

$$h_{int} = \frac{D_{int}}{4}$$

$$h_{ext} = h_{int} + t_e$$

Donde:

h_{int}: Altura interior de la tapa semi -elíptica (in)

h_{ext}: Altura exterior de la tapa semi -elíptica (in)

t_e: Espesor total del cuerpo del material de las tapas semi -elípticas (in)

D_{int}: Diámetro interior del tanque, D_{int} = 72 in

Reemplazando:

$$h_{int} = \frac{72 \text{ in}}{4} = 18 \text{ in}$$

$$h_{ext} = 18 \text{ in} + \frac{5}{8} \text{ in} = 18.625 \text{ in} = 18\frac{5}{8} \text{ in}$$

Diámetro exterior del tanque:

$$D_{ext} = D_{int} + 2 * t_e = 72 \text{ in} + 2 * \frac{5}{8} = 73.25 \text{ in} = 73\frac{1}{4} \text{ in}$$

En la figura 12, se muestran los resultados del dimensionamiento del tanque de hidrógeno verde. Asimismo, se detalla los principales accesorios que debe contener el tanque como medios de seguridad, recomendados por la NTP 111.011 y código ASME – Sección VIII – DIV.1

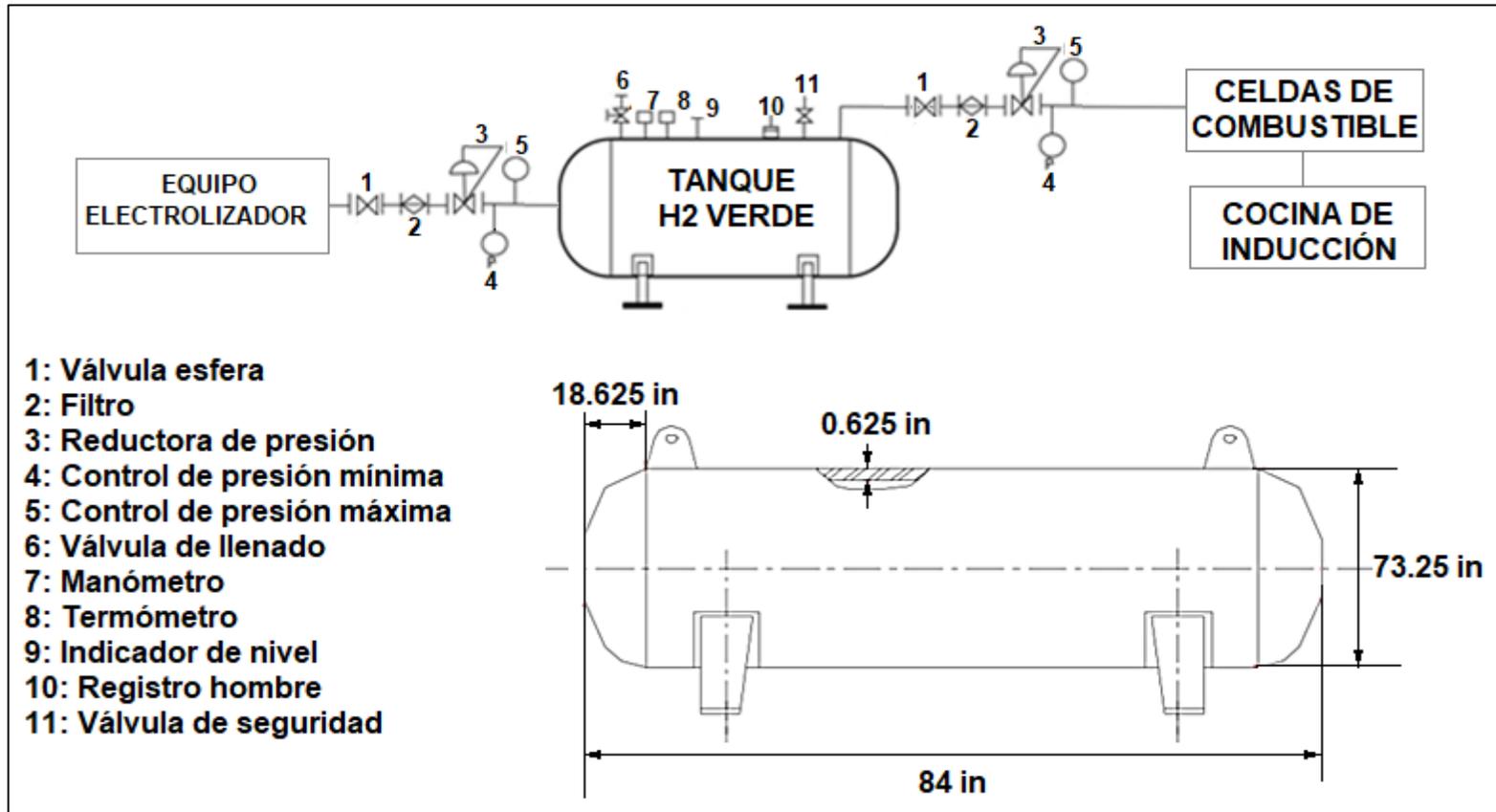


Figura 13. Geometría y accesorios de seguridad del tanque de hidrógeno

Fuente: Elaboración propia

4.4.3. ELECTROBOMBA

La electrobomba permite darle la presión necesaria al agua, la cual tiene en promedio una temperatura de 60°C al recircular entre las celdas de combustible y electrolizador, generando un ciclo completo. Según el análisis termoquímico la producción de un 1 kilogramo de hidrógeno verde, necesita de 9 kg de agua, generando de esta manera un flujo másico de 16.20 Kg/día (0.0015 Kg/s). Para tales condiciones la potencia requerida por la electrobomba sería de 1/8 HP (93.25 W). En la tabla 11 se muestran los datos técnicos de la electrobomba seleccionada, de la empresa BOMBAS IDEAL (Anexo 3.1).

Tabla 10. Datos técnicos de la electrobomba

Datos técnico	Valor nominal
Potencia nominal	1/8 HP
Flujo másico	0.7875 Kg/s
Caudal	12.6 GPM
Tensión	220 V
Temperatura máxima	90°C

Fuente: Datos técnicos de la electrobomba – Empresa BOMBAS IDEAL

4.4.4. COMPRESOR

El compresor permitirá que se inyecte con eficiencia y con un flujo constante el oxígeno, hacia las celdas de combustible. Del análisis termoquímico se producen 14.4 Kg O₂/día (0.00133 Kg/s), correspondientes a un flujo volumétrico de 53.20 l/min. Para tales condiciones se requiere de un compresor de 1/8 HP (93.25 W). En la tabla 12 se muestran los datos técnicos del compresor seleccionado, de la empresa AEROGRAFIA (Anexo 3.2).

Tabla 11. Datos técnicos del compresor

Datos técnico	Valor nominal
Potencia nominal	1/8 HP
Flujo másico	0.00212 Kg/s
Caudal	3 cfm (85 l/min)
Tensión	220 V
Velocidad	1700 RPM
Presión	3 bar

Fuente: Datos técnicos del compresor – Empresa AEROGRAFIA

4.4.5. CABLES ELÉCTRICOS

Los cables o conductores eléctricos, deben ser seleccionados de acuerdo al CNE (Código Nacional de Electrificación), mediante el decreto supremo N° 013-2016 “Conductores Eléctricos de cobre de baja tensión de uso domiciliario y comercial” y mediante la Norma Técnica Peruana 370.301. Donde se indica que debe calcular la superficie transversal de trabajo del conductor, para luego seleccionar una superficie de valor superior, para de esta manera tener un conductor libre de fallar por tensión y cortocircuito.

$$A_C = 2 * \frac{\rho * I_n * L_e}{\Delta U * U_n}$$

Donde:

ρ : Resistividad del cobre, $\rho = 0.02 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

I_n : Corriente nominal generada en fuente fotovoltaica, $I_n = 17.49 \text{ A}$

L_e : Longitud equivalente del cable, $L = 10 \text{ m}$

ΔU : Caída de tensión permitida y normada para baja tensión, $\Delta U = 3.5\%$

U_n : Voltaje nominal generado en fuente fotovoltaica, $U = 34.6 \text{ V}$

$$A_C = 2 * \frac{0.02 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 17.49 \text{ A} * 10 \text{ m}}{3.5\% * 34.6 \text{ V}}$$
$$A_C = 5.8 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, se selecciona un conductor de mayor superficie transversal como el conductor americano 8 AWG, el cual tiene una superficie transversal de 8.366 mm². (Anexo 3.3).

4.4.6. ACUMULADORES O BATERÍAS

El sistema fotovoltaico e hidrógeno verde contará con un sistema de baterías de gel de silicio, por ser de mayor resistencia frente a descargas de ciclos profundos. Asimismo, este tipo de baterías. Asimismo, tienen una vida de trabajo mayor a cualquier otro tipo de acumulador, de hasta 15 años. Para determinar el amperaje – hora (“Ah” capacidad de carga de la batería), es necesario definir la profundidad de descarga de la batería, la energía máxima que se genera con los paneles fotovoltaicos y el voltaje de trabajo. La capacidad de carga total se determinará mediante la siguiente expresión matemática:

$$CCB = \frac{E_{\max}}{U * P}$$

Donde:

CCB: Capacidad de carga total de la batería en Ah

E_{\max} : Energía máxima en una hora de funcionamiento, $E_{\max} = \frac{40.32}{4.25} = 9.5 \text{ Kwh}$

U: Tensión de los acumuladores, $U=12\text{V}$

P: Profundidad de batería, $P = 60\%$

$$CCB = \frac{9.5 \text{ Kwh}}{12 \text{ V} * 0.60} = 1319 \text{ Ah}$$

Del fabricante AUTOSOLAR, seleccionamos la batería estacionaria del gel de silicio, modelo VRL BAE 12V431Ah. En la tabla 13 se muestran los datos técnicos del acumulador seleccionado (Anexo 3.4).

Tabla 12. Datos técnicos del acumulador

Datos técnico	Valor nominal
Capacidad de carga	431 Ah
Tensión	12 V
Tipo	Gel de Silicio
Profundidad de descarga	60%

Fuente: Datos técnicos del acumulador – Empresa AUTOSOLAR

El número de baterías sería:

$$N_B = \frac{CCB}{CCB \text{ nominal}} = \frac{1319 \text{ Ah}}{431 \text{ Ah}} = 3$$

Por lo tanto, se necesitarían 3 baterías o acumuladores.

4.4.7. CONTROLADOR DE TENSIÓN

El controlador de carga, permitirá regular las tensión de los paneles fotovoltaicos de 34.60 V a una tensión de 12 V (Voltaje de baterías) para de esta manera mantener una tensión constante para el electrolizador. Permitiendo de esta manera un flujo de corriente estable para la producción de hidrógeno verde. El controlador dependerá de la corriente de ingreso, la cual se determina mediante la siguiente expresión:

$$I_{ct} = \frac{P_{\max}}{V} = \frac{605 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 50.41 \text{ A}$$

En la tabla 14 se muestran los datos técnicos del controlador de tensión seleccionado de la empresa MUST (Anexo 3.5).

Tabla 13. *Datos técnicos del controlador de tensión*

Datos técnico	Valor nominal
Tensión	12 V
Amperaje nominal	60 A

Fuente: Datos técnicos del controlador de tensión – Empresa MUST

4.4.8. INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

Los equipos: paneles fotovoltaicos, controlador, baterías, conductores eléctricos, electrolizador y celdas de combustible, serán protegidos mediante la intervención del interruptor termomagnético. Se seleccionará un interruptor termomagnético con una corriente de 50.41 A del lado de los equipos fotovoltaicos y de 52.30 A del lado de la cocina de inducción. Por lo consiguiente del fabricante SICA seleccionamos el interruptor termomagnético Tetrapolar de 63 A (Anexo 3.6).

4.4.9. INTERRUPTOR DIFERENCIAL

El CNE (Código Nacional de Electrificación), mediante el decreto supremo N° 013-2016 “Conductores Eléctricos de cobre de baja tensión de uso domiciliario y comercial” y la Norma Técnica Peruana 370.301.

Especifican que los interruptores diferenciales, deben poseer una corriente diferencial mínima de 10 mA y máxima de 30 mA, para proteger la vida humana de las personas. Por lo consiguiente del fabricante SICA seleccionamos el interruptor diferencial Bipolar de 10 a 30 mA (Anexo 3.7).

4.4.10. CELDAS DE COMBUSTIBLE:

Las celdas de combustible convertirán el hidrógeno verde en electricidad trifásica, con una tensión nominal de 220 V, utilizando 3 celdas, para generar en total 40.32 KWh/día, necesitando 1.8 Kg de hidrógeno.

Potencia por cada celda de combustible: La potencia nominal que necesita la cocina de inducción es de 11.50 KW, la cual deben repartirse en igual potencia.

El análisis termoquímico determinó que se necesitan 3 celdas de combustible, por lo consiguiente la potencia que le corresponde a cada celda es de 3.83 KW. Donde cada celda de combustible puede entregar 13.44 KWh/día.

El tipo de celda de combustible que se empleará será de polímero sólido o membrana de intercambio protónico, porque se utilizará como electrolito “agua”, la cual tendrá una temperatura de 60°C, donde este tipo celdas trabajan a una temperatura máxima permitida de 200°F (93.33°C), siendo factible su uso.

Asimismo, este tipo de celdas tienen una vida útil mayor y un rendimiento energético que alcanza el 70%. Donde en los cálculos termoquímicos se determinó que se requiere de una eficiencia del 67%. Por lo cual la celda de polímero sólido, cumple con los requerimientos del sistema. En la tabla 15 se muestran los datos técnicos de la celda de combustible seleccionada de la empresa BALLARD (Anexo 3.8).

Tabla 14. *Datos técnicos de la celda de combustible*

Datos técnico	Valor nominal
Tipo	Membrana de intercambio protónico
Potencia	14.30 KW
Temperatura de operación	68°C
Fluido liquido de salida	Agua
Fluido gaseoso de entrada	Oxigeno
Fluido gaseoso de ingreso	Hidrógeno verde
Dimensiones	220x760x60 mm
Peso	13 kg

Fuente: Datos técnicos de la celda de combustible – Empresa BALLARD.

4.4.11. ELECTROLIZADOR

Debido a que el electrolizador y las celdas de combustible trabajarán en un circuito cerrado, donde los fluidos serán: agua, hidrógeno y oxígeno. Es necesario que el electrolito también sea del tipo de membrana de intercambio de protones (PEM). Donde el electrolizador requiere de una potencia no menor a 11.50 KW (Potencia nominal de la cocina de inducción) y una producción de hidrógeno verde 1.8 Kg/24 horas. En la tabla 16 se muestran los datos técnicos de la celda de combustible seleccionada de la empresa NEL hidrogen (Anexo 3.9).

Tabla 15. Datos técnicos del electrolizador

Datos técnico	Valor nominal
Tipo	Membrana de intercambio protónico
Potencia por celda	4.5 KW
Potencia nominal total	13.5 KW
Flujo de hidrógeno nominal permitido	4.247 kg/24 h
Fluido de entrada	agua
Fluido de salida gaseoso 1	Hidrógeno verde
Fluido de salida gaseoso 2	Oxígeno

Fuente: Datos técnicos del electrolizador – Empresa NEL hidrogen.

4.5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ECONÓMICO.

El análisis económico se fundamentará en la inversión, beneficio útil, periodo de retorno de la inversión, valor actual neto y tasa interna de rentabilidad.

a) Beneficio económico:

El costo eléctrico unitario es de 0.210 \$/KWh (Incluye costos de mantenimiento, IGV y costos de alumbrado público). Asimismo, la cocina de inducción tendrá un consumo máximo diario de 40.32 KWh/día equivalentes a 14716.8 KWh/año. Por lo consiguiente el beneficio útil sería:

$$BE = Ce * E_{\text{real}}^{\text{máx}}$$

$$BE = 0.210 \frac{\$}{\text{KWh}} * 14716.8 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} = 3090.53 \frac{\$}{\text{año}}$$

b) Inversión

Tabla 16. Inversión en equipos y materiales

EQUIPO/MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNIT. (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Paneles monocristalinos EVANS, P=605W, Un=34.6V, In = 17.49 A, η=21.40%, D=217.2x130.3x35cm	4	610.00	2440.00
Tanque de H2 SAE-285 Grado C, S=6.5 Kpsi, V=1413 pie ³ , Pd=44.5 Psi, D=73.25 pulg, L=84 pulg, e=0.625 pulg.	1	900.00	900.00
Electrobomba P=1/8 HP, Q=12.6 GPM (47.7 l/min), U=220 V, Tmáx=90°C	1	25.00	25.00
Compresor P=1/8 HP, Q=85 l/min., U=220V, P=3bar, n=1700 RPM	1	28.00	28.00
Cable eléctrico americano, 8 AWG, S=8.366 mm ² , I=17.49 A, L=10 m, U=34.6 V.	1	30.00	30.00
Acumulador Auto solar de gel silicio VRL BAE, C=431 Ah, U= 12 V, P= 60%	3	125.00	375.00
Controlador MUST U1=34.60 V, U2=12 V, In=60A	1	103.00	103.00
Interruptor termomagnético SICA Tetrapolar, In=63A.	2	30.00	60.00
Interruptor diferencial SICA Bipolar, Ic=10 mA	2	35.00	70.00
Celda de combustible de membrana de intercambio protónico, Pn=14.30 KW, Nc=3 celdas, D=220x760x60 mm, T=68°C	1	755.00	755.00
Electrolizador de membrana de intercambio protónico, Pn=13.50 KW, m= 4.247 kg/24 h.	1	633.00	633.00
Mano de obra (instalación)	1	1500.00	1500.00
		TOTAL	6919.00

Fuente: Elaboración propia.

c) PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN

El periodo de retorno de la inversión, es el tiempo mínimo para la recuperación de los capitales invertidos en equipos y materiales.

$$\text{PRI} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio útil}} = \frac{6919.00 \$}{3090.53 \frac{\$}{\text{año}}}$$

$$\text{PRI} = 2.2 \text{ años}$$

d) Herramientas financieras:

Las herramientas financieras a evaluar serán el valor actual neto (VAN) y tasa interna de rentabilidad (TIR). Se trabajará con una tasa de interés de 11% y un periodo de préstamo de 5 años, valores recomendados por la Superintendencia de Banca y Seguros (SBS) para analizar la viabilidad económica financiera de un proyecto. En la tabla 18, se muestra una hoja de cálculo Excel para la determinación del VAN y TIR, obteniendo una tasa interna de 35% y un valor actual neto de 4503.28 dólares. Por lo cual podemos concluir que el estudio es rentable económicamente.

Tabla 17. Evaluación financiera

Periodo de evaluación	Flujos económicos
Inversión	\$ - 6919.00
1	\$ 3090.53
2	\$ 3090.53
3	\$ 3090.53
4	\$ 3090.53
5	\$ 3090.53
TIR (Tasa Interna de Rentabilidad)	35%
VAN (Valor Actual Neto)	\$4503.28

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

Se realizó una caracterización a los distintos tipos de cocina, para justificar el uso de las cocinas de inducción, frente a las cocinas de vitrocerámica y gas, desde el punto de vista de la ingeniería. Seleccionando un tipo de cocina que tenga menos gasto energético (energía eléctrica y gas según corresponda), porque se trabajará con un sistema fotovoltaico, donde el gasto energético es directamente proporcional a la potencia fotovoltaica que a su vez está en relación a la cantidad de paneles fotovoltaicos.

Las cocinas de inducción fueron mejores respecto a las cocinas de vitrocerámica y gas porque generan calor instantáneo en contacto con el recipiente, tienen rapidez de transferencia de calor, lo cual es proporcional al ahorro de energía eléctrica, alta eficiencia energética, no existen residuos de energía después del proceso de calentamiento. Pero teniendo en cuenta que el precio fabricación es 25% más caro que una cocina de vitrocerámica y 40% más caro que una cocina a gas. Pero frente a esta condición la cocina de inducción sigue siendo rentable económicamente. Asimismo, el estudio se apoyó en artículos científicos del departamento de energía de los Estados Unidos, los cuales concluyeron que las cocinas a gas (GLP) tienen una eficiencia energética del 40%. Mientras que las cocinas eléctricas de vitrocerámica poseen un 74% y las cocinas de inducción con un 84%. Donde se determinó que la cocina de inducción tiene una mejor eficiencia energética, desperdiciando en promedio un 15% (17.6/116.4) de la energía al medio atmosférico en comparación a las cocinas a gas.

En el mercado nacional (Perú) existen cocinas de inducción de 1 a 4 zonas de cocción, y la potencia varía dependiendo de la cantidad de zonas de cocción. Tal como se muestra tabla 3, la potencia aumenta dependiendo de la cantidad de zonas de cocción. En esta investigación se trabajó con cocinas de inducción de 4 zonas de cocción con una potencia nominal de 11.50 KW, con el fin de abarcar a toda la población de cocinas de inducción, ya que dicha cocina de 4 zonas de cocción es la más utilizada en el sector domiciliario.

Se utilizó la página Nasa Power, para calcular la irradiación solar, debido a que actualmente es el software más eficiente y exacto en la parametrización de datos meteorológicos. Teniendo en cuenta que el parámetro más importante a evaluar en un sistema autónomo fotovoltaico es la irradiación solar, se contempló la evaluación de la irradiación durante los últimos 21 años (2000-2021) para

analizar las variaciones de la irradiación solar en Namballe. Encontrando una irradiación mínima promedio de 4.25 KWh/m²/día y una irradiación máxima promedio de 4.89 KWh/m²/día. Por lo consiguiente para tener un diseño confiable se tomó la irradiación más baja con el valor de 4.25 KWh/m²/día.

Para poder determinar la demanda máxima de hidrógeno fue relevante conocer como funcionaria el proceso para su producción, donde los paneles fotovoltaicos al absorber parte de la irradiación solar, está la transforman en energía eléctrica continua, el cual es regulado (controlador) a un voltaje estable para la batería (acumulador), para luego, separar la sustancia del agua en las moléculas de hidrógeno y oxígeno en un electrolizador. El hidrógeno obtenido se almacena en un tanque, para luego ser utilizado en una celda de combustible (proceso inverso de la electrólisis) y obtener energía eléctrica y voltaje en fase trifásica, requerida para la cocina de inducción y equipos intervinientes en el proceso.

Se consideró una potencia eléctrica máxima requerida por una cocina de inducción de 4 zonas de cocción de 11.50 KW, la cual trabajará en un tiempo máximo de 3 horas/día (1 hora en promedio por cada comida).

La energía máxima requerida por la cocina de inducción es 40.32 KWh/día, la cual será suministrada por las celdas de combustible. Asimismo, el electrolizador como proceso inverso de una celda de combustible, requerirá de un consumo de energía igual de 40.32 KW/día (energía de ingreso). Pero debido a las diversas pérdidas existentes en los equipos del sistema fotovoltaicos como: batería, controlador, equipos de protección y conductores eléctricos, la energía proporcionada por el panel fotovoltaico debe ser mayor a 40.32 KW/día, para cumplir eficientemente con la demanda de energía solicitada por la cocina de inducción.

En el mercado nacional existen dos tipos de celdas fotovoltaicas: policristalinas y monocristalinas, diferenciándose ambos en tres aspectos: económico, eficiencia y vida útil. Los monocristalinos cuestan 30% que los policristalinos, tienen eficiencias de 20 a 23% y una vida máxima de 30 años, mientras que los policristalinos tienen eficiencias en el rango de 14 a 18% y tienen una vida estimada máxima de 15 años. Por tales consideraciones se seleccionó células monocristalinas, con una potencia por panel de 605 W.

El tanque se diseñó mediante la Norma Técnica Peruana NTP 111.011 “Gas natural seco y sistemas de tuberías para instalaciones internas residenciales y comerciales” y el código ASME (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos) – Sección VIII – DIV.1 “Diseño de tanques de combustible a presión”. La NTP 111.011 y código ASME – Sección VIII – DIV.1, indican que un recipiente horizontal con tapas semi-elípticas a gas como el hidrógeno verde, debe contar con los siguientes parámetros para su diseño: material SA-285 Grado C, esfuerzo admisible 6.5 Kpsi, presión 14.5 Psi, temperatura 293 K, margen de corrosión de 0.125 pulgadas, velocidad de corrosión 3.5 milésimas de pulgadas/año y eficiencia de soldadura de 85%. Mediante estos parámetros se diseñó el tanque de hidrógeno.

Se incluyó una electrobomba porque permite darle la presión necesaria al agua, la cual tiene en promedio una temperatura de 60°C al recircular entre las celdas de combustible y electrolizador, generando un ciclo completo. Asimismo, también se incluyó un compresor porque permitirá que se inyecte con eficiencia y con un flujo constante el oxígeno, hacia las celdas de combustible.

Los cables o conductores eléctricos, fueron seleccionados de acuerdo al CNE (Código Nacional de Electrificación), mediante el decreto supremo N° 013-2016 “Conductores Eléctricos de cobre de baja tensión de uso domiciliario y comercial” y mediante la Norma Técnica Peruana 370.301. Donde se indica que debe calcular la superficie transversal de trabajo del conductor, para luego seleccionar una superficie de valor superior, para de esta manera tener un conductor libre de fallar por tensión y cortocircuito.

El sistema fotovoltaico e hidrógeno verde contará con un sistema de baterías de gel de silicio, por ser de mayor resistencia frente a descargas de ciclos profundos. Asimismo, este tipo de baterías. Asimismo, tienen una vida de trabajo mayor a cualquier otro tipo de acumulador, de hasta 15 años. Los equipos: paneles fotovoltaicos, controlador, baterías, conductores eléctricos, electrolizador y celdas de combustible, serán protegidos mediante la intervención del interruptor termomagnético. El tipo de celda de combustible que se empleó fue de polímero sólido o membrana de intercambio protónico, porque se utilizó como electrolito “agua”, el cual tendrá una temperatura de 60°C, donde este tipo celdas trabajan a una temperatura máxima permitida de 200°F (93.33°C), siendo factible su uso. Asimismo, este tipo de celdas tienen una vida útil mayor y un

rendimiento energético que alcanza el 70%. Donde en los cálculos termoquímicos se determinó que se requiere de una eficiencia del 67%. Por lo cual la celda de polímero sólido, cumple con los requerimientos del sistema. Debido a que el electrolizador y las celdas de combustible trabajarán en un circuito cerrado, donde los fluidos serán: agua, hidrógeno y oxígeno. Es necesario que el electrolito también sea del tipo de membrana de intercambio de protones (PEM).

En el investigador (Puig, 2021) diseño un sistema fotovoltaico de paneles monocristalinos de 2500 Wp, para producir hidrógeno verde en un electrolizador de 2 KW (60 celdas). El tanque con material de hidruro metálico de aluminio de 100 m³, para luego ser usado en pilas de combustible de 500 W (52 celdas). Donde el sistema de pilas de combustible tuvo una eficiencia de 87.14%. El proyecto tuvo un retorno operacional de la inversión de 5 años, con una tasa interna de rentabilidad del 75%. En comparación a la presente investigación se obtuvieron los siguientes resultados: 4 paneles monocristalinos de 605 W; 1 tanque de hidrógeno verde de material SA-285 C con un diámetro de 73.25 pulgadas, longitud 84 pulgadas y espesor 0.625 pulgadas; 1 electrobomba de 1/8 HP con un caudal de 47.7 l/min; 1 compresor de 1/8 HP con un caudal de 85 l/min; conductores eléctricos de calibre 8 AWG; 3 baterías de gel de silicio con capacidad de 431 Ah; 1 controlador de 12 V; 2 interruptores termomagnéticos tetrapolares de 63 A; 2 interruptores diferenciales de 10 mA; 3 celdas de combustible de membrana de intercambio protónico de 3.83 KW/celda con una eficiencia del 67% y 1 electrolizador de 3 celdas con una potencia de 4.5 KW/celda. El estudio tuvo un PRI de 2.2 años y un TIR de 35%. Donde los resultados encontrados son proporcionales a los encontrados por el investigador Puig. Respecto al PRI y TIR los valores son mayores debido a que Puig, analiza un sistema con mayor consumo de energía eléctrica.

(Calcino, 2021) analizó un sistema fotovoltaico con 23 MW, para producir 1984 Kg/día de hidrógeno verde, el cual equivale a 53447 KWh de energía eléctrica anual, equivalente a una potencia eléctrica de 2 MW/día. Donde una planta de hidrógeno con esta capacidad tendría una inversión de 3428277.00 dólares, con un valor actual neto positivo de 4625325.00 dólares. Los resultados encontrados por Calcino encuentran similitud a los encontrados en la presente investigación, donde los valores son proporcionales, donde la potencia es de 11.50 KW para

producir 1.8 Kg/día de hidrógeno verde, el cual equivale a 40.32 KWh/día. Con un VAN de 4503.28 dólares y TIR de 35%.

(Carrasco, 2018) propuso el uso de cocinas eléctricas de inducción en reemplazo de las cocinas a gas licuado de petróleo (GLP), debido a que las cocinas de inducción tienen una eficiencia en promedio de 85% en comparación a las de gas que tienen una eficiencia de 47%. En comparación a la presente investigación se encontró que las cocinas a gas (GLP) tienen una eficiencia energética del 40%, mientras que las cocinas eléctricas de vitrocerámica poseen un 74% y las cocinas de inducción con un 84%. Por lo cual los valores encontrados por el investigador Carrasco encuentran similitud con los resultados de esta investigación.

VI. CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis comparativo entre distintas cocinas (gas, inducción y vitrocerámica), donde las cocinas a gas (GLP) tienen una eficiencia energética del 40%, mientras que las cocinas eléctricas de vitrocerámica poseen un 74% y las cocinas de inducción con un 84%. Respecto al consumo energético la cocina a gas tiene un gasto de 194 Kwh/mes y las de vitrocerámica e inducción 110 Kwh/mes. La energía perdida al medio ambiente en cocinas a gas es 116.4 Kwh/mes, en vitrocerámica 28.6 Kwh/mes y en inducción 17.6 Kwh/mes. Por lo cual se concluye que la cocina óptima es la de inducción con una potencia de 11.5 Kw.
- Se determinó que la irradiación solar en Namballe – Cajamarca, es de 4.25 KWh/m²/día, donde los paneles fotovoltaicos deben estar inclinados 17.90° respecto a la línea horizontal, en dirección al ecuador.
- Se determinó que se necesita de una demanda máxima de hidrógeno verde de 1.8 Kg/día para un consumo de 40.32 Kwh/día.
- Se dimensionaron y seleccionaron los equipos de la red de distribución fotovoltaica y de hidrógeno verde, obteniendo: 4 paneles monocristalinos de 605 W; 1 tanque de hidrógeno verde de material SA-285 C con un diámetro de 73.25 pulgadas, longitud 84 pulgadas y espesor 0.625 pulgadas; 1 electrobomba de 1/8 HP con un caudal de 47.7 l/min; 1 compresor de 1/8 HP con un caudal de 85 l/min; conductores eléctricos de calibre 8 AWG; 3 baterías de gel de silicio con capacidad de 431 Ah; 1 controlador de 12 V; 2 interruptores termomagnéticos tetrapolares de 63 A; 2 interruptores diferenciales de 10 mA; 3 celdas de combustible de membrana de intercambio protónico de 3.83 KW/celda y 1 electrolizador de 3 celdas con una potencia de 4.5 KW/celda.
- Se realizó un análisis económico, obteniendo un beneficio de 3090.53 dólares/año, inversión de 6919.00 dólares y retorno de la inversión de 2.2 años. El valor actual neto es de 4503.28 dólares con una tasa interna de rentabilidad de 35%, concluyendo que el estudio es viable.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un plan de mantenimiento preventivo a todos los equipos del sistema de fotovoltaico y de hidrógeno verde. Asimismo, capacitando al personal de mantenimiento para evitar fallas y estas recaigan sobre la disponibilidad de los equipos.
- Se recomienda realizar un análisis ambiental, respecto a la huella de carbono en la utilización de paneles fotovoltaicos y de hidrógeno verde, y compararlos con los distintos tipos de energías no renovables.
- Se recomienda realizar un estudio similar enfocándose en el consumo de energía total de una casa, en comparación a esta investigación que se centró en el consumo de energía en cocinas de inducción.
- Se recomienda que para la implementación y ejecución del sistema fotovoltaico y de hidrógeno verde, se debe elaborar primero un diagrama de Gantt, para la distribución de tareas en un determinado tiempo.

REFERENCIAS

- Ángel , F., & Serrano, J. (2018). El surgimiento de la economía del hidrógeno, el uso de las energías renovables y su aportación a la economía verde. *Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco.*, 92. Obtenido de <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/77>
- Aquima, P. (2019). *Proyecto de almacenamiento de energía solar fotovoltaica por hidro bombeo en la localidad de la Estrella - Región Arequipa*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10031/IMaqcapa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arroyo, M. (2017). Producción de hidrógeno en Perú de fuentes energéticas renovables: Potencialidad del barbojo de caña de azúcar. *Università degli Studi di Roma "La Sapienza"*, 112. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/155231>
- Banco Mundial. (2021). *Colombia: panorama general*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/country/colombia/overview>
- Barrera salazar, W. A., & Castilla Garzón, F. A. (2018). *Propuesta de un sistema fotovoltaico para consumo eléctrico en el municipio de quebrada negra, Cundinamarca*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/>
- Bekolite. (2021). *Una breve historia de la iluminación*. Recuperado el 8 de junio de 2021, de https://www.bekolite.com/spanish/historia_ilumacion.html
- Bello, C., Vera, L., & Busso, A. (2011). *Sistema Fotovoltaico en escuelas rurales*. Obtenido de <http://ing.unne.edu.ar/imate/jornadasint/pub/t11.pdf>
- Buele, C., & Chazi, A. (2019). *Modelación de sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en la universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca*. Obtenido de <file:///C:/Users/EQUIPO/Downloads/UPS-CT008653.pdf>
- Cabezas Maslanczuk, M. D., Franco Brazes, J. I., & Fasoli Tolosa, H. J. (2018). *iseño y evaluación de un panel solar fotovoltaico y térmico para*

poblaciones dispersas en regiones de gran amplitud térmica. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432018000200209

- Calcino, R. (2021). Producción y almacenamiento hidrógeno verde para aplicaciones energéticas en Chile. *Universidad de Chile*, 152. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181631>
- Carrasco, S. (2018). Propuesta de utilización de cocinas de inducción eléctrica para uso. *Universidad ESAN*, 115. Obtenido de <https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/>
- Cengel, Y. (2012). *Termodinámica*. México, D.F: McGraw-Hill Companies.
- Cordonasu, D. (2021). Obtención de hidrógeno verde y aplicación en cámaras de combustión industriales. *Universidad Politécnica de Cataluña*, 111. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/359732>
- Cornejo, H. (2013). *Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura*. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1762/IME_172.pdf
- Descubre. (2021). *Energía eléctrica*. Obtenido de <https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/energia-electrica/>
- El Comercio. (2021). *Precio del balón de gas ha subido hasta S/ 16 en los últimos 2 meses, según Opecu*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/economia/peru/precio-del-balon-de-gas-ha-subido-hasta-s-16-en-los-ultimos-2-meses-segun-opecu-nndc-noticia/>
- El País. (2018). *El 13% de la población mundial aún no tiene acceso a la electricidad*. Obtenido de https://elpais.com/economia/2018/05/02/actualidad/1525257286_099135.html
- Elpaís. (2021). *El precio de la gasolina sigue su escalada y marca máximos de siete años*. Obtenido de <https://elpais.com/economia/2021-06-18/el-precio-de-la-gasolina-sigue-su-escalada-y-marca-maximo-en-siete-anos.html>

- Fidas, G. (2016). *El proyecto de investigación*. Obtenido de https://www.academia.edu/9103795/Fidas_G_Arias_El_Proyecto_de_Investigaci%C3%B3n_5ta_Edici%C3%B3n
- Fontanet, J., & Díaz, J. (2004). *Viabilidad social de los proyectos de electrificación fotovoltaica con miniredes en Cuba.Santiago*. Obtenido de <http://eds.a.ebscohost.com.ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&si>
- Garay. (2021). Dennis. *Universidad Continental*, 182. Obtenido de file:///C:/Users/User/Downloads/IV_FIN_109_TE_Garay_Aquino_2021.pdf
- García Barreo, A. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de paneles solares como prueba piloto para suministro energético de dispositivos móviles, en la universidad santo Tomás, sede Villavicencio campus loma linda*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/17565/2019alexandragarcia?sequence=1>
- Helena, M. (2021). Main Routes in Hydrogen Production. *Ingeniería y competitividad: revista científica y tecnológica*, 94-102. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8184974>
- Hernández, Fernández, & Baptista. (2014). *Metodología de la Investigación*. (4, Ed.) México: McGraw-Hill.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Incropera, F. (2010). *Transferencia de Calor y Masa* (Vol. XII). México: Prentice Hall. Obtenido de https://www.academia.edu/37028342/Fundamentos_de_transferencia_de_calor_Frank_Incropera
- Jiménez, F. (2019). Evaluación técnica y económica del uso de hidrógeno verde en aplicaciones para la industria y desplazamiento de combustible fósil. *Universidad de Chile*, 125. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175586>

- Linares, J., & Moratilla, B. (2022). El hidrógeno y la energía. Análisis de situación y prospectiva de nuevas tecnologías energéticas. *Avances de la ingeniería* , 185.
- López, J. (2021). El hidrógeno verde en la Unión Europea: una vía necesaria para la transición energética. *Universidad Complutense de Madrid*, 74. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Downloads/81174-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4564456637940-1-10-20220325.pdf>
- Markit, I. (2020). El hidrógeno verde alcanzará la paridad de precios con el hidrógeno gris en 2030. *Trade World Energy*, 2-3.
- Martín, M. (2021). El papel del hidrógeno verde en la transición energética de la industria. *Revista DYNA*, 200-206. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7811753>
- Martínez , J. (2021). Sistemas fotovoltaicos y producción de hidrógeno. *Hydrogen House Project*, 5-10. Obtenido de <https://hydrogenhouseproject.org/index.html>
- Martínez, O. (2020). *Sistemas energéticos renovables, la solución para llevar electricidad a zonas rurales*. Obtenido de <https://laureate-comunicacion.com/prensa/sistemas-energeticos-renovables-la-solucion-para-llevar-electricidad-a-zonas-rurales/#.Yavw09DMLcc>
- MDN. (2022). Municipalidad Distrital de Nambaye. *Registro territorial*, 5. Obtenido de <https://www.districto.pe/districto-namballe.html>
- Medina, N. (2021). Hidrógeno verde: un paso natural para Uruguay hacia la descarbonización. *Grupo Intergubernamental*, 89-95. Obtenido de <https://policycommons.net/artifacts/1894501/hidrogeno-verde/2644511/>
- Milner, S. (2021). Hidrógeno verde a partir del reformado de biometano con vapor de agua. *Industria química*, 118-122. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8069219>
- NASA. (2022). Nasa Power Irradiación Solar. *Servicio Mundial de Geocodificación de ArcGIS*, 3. Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

- Núñez, T., & Cruz, C. (2013). *Diseño de Sistemas de energía solar fotovoltaica- aplicación en el Perú*. Obtenido de <file:///C:/Users/EQUIPO/Downloads/935-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2055-1-10-20170918.pdf>
- Ortiz, j., Mendoza, A., & Camarena , C. (2020). Producción de Hidrógeno a partir de Energía Eólica en un campus universitario ubicado en Lima-Perú. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 6. Obtenido de https://laccei.org/LACCEI2021-VirtualEdition/work_in_progress/WP511.pdf
- Peña Gallo, A. M., Gutierrez Hernandez, D. A., & Caldas Luján, G. F. (2017). *Diseño e implementación de un sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica con potencia activa de 1kw*. Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/14677/1/2017_dise%C3%B1o_implementaci%C3%B3n_sistema.pdf
- Pérez, A. (2021). *Cómo funciona el sistema fotovoltaico*. Obtenido de <https://como-funciona.co/el-sistema-fotovoltaico/>
- Pérez, S. (2019). *Factibilidad técnica, económica y social de instalaciones eléctricas solar fotovoltaicas para el consumo doméstico de la localidad de “El Vallecito”, Cusco*. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15352>
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2017). *Mujeres hondureñas aprenden sobre energía solar en India*. Obtenido de <http://www.undp.org/content/undp/es/home/ourwork/ourstories/women-from-honduraslearn->
- Puig, C. (2021). Generación de hidrógeno verde para uso industrial en Herogra Fertilizantes. *Industria química*, 44-48. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8228618>
- PvMagazine. (2020). Recuperado el 2020, de La fotovoltaica para cocinar: <https://www.pv-magazine-latam.com/2019/08/21/la-fotovoltaica-para-cocinar/>

- Ramírez, C. (2021). Estrategia Española del Hidrógeno. *Actualidad Jurídica Ambiental*, 81-98. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8096918>
- REDALYC. (2016). *Conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917316006.pdf>
- Reyes, L. (2020). Hidrógeno verde piedra angular del futuro energético. *Universidad Autónoma de Chile*, 85-102. Obtenido de <https://repositorio.uautonoma.cl/handle/20.500.12728/6796>
- Roca, J. (2021). El hidrógeno verde tendrá un costo competitivo para 2030. *El periódico de la energía*, 5-8. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/el-hidrogeno-verde-tendra-un-costo-competitivo-para-2030/>
- Roza, S. (2017). Celdas de combustible tipo membrana de intercambio protónico. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 6. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903747.pdf>
- Rúa, E., Barrera, A., & Gómez, M. (2017). *Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia*. Obtenido de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=daf93840-3d87-4c3b-a69d->
- Sandoval, H. H. (2021). *Metodología para el modelado numérico de una micro central de generación*. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4978/ICI_2108.pdf?sequence=1
- Sebastián Salamanca, Á. (2017). *Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cient/n30/2344-8350-cient-30-00263.pdf>

- Simón, M., & Cortés, B. (2021). El papel del hidrógeno verde en la transición energética de la industria. *Ingeniería e Industria*, 200-206. Obtenido de <https://web.s.ebscohost.com/>
- Sygenergy. (2021). *Energía solar fotovoltaica*. Obtenido de <https://sygenergy.co/energias-renovables/>
- Tama, A. (2020). Las cocinas de inducción. *Escuela Superior Politécnica del Litoral - ESPOL*, 15. Obtenido de <https://www.fiec.espol.edu.ec/es/fiecriteria-n-2-las-cocinas-de-induccion>
- Urquiza, A. (2021). Hidrógeno verde. ¿Una oportunidad para la transición energética justa, democrática y popular en Latinoamérica? *Energía y Equidad*, 95. Obtenido de https://co.boell.org/sites/default/files/2021-12/E_y_E_2021-N3_Energia_Mundo.pdf#page=77
- Wagner, G. (2021). *Cheap solar PV and expensive climate change*. Obtenido de <https://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail>
- Zabaloy, M. (2020). Hidrógeno verde en Argentina: desarrollo actual y perspectivas a futuro. *Universidad Nacional del Sur (UNS)*, 74. Obtenido de <https://www.researchgate.net/profile/Maria-Zabaloy>
- Ziyad, F., & Fionn, S. (2018). *Domestic photovoltaic systems: the governance of occupant use*. Obtenido de <https://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail>
- Zuriaga, I. (2019). Retos del hidrógeno verde. *Revista de Economía Aragonesa*, 74-95. Obtenido de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/68108527>

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Medición
<p>V.I. Sistema de generación de hidrógeno verde con energía fotovoltaica</p>	<p>Mártinez (2018) menciona: "Un sistema fotovoltaico de producción de hidrógeno, en términos sencillos, es la agrupación y trabajo en conjunto de ciertos componentes eléctricos para lograr la transformación de la energía solar en energía eléctrica utilizable para cualquier aparato o dispositivo eléctrico convencional de una casa, un negocio o inclusive una industria".</p>	<p>El diseño de un sistema fotovoltaico depende la irradiación solar, superficie del módulo o panel fotovoltaico y parámetros eléctricos, los cuales serán medidos mediante la técnica del análisis documental e instrumento de fichas de registro de radiación solar. Para de esta manera poder seleccionar los elementos como: panel, controlador, acumulador e inversor.</p>	Irradiación solar (W/m ²)	Longitud (m)	De Razón
				Latitud (grados, min, seg)	
			Superficie del módulo fotovoltaicos (m ²)	Largo (m)	
				Ancho (m)	
			Parámetros eléctricos	Intensidad (A)	
				Tensión (V)	
				Resistencia eléctrica (Ω)	
				Calibre de conductores (mm ²)	
			Parámetros en sistema de celdas de combustible	Potencia eléctrica (W)	
				Flujo másico de hidrógeno verde (Kg/día)	
Parámetros en sistema de electrólisis	Potencia de cocinas (KW)				
	Potencia solar (KW)				
	Intensidad (A)				
	Volumen de agua				
<p>V.D. Energía eléctrica</p>	<p>La energía eléctrica se origina de la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos determinados, que se ponen en contacto a través de un transmisor eléctrico (Bekolite, 2021).</p>	<p>Es la producción de energía eléctrica mediante la implementación del sistema fotovoltaico, producto de la energía solar. Será medido mediante un análisis eléctrico-termodinámico, con el apoyo del instrumento de fichas de registro de consumo de energía de cocinas de inducción.</p>	Potencia con paneles fotovoltaicos	Potencia eléctrica útil (W)	De Razón
			Flujo de energía eléctrica	Consumo de energía eléctrica útil (Wh/día)	

ANEXO 2: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FICHA DE REGISTRO DE IRRADIACIÓN SOLAR

FICHA DE REGISTRO DE IRRADIACIÓN SOLAR			
OBJETIVO: recolectar información respecto a la irradiación solar mínima, promedia y máxima en la ciudad de Namballe, haciendo uso del mapa solar del Perú y desde el aplicativo Solar CCEEA (Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas) de la Nasa			
Año de evaluación o medición:			
Ciudad/departamento/país:			
Longitud:		Latitud:	
Mes	Irradiación solar mínima (W/m²)	Irradiación solar máxima (W/m²)	Irradiación solar promedio (W/m²)
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			
11			
12			
Día	Irradiación solar mínima (W/m²)	Irradiación solar máxima (W/m²)	Irradiación solar promedio (W/m²)
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
.....			
365			

FICHA DE REGISTRO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

FICHA DE REGISTRO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA					
OBJETIVO: recolectar información respecto al consumo de energía eléctrica en cocinas eléctricas de inducción convencionales, asimismo como sus parámetros de potencia, voltaje y amperaje.					
Año de recolección de la información:					
Ciudad/departamento:					
Cocina	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Consumo de energía (Wh/día)	Intensidad (A)	Tensión (V)
Cocina 01					
Cocina 02					
Cocina 03					
Cocina 04					
Cocina 05					
Cocina 06					
Cocina 07					
Cocina 08					
Cocina 09					
Cocina 10					
Cocina 11					
Cocina 12					
Cocina 13					
Cocina 14					
Cocina 15					
Cocina ...					

ANEXO 3: FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS

ANEXO 3.1: Ficha técnica de la electrobomba



Serie **RFA**
Series/Série

Características

Grupo monobloc con bomba normalizada según DIN 24255, EN 733 y eje único motor-bomba. Cuerpo de bomba, soporte y rodete en hierro fundido y eje en acero inoxidable. Cierre mecánico de grafito-cerámica normalizado según DIN 24960. Temperatura máxima del líquido 90°C. Temperatura máxima del ambiente 40°C. Presión máxima 10 bars. Alimentación trifásica hasta 5,5CV (4kW) 230-400V y 7,5CV (5,5kW) en adelante 400-600V.

Aplicaciones

Aplicaciones industriales para bombeo de aguas limpias y no agresivas. Equipos de presión. Aire acondicionado y calefacción. Sistemas de riego por goteo. Equipos contra incendios.

Electrobombas monobloc norma DIN 24255, EN 733 Close coupled pumps standardized according to DIN 24255, EN 733 Groupe monobloc avec pompe normalisée norme DIN 24255, EN 733



Especificaciones técnicas

GPM de Agua @ 5 pies de Elevación	660	Salida	3/4" NPT
Tipo de Cojinete	Bolas	Longitud	7-1/8"
GPM @ 1 Pie de Elevación	12.6	Tamaño del Eje	5/16"
GPM @ 7 Pies de Elevación	9.8	Presión Máx.	9.5 psi
GPM de Agua @ 10 pies de Elevación	8	Presión de Entrada	6.5 psi
GPM de Agua @ 20 pies de Elevación	3	Diám. Máx. de Sólidos	1/8"
GPM de Agua @ 3 pies de Elevación	11.7	Diámetro del Impulsor	2"
GPM de Agua @ 15 pies de Elevación	4	Elevación Máx.	17 pies
GPM de Agua @ 5 pies de Elevación	11	Presión Máx. del Estuche	200 psi
RPM del Motor	5000	GPM Máx. @ Pies de Elevación	21 @ 0 ft
HP	1/8	GPM de Mejor Eficiencia a la Cabeza	11 gpm @ 15 pies
Material de Impulsor	Acero Inoxidable	GPM Mínimo @ Elevación	3 a 20 pies
		Rango GPM de Mejor Eficiencia a la Cabeza	3 a 16 gpm @ 20 a 10 pies

ANEXO 3.2: Ficha técnica del compresor

Compresor de Aire sin aceite de 1/8 HP Aerografía



COMPRESOR DE AIRE

Compresor de Aire sin Aceite de 1/8 HP Aerografía

El Compresor de Aire sin Aceite de 1/8 HP Aerografía, es un compresor pequeño portátil con motor eléctrico, su velocidad es de 1700 r.p.m.

Especificaciones Técnicas del Compresor de Aire sin Aceite de 1/8 HP Aerografía

- Potencia: 1/8HP (0.1kw)
- Velocidad : 1700 R.P.M
- Presión: 3bar / 42psi
- Caudal: 3 cfm
- Peso: 5kgs
- 110V/60HZ or 220V/ 50HZ
- 1/8"NPT
- con regulador y filtro de aire

ANEXO 3.3: Ficha técnica de conductores eléctricos

COMPARACIÓN ENTRE LOS CALIBRES AMERICANOS Y EUROPEOS DE CABLES Y CONDUCTORES

CALIBRE AMERICANO		CALIBRE METRICO (europeo)
AWG - MCM	mm ²	mm ²
30 AWG	0.0509	0.05
28	0.0810	0.10
26	0.1288	
24	0.2047	0.25
22	0.3255	0.50
20	0.5176	0.75
18	0.8231	1.00
16	1.3090	1.50
14	2.081	2.5
12	3.309	4.0
10	5.261	6.0
8	8.366	10.0
6	13.30	16
4	21.15	25
2	33.63	35
1	42.41	50
1/0	53.48	70
2/0	67.43	70
3/0	85.03	95
4/0	107.20	120
250 MCM	126.7	150
300	151	185
350	177	185
400	202	240
500	253	300
600	303	400
700	354	400
750	380	400
800	407	500
900	455	500

ANEXO 3.4: Ficha técnica de la batería o acumulador



Batería Estacionaria BAE 12V 431Ah

Ref.: 1751012



Batería estacionaria BAE 431Ah 12V, utilizada en aplicaciones solares y sistemas híbridos. Las baterías estacionarias BAE están caracterizadas por una alta capacidad cíclica además de tener un comportamiento de recarga excelente.

Descripción

Ficha Técnica

Comentarios

Preguntas

Voltaje de la Batería 12V

Amperios-Hora de la Batería 431Ah

Capacidad medida de la Batería C100

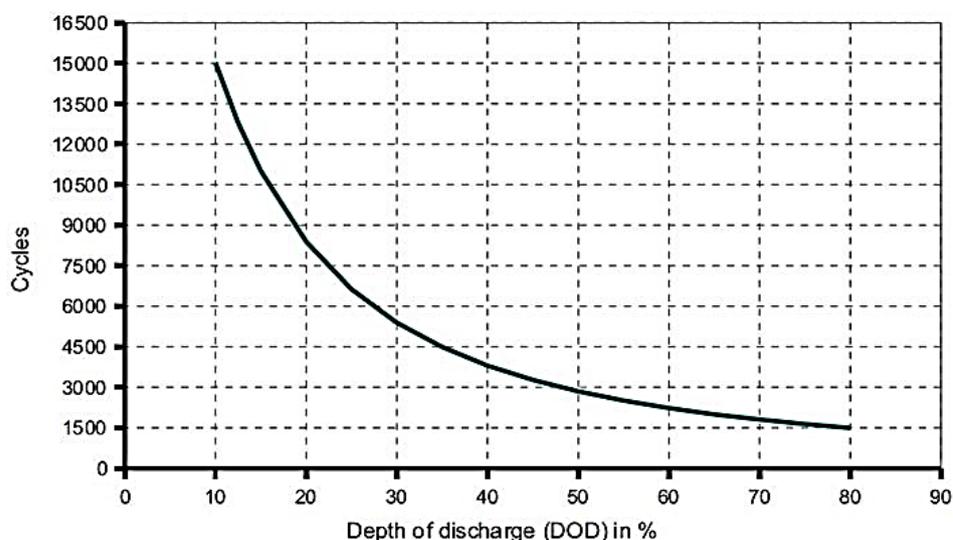
Amperaje de la Batería Entre 300Ah – 600Ah

Medidas de la Batería 105 x 208 x 420 (alto x ancho x alto). Peso de la Batería 26kg por vaso estacionario
Medida por vaso estacionario.

Garantía de la Batería 2 años

Las baterías estacionarias BAE 431Ah 12V se utilizan en aplicaciones de energía renovable, tales como la generación de energía fotovoltaica. Se utilizan en aplicaciones híbridas, así como en los sistemas fotovoltaicos independientes. Las baterías estacionarias BAE 431Ah 12V se caracterizan por una alta capacidad cíclica excepcional y un comportamiento de recarga excelente.

Aquí os mostramos los ciclos de vida de las baterías estacionarias BAE: ("Cycles" = N° de ciclos de vida / "Depth of discharge (DOD) in %" = Profundidad de la descarga)



ANEXO 3.5: Ficha técnica del controlador de carga o estabilizador de tensión

PC1800A SERIES (60A / 80A)

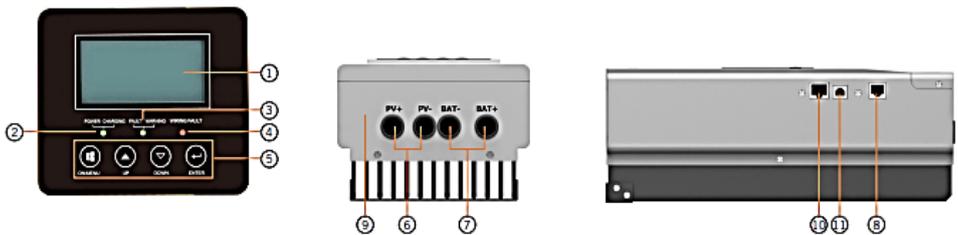
MPPT Solar Charge Controller

Shenzhen Must Energy Technology Co.,Ltd.

Tel: +86 755-29022692, 29101136

Email: sales@must-solar.com

Web: www.must-solar.com



- 1. LCD display
- 2. Power ON/Charging indicator
- 3. Fault and warning indicator
- 4. Wiring fault indicator
- 5. Operation button
- 6. PV connextors
- 7. Battery connectors
- 8. Battery temperature sensor terminal
- 9. Wiring box cover
- 10. RS485 communication port
- 11. USB

MODEL	PC18-6015A	PC18-8015A	
Nominal Battery System Voltage	12V/24V/48VDC (Auto detection); 36V (Setting)		
Battery Voltage	12V	24V	36V 48V
Maximum Battery Current	60Amps		80Amps
Battery Voltage			
PV Array MPPT Voltage Range	15-95V	30-130V	45-130V 60-130V
Maximum Input Power	12 Volt-940W 24 Volt-1880W 36 Volt-2820W 48 Volt-3760W		12 Volt-1250W 24 Volt-2500W 36 Volt-3750W 48 Volt-5000W
Protections	Solar high voltage disconnect Solar high voltage reconnect Battery high voltage disconnect Battery high voltage reconnect High temperature disconnect High temperature reconnect		

ANEXO 3.6: Ficha técnica del interruptor termomagnético



SicaLimit de 1 y 63 A



SicaLimit de 80 y 100 A

Interruptores Automáticos Termomagnéticos

Limit 3kA

Intensidad (A)	Curva	Unipolar	Bipolar	Tripolar	Tetrapolar
1	C	782101	782201	782301	-----
2	C	782102	782202	782302	-----
3	C	782103	782203	782303	-----
5	C	782105	782205	782305	782405
10	C	782110	782210	782310	782410
15	C	782115	782215	782315	782415
16	C	782116	782216	782316	782416
20	C	782120	782220	782320	782420
25	C	782125	782225	782325	782425
32	C	782132	782232	782332	782432
40	C	782140	782240	782340	782440
50	C	782150	782250	782350	782450
63	C	782163	782263	782363	782463
80	D	782180	782280	782380	782480
100	D	782100	782200	782300	782400

Interruptores Automáticos Termomagnéticos

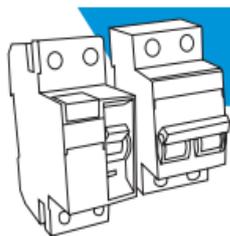
Super Limit 6kA



SuperLimit

Intensidad (A)	Curva	Unipolar	Bipolar	Tripolar	Tetrapolar
2	C	762102	762202	762302	762402
4	C	762104	762204	762304	762404
6	C	762106	762206	762306	762406
10	C	762110	762210	762310	762410
16	C	762116	762216	762316	762416
20	C	762120	762220	762320	762420
25	C	762125	762225	762325	762425
32	C	762132	762232	762332	762432
40	C	762140	762240	762340	762440
50	C	762150	762250	762350	762450
63	C	762163	762263	762363	762463

ANEXO 3.7: Ficha técnica del interruptor diferencial



Ficha Técnica

INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS DIFERENCIALES



Características Técnicas

		Bipolar	Tetrapolar
Clase		AC	AC
Corriente nominal	I_n	16 - 25 - 40 - 63A	40 - 63A
Tensión nominal	U_n	240 V-	240 / 415 V-
Corriente diferencial nominal	$I_{\Delta n}$	10 - 30 mA	30 mA - 300 mA
Frecuencia		50/60 Hz	50/60 Hz
Capacidad nominal de ruptura y de conexión	I_m	500-630A	500-630 A
Capacidad diferencial de ruptura y de conexión	$I_{\Delta m}$	500-630 A	500-630 A
Corriente nominal condicional de cortocircuito	I_{nc}	3000 A	3000 A
Dispositivo de protección contra cortocircuito	SCPD	Fus 63 A gG	Fus 63 A gG
Tensión de aislación mínima	UI	500 V	500 V
Resistencia de aislación mínima		2/5 Mohm	2/5 Mohm
Rigidez dieléctrica		2500 V	2500V
Incombustibilidad		960°C	960°C
Tamaño DIN		2 módulos	4 módulos
Rango de funcionamiento		-5 a 40°C	-5 a 40°C
Altitud máxima		2000 m	2000 m
Grado de protección		IP20	IP20
Bornes de conexión		25 ² mm	25 ² mm
Posición de instalación		vertical	vertical
Momento de apriete mínimo		2,5 Nm	2,5 Nm
Endurencia mecánica		10000 op	10000 op
Endurencia eléctrica a I_n *		2000 op	2000 op
Peso máximo		240 gr	410 gr
Montaje		Riel DIN 35 mm	Riel DIN 35 mm

* mínimas garantizadas por ensayo

Intalación y Conexionado

Los bornes de conexión de entrada son 1,3,5 y N y los de salida son 2,4,6 y N, están grabados en la cubierta frontal del dispositivo. Cuando se instale un interruptor tetrapolar en una red trifásica sin neutro se debe efectuar un puente en los bornes de entrada, entre el borne 3 y N o entre el borne 1 y N a los efectos de garantizar el funcionamiento del dispositivo de prueba. Ver figura 6.

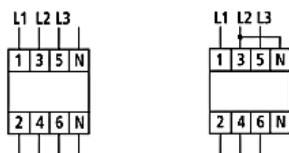


Figura 6

Botón de Prueba

Todos los interruptores diferenciales SICA cuentan con un dispositivo o botón de prueba mediante el cual es posible verificar el correcto funcionamiento de la protección diferencial. Mediante dicho dispositivo, debe testarse mensualmente el funcionamiento del interruptor diferencial.

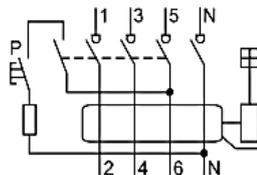


Figura 5

ANEXO 3.8: Ficha técnica de las celdas o pilas de combustible

BALLARD®

SMARTER SOLUTIONS FOR A CLEAN ENERGY FUTURE

FCvelocity®-9SSL



PRODUCT SPECIFICATIONS

Rated Power [kW] ¹	3.8	4.8	10.5	14.3	17.2	21.0
DC voltage (at 300A) ¹	12.8	16.0	35.0	48.0	57.4	70.2
Mass (with no coolant) [kg]	7.1	7.2	10.7	13	15	17
Stack core length [mm]	92	104	174	220	255	302
Stack core width [mm]	760	760	760	760	760	760
Stack core height [mm]	60	60	60	60	60	60

Type:	PEM (Proton Exchange Membrane) fuel cell stack	
Performance:	Maximum current	300A
	Shock and vibration	Automotive ²
Fuel:	Fuel composition (pre-humidification)	> 95% H ₂ ³
Oxidant:	Oxidant composition (pre-humidification)	Compressed ambient (filtered to remove particulates)
Stack Temperatures:	Storage temperature ⁴	-40 to 60° C (-40 to 140° F)
	Start-up temperature	> 2° C (> 36° F)
	Fluid inlet temperature (operating)	2 to 68° C (36 to 154° F) ⁵
	External ambient temperature (operating)	-25 to 75° C ⁴ (-13 to 167° F) ⁴

Additional information available upon request.

1. Values achieved at Ballard-specified conditions at the beginning of operational life.

2. Vibration 5g, meets USABC/SNL CRADA No. SC961447 USABC 10. Shock: 5g sections of IEC 60068-2-27 Ea and IEC 60068-2-29 Eb.

3. H₂ purity as per SAE specifications: J2719 with exceptions.

FCvelocity-9SSL

Ballard Power Systems offers a proton exchange membrane (PEM) fuel cell stack based on our proven, fourth generation transportation stack technology.

Available now to customers with fuel cell stack integration capabilities, the FCvelocity-9SSL is designed to perform in rugged conditions and is scalable depending upon customer requirements. Stacks are available in power increments from approximately 4 to 21 kilowatts.

The FCvelocity-9SSL provides stable electrical power to a system over a wide range of operating and environmental conditions.

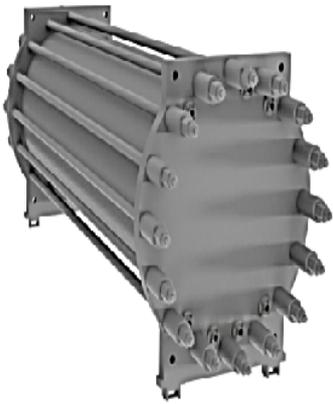
A liquid-cooled, hydrogen-fueled product, the FCvelocity-9SSL uses Ballard's standard fuel cell components.

Suitable for motive applications, the FCvelocity-9SSL features fast, dynamic response, robust and reliable operation and durable packaging.

The FCvelocity-9SSL establishes a new standard of performance by optimizing reliability, power density and compatibility with customer system requirements.

Please contact us for product availability and pricing.

ANEXO 3.9: Ficha técnica del electrolizador



PEM Electrolyser

2,000-5,000 Nm³/h

The M Series provides fast response times and production flexibility making it ideal for hydrogen generation utilizing renewable power sources. With minimal maintenance and siting requirements, M Series electrolyzers can produce up to 4,920 Nm³/h of hydrogen gas at 99.9995% purity on-demand. Featuring a scalable modular design that can be containerized, these systems offer solutions that are well-suited for a variety of industrial, fueling and renewable energy applications.

Specifications

M2000

Net Production Rate	
Nm ³ /h @ 0°C, 1 bar	1,698 Nm ³ /h
kg/24 h	4,247 kg/24 h
Production Capacity Dynamic Range	10-100% (Input Mode); 10-100% (H ₂ Demand Mode)
Average Power Consumption at Stack	4.5 kWh/Nm ³
Purity (with Optional High Purity Dryer)	99.9995%
O ₂ -Content in H ₂	<1 ppm v
H ₂ O-Content in H ₂	<5 ppm v
Delivery Pressure	30 barg (435 psig)
Dimensions	Dependent upon configuration – contact Nel for details
Ambient Temperature (Low and High Ambient Temperature Options Available)	10-40° C (50-104° F)
Electrolyte	Proton Exchange Membrane (PEM) – Caustic Free



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis Completa titulada: "Diseño de sistema de generación de hidrógeno verde con energía fotovoltaica, para uso en cocinas de inducción, Namballe – Cajamarca 2022", cuyos autores son CARHUATOCTO COLLANTES ELIOT ANDREIN, CARRASCO PEZANTES SIMEON RODOLFO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 12.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 22 de Julio del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS DNI: 16720249 ORCID: 0000-0003-4412-8789	Firmado electrónicamente por: AJSALAZARM el 22- 07-2022 20:17:12

Código documento Trilce: TRI - 0361748