



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

Diseño de sistema de generación eléctrica basado en fuente  
fotovoltaica e hidrógeno, para optimizar los costos de iluminación  
en centro comercial de Chiclayo.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTORES:**

Bravo Córdova, Wander ([orcid.org/0000-0002-0989-7219](https://orcid.org/0000-0002-0989-7219))

Manayay Martínez, Deivi Alexander ([orcid.org/0000-0002-6121-8471](https://orcid.org/0000-0002-6121-8471))

**ASESOR:**

Mg. Salazar Mendoza, Aníbal Jesús ([orcid.org/0000-0003-4412-8789](https://orcid.org/0000-0003-4412-8789))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, transmisión, distribución

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO - PERÚ

2022

## DEDICATORIA

*Primero queremos agradecer a Dios, por la vida y por permitirnos llegar a este punto de nuestras vidas y poder cumplir una de nuestras metas. En segundo lugar, agradecer a nuestros padres, esposas e hijos, que son la fuerza que enderezan nuestros caminos.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Queremos agradecer a los docentes de la UCV, en especial a los docentes de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, mi gratitud a sus enseñanzas durante el periodo de mi formación profesional.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	4
<b>III. METODOLOGÍA</b>	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	16
3.5. Procedimientos	17
3.6. Método de análisis de datos	17
3.7. Aspectos éticos	17
<b>IV. RESULTADOS</b>	18
<b>V. DISCUSIÓN</b>	46
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	50
<b>VII. RECOMENDACIONES</b>	51
<b>REFERENCIAS</b>	52
<b>ANEXOS</b>	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Irradiación solar 18° MAKRO Chiclayo	20
Tabla 2: Potencia y energía útil en el sistema de iluminación	23
Tabla 3: Entalpías de formación y entropías de formación	24
Tabla 4: Características técnicas del panel fotovoltaico	29
Tabla 5: Características técnicas de la celda de combustible	38
Tabla 6: Características técnicas de la batería	39
Tabla 7: Características del electrolizador	40
Tabla 8: Inversión en activos fijos del proyecto	43
Tabla 9: Análisis financiero del proyecto	45
Tabla 10: Operacionalización de variables	58
Tabla 11: Ficha de observación	60
Tabla 12: Ficha de evaluación de radiación	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Puesta del sol en los equinoccios y solsticios.	7
Figura 2: Geometría solar	8
Figura 3: Radiación solar en superficies inclinadas	8
Figura 4: Efecto fotovoltaico	9
Figura 5: Sistema autónomo	10
Figura 6: Sistema fotovoltaico conectado a la red de electricidad	11
Figura 7: Conexión del regulador de carga solar	12
Figura 8: Proceso de electrólisis	14
Figura 9: Esquema del diseño de un electrolizador	14
Figura 10: Proceso químico de una pila de combustible	15
Figura 11: Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos	18
Figura 12: Fluctuación de irradiación solar MAKRO Chiclayo (1981-2021)	20
Figura 13: Fuente fotovoltaica e hidrogeno para generación de electricidad	21
Figura 14: Diagrama de cargas de consumo de energía eléctrica	23
Figura 15: Productos y reactivos en una pila de combustible	24
Figura 16: Dimensiones geométricas del panel fotovoltaico	30
Figura17: Instalación del tanque de hidrógeno verde y accesorios	31
Figura 18: Curva de dimensionamiento del tanque de hidrógeno	34
Figura 19: Espesor de pared del cuerpo	35
Figura 20: Tapas semi – elípticas del tanque de hidrógeno verde	36
Figura 21: Dimensiones del tanque de hidrógeno verde	37

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo diseñar un sistema de generación eléctrica basado en fuente fotovoltaica e hidrógeno, para optimizar los costos de iluminación del centro comercial MAKRO Chiclayo. El tipo de investigación es aplicada con diseño no experimental. Tomando como muestra el centro comercial MAKRO de la ciudad de Chiclayo, departamento Lambayeque. Para el diseño se realizó un análisis de fluctuación de irradiación solar obteniendo un valor de 4.46 KWh/m<sup>2</sup>/día. Para lo cual, los paneles solares monocristalinos de 505 W deben estar inclinados 20°. El gasto másico de hidrógeno verde para cumplir con la demanda máxima debe ser 8.06 Kg/h, para generar 228 KWh/día, en el intervalo de tiempo de 5:00 am – 12:00 pm. El tanque de hidrógeno tiene un diámetro de 162 pulgadas y longitud 420 pulgadas. Las celdas de combustible y electrolizador son de membrana polimérica, con un potencia de 30 KW. Las baterías son de gel de silicio de 12V con una capacidad de 510 Ah. El proyecto tiene una inversión de 72520.00 dólares, beneficio de 21221.10 dólares/año, periodo de retorno de la inversión 3.4 años, valor actual neto 38171.71 dólares y tasa interna de rentabilidad 26%, valores que representan una factibilidad económica positiva del estudio.

**Palabras clave:** *fuentes fotovoltaica, celda de combustible, electrolizador, irradiación solar.*

## ABSTRACT

The objective of this study was to design an electrical generation system based on photovoltaic sources and hydrogen, to optimize the lighting costs of the MAKRO Chiclayo shopping center. The type of research is applied with a non-experimental design. Taking as a sample the MAKRO shopping center in the city of Chiclayo, Lambayeque department. For the design, a solar irradiation fluctuation analysis was carried out, obtaining a value of 4.46 KWh/m<sup>2</sup>/day. For which, the 505W monocrystalline solar panels must be tilted 20°. The mass consumption of green hydrogen to meet the maximum demand must be 8.06 Kg/h, to generate 228 KWh/day, in the time interval of 5:00 am – 12:00 pm. The hydrogen tank has a diameter of 162 inches and a length of 420 inches. The fuel cells and electrolyser are polymeric membrane, with a power of 30 KW. The batteries are 12V silicon gel with a capacity of 510 Ah. The project has an investment of 72,520.00 dollars, a benefit of 21,221.10 dollars/year, a return period of 3.4 years, a net real value of 38,171.71 dollars and an internal rate of return of 26%, values that represent a positive economic feasibility of the study.

**Keywords:** *photovoltaic source, fuel cell, electrolyser, solar irradiation.*

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad internacional el uso de fuentes energéticas fotovoltaicas está en un incremento exponencial. Para el año 2000 el uso de paneles fotovoltaicos en el mundo representaba el 0.55% respecto a todas las energías renovables y para el año 2020 este valor porcentual incrementó a 3.65% (Diazgranados, y otros, 2020). El uso de paneles fotovoltaicos en la generación de energía eléctrica tiene un gran impacto en la reducción de los costos económicos (González, Osario, Trejos, Dur, & Rodríguez, 2020), si comparamos el uso de la energía fotovoltaica con la energía hidráulica para la producción de energía eléctrica la ganancia económica es de 20 cent. S/KWh (Cortez, Gómez, Betancur, Carvajal , & Guerrero, 2020). Pero la tecnología del uso de paneles fotovoltaicos, está revolucionando en su aplicación para producir hidrógeno verde, al cual se le ha denominado el combustible del futuro (Brijaldo, Castillo, & Pérez, 2021). La rentabilidad del hidrógeno verde respecto a otros combustible es ventajosa, y solo se puede comparar en utilidad económica con gas natural comprimido (Zuriaga, 2021). Pero el gran freno u obstáculo que está teniendo actualmente el hidrogeno verde es la instrumentación para su producción como el electrolizador y sistemas de almacenamiento (Serrano, 2021), pero que con el tiempo sus precios se reducirán debido al gran impacto económico que causa el uso del hidrogeno verde ya se para su uso directo como combustible o para la generación de energía eléctrica (Giménez, 2020). Asimismo, el hidrogeno verde tiene un 32% más de rentabilidad económica frente al gas natural, 85% más en relación al gas licuado de petróleo y 188% más en relación al petróleo (Delgado & Pérez, 2021).

El uso de la energía fotovoltaica para la producción de energía eléctrica en el Perú cubre solo el 2.01% (Verne, 2021), un valor relevantemente bajo y su uso en la producción de hidrógeno verde aún está en aparición, lo cual representa una gran desventaja energética frente a países de América como Estados Unidos, Canadá, México, Brasil, Argentina y Chile (Carrión, 2021).

En el Perú existe una alta competencia en el rubro de comercialización de diversos productos, por lo cual es necesario e importante que los productos que ofrezcan los centros comerciales sean de buena calidad y que logren cumplir con las expectativas de los consumidores. Para ello los centros comerciales deben de tener

todas sus áreas en un óptimo estado de funcionamiento, teniendo en cuenta también el tema de consumo energético, ya que es indispensable para el funcionamiento de dichos centros de ventas.

MAKRO, es una empresa dedicada al rubro de comercialización de abarrotes a gran escala, por lo que se presenta como una buena alternativa de ahorro en adquisición de productos de primera necesidad. La tienda MAKRO sede Chiclayo, se encuentra ubicada entre la Av. Jorge Basadre, Calle Prolongación Quiñones y calle Miguel Grau en la Urbanización Campodónico, contando con un área aproximada de 6500 m<sup>2</sup>, sus ventas aproximadas son de alrededor de 300 000,00 soles por día. La tienda se abastece de la red de distribución eléctrica y cuenta con un transformador de 400 KVA que transforma la energía de MT a BT (22.9 KV – 380V/220V), 60 Hz, además cuenta con un grupo electrógeno de 353 KW (380V/220V); además cuenta con un banco de condensadores de 8 pasos con un total de 216 KVAR (Anexo 3.1).

La problemática en dicho centro de ventas está en el excesivo consumo de energía eléctrica con una demanda máxima (potencia útil) de 91 KW, donde el mayor consumo se genera en los diversos equipos de conservación y refrigeración, así como también en el sistema de iluminación, siendo el punto más crítico el piso de ventas, donde actualmente se cuenta con un aproximado de 700 luminarias las cuales se encuentran encendidas 18 horas por día, durante todos los días del año, lo que representa un consumo de potencia de 28.30 KW, una suma importante del consumo total de energía por parte de la empresa equivalente al 31% (Anexo 3.2). La empresa MAKRO debido a su dependencia totalitaria al SEIN (Servicio Eléctrico Interconectado Nacional) viene pagando una factura eléctrica promedio mensual de 29 500, 00 soles (Anexo 3.3).

Enfocándonos con mayor énfasis en el alto consumo energético que genera el sistema de iluminación del centro comercial, se formuló el problema ¿Cómo se optimizarían los costos de iluminación en el centro comercial MAKRO Chiclayo?

Para dar respuesta al problema se planteó la siguiente hipótesis ¿La optimización de los costos de iluminación en el centro comercial MAKRO, se lograrán mediante el diseño de un sistema de generación eléctrica basado en fuente fotovoltaica e hidrógeno?

Este proyecto de investigación permitirá conocer y aplicar tecnología de sistema de generación fotovoltaico en la tienda MAKRO, permitiendo disminuir la facturación de energía eléctrica, además de que se estaría generando energía renovable con lo cual se disminuye la contaminación de gases de efecto invernadero, disminuyendo la huella de carbono. De la misma manera metodológicamente esta investigación contribuye como base científica al estudio del hidrógeno verde mediante la energía fotovoltaica, sirviendo como fundamento y sustento a futuras investigaciones de las cuales aún no se dispersa mucho en el tema.

Frente a la problemática descrita para su solución esta investigación planteó el siguiente objetivo general: Diseñar un sistema de generación eléctrica basado en fuente fotovoltaica e hidrógeno, para optimizar los costos de iluminación del centro comercial MAKRO Chiclayo. Para lograr el objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos: (1) Realizar un análisis fluctuación de irradiación solar en la localización del centro comercial MAKRO de Chiclayo, para su sostenibilidad en el tiempo, (2) Determinar gasto másico de hidrógeno verde para cumplir con la demanda máxima del sistema eléctrico de iluminación, (3) Realizar un análisis al sistema fotovoltaico para determinar el tipo de celdas, potencia pico, eficiencia y cantidad de paneles solares (4) Dimensionar y seleccionar los equipos intervinientes en las siguientes redes: fotovoltaica, hidrogeno verde y de iluminación, (5) Realizar un análisis económico financiero para la viabilidad del estudio.

## II. MARCO TEÓRICO

El presente informe de investigación se sustentó en artículos científicos, informes de investigación a nivel internacional, nacional y local, respecto a los temas de energía fotovoltaica e hidrógeno verde.

Los investigadores (Román & Arévalo, 2018), en su investigación titulada “Análisis de la producción de hidrógeno verde a partir de la energía solar fotovoltaica”, realizaron un estudio no experimental, descriptivo. Los autores utilizaron como herramientas el atlas solar y el software PVGIS para analizar la irradiación solar en el punto de aplicación del proyecto y para su posterior utilización en la producción de hidrogeno verde. Los autores indicaron que un quinto CO<sub>2</sub> liberado es producido por el sistema de transportes en el mundo, el cual consume el 60% del petróleo, siendo una gran oportunidad para el empleo del hidrógeno verde y de esta manera reducir la brecha de contaminación ambiental. Asimismo, los autores especificaron que para el año 2050 el hidrogeno verde representará el 34% del uso total de los combustibles, reduciendo los costos de del petróleo y sus derivados en un 37%. También Román y Arévalo, especificaron que 1 Kg de hidrógeno verde produce 33.30 KWh, frente al gas natural que produce 14 KWh y 12.40 KWh con petróleo. El autor (González, 2018) en su investigación “Producción de hidrogeno a partir de energía solar fotovoltaica. Análisis de sensibilidad de parámetros de diseño”, empleo un estudio pre-experimental. El autor implemento una fuente fotovoltaico e hidrógeno para un consumo de energía de 3.6 KWh/día y una potencia de 197 W, implementando 3 paneles fotovoltaicos de 500 Wp de células monocristalinas con batería de 48V y 400 Ah, electrolizador de agua de 1000 W tipo PEM (30 células) con área del electrodo de 30 cm<sup>2</sup>, tanque de hidrógeno de hidruro metálico tipo AB5 de 70 m<sup>3</sup>, pilas de combustible de 300 W tipo PEM (48 pilas) con área del electrodo de 50 cm<sup>2</sup>. Donde el sistema fotovoltaico e hidrógeno tiene una eficiencia del 88.83%, el cual es superior en comparación a un sistema fotovoltaico autónomo, lo cual refleja una viabilidad positiva este tipo de tecnologías.

El investigador (Caicedo, 2019), en su investigación “Estudio técnico de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la universidad piloto de Colombia como caso de estudio”, cuyo autor señala que este proyecto al ser dependiente de las radiaciones solares, se debe estudiar la ubicación, clima y su entorno, debido a que estos factores estropearan la generación de energía. El autor

concluye que debido al estudio realizado sobre los factores antes mencionados en el lugar donde se realizará el proyecto, resulta ser viable, ya que la ciudad de Bogotá recibe una radiación mayor a los 3 500 Wh/m<sup>2</sup> por día durante el año. Se determinaron los elementos a utilizar para generar energía eléctrica, comenzando con la selección de las placas solares y eligiendo aquellos que brindan mayor garantía, eficiencia y que entregan la mayor potencia al sistema considerando el espacio que hay para la instalación.

Asimismo, los investigadores (Villegas & Luis, 2020) en su estudio “Diseño de un sistema fotovoltaico para la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en la comunidad masa 2, Golfo de Guayaquil” los autores señalan que el sol es una fuente muy importante e interminable de recursos para las personas, por lo consiguiente es una opción útil para generación de energía limpia. Analizaron las insuficiencias eléctricas que la institución requería para mejorar la calidad en la educación y aprendizaje de los estudiantes. Ejecutaron los cálculos de potencia nominal basándose en el consumo máximo diario de la energía y la potencia pico, para definir el número de paneles en serie y paralelo. Los autores de este proyecto concluyen que los paneles reciben mayor radiación solar al estar ubicados en una orientación e inclinación adecuada. Determinaron que el sistema fotovoltaico aislado puede aprovechar de manera eficiente la radiación solar con elementos adecuados para la instalación en el lugar, debido a que los cálculos utilizados corroboran la simulación con resultados positivos.

El investigador (López, 2019) “Diseño de un sistema fotovoltaico para autoconsumo conectado a red en la empresa Viettel Perú S.A.C. ubicado en Trujillo - la libertad”, señala que la ciudad de Trujillo recibe una aceptable radiación solar, sus valores de irradiación están entre 5,5 y 6 kWh/m<sup>2</sup> /día, según la fuente bibliográfica técnica del Ministerio de Energía y Minas. Las condiciones del lugar a implementar el proyecto fotovoltaico contribuyen con el aprovechamiento de un aproximado de 6 horas diarias de radiación solar libres de sombras, requiriendo de una estructura adicional con la finalidad de inclinar los paneles fotovoltaicos de manera óptima. Este sistema se dimensionó para una potencia de 13,8 kW, estando equipado con 48 paneles de 365 Wp, 1 Vatímetro de 100 A / 230 V y 3 inversores de 6000W/48V para abastecer la demanda energética de 73 300 Wh de consumo diario. Los paneles serán montados e instalados en 3 filas de 16 paneles c/u, la inclinación de

estos paneles será de 16 grados y la orientación será según la estructura de soporte.

(Pérez, 2019) En su tesis titulada “Diseño de un sistema de generación fotovoltaico con seguidor lumínico independiente a su ubicación”, cuyo autor realiza el diseño de un sistema fotovoltaico el cual aprovecha la energía solar en la población de Cucufana para atender sus necesidades cotidianas. El autor decidió utilizar el sistema de amp. -hora descrito en la Institución Española Censolar para dimensionar los equipos, como resultado logró definir que la energía que debe de suplir el equipo sería de 1438,99 W-h al día, con esto se determinó las baterías a utilizar, siendo cuatro en paralelo (12 voltios y 172 Ah), dos paneles solares en paralelo (de 200 Wp), un regulador de 40 A y un inversor de 12/220 V a 60 Hz, de 300 W.

La investigación se fundamentó científicamente en las siguientes teorías relacionadas al tema:

Fuentes de energía: son recursos que existen naturalmente, en consecuencia, el ser humano puede beneficiarse utilizándola en sus actividades. Existen generadores de energía renovable (solar, eólica, hidráulica, mareomotriz y la biomasa) y energías no renovables las cuales existen en cantidad limitada.

Energía Renovable: La demanda energética de la humanidad está en constante aumento, por lo que se hace uso de diversas fuentes de energía renovables, que contribuyen con la reducción de los efectos ambientales negativos, siendo estas fuentes cada vez más importantes. (Zsiborács, 2019). La energía renovable es aquella que genera electricidad limpia y se obtienen de la naturaleza, las cuales son inagotables. Entre estas se encuentra el sol, calor de la tierra, el viento, el mar, la materia orgánica y los ríos. Ya que el consumo de energía eléctrica a nivel mundial crece exponencialmente, hoy en día se busca intensamente nuevas formas para generar energía eléctrica. Siendo una de las alternativas, los sistemas fotovoltaicos, convirtiendo la energía del sol en electricidad. (Pacheco, 2019)

Energía Solar: Generada por el sol, debido a las reacciones nucleares de fusión que logran llegar a la tierra por medio del espacio (fotones), teniendo relación con nuestra atmósfera y la superficie terrestre.

Radiación solar: Es un cúmulo de radiación electromagnética producida por el Sol, expandiéndose a 300000 km/s (velocidad). Definida también como el flujo energético obtenido por el sol en forma de ondas electromagnéticas, permitiendo el traslado de la energía solar a la superficie terrestre (Miranda, 2019).

Medición de la radiación solar: Hoy en día existen diferentes instrumentos para realizar la medición de este parámetro. Para la irradiación directa se utiliza el instrumento denominado pirheliómetro, el cual generalmente utiliza termopilas como detectores. Para la radiación difusa se utiliza piranómetro con banda de sombra (Velásquez, 2020). Mientras que para la irradiación global (radiación directa y difusa) se utiliza solarímetro y actinómetro (Delgado M. , 2019). Cabe mencionar que la radiación directa es la más primordial para el diseño de sistemas fotovoltaicos.

Geometría solar: En una implementación de un sistema solar, es fundamental tener conocimiento sobre sobre la radiación solar en un plano que corresponde la implementación y también la trayectoria del sol durante las variadas estaciones del año. Con estos conocimientos se puede calcular la generación de energía del sistema (Figura 1).

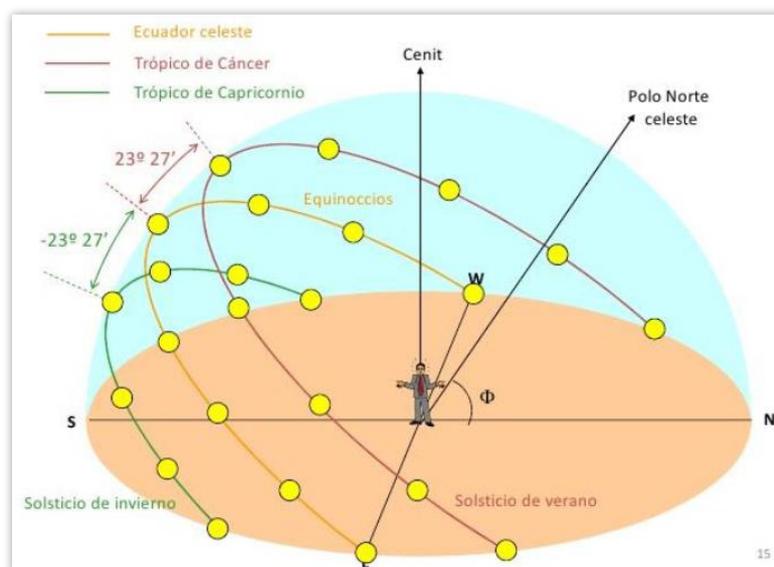


Figura 1: Puesta del sol en los equinoccios y solsticios.

Fuente: (Miranda, 2019)

Ángulos en la geometría solar: A continuación, se definen los ángulos de la geometría solar, teniendo como referencia el contenido de la figura 2.

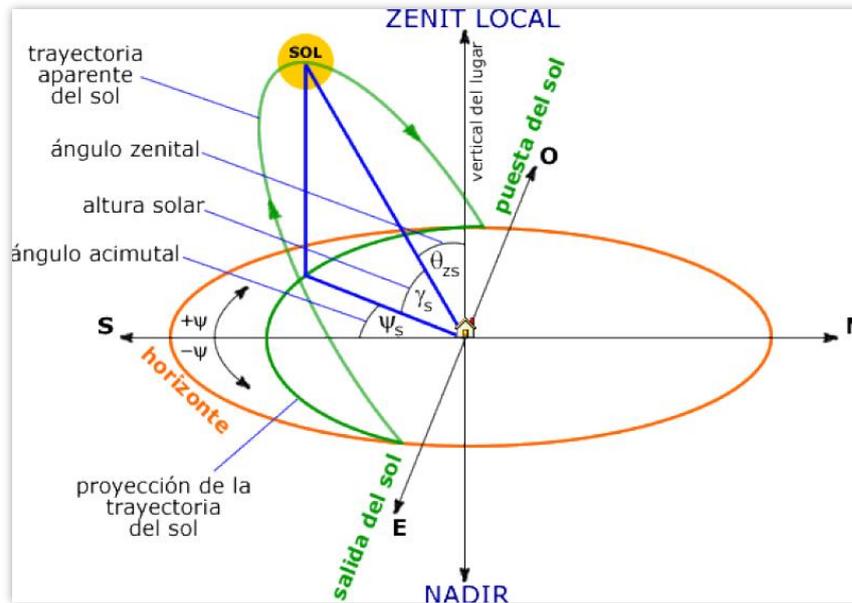


Figura 2: Geometría solar

Fuente: (Díaz, 2018)

Radiación solar en superficies en pendiente: Gracias a las radiaciones que llegan directamente a la tierra se puede generar energía eléctrica necesaria, y de esa forma reemplazar en buena parte otras fuentes no renovables (Salas, 2018). La óptima inclinación de una superficie fija, se determina conociendo la radiación solar en el lugar donde se instalará los paneles.

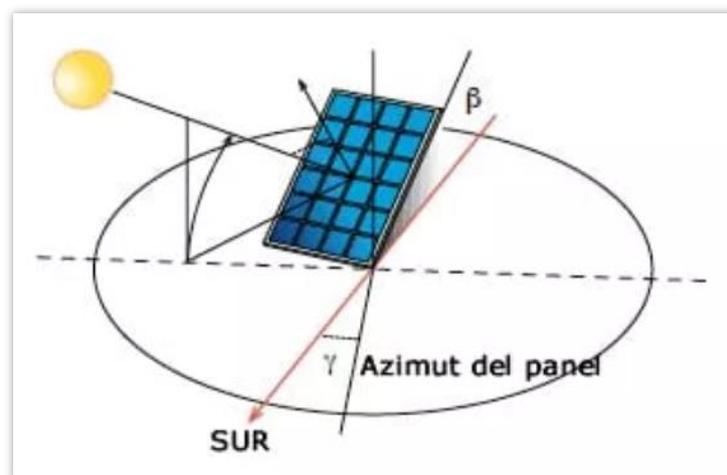


Figura 3: Radiación solar en superficies inclinadas

Fuente: (Salas, 2018)

Energía solar fotovoltaica: transformación de la energía del sol en electricidad y esto se da gracias al dispositivo electrónico llamado panel solar. Esta transformación es un fenómeno físico llamado “efecto fotovoltaico”, siendo unas de sus destacadas características su muy alta calidad de energía, impacto ecológico casi nulo, etc.

El efecto fotovoltaico: Este efecto también conocido como fotoeléctrico, el cual se caracteriza por producir una corriente eléctrica entre dos piezas de diferentes componentes estando estas en fricción y expuestas a una radiación electromagnética. Los materiales semiconductores (como el silicio) particularmente presentan un proceder diferente ante la electricidad. El comportamiento de los semiconductores va a depender de la excitación de la fuente energética (Planas, 2021).

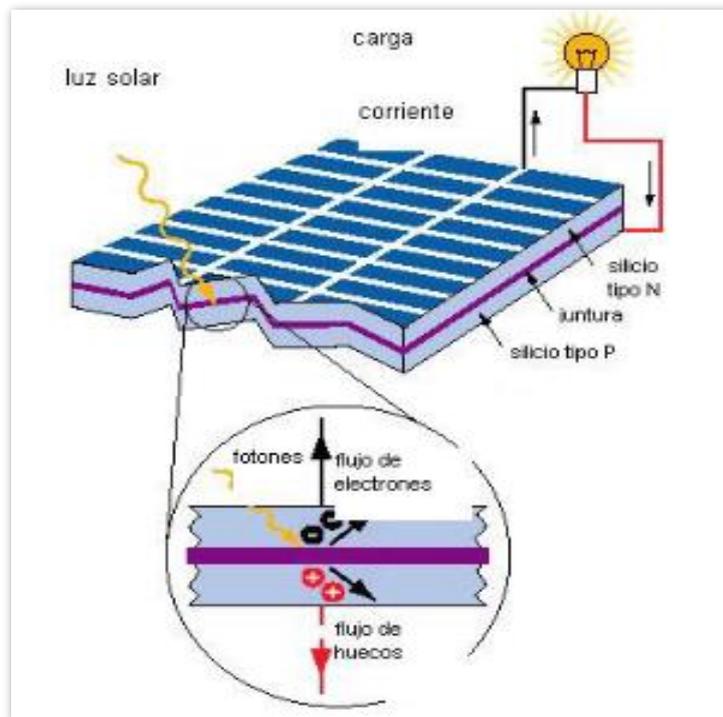


Figura 4: Efecto fotovoltaico

Fuente: (Planas, 2021).

Para la reducción de costos de los sistemas fotovoltaicos es muy precisa la efectividad de los paneles solares, debido a que su fabricación es la más costosa del sistema. En el anexo 3.4, señala un panorama de las mejoras alcanzadas en diversos tipos de paneles solares.

Sistema de generación fotovoltaica: Este sistema transforma directamente la radiación del sol en electricidad, y esto se da a través de las células solares aplicando el principio del efecto fotoeléctrico. El sistema de generación fotovoltaica ha logrado llevar electricidad a zonas de difícil acceso al suministro eléctrico. El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico se basa en realizar cálculos y se debe conocer datos sobre el consumo energético de los usuarios, factores de utilización y simultaneidad, con el objetivo de obtener la generación de la electricidad a través de dicho sistema (Gaibor, 2020)

Sistemas Fotovoltaicos Aislados: Este es determinado como sistema auto abastecedor, dado que permite aprovechar la radiación solar y así llegar a obtener la energía eléctrica necesaria para el suministro de una instalación, dicha función la realiza el módulo fotovoltaico. Lo que destaca en este sistema es que toda la energía eléctrica obtenida la acumula en baterías, para que pueda ser utilizada en cualquier momento que se disponga de ella, y no sólo en presencia de la radiación Sol. Dicha acumulación de electricidad tiene que ser bien dimensionada para permitir el funcionamiento del sistema, incluidos en periodos malos y cuando la radiación del sol disminuya. Con ello se asegura un suministro continuo. Generalmente en este tipo de sistemas, la cantidad y la capacidad de baterías son dimensionadas para la duración de dos o tres días, con la finalidad reservar la cantidad suficiente de energía para días en que las condiciones del clima sean desfavorables, disminuyendo la generación de energía eléctrica (Juarez, 2018).

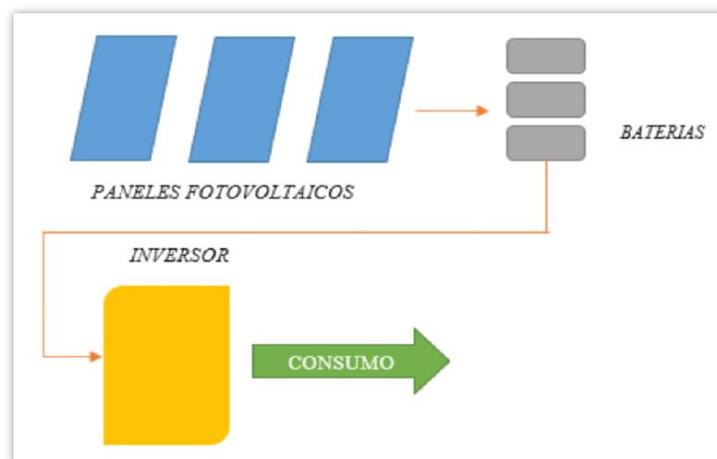


Figura 5: Sistema autónomo

Fuente: (Juarez, 2018)

Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica: Para este sistema, la generación de electricidad es proporcionada para su venta a la red de distribución eléctrica convencional, o también para reducir los costos de la facturación mensual. La energía eléctrica que se genera ingresa directamente a la red de distribución. Actualmente las empresas que distribuyen energía eléctrica son obligadas por ley a pagar la energía ofrecida por las centrales fotovoltaicas para ser inyectadas a su red. (Rubio, 2019).

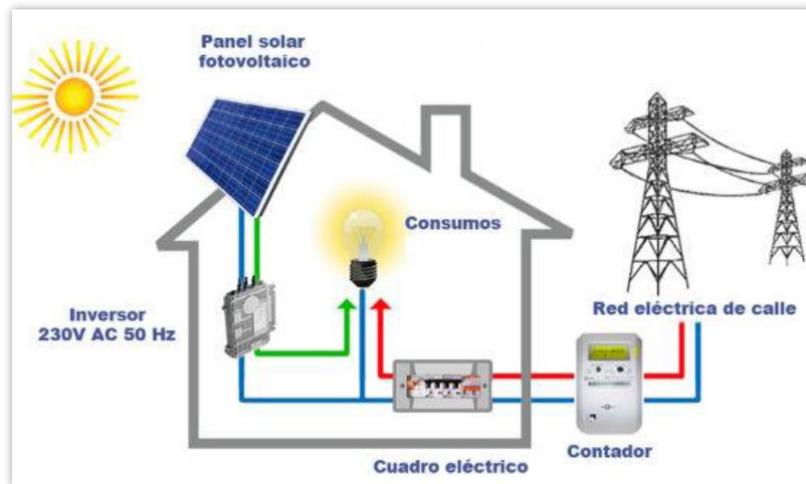


Figura 6: Sistema fotovoltaico conectado a la red de electricidad

Fuente: (Miranda, 2019)

Componentes de un sistema fotovoltaico: Los generadores fotovoltaicos producen electricidad de la energía obtenida del Sol, la generan en corriente continua, cuya función es brindar la corriente y tensión que se encarga de tener la batería siempre cargada. (Chura, 2020). Dentro de una instalación o implementación de un sistema fotovoltaico se tiene equipos que se deben ser dimensionados para la transformación de energía solar a eléctrica.

Módulos fotovoltaicos: Son encargados de suministrar electricidad renovable, su dimensionamiento depende de las limitaciones del sistema, incluyendo la carga insatisfecha, permiso y el tamaño de otras fracciones renovables que contribuyen al sistema. (Zuhair, 2018). Existen diferentes tipos de paneles, entre los que tenemos los monocristalinos, policristalino y amorfos. Según fabricantes se garantiza una vida útil que pasa los 20 años. (Montalvo, 2019)

El panel es la conexión de varias células en paralelo y/o en serie, en serie para aumentar la corriente y en paralelo para incrementar el voltaje. (Vásquez, 2019)

Estructura de soporte: Estructura mecánica cuya función es soportar el peso los paneles fotovoltaicos, dichos elementos mecánicos deben cumplir con las especificaciones de diseño de la instalación es decir con la inclinación y orientación que se requieran. La estructura de soporte puede ser fija o móvil, en el caso de la fija poseen orientación e inclinación fijas que son calculadas a la hora del diseño. En el caso de la móvil suelen utilizarse en las “huertas solares” donde los paneles siguen la posición del sol. La estructura debe de estar apto para soportar las cargas del viento. La sujeción de los módulos solares debe de ser homologada; el material de la estructura y de los pernos a utilizar debe de ser de acero inoxidable o galvanizado, con el objetivo de proteger a estos elementos de la corrosión.

Regulador de Carga: Para obtener un adecuado funcionamiento de la instalación, es necesario utilizar un dispositivo que permita regular la carga en la unión de los paneles fotovoltaicos y las baterías. Este dispositivo es el encargado de proteger ante situaciones de carga y sobre descarga de la batería, para mantener su vida útil. Este dispositivo trabaja en la parte relacionada con la carga, que se encarga de mantener suficiente carga para el acumulador y evita las sobrecargas, como en la parte de descarga, en la que asegura el suministro eléctrico suficiente y evitar que la batería se descargue excesivamente. (Torres, 2018)



Figura 7: Conexión del regulador de carga solar

Fuente: (Torres, 2018)

Acumulador o batería: Encargado de almacenar la energía, para brindarla independientemente de la producción eléctrica del generador fotovoltaico en ese

instante. Compuesto por dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se desarrollan reacciones químicas producto de la carga y descarga.

Inversor o Convertidor: Encargado de variar la intensidad y la tensión recibida, realizando la conversión adecuada para los usos que llegará a cubrir. La clase cc/ca es la que se utiliza más en un sistema fotovoltaico autónomo convirtiendo la tensión del banco de baterías en 220 V en C.A para su consumo. Existen 2 clases de inversores:

De conmutación natural, solo aplicable para sistemas conectados a la red eléctrica.

De conmutación forzada, aplicables para sistemas aislados a la red eléctrica.

El inversor debe de ser protegido de la tensión de llegada que esta fuera del rango de funcionamiento, de la desconexión de los acumuladores, de los cortocircuitos en salida de corrientes alternas y de sobrecargas que sobrepasen la duración y los límites permitidos (Rufasto, 2019).

Sistema Eléctrico: Consta de elementos que en conjunto lograr satisfacer las necesidades eléctricas, dichos elementos son encargados de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica. Elementos, líneas que en conjunto forman el sistema de transporte de energía, el cual comprende desde las centrales generadoras hasta los usuarios (Campos, 2019)

Hidrógeno: El hidrógeno es el elemento más ligero de la naturaleza, así como el más abundante, principalmente como componente del agua. La característica más importante del hidrógeno como vector energético que justifica su estudio, es que almacena mayor cantidad de energía por unidad de peso que cualquier otra sustancia y su combustión produce agua, sin contaminar el ambiente. El proceso de producción de hidrógeno puede variar ampliamente y se identifica con un color diferente según la fuente energética utilizada en su producción. Los tres “colores” principales disponibles para la industria son gris, azul y verde. El hidrógeno gris se genera a partir de combustibles fósiles. El hidrógeno azul se genera utilizando en este caso el gas natural. El hidrógeno verde es aquel que puede producirse mediante electrólisis alimentada por energía de fuentes 100% renovables, con cero emisiones de gases de efecto invernadero (Brijaldo, Castillo, & Pérez, 2021).

Electrólisis: La electrólisis del agua es el camino más directo para la obtención de hidrógeno y oxígeno gaseosos con alto grado de pureza. La electrólisis del agua está definida como la descomposición de agua en los gases oxígeno (O<sub>2</sub>) e

hidrógeno ( $H_2$ ) por medio de una corriente eléctrica continua conectada al agua por medio de electrodos. Donde en el ánodo es el electrodo donde se lleva la oxidación (Producción de hidrógeno) y el cátodo es el electrodo donde se efectúa la reducción (producción de oxígeno libre), como se muestra en la figura 8.

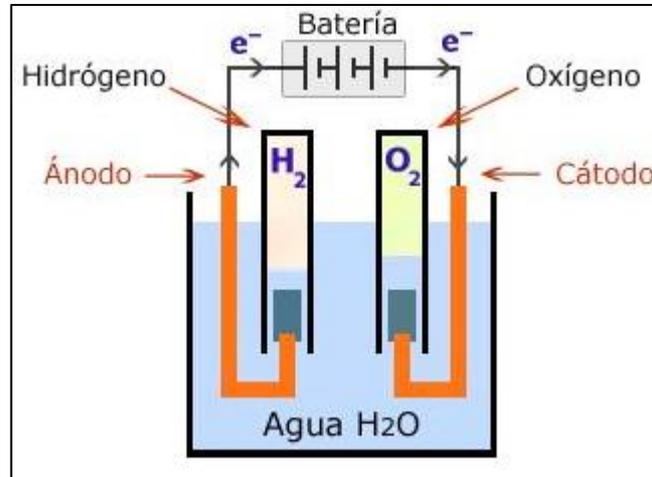


Figura 8: Proceso de electrólisis

Fuente: (Carrión, 2021)

En la figura 9, se muestran un esquema general, del diseño de un electrolizador en la producción de hidrógeno verde.

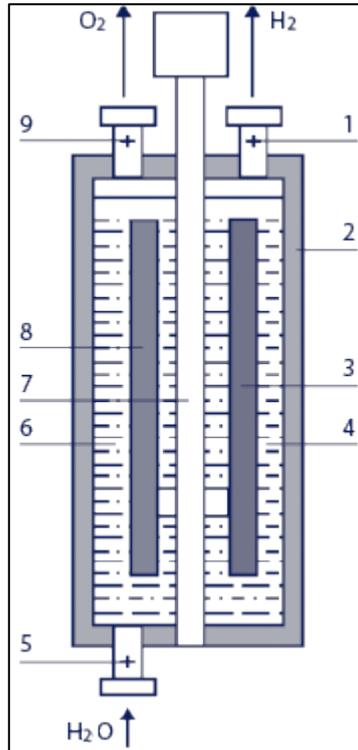


Figura 9: Esquema del diseño de un electrolizador

Fuente: (Bermúdez, 2021)

En la figura 9, las partes principales de un electrolizador son: (1) Tubería de evacuación del hidrógeno verde, (2) Marco acrílico, (3) Electrodo ánodo, (4) y (6) Medio del electrolito, (5) tubería del ingreso de la sustancia agua, (7) Diagrama o membrana, (8) Electrodo cátodo y (9) tubería de evacuación del oxígeno.

Celdas de combustible: Las celdas de combustible generan electricidad y calor durante la reacción electroquímica que ocurre entre el oxígeno e hidrógeno para formar agua, que en realidad es una reacción de electrólisis invertida. Una celda de combustible se compone de cuatro partes principales: ánodo, cátodo, electrolito y el circuito externo. En el ánodo, el hidrógeno se oxida, con lo cual resultan protones y electrones, mientras que en el cátodo se reduce el oxígeno a especies óxido, las cuales reaccionan para formar agua. (Alvarado, 2017)

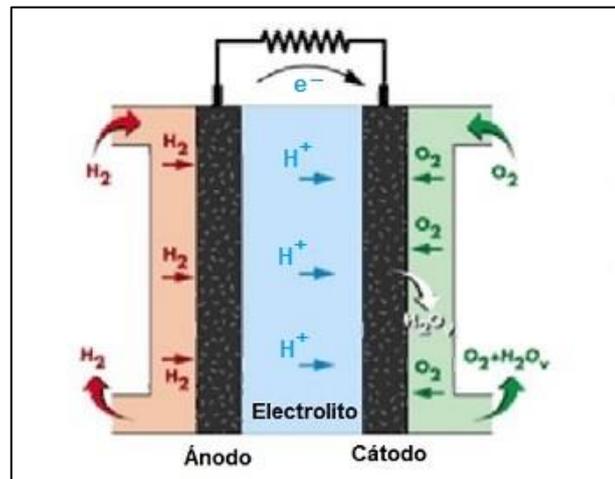


Figura 10: Proceso químico de una pila de combustible

Fuente: (Alvarado, 2017)

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo y Diseño de la investigación

El tipo de investigación es **aplicada**, porque se fundamentó en solucionar un problema específico, como la optimización de los costos de facturación de energía eléctrica del centro comercial MAKRO Chiclayo, donde los resultados obtenidos se pueden tomar inmediatamente para dar solución al problema real que sufre la empresa.

El diseño de investigación es **No Experimental**, debido a que se realizó las mediciones a las variables, mediante la observación de sus fenómenos tal como se presentan realmente, para luego ser analizados. Esta tesis inicio con la indagación documentaria de las variables, luego se realizó el cálculo del consumo energético de la tienda comercial, con lo cual se establece la máxima demanda y diagrama de carga diaria. Tomando en cuenta todos esos datos se realizó el diseño del sistema fotovoltaico y se realizó su análisis económico.

#### 3.2 Variables y Operacionalización.

##### Variable Independiente

Sistema de generación eléctrica basado en fuente fotovoltaica e hidrógeno.

##### Variable Dependiente

Costos de iluminación en centro comercial MAKRO – Chiclayo.

La tabla de operacionalización de variables se muestra en el anexo A.1

#### 3.3 Población, muestra y muestreo.

**Población:** Centros comerciales dependientes del SEIN del departamento Lambayeque.

**Muestra:** Centro comercial MAKRO de la ciudad de Chiclayo, departamento Lambayeque.

**Muestreo:** Muestreo no probabilístico (por conveniencia)

#### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

##### Técnicas de Recolección de Datos

A continuación, se detallan las técnicas de recolección de datos que se aplicarán para este estudio:

**Observación:** Se aplicará esta técnica con la finalidad de obtener conocimientos sobre los distintos parámetros que son de utilidad para diseñar el sistema de generación fotovoltaico, uno de los parámetros es calcular la máxima demanda de

la tienda MAKRO, calcular el diagrama de carga diario y la cantidad de radiación del Sol que recibe la zona de ubicación de la tienda.

**Revisión documentaria:** Nos va a permitir la indagación de diferentes parámetros para diseñar el sistema de generación fotovoltaica, indagar sobre las normas vigentes, los distintos elementos que están estandarizados, etc.

#### **Instrumentos de Recolección de Datos:**

**Ficha de evaluación de radiación:** Permitirá registrar las mediciones de radiación solar que se van a realizar en el área de ubicación del centro de ventas MAKRO-Chiclayo, cuya finalidad es calcular el potencial; el contenido de esta ficha serán los datos de la ubicación georreferenciada del lugar a implementar el diseño, información personal del que realiza la toma de datos con fecha actual.

**Ficha de revisión documentaría:** Permitirá registrar diversa información que serán consultadas para contribuir con la realización del proyecto de investigación planteado, recopilando información de manuales, fichas técnicas de equipos que existen en el mercado para luego ser evaluados y seleccionados.

### **3.5 Procedimientos**

Se evaluó el sistema eléctrico del centro comercial MAKRO-Chiclayo, ingresando los parámetros eléctricos que se van obteniendo en un registro, seguidamente se evaluó la cantidad de radiación solar que percibe la zona donde se ubica la tienda mayorista y así continuar con los cálculos para el diseño del sistema solar y de hidrogeno verde. Se consideró elaborar un documento dirigido al centro comercial solicitando la autorización para la realización del presente estudio en sus instalaciones.

### **3.6 Método de análisis de datos.**

Para analizar los datos de radiación solar, consumos energéticos se hizo uso de una estadística descriptiva, aplicando variables de estudio, tabulando datos utilizando Microsoft Excel.

### **3.7 Aspectos éticos.**

Como investigadores respetamos la propiedad intelectual, confiabilidad de la información proporcionada por la tienda mayorista MAKRO- Chiclayo y la verdad de los resultados que presentamos, el cual en un determinado tiempo beneficiará a la empresa. Este estudio no tiene efectos negativos ante la sociedad.

## IV.RESULTADOS

### 4.1. ANÁLISIS DE FLUCTUACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN LA LOCALIZACIÓN DEL CENTRO COMERCIAL MAKRO DE CHICLAYO

Antes de implementar un sistema fotovoltaico, se debe realizar un análisis de fluctuación de la irradiación solar en el lugar de ubicación de los paneles fotovoltaicos. La irradiación solar fluctúa durante todo el año y es relevante analizar sus picos máximos, mínimos y promedios; y sus valores en el tiempo. Ya que la irradiación solar es el principal variable de la cual depende todo sistema fotovoltaico.

El centro comercial MAKRO Chiclayo, está localizado a una latitud:  $-6.7311/6^{\circ}43'52''S$  y longitud:  $-79.8817/79^{\circ}52'54''W$ . Estos datos fueron ingresados a la página NASA POWER, el cual contiene el software más eficiente para la evaluación de la irradiación solar, asimismo, es el software utilizado en los grandes proyectos de sistemas fotovoltaicos en el mundo.

Asimismo, se debe contemplar que los paneles fotovoltaicos planos permanecerán con una inclinación fija a  $18^{\circ}$  mirando hacia el ecuador (Entendiéndose que a esta inclinación se logra la mayor captación de irradiación solar en el punto de ubicación de la tienda MAKRO Chiclayo, según el software de la NASA POWER) (Anexo 3.5)



Figura 11: Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos

Fuente: Elaborado por los autores.

*Nota: El valor de elevación de la MERRA, fue un valor entregado por la NASA POWER, según la localización del centro comercial MAKRO Chiclayo. Este dato se encuentra en el anexo 3.5.*

Una vez fijado y entendiéndose que el ángulo de inclinación al cual estarán dirigidos los paneles fotovoltaicos será 18°, ahora es relevante determinar cómo ha fluctuado la irradiación solar en ese ángulo donde se tienen los mejores valores de irradiación. Para lo cual se evaluará la fluctuación desde el año 1981 hasta el año 2021 (La NASA POWER tiene registros del punto de localización de la tienda MAKRO Chiclayo, desde el año 1981 hasta el 2021).

En la tabla 1 y figura 12, se muestra que la mínima irradiación solar registrada fue de 3.89 KWh/m<sup>2</sup>/día en junio del año 2000, y la máxima irradiación se registró en el mismo año con un valor de 6.51 KWh/m<sup>2</sup>/día. Entonces podemos indicar que durante los últimos 40 años la irradiación solar ha fluctuado entre 3.89 y 6.51 KWh/m<sup>2</sup>/día.

Luego se procede a determinar el valor promedio anual en cada uno de los años, obteniendo que el valor promedio oscila entre 5.068 a 5.433 KWh/m<sup>2</sup>/día, cuyos valores están dentro del rango de la fluctuación de irradiación solar de 3.89 y 6.51 KWh/m<sup>2</sup>/día. Lo cual conduce a la utilización de la confiabilidad de Weibull, para lo cual se utilizará la siguiente fórmula simplificada:

$$R(t) = e^{-\frac{0.01 * \text{cantidad de valores de la muestra}}{\text{periodos} * \text{intervalo de tiempo transcurrido de la muestra}}}$$

$$R(t) = e^{-\frac{0.01 * 60}{12 * 40}} = 0.88$$

Por lo cual la irradiación solar operativa, presente que se tendrá en el punto de ubicación de la tienda MAKRO Chiclayo, se determina mediante la siguiente expresión estadística:

$$\varphi = \varphi_{\text{prom}}^{\text{min}} * R(t)$$

$$\varphi = 5.068 * 0.88 = 4.46 \text{ KWh/m}^2/\text{día}$$

Finalmente, la irradiación solar en el punto de ubicación de la tienda MAKRO Chiclayo, con la cual se efectuarán los cálculos será de 4.46 KWh/m<sup>2</sup>/día

Tabla 1: Irradiación solar 18° mirando al Ecuador, en tienda MAKRO Chiclayo.

PERIODO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
P-1981	5.94	4.95	5.37	5.01	4.46	4.56	4.53	5.09	5.57	5.73	5.73	5.82	5.230
P-1990	5.83	5.3	5.52	5.41	4.94	5.00	4.78	4.96	5.64	5.97	6.07	5.77	5.433
P-2000	5.96	5.09	5.32	5.13	4.9	3.89	4.29	4.87	5.42	6.21	6.51	5.58	5.264
P-2010	4.06	4.26	4.43	4.9	5.00	4.97	5.33	5.17	5.07	5.91	6.31	5.4	5.068
P-2021	4.71	5.6	4.84	4.75	4.52	3.92	4.72	5.23	5.66	5.92	6.05	5.7	5.135

Fuente: NASA POWER, 2022 (Anexo 3.5)

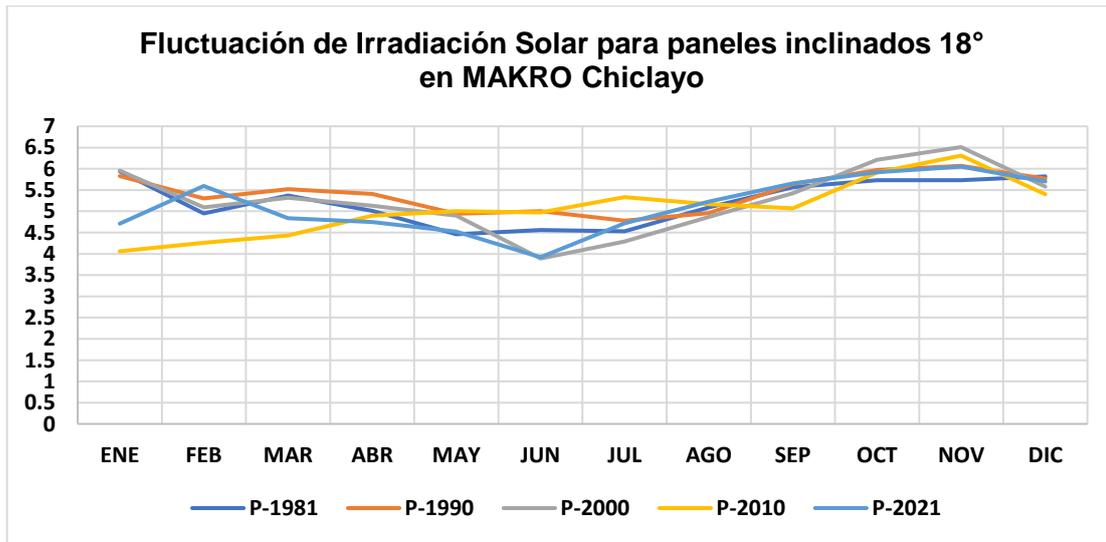


Figura 12: Fluctuación de irradiación solar en tienda MAKRO Chiclayo (1981-2021)

Fuente: NASA POWER, 2022 (Anexo 3.5)

## 4.2. GASTO MÁSICO DE HIDRÓGENO VERDE

### 4.2.1. DIAGRAMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE

En la figura 13, se muestra el esquema de generación de energía eléctrica trifásica para el sistema de iluminación del centro comercial MAKRO Chiclayo, mediante fuente fotovoltaica y de hidrogeno verde.

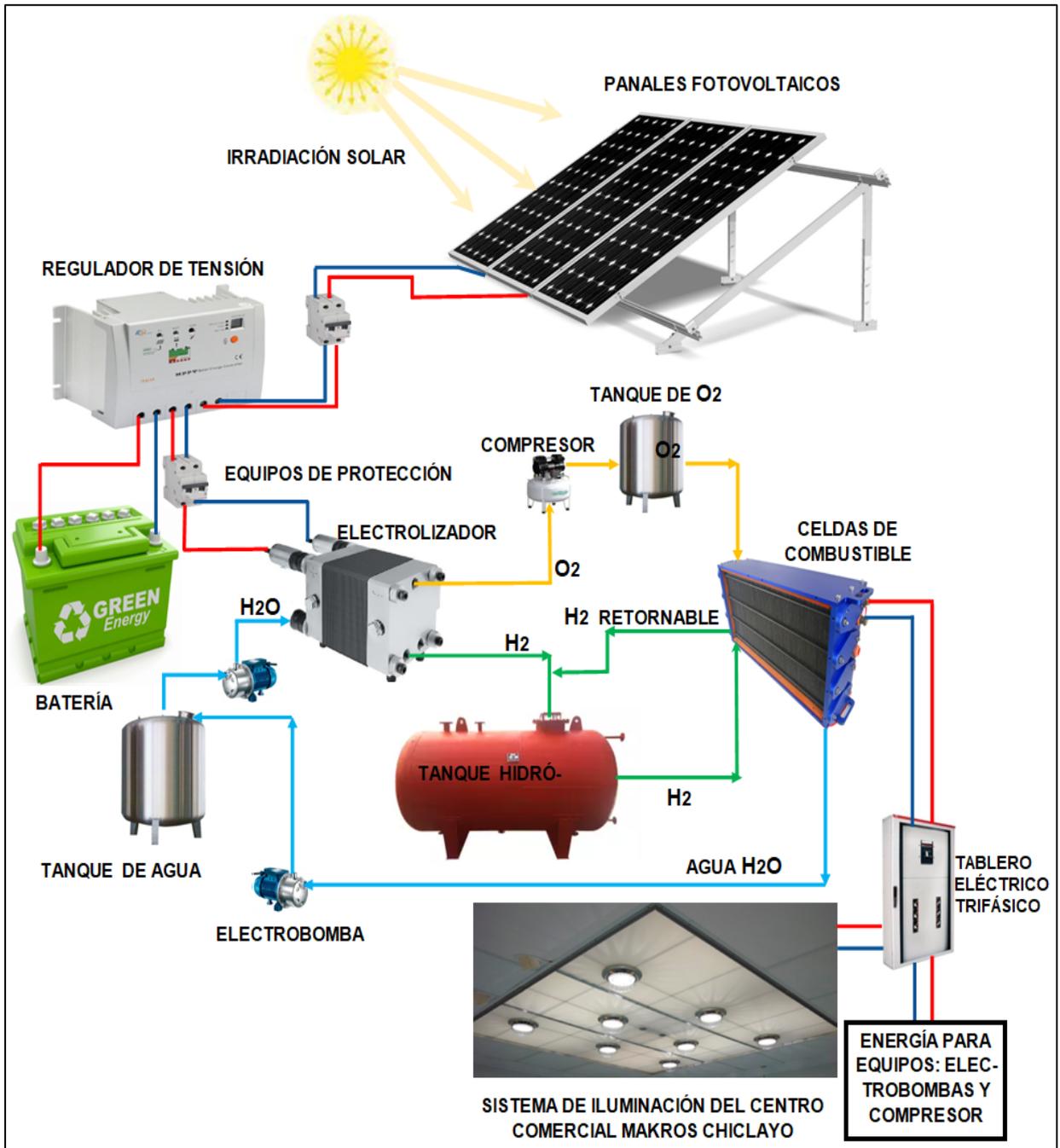


Figura 13: Fuente fotovoltaica y de hidrogeno para generación de electricidad trifásica.

Fuente: Elaborado por los autores.

En la figura 13, los paneles fotovoltaicos producen energía eléctrica continua con un determinado amperaje y voltaje, donde el voltaje es controlado mediante un regulador de tensión, al voltaje requerido por las baterías, de esta manera no se perjudica la vida útil de las baterías. Luego la corriente continua es utilizada en el electrolizador, el cual separa el agua en las moléculas de hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno verde es almacenado en un tanque, para luego ser utilizado en celdas de combustible, las cuales permiten entregar el voltaje requerido por el sistema de iluminación en energía de tipo trifásica. Asimismo, se visualiza que el agua y el oxígeno son reutilizables en el sistema, funcionando todo el proceso en un sistema cerrado. También cabe indicar que la energía eléctrica producida por las celdas de combustible, abastecerá al sistema de iluminación y a los equipos como electrobombas y compresor.

#### **4.2.2. POTENCIA Y ENERGÍA REQUERIDA**

Para determinar el gasto o flujo volumétrico de hidrógeno que se requiere es fundamental, primero definir la potencia y energía útil que requiere el sistema de iluminación.

En la figura 14, se muestra la variación de la energía eléctrica por cada hora, durante un día, del sistema de iluminación del centro comercial MAKRO, Chiclayo. Para medir el consumo de la energía eléctrica, se reinició el tablero del sistema de iluminación a las 5:00 am, empezando las mediciones desde esa hora, hasta las 4:59 am, para completar las 24 horas del día. El sistema de iluminación empieza con una lectura de 24.44 KWh de consumo de energía eléctrica a las 5:00 am, la cual va incrementando en el transcurso del día, hasta un valor máximo de 679.80 KWh registrado a las 4:59 am.

El presente estudio contempla el abastecimiento de energía eléctrica, mediante fuente fotovoltaica con hidrógeno verde, solo hasta el mediodía (12:00 pm), donde el consumo de energía eléctrica acumulado es de 198.30 KWh (Barras de color verde).

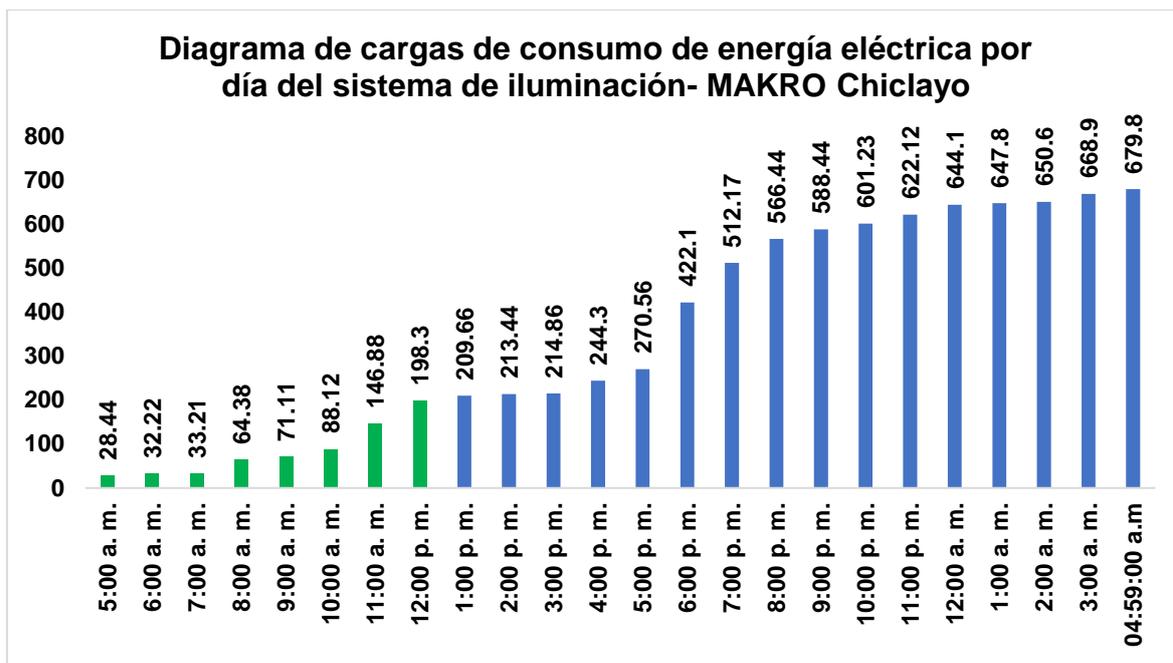


Figura 14: Diagrama de cargas de consumo de energía eléctrica.

Fuente: Red eléctrica de tienda MAKRO Chiclayo, 2022.

También, se registró una potencia útil máxima del sistema de iluminación de 28324.80 W (Anexo 3.2). En la tabla 2, se muestra la potencia útil máxima y el consumo de energía eléctrica desde las 5:00 am hasta las 12:00 pm, con un acumulado de 7 horas.

Tabla 2: Potencia y energía útil en el sistema de iluminación

Sistema	Potencia útil (W)	Energía útil (KWh/día) (5:00 am – 12:00 pm)
Iluminación	28324.80	198.30

Fuente: Red eléctrica de tienda MAKRO Chiclayo, 2022.

El elemento encargado de entregar la energía eléctrica necesaria para el sistema de iluminación, serán las celdas de combustible, las cuales transforman el hidrógeno verde en energía eléctrica trifásica. Para efectos de cálculos las pilas de combustible trabajan con un factor de servicio de 1.15, por lo cual el consumo de energía útil sería:

$$E_{\text{útil}} = 198.30 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} * 1.15 = 228 \frac{\text{KWh}}{\text{día}}$$

La energía útil en KJ sería:

$$E_{\text{útil}} = 228 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} * \frac{3600 \text{ KJ}}{1\text{KWh}} = 820800 \frac{\text{KJ}}{\text{día}}$$

### 4.2.3. BALANCE ENERGÉTICO DE CELDA DE COMBUSTIBLE

En la figura 15, se muestra el diagrama de funcionamiento de la celda de combustible. Donde los reactivos (oxígeno e hidrógeno verde) son los elementos de ingreso a la celda de combustible y los productos son los que se logra a través de la reacción química (energía eléctrica y agua).



Figura 15: Productos y reactivos en una pila de combustible.

Fuente: Elaborado por los autores

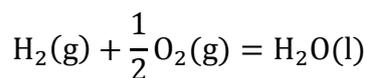
Para realizar un balance energético a las pilas de combustible, es necesario determinar de tablas termodinámicas la entalpía de formación ( $\Delta H_f^\circ$ ) y Entropía molar ( $\Delta S^\circ$ ). En la tabla 3 se muestra las respectivas entalpías y entropías del hidrógeno (H<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O) (Anexo 3.6).

Tabla 3: Entalpías de formación y entropías de formación

Propiedad termodinámica	Sustancia		
	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
Entalpía de formación ( $\Delta H_f^\circ$ ) KJ/Kmol	-285.830	0	0
Entropía molar ( $\Delta S^\circ$ ) KJ/Kmol.K	69.92	130.38	205.04

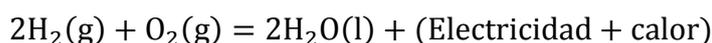
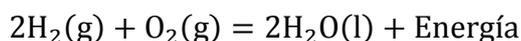
Fuente: (Cengel, 2012)

Asimismo se conoce que la reacción global es:



De donde el número de mol del hidrógeno es 1Kmol y el número de mol del oxígeno es  $\frac{1}{2}$  Kmol.

Pero la ecuación que rige una pila de combustible es:



Durante la compresión de los gases y la rotura de las moléculas, se desprende cierta cantidad de energía, que vendría hacer el cambio de entalpia que se produce en reacción:

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

En una pila de combustible el producto es el agua y los reactivos son el oxígeno e hidrogeno (Tal como se muestra en la ecuación de la reacción global).

Por lo tanto tenemos:

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

Dónde:

$n_{\text{H}_2\text{O}}$ : número de moles del agua,  $n_{\text{H}_2\text{O}} = 1$  kmol

$n_{\text{H}_2}$ : número de moles del hidrógeno,  $n_{\text{H}_2} = 1$  kmol

$n_{\text{O}_2}$ : número de moles del oxígeno,  $n_{\text{O}_2} = \frac{1}{2}$  kmol

$(\Delta H^\circ_f)_{\text{H}_2\text{O}}$ : Entalpia de formación del agua,  $(\Delta H^\circ_f)_{\text{H}_2\text{O}} = -285.830$  KJ/Kmol

$(\Delta H^\circ_f)_{\text{H}_2}$ : Entalpia de formación del hidrógeno,  $(\Delta H^\circ_f)_{\text{H}_2} = 0$  KJ/Kmol

$(\Delta H^\circ_f)_{\text{O}_2}$ : Entalpia de formación del oxígeno,  $(\Delta H^\circ_f)_{\text{O}_2} = 0$  KJ/Kmol

Sustituyendo, tenemos:

$$\Delta H^\circ = 1\text{Kmol} * (-285.830 \text{ KJ/Kmol}) - 1\text{Kmol} * (0) - \frac{1}{2} \text{Kmol} * (0)$$

$$\Delta H^\circ = -285.830 \text{ KJ}$$

Se debe comprender que el agua durante el proceso evacua una energía de 285.830 KJ.

También, se debe entender que la reacción ocasiona un aumento de la entropía (energía útil). Tendríamos:

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

Ampliando la ecuación a los términos correspondientes:

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

Dónde:

$(\Delta S^\circ)_{\text{H}_2\text{O}}$ : Entropía molar del agua,  $(\Delta S^\circ)_{\text{H}_2\text{O}} = 69.92 \text{ KJ/Kmol. K}$

$(\Delta S^\circ)_{\text{H}_2}$ : Entropía molar del hidrógeno,  $(\Delta S^\circ)_{\text{H}_2} = 130.38 \text{ KJ/Kmol. K}$

$(\Delta S^\circ)_{\text{O}_2}$ : Entropía molar del oxígeno  $(\Delta S^\circ)_{\text{O}_2} = 205.04 \text{ KJ/Kmol. K}$

Sustituyendo:

$$\Delta S^\circ = 1\text{Kmol} * 69.92 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol. K}} - 1\text{Kmol} * 130.38 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol. K}} - \frac{1}{2}\text{Kmol} * 205.04 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol. K}}$$
$$\Delta S^\circ = -162.98 \frac{\text{KJ}}{\text{K}}$$

Ahora calculamos la **cantidad de energía útil** que entrega el hidrógeno verde al proceso

$$q = \Delta S^\circ * T$$

Dónde:

q: es el calor liberado por el agua (KJ)

$\Delta S^\circ$ : Entropía molar cedida en el sistema,  $\Delta S^\circ = -162.98 \text{ KJ/K}$

T: Es la temperatura del agua luego de la reacción,  $T=25^\circ\text{C}$  (298 K)

El calor liberado por el sistema sería:

$$q = -162.98 \frac{\text{KJ}}{\text{K}} * 298 \text{ K}$$
$$q = -48568 \text{ KJ}$$

Ahora calculamos la cantidad de energía eléctrica, que se puede producir en una celda de combustible:

$$\Delta G = q - \Delta H^\circ$$
$$\Delta G = -48568 \text{ KJ} - (-285.830 \text{ KJ})$$
$$\Delta G = -48282.17 \text{ KJ}$$

Por lo tanto un apila de combustible puede producir 48282.7 KJ. Pero se requieren 820800 KJ como energía total por día. Por lo cual el **número de celdas** de combustible que se necesitarían serían:

$$N_{\text{celdas}} = \frac{E_{\text{útil}}}{|\Delta G|}$$
$$N_{\text{celdas}} = \frac{820800 \text{ KJ}}{48282.17 \text{ KJ}} = 17$$

**El voltaje producido por las celda de combustible**, vendria hacer:

$$U_{\text{celdas}} = \frac{|q|}{n * F}$$

Dónde:

n: equivalencia de 1 mol de hidrógeno a mol electrón,  $n = \frac{2 \text{ mol e}^-}{1 \text{ mol H}_2}$

F: Constante de faraday,  $F = 96500 \frac{\text{C}}{\text{mol e}^-}$

Reemplazando:

$$U_{\text{celdas}} = \frac{48568000 \text{ J/1mol H}_2}{\frac{2 \text{ mol e}^-}{1 \text{ mol H}_2} * 96500 \frac{\text{C}}{\text{mol e}^-}}$$

$$U_{\text{celdas}} = 252 \text{ V}$$

El voltaje requerido por cada celda seria:

$$U_c = \frac{U_{\text{celdas}}}{N_{\text{celdas}}}$$

$$U_c = \frac{252 \text{ V}}{17} = 14.82 \text{ V}$$

**El rendimiento energético** que tendría, el sistema de generación de energía eléctrica con pilas de combustible, seria:

$$\eta_{\text{pilas combustible}} = \frac{\Delta G}{q + q_{\text{H}_2\text{O}}}$$

El calor total del agua, seria:

$$q_{\text{H}_2\text{O}} = N_{\text{celdas}} * \Delta H^\circ = 17 * -285.830 \text{ KJ} = -4859.11 \text{ KJ}$$

$$\eta_{\text{pilas combustible}} = \frac{-48282.17 \text{ KJ}}{-48568 \text{ KJ} - 4859.11 \text{ KJ}}$$

$$\eta_{\text{pilas combustible}} = 0.90 = 90\%$$

Lo cual indica, que el sistema de pilas de combustible tiene una eficiencia óptima, asegurando la entrega de energía eléctrica para el sistema de iluminación.

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

$$\dot{m} = \frac{E_{\text{útil}} + q}{\eta_{\text{pilas combustible}} * C}$$

Donde, C es la constante de conversión, cuyo valor es de 119880 KJ. Nota: La agencia internacional de energía indica que un kilogramo de hidrogeno produce 33.3 Kwh (119880 KJ) (Markit, 2020).

Reemplazando:

$$\dot{m} = \frac{820800 \text{ KJ} + 48568 \text{ KJ}}{0.90 * 119880 \text{ KJ}}$$

$$\dot{m} = 8.06 \text{ Kg}$$

Finalmente, se necesita de un suministro mínimo de 8.06 Kg de hidrogeno verde para abastecer el sistema de iluminación por día.

### 4.3. ANÁLISIS AL SISTEMA FOTOVOLTAICO

#### Sistema fotovoltaico:

Como ya se mencionó anteriormente, el proceso que realiza una celda de combustible, es un proceso inverso al proceso de la electrólisis. Por lo cual se requieren que se produzcan 8.06 Kg/día de hidrógeno verde a través del electrolizador (electrólisis), para obtener una energía de 228 KWh/día.

Por lo consiguiente, **la energía total requerida por los paneles fotovoltaicos**, se determina mediante la expresión:

$$(E_{pf})_{\text{máx}} = \frac{E_{\text{útil}}}{[1 - (C_B + C_c + C_R + C_x)] * \left[1 - \frac{(C_A * D_{\text{aut}})}{P_d}\right]}$$

Dónde:

- $E_{\text{útil}}$ : Energía útil requerida por el sistema de iluminación,  $E_{\text{útil}} = 228 \text{ KWh/día}$ , desde las 5:00 am hasta 12:00 pm (7 horas/día).
- $C_A$ : Coeficiente de pérdida por tipo de baterías o acumuladores, para baterías solares de gel, el valor oscila entre 0.0025 a 0.0075, se considera  $C_A = 0.005$
- $C_B$ : Coeficiente de pérdida por descarga de acumulador o batería, el valor oscila entre 0.030 a 0.090, se considera  $C_B = 0.06$
- $C_C$ : Coeficiente de pérdida defectos eléctricos y mantenimiento, el valor oscila entre 0.025 a 0.075, se considera  $C_C = 0.05$
- $C_R$ : Coeficiente de pérdida en conductores eléctricos, el valor oscila entre 0.005 a 0.015, se considera  $C_R = 0.01$

- $C_x$ : Coeficiente de pérdida por equipos de seguridad, el valor oscila entre 0.0525 a 0.0575, se considera  $C_x = 0.055$
- $D_a$ : Días de autonomía, se considera 2 días por efectos de lluvias.
- $P_d$ : Profundidad de descarga, las baterías se descargarán hasta en un 50% para proteger su vida útil.

$$(E_{pf})_{\text{máx}} = \frac{228 \text{ KWh/día}}{[1 - (0.06 + 0.05 + 0.01 + 0.055)] * \left[1 - \frac{(0.005 * 2)}{0.5}\right]}$$

$$(E_{pf})_{\text{máx}} = 282 \text{ KWh/día}$$

Por lo consiguiente, todos los paneles deben entregar en conjunto una energía diaria de 282 KWh.

Ahora seleccionaremos un panel fotovoltaico de alta potencia pico, para reducir la cantidad de paneles fotovoltaicos. Del proveedor VERTEX, seleccionamos un panel fotovoltaico monocristalino de alta eficiencia. Teniendo en cuenta que en mercado de paneles fotovoltaicos existen paneles de celdas policristalinas y monocristalinas, siendo estas últimas las de mayor eficiencia. El panel fotovoltaico seleccionado tiene una potencia de 505 W y una eficiencia de 21.10%, modelo TSM-DE18M (Anexo 3.7). Las demás características se muestran en tabla 4.

Tabla 4: Características técnicas del panel fotovoltaico

Característica técnica	Parámetro
Peak Power Watts-PMAX (Wp)	505
Maximum Power Voltage-VMPP (V)	43
Maximum Power Current-IMPP (A)	11.75
Open Circuit Voltage-VOC (V)	51.9
Short Circuit Current-ISC (A)	12.35
Module Efficiency $\eta$ (%)	21.10

Fuente: Características de panel fotovoltaico del proveedor VERTEX TSM-DE18M

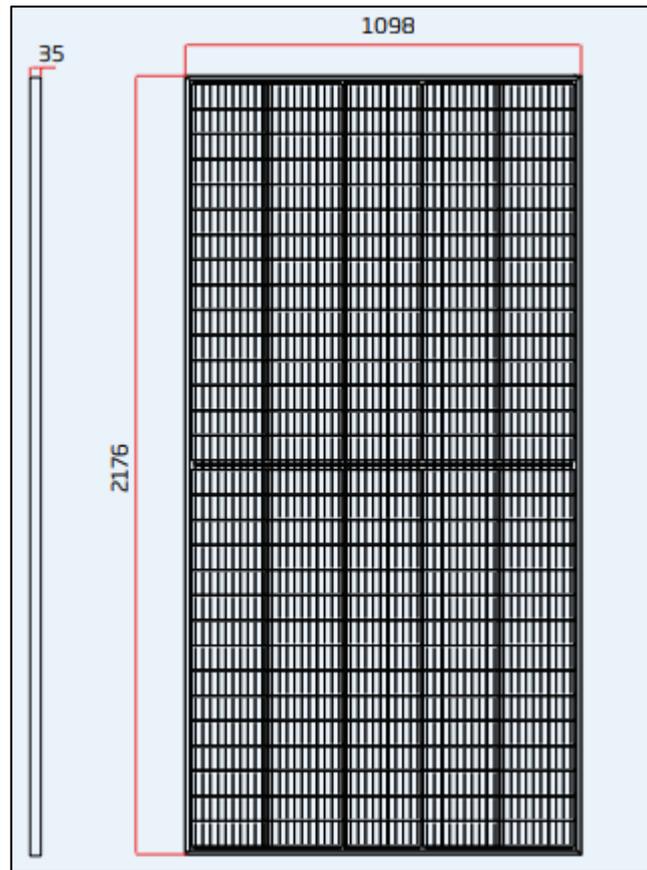


Figura 16: Dimensiones geométricas del panel fotovoltaico

Fuente: Características de panel fotovoltaico del proveedor VERTEX TSM-DE18M

**La energía que puede entregar el panel fotovoltaico** seleccionado, sería:

$$E_{pf} = 1.30 * P_{pf} * HPS$$

Donde:  $P_{pf}$  es la potencia del panel fotovoltaico de 505 W,  $HPS$  son las horas pico solares (1 HPS = 1 KWh/m<sup>2</sup>/día), como se tienen una irradiación solar de 4.46 KWh/m<sup>2</sup>/día, por lo consiguiente el mismo valor les corresponde a las horas pico solares.

$$E_{pf} = 1.3 * 505 * 4.46$$

$$E_{pf} = 2928 \text{ Wh/día} = 2.928 \text{ KWh/día}$$

**El número de paneles fotovoltaicos requeridos** sería:

$$N_{pf} = \frac{(E_{pf})_{\text{máx}}}{E_{pf}}$$

$$N_{pf} = \frac{282 \text{ KWh/día}}{2.928 \text{ KWh/día}}$$

$$N_{pf} = 96$$

## 4.4. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

### 4.4.1. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE HIDRÓGENO

Es relevante determinar la capacidad máxima de almacenamiento y el dimensionamiento correcto del tanque de hidrógeno para que pueda cumplir con la demanda del sistema. El diseño del tanque de hidrógeno se fundamentará en el cálculo del código ASME – Sección VIII – DIV.1 “*Diseño de tanques de combustible a presión*”.

En la figura 17, se muestra todo el equipamiento de seguridad del tanque de hidrógeno verde, para su correcto uso y seguridad. Los accesorios descritos son los recomendados por el código ASME.

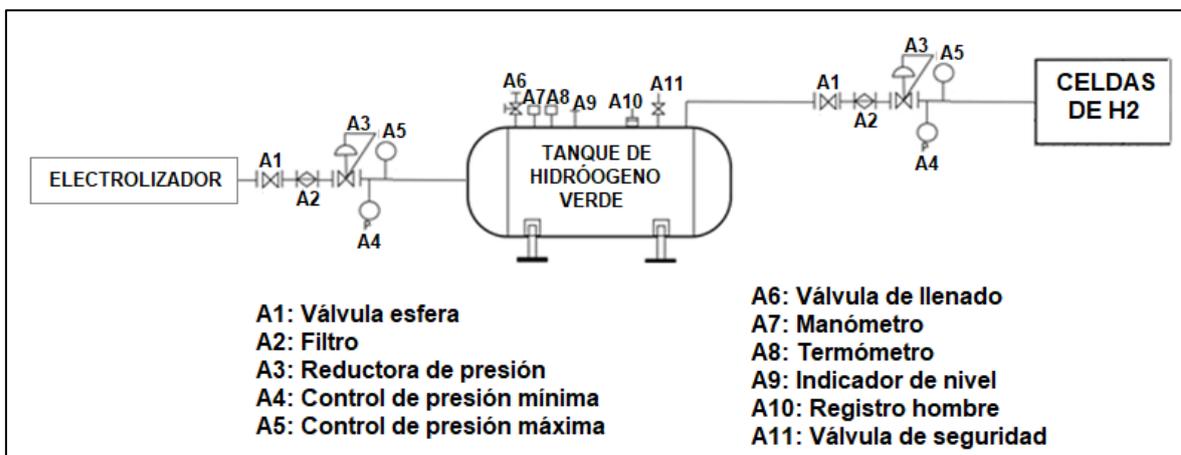


Figura17: Instalación del tanque de hidrógeno verde y accesorios.  
Fuente: Elaborado por los autores

#### a) Capacidad máxima de almacenamiento:

El tanque es abastecido es gran medida de hidrógeno verde, durante las horas pico solar (HPS), siendo estas 4.46 horas/día en el cual se producen 8.06 kg/día de hidrógeno. Pero para efectos de la sostenibilidad y disponibilidad del hidrógeno, el tanque será diseñado para almacenar 3 veces su capacidad.

La capacidad máxima sería:

$$C_{\text{máx}} = \dot{m} * FC$$

Dónde:

$C_{\text{mx}}$ : Capacidad máxima del tanque (Kg)

FC: Factor de capacidad de llenado, FC =7

$\dot{m}$ : Flujo de hidrógeno verde,  $\dot{m} = 8.06 \text{ Kg/día}$

$$C_{\text{máx}} = 8.06 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} * 3 = 24.18 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

## b) Volumen máximo contenido en el tanque de hidrógeno verde

El hidrógeno verde tiene una densidad promedio de  $0.09 \text{ Kg/m}^3$ , y será almacenado en fase gaseosa, para una utilización inmediata en las celdas de combustible. El volumen máximo se determina mediante la siguiente expresión:

$$V_{\text{máx}} = \frac{C_{\text{máx}}}{\rho_{\text{H}_2}}$$

Dónde:

$V_{\text{mx}}$ : Volumen máximo ( $\text{m}^3$ )

$\rho_{\text{H}_2}$ : Densidad del hidrógeno verde,  $\rho_{\text{H}_2} = 0.09 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

$C_{\text{máx}}$ : Capacidad máxima,  $C_{\text{máx}} = 24.18 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$

Por lo tanto:

$$V_{\text{máx}} = \frac{24.18 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}}{0.09 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{\text{máx}} = 268.67 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

En pies cúbicos, tendríamos:

$$V_{\text{máx}} = 9488 \frac{\text{pie}^3}{\text{día}}$$

## c) Parámetros de operación del tanque de hidrógeno verde:

Los parámetros se basarán según lo recomendado por el código ASME – Sección VIII – DIV.1 y por la Norma Técnica Peruana NTP-111.013.

- Parámetros del fluido almacenado:
  - Presión: 1 bar. (14.5 Psig)
  - Temperatura: 293 K
- Parámetros del tanque
  - Margen de corrosión (C): 0.125 in (3.175mm)
  - Velocidad de corrosión: 3.5 milésimas de in/año
  - Vida operativa del tanque de hidrógeno verde:

$$\text{Vida operativa} = \frac{0.125 \text{ in}}{0.0035 \frac{\text{in}}{\text{año}}} = 35 \text{ años}$$

- Material del tanque: la norma ASME y la NTP 111, recomiendan el uso del acero al carbón SA-285 Grado C. El cual posee un esfuerzo admisible de 13.80 Kpsi.
- Eficiencia de soldadura: La norma también recomienda que las uniones de soldadura deben ser a tope por ambos lados, con un rendimiento del 85%.

**d) Presión de diseño (P).**

Es importante que la presión de diseño, sea superior a la presión de operación del fluido de  $P_o=1$  bar. Por lo tanto:

$$P = P_o + 30$$

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

**e) Factor óptimo de diseño:**

En el diseño de tanques este valor relaciona el diámetro con el volumen máximo de almacenamiento (ver figura 18). Se determina mediante la siguiente expresión:

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

Dónde:

F: Factor óptimo de diseño

P: Presión de diseño,  $P=44.5$  Psi

C: Margen de corrosión,  $C=0.125$  in.

E: Eficiencia de la soldadura,  $E=85\%$

S: Esfuerzo admisible del acero al carbón SA-285 Grado C,  $S= 13.8$  Kpsi.

Sustituyendo:

$$F = \frac{44.5 \text{ Psi}}{0.125 \text{ in} * 13800 \text{ Psi} * 0.85}$$

$$F = 0.03 \text{ in}^{-1}$$

**f) Diámetro interior óptimo del tanque de hidrógeno verde:**

Una vez obtenido el volumen máximo y el factor óptimo de diseño, procedemos a calcular el diámetro, mediante la figura 18, proporcionada por el código ASME.

En la figura 18, se interseca el volumen en  $\text{pie}^3$  (eje vertical) con el factor óptimo de diseño (línea diagonal), para obtener el diámetro en pies (eje horizontal).

Obteniendo:

$$D = 13.5 \text{ pies} = 162 \text{ in} = 4114.8 \text{ mm}$$

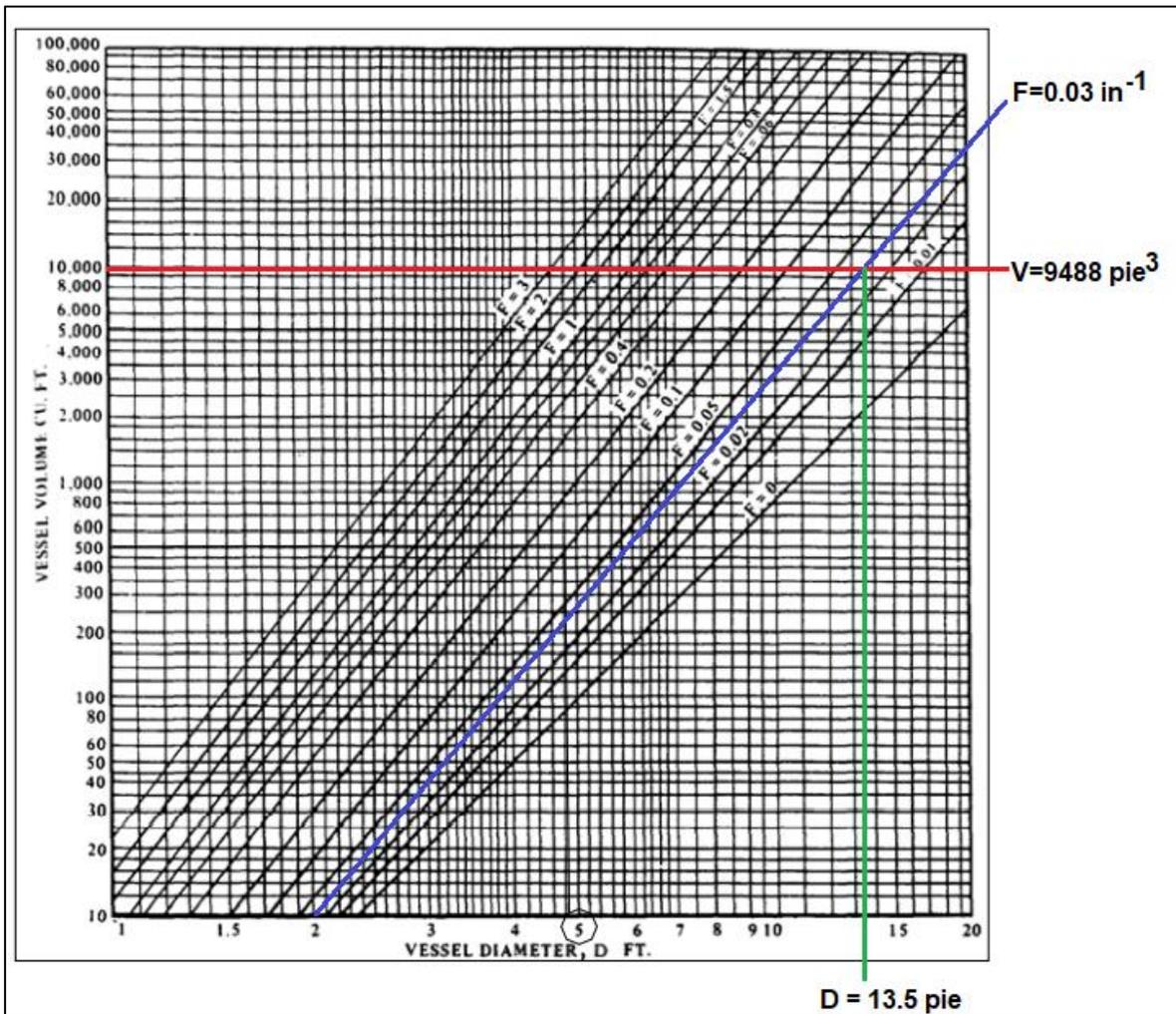


Figura 18: Curva de dimensionamiento del tanque de hidrógeno.

Fuente: Código ASME – Sección VIII – DIV.1 “Diseño de tanques de combustible a presión”.

### g) Longitud óptima del tanque de hidrógeno verde

Para determinar, la longitud del tanque de hidrogeno verde, emplearemos la siguiente expresión:

$$L = \frac{V_{\text{máx}}}{1.3 * D^2} - 0.35 * D$$

Donde:

L: Longitud del tanque (pie)

$V_{\text{máx}}$ : Volumen máximo (pie<sup>3</sup>),  $V_{\text{máx}} = 9488 \text{ pie}^3$

D: Diámetro interior del tanque,  $D = 13.5 \text{ pie}$

Tenemos:

$$L = \frac{9488 \text{ pie}^3}{1.3 * (13.5 \text{ pie})^2} - 0.35 * 13.5 \text{ pie}$$

$$L = 35 \text{ pie} = 420 \text{ in} = 10668 \text{ mm}$$

#### h) Espesor del cuerpo (te):

El espesor de pared del cuerpo del tanque, debe cumplir los requerimiento de resistencia y seguridad (ambiental y humana), por lo cual su valor debe ser óptimo.

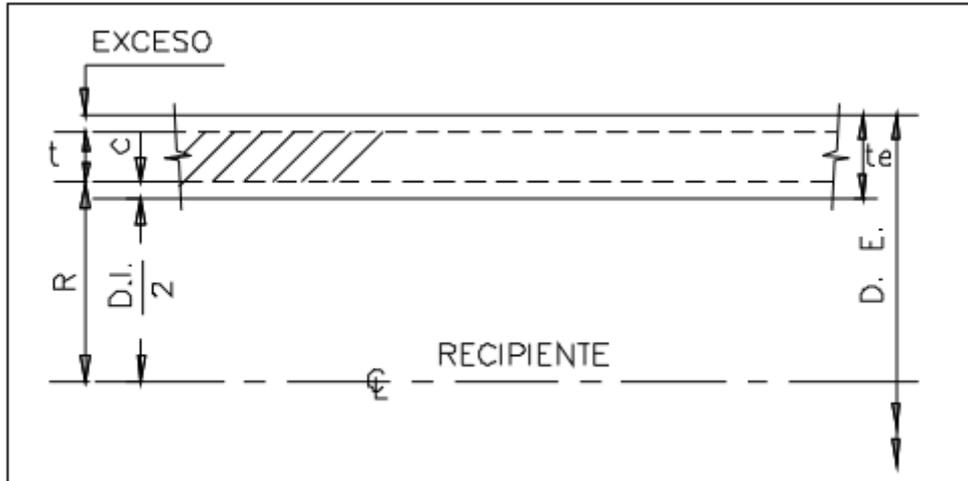


Figura 19: Espesor de pared del cuerpo

El espesor de pared (t) (solo material), se determina mediante la siguiente expresión:

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

Dónde:

t: Espesor de pared (solo material) (in)

P: Presión de diseño, P=44.5 Psi

D: Diámetro interior del tanque, D = 162 in

E: Eficiencia de la soldadura, E=85 %

S: Esfuerzo admisible del acero al carbón SA-285 Grado C, S= 13.8 Kpsi.

Reemplazando:

$$t = \frac{0.5 * 44.5 * 162}{13800 * 0.85 - 0.6 * 44.5}$$

$$t = 0.3075 \text{ in} \approx \frac{5}{16} \text{ in}$$

El espesor del cuerpo del tanque (te) es la suma del espesor del cuerpo (t) y el margen de corrosión, es decir:

$$t_e = t + 2 * C$$

$$t_e = \frac{5}{16} \text{ in} + 2 * \frac{1}{8} \text{ in} = \frac{9}{16} \text{ in}$$

**i) Espesor de pared de las tapas semi- elípticas.**

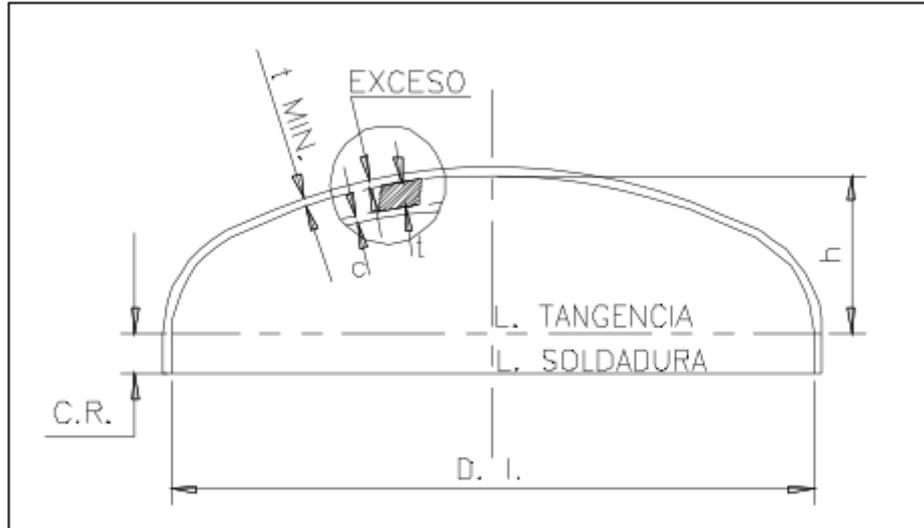


Figura 20: Tapas semi – elípticas del tanque de hidrógeno verde

Para calcular el espesor de pared (t) (solo material), empleamos la siguiente ecuación:

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

Donde:

t: Espesor de pared (solo material) (in)

P: Presión de diseño, P=44.5 Psi

D: Diámetro interior del tanque, D = 162 in

E: Eficiencia de la soldadura, E=85 %

S: Esfuerzo admisible del acero al carbón SA-285 Grado C, S= 13.8 Kpsi.

Reemplazando:

$$t = \frac{0.5 * 44.5 * 162}{13800 * 0.85 - 0.1 * 44.5}$$

$$t = 0.307 \text{ in} \approx \frac{5}{16} \text{ in}$$

El espesor del cuerpo de las tapas semi- elípticas (te) es la suma del espesor del cuerpo (t) y el margen de corrosión, es decir:

$$t_e = t + 2 * C$$

$$t_e = \frac{5}{16} \text{ in} + 2 * \frac{1}{8} \text{ in} = \frac{9}{16} \text{ in}$$

La altura interior y exterior de la tapa semi – elíptica, se determinan:

$$h_{\text{int}} = \frac{D}{4} = \frac{162}{4} = 40.5 \text{ in}$$

$$h_{\text{ext}} = h_{\text{int}} + t_e = 40.5 \text{ in} + \frac{9}{16} \text{ in} = 41 \text{ in}$$

El diámetro exterior del tanque sería:

$$D_{\text{ext}} = D + 2 * t_e = 162 \text{ in} + 2 * \frac{9}{16} = 163.125 \text{ in}$$

En la figura 21, se muestran los resultados de las principales medidas del tanque de hidrógeno, para cumplir con la demanda requerida para el sistema de iluminación del centro comercial MAKRO – Chiclayo.

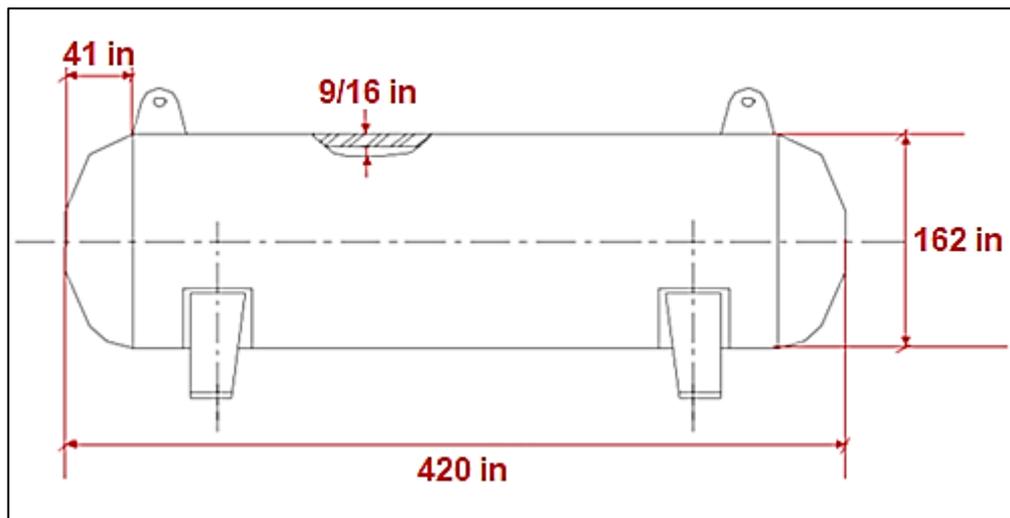


Figura 21: Dimensiones del tanque de hidrógeno verde

Fuente: Elaborado por los autores

#### 4.4.2. CELDAS O PILAS DE COMBUSTIBLE:

El sistema de almacenamiento de energía eléctrica por celdas de combustible, constará de 17 celdas, con una tensión unitaria de 14.82 V, para generar una potencia útil de 28.3 KW, traducido en una producción de energía de 228 KWh/día. El tipo de celdas utilizado en sistemas fotovoltaicos, son las de membrana polimérica (PEMFC), las cuales se utilizan en generación eléctrica estacionaria, donde se suministra hidrógeno al ánodo y oxígeno al cátodo. De esta manera el

hidrógeno se disocia en protones y electrones, conllevando a la producción de energía eléctrica de manera inmediata. Por lo cual los hace ventajosos frente a otros tipos de celdas. Asimismo, las celdas PEMFC requieren de menores costos de mantenimiento.

Del proveedor FCGEN, seleccionamos la celda de combustible PEMFC con los siguientes parámetros que se muestran en la tabla 5 (Ver especificaciones completas en Anexo 3.8)

Tabla 5: Características técnicas de la celda de combustible

Característica técnica	Parámetro
Potencia nominal	30 KW
Número de celdas PEMFC	17
Tensión en celda	15 V
Largo	484 mm
Ancho	555 mm
Altura	195 mm
Peso	55 kg
Oxidante	Aire hasta 2.5 bar
Refrigerante	Agua

Fuente: Características técnicas de la celda de combustible PEMFC - FCGEN

#### 4.4.3. BATERÍAS O ACUMULADORES:

Las baterías permitirán el almacenamiento de la energía continua, producida por la irradiación solar, cuando esta incide sobre los paneles fotovoltaicos. Para el análisis se utilizarán baterías solares de gel de sílice, porque tienen una mayor vida útil (mayores ciclos de vida) y de gran capacidad de acumulación. La capacidad de acumulación de una batería, se determina mediante la siguiente expresión:

$$C_{Bateria} = \frac{E_{max}}{V * P_d}$$

Cabe precisar que las baterías, en un sistema planteado como en este estudio, tienen la función de aliviar el sistema en un periodo corto por problemas suscitados a mantenimiento.

Dónde:

V: Tensión de la batería de 12 V

$E_{\max}$ : Energía máxima diaria en una hora de producción,  $\frac{282 \text{ KWh}}{7 \text{ día}} = 40.30 \frac{\text{Kwh}}{\text{día}}$

$P_d$ : Profundidad de la batería, 50%

Reemplazando:

$$C_{\text{Bateria}} = \frac{40.3 \frac{\text{KWh}}{\text{día}}}{12\text{V} * 0.5} = 6717 \text{ Ah}$$

Del proveedor MONSOLAR, seleccionamos las baterías de gel de silicio, modelo Power DC-510, con una capacidad de 510 Ah, por lo cual se necesitarían 13 baterías.

$$N_{\text{Baterías}} = \frac{C_{\text{Bateria}}}{C_{\text{nominal}}}$$
$$N_{\text{Baterías}} = \frac{6717 \text{ Ah}}{510 \text{ Ah}} = 13$$

En la tabla 6 se muestran los principales parámetros de las baterías Power DC-510 (Ver especificaciones completas en Anexo 3.9)

Tabla 6: Características técnicas de la batería

Característica técnica	Parámetro
Tensión nominal	12 V
Capacidad de acumulación	510 Ah
Largo	314 mm
Ancho	181 mm
Altura	416 mm
Peso	51.4 kg
Profundidad	50%

Fuente: Características técnicas de la batería Power DC-510 – MONSOLAR

#### 4.4.4. ELECTROLIZADOR

El equipo electrolizador, consta de los mismos parámetros de operación de una celda de combustible, pero en proceso inverso. Donde el catalizador separa las moléculas de agua e hidrógeno, a través de un flujo eléctrico. Mientras la celda de combustible requiere del hidrógeno y oxígeno, para mediante la reacción química producir electricidad.

El electrolizador tendrá una energía de entrada de 282 KWh/día, para generar como máximo 8.06 Kg de hidrógeno por día. El tipo de electrolizador será de membrana de intercambio de protones (PEM), porque utiliza como electrolito el agua. Asimismo, son los más empleados en la producción de hidrógeno verde a gran escala y de gran estabilidad en su rendimiento energético.

Número de celdas del electrolizador:

$$N_{\text{celdas}} = \frac{U_{\text{celdas}}}{U_c}$$

Las celdas del electrolizador tendrán un voltaje de 12 V, para que trabaje en paralelo a los acumuladores que tienen la misma tensión.

$$N_{\text{celdas}} = \frac{252 \text{ V}}{12} = 21$$

En la tabla 7 se muestran los principales parámetros del electrolizador PEM (Ver especificaciones completas en Anexo 3.10)

Tabla 7: Características del electrolizador

Característica técnica	Parámetro
Potencia nominal	30 KW
Número de celdas	21
Largo	605 mm
Ancho	410 mm
Altura	265 mm
Peso	61 kg
Volumen	66 L

Fuente: Características técnicas del electrolizador PEM - HYDROGENICS

#### 4.4.5. CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Los conductores eléctricos se diseñarán según el Código Nacional de Electrificación, indicando que para sistemas fotovoltaicos se debe utilizar cables AWG de cobre duro con aislamiento, protegidos con cubierta PVC a 70°C. Donde la caída máxima de tensión es de 3.5% del voltaje nominal. Para calcular la superficie del conductor, se utilizará la siguiente expresión:

$$S = \frac{2 * \rho * I * L}{\delta * U}$$

Dónde:

$\rho$ : Resistividad del cobre a 70°C,  $\rho = 0.02132 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

I: Corriente nominal del panel fotovoltaico,  $I = 11.75 \text{ A}$

L: Longitud máxima equivalente por cada conductor,  $L = 50 \text{ m}$

$\delta$ : Caída de tensión,  $\delta = 3.5\%$

U: Tensión en sistema fotovoltaico,  $U = 43 \text{ v}$

$$S = \frac{2 * 0.02132 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 11.75 \text{ A} * 50 \text{ m}}{0.035 * 43 \text{ v}}$$

$$S = 17 \text{ mm}^2$$

Seleccionamos el conductor 4 AWG, el cual tienen una sección normalizada de 21.15 mm<sup>2</sup>.

#### 4.4.6. REGULADOR DE VOLTAJE

El controlador tiene la función de regular la tensión de los paneles fotovoltaicos de 43 V, a la tensión de 12 V requerida por las baterías y electrolizador. Por lo cual su función dentro de un sistema fotovoltaico es relevante y debe determinarse la corriente máxima a la cual trabajará:

$$I_{\text{entrada}}^{\text{max}} = I_{\text{SC}} * fs$$

$I_{\text{SC}}$ : Corriente máxima en corto circuito de los paneles fotovoltaicos, 12.35 A, con un factor de servicio de 1.5, valor recomendado en sistemas fotovoltaicos.

$$I_{\text{entrada}}^{\text{max}} = 12.35 * 1.5 = 18.5 \text{ A}$$

Del proveedor comercial EPSOLAR seleccionamos el controlador solar modelo VS2024A, con una tensión de salida de 12 V y un amperaje máximo de 20 A (Ver ficha técnica en anexo 3.11)

#### 4.4.7. SISTEMA DE PROTECCIÓN

##### a) Interruptor termomagnético:

Los interruptores termomagnéticos se utilizarán para la protección de los equipos, panel solar, baterías, celda de combustible y controlador, donde el amperaje máximo permitido es de 18.50 A. Por lo tanto, del proveedor IUSA, seleccionamos el interruptor termomagnético de 2 polos con un amperaje normalizado - NOARK de 20 A (Ver ficha técnica en el anexo 3.12)

**b) Interruptor diferencial:**

El interruptor diferencial permite proteger la vida humana de los operadores de mantenimiento del sistema fotovoltaico e hidrógeno. Para lo cual se seleccionará un interruptor diferencial bipolar, con una corriente de disparo de 30mA, recomendada por el Código Nacional de Electrificación. Del proveedor SCHNEIDER, seleccionamos el interruptor diferencial Easy9 2P 25A tipo AC 30mA (Ver ficha técnica en el anexo 3.13).

**4.4.8. ELECTROBOMBA Y COMPRESOR****a) Electrobomba:**

Tal como se especifica en el balance termoquímico 1kg de hidrógeno, genera 11 Kg de agua. Es decir, se necesitarían 88.66 Kg agua/día. Necesitando de una bomba de ½ hp de potencia nominal. Del proveedor PEDROLLO, seleccionamos la electrobomba jaula ardilla de ½ hp (Ver ficha técnica en el anexo 3.14).

**b) Compresor:**

Del balance electroquímico 1kg de hidrógeno, genera 10 Kg de oxígeno. Es decir, se producirían 80.6 Kg/día de oxígeno, con un caudal de 57.57 m<sup>3</sup>/día. Necesitando de un compresor de ½ hp. Del proveedor EVANS, seleccionamos el compresor de 1 etapa 1/2 HP 40 litros, modelo E040ME050-040 (Ver ficha técnica en el anexo 3.15).

#### 4.5. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO PARA LA VIABILIDAD DEL ESTUDIO.

a) **Inversión:** se proyectó la inversión de activos fijos, según los costos del mercado comercial local y nacional.

Tabla 8: Inversión en activos fijos del proyecto.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNIT. (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Panel solar monocristalino TSM-DE18M. P=505 W, U=43v, I=11.75 A, $\eta$ =21.10%, V=1098x2176x35 mm (Incluye accesorios de control y seguridad)	Unid.	96	340.00	32640.00
Tanque de Hidrógeno, acero al carbón SA-285 Grado C, E=13.80 Kpsi, V=9488 pie <sup>3</sup> , P=1 bar, T=293 K, D=162 in, L=420 in, ep=9/16 in. (Incluye accesorios de control y seguridad)	Unid.	1	8400.00	8400.00
Celda de combustible PEMFC, Punit=1.765 kw, Ptotal=30KW, Uc=15 V, V= 484x555x195 mm.	Unid.	17	355.00	6035.00
Batería Power DC-510, U=12 V, P=50%, w=51.4 Kg, C=510 Ah, V=314x181x416 mm	Unid.	13	333.00	4329.00
Electrolizador PEM HYDROGENICS, Punit=1.765 kw, Ptotal=30KW, Q=66 L, V=605x410x265 mm	Unid.	21	312.00	6552.00
Conductores eléctricos 4 AWG, S=21.15 mm <sup>2</sup> , U= 43V, I=11.75 A	m	1000	0.55	550.00
Regulador de voltaje VS2024A, Ue=43 V, Us=12 V, In=20 A	Unid.	1	557.00	557.00
Interruptor termomagnético - IUSA NOARK, 2 polos, In=20A	Unid.	2	85.00	170.00
Interruptor diferencial Easy9 2P 25A, I=30 mA	Unid.	2	93.00	186.00
Electrobomba PEDROLLO, m=88.66 Kg/día, P=0.5 HP	Unid.	1	62.00	62.00
Compresor E040ME050-040 EVANS, 1 etapa, V=40L, Q=57.57 m <sup>3</sup> /día. P=0.5 HP	Unid.	1	39.00	39.00
Accesorios mecánicos y eléctricos.	Unid.	1	1500.00	1500.00
Obras civiles (mano de obra)	Unid.	1	11500.00	11500.00
<b>Inversión total</b>				<b>72520.00</b>

Fuente: Elaborado por los autores

**b) Beneficio económico:**

La empresa paga actualmente al SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional), el precio de 0.255 \$/KWh (Incluye gastos de impuestos, cargo fijo, costo de mantenimiento y alumbrado público). Asimismo, el proyecto cubrirá un consumo de energía eléctrica de 228 KWh/día (83220 KWh/año). Por lo consiguiente el beneficio anual sería:

$$B_{\text{útil}} = C_{\text{unitario}} * EE$$
$$B_{\text{útil}} = 0.255 \frac{\$}{\text{KWh}} * 83220 \frac{\text{KWh}}{\text{año}}$$
$$B_{\text{útil}} = 21221.10 \frac{\$}{\text{año}}$$

**c) Periodo de retorno de la inversión (PRI):**

Es relevante determinar el tiempo de recuperación de la inversión inicial en activos fijos. El PRI se determina mediante la siguiente expresión:

$$PRI = \frac{\text{Inversión}}{B_{\text{útil}}}$$
$$PRI = \frac{72520.00 \$}{21221.10 \frac{\$}{\text{año}}}$$
$$PRI = 3.4 \text{ años}$$

**d) Valor actual neto (VAN) y tasa interna de rentabilidad (TIR):** El análisis financiero se efectuará con una tasa de interés de acuerdo al mercado bancario nacional promedio de 14% para empresas grandes como MAKRO, con un periodo de préstamo de 10 años. Para la obtención del VAN y TIR mediante una hoja de cálculo de Excel para una presión exacta, se necesitan los siguientes datos:

Beneficio útil = 21221.10 \$/año

Inversión económica = 72520.00 \$

Tasa de interés = 14%

Periodo de préstamo = 10 años

En la tabla 9, se muestran los resultados del VAN y TIR, con una tasa interna de rentabilidad del 26% y un valor actual neto de 38171.71 dólares, valores que indican que el proyecto es rentable.

Tabla 9: Análisis financiero del proyecto

EMPRESA MAKRO – CHICLAYO		
CÁLCULO DE HERRAMIENTAS FINANCIERAS TIR y VAN		
Años	Flujo de Fondos	Movimientos en el Periodo – Año
<b>Inversión</b>	<b>-\$ 72 520.00</b>	Costo Inicial del Proyecto
1	\$ 21 221.10	Beneficios Netos anuales
2	\$ 21 221.10	Beneficios Netos anuales
3	\$ 21 221.10	Beneficios Netos anuales
4	\$ 21 221.10	Beneficios Netos anuales
5	\$ 21 221.10	Beneficios Netos anuales
6	\$ 21 221.10	Beneficios Netos anuales
7	\$ 21 221.10	Beneficios Netos anuales
8	\$ 21 221.10	Beneficios Netos anuales
9	\$ 21 221.10	Beneficios Netos anuales
10	\$ 21 221.10	Beneficios Netos anuales
<b>Total, Ingresos</b>	<b>\$ 212 211.00</b>	Beneficios acumulado
Tasa de Interés:	14.00%	
<b>TIR</b>	<b>26%</b>	<b>Tasa interna de Retorno</b>
<b>VAN</b>	<b>\$ 38 171.71</b>	<b>Valor Actual Neto</b>

Fuente: Elaborado por los autores

## V. DISCUSIÓN

Para el correcto diseño del sistema fotovoltaico, se realizó un análisis de fluctuación de la irradiación solar en el lugar de ubicación de los paneles fotovoltaicos. Porque la irradiación solar fluctúa durante todo el año y fue relevante analizar los picos máximos, mínimos y promedios; en el tiempo. Ya que la irradiación solar es el principal variable de la cual depende todo sistema fotovoltaico. El centro comercial MAKRO Chiclayo, está localizado a una latitud:  $-6.7311/6^{\circ}43'52''S$  y longitud:  $-79.8817/79^{\circ}52'54''W$ . Estos datos fueron ingresados a la página NASA POWER, el cual contiene el software más eficiente para la evaluación de la irradiación solar, asimismo, es el software utilizado en los grandes proyectos de sistemas fotovoltaicos en el mundo.

Respecto a los paneles fotovoltaicos estos producen energía eléctrica continua con un determinado amperaje y voltaje, donde el voltaje es controlado mediante un regulador de tensión, al voltaje requerido por las baterías, de esta manera no se perjudica la vida útil de las baterías. Luego la corriente continua es utilizada en el electrolizador, el cual separa el agua en las moléculas de hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno verde es almacenado en un tanque, para luego ser utilizado en celdas de combustible, las cuales permiten entregar el voltaje requerido por el sistema de iluminación en energía de tipo de trifásica. Asimismo, el agua y el oxígeno son reutilizables en el sistema, funcionando todo el proceso en un sistema cerrado. También cabe indicar que la energía eléctrica producida por las celdas de combustible, abastece al sistema de iluminación y a los equipos como electrobombas y compresor.

Para determinar el gasto o flujo volumétrico de hidrógeno que se requiere, primero se definió la potencia y energía útil que requiere el sistema de iluminación. Para medir el consumo de la energía eléctrica, se reinició el tablero del sistema de iluminación a las 5:00 am, empezando las mediciones desde esa hora, hasta las 4:59 am, para completar las 24 horas del día. El sistema de iluminación empieza con una lectura de 24.44 KWh de consumo de energía eléctrica a las 5:00 am, la cual va incrementando en el transcurso del día, hasta un valor máximo de 679.80 KWh registrado a las 4:59 am. El presente estudio contempló el abastecimiento de

energía eléctrica, mediante fuente fotovoltaica con hidrógeno verde, solo hasta el mediodía (12:00 pm), donde el consumo de energía eléctrica acumulado es de 198.30 KWh.

En la selección de los paneles, se optó por panel fotovoltaico de alta potencia pico, para reducir la cantidad de paneles fotovoltaicos. Teniendo en cuenta que en mercado de paneles fotovoltaicos existen paneles de celdas policristalinas y monocristalinas, siendo estas últimas las de mayor eficiencia. Seleccionando de esta manera un panel fotovoltaico monocristalino con una potencia pico de 505 W y una eficiencia de 21.10%.

El diseño del tanque de hidrógeno se fundamentó en el cálculo del código ASME – Sección VIII – DIV.1 “Diseño de tanques de combustible a presión”. Para determinar la capacidad máxima de almacenamiento y el dimensionamiento correcto del tanque de hidrógeno para que pueda cumplir con la demanda del sistema. El tanque es abastecido es gran medida de hidrógeno verde, durante las horas pico solar (HPS), siendo estas 4.46 horas/día en el cual se producen 8.06 kg/día de hidrógeno. Pero para efectos de la sostenibilidad y disponibilidad del hidrógeno, el tanque fue diseñado para almacenar 3 veces su capacidad. El código ASME estableció que el material del tanque es acero al carbono SA-285 Grado C. El cual posee un esfuerzo admisible de 13.80 Kpsi. La norma también recomienda que las uniones de soldadura deben ser a tope por ambos lados, con un rendimiento del 85%.

El sistema de almacenamiento de energía eléctrica por celdas de combustible, constó de 17 celdas, con una tensión unitaria de 14.82 V, para generar una potencia útil de 28.3 KW, traducido en una producción de energía de 228 KWh/día. El tipo de celdas utilizado en sistemas fotovoltaicos, son las de membrana polimérica (PEMFC), las cuales se utilizan en generación eléctrica estacionaria, donde se suministra hidrógeno al ánodo y oxígeno al cátodo. De esta manera el hidrógeno se disocia en protones y electrones, conllevando a la producción de energía eléctrica de manera inmediata. Por lo cual los hace ventajosos frente a otros tipos de celdas. Asimismo, las celdas PEMFC requieren de menores costos de mantenimiento.

Respecto a los equipos intervinientes en el sistema fotovoltaico y de hidrogeno verde: Las baterías permitirán el almacenamiento de la energía continua, producida por la irradiación solar, cuando esta incide sobre los paneles fotovoltaicos. Para el análisis se utilizaron baterías solares de gel de sílice, porque tienen una mayor vida útil (mayores ciclos de vida) y de gran capacidad de acumulación. El equipo electrolizador, consta de los mismos parámetros de operación de una celda de combustible, pero en proceso inverso. Donde el catalizador separa las moléculas de agua e hidrógeno, a través de un flujo eléctrico. Mientras la celda de combustible requiere del hidrógeno y oxígeno, para mediante la reacción química producir electricidad. El tipo de electrolizador fue de membrana de intercambio de protones (PEM), porque utiliza como electrolito el agua. Asimismo, son los más empleados en la producción de hidrógeno verde a gran escala y de gran estabilidad en su rendimiento energético. Los conductores eléctricos se diseñarán según el Código Nacional de Electrificación, indicando que para sistemas fotovoltaicos se debe utilizar cables AWG de cobre duro con aislamiento, protegidos con cubierta PVC a 70°C. Donde la caída máxima de tensión es de 3.5% del voltaje nominal. El controlador tiene la función de regular la tensión de los paneles fotovoltaicos de 43 V, a la tensión de 12 V requerida por las baterías y electrolizador. Por lo cual su función dentro de un sistema fotovoltaico es relevante. Los interruptores termomagnéticos se utilizarán para la protección de los equipos, panel solar, baterías, celda de combustible y controlador. El interruptor diferencial permite proteger la vida humana de los operadores de mantenimiento del sistema fotovoltaico e hidrógeno.

Los investigadores (Román & Arévalo, 2018), especificaron que 1 Kg de hidrógeno verde produce 33.30 KWh, frente al gas natural que produce 14 KWh y 12.40 KWh con petróleo. En similitud a la presente investigación, se necesitaron de 8.06 Kg de hidrógeno para producir 288 Kwh, por lo cual 1 Kg de hidrógeno verde equivale a 35.73 KWh, valor semejante al encontrado por los investigadores Román y Arévalo.

El autor (González, 2018) implemento una fuente fotovoltaico e hidrógeno para un consumo de energía de 3.6 KWh/día y una potencia de 197 W, implementando 3 paneles fotovoltaicos de 500 Wp de células monocristalinas con batería de 48V y 400 Ah, electrolizador de agua de 1000 W tipo PEM (30 células), tanque de

hidrógeno de hidruro metálico tipo AB5 de 70 m<sup>3</sup>, pilas de combustible de 300 W tipo PEM (48 pilas) con área del electrodo de 50 cm<sup>2</sup>. En comparación a la presente investigación se encontraron los siguientes valores: 1 tanque de hidrógeno verde de acero al carbón SA-285 Grado C, con un diámetro de 162 pulgadas, longitud 420 pulgadas y espesor 9/16 pulgadas; 17 celdas de combustible de membrana polimérica (PEMFC) con un potencia nominal de 30 KW; 13 baterías de gel de silicio de 12V con una capacidad de 510 Ah; 1 electrolizador PEM con 21 celdas, con una potencia nominal de 30KW; conductores eléctricos de sección 4 AWG; 1 regulador de voltaje de 12 V y corriente de 20 A; 2 interruptores termomagnéticos de 2 polos de 20 A; 2 interruptores diferenciales con corte de carga a 30 mA; 1 electrobomba de ½ HP con un flujo másico de 88.66 Kg/día y 1 compresor de ¼ HP con un flujo volumétrico de 57.57 m<sup>3</sup>/día. Donde los valores son proporcionales directos a los encontrados por el investigador Gonzáles.

El investigador (López, 2019) señala que la ciudad de Trujillo recibe una aceptable radiación solar, sus con valores de irradiación entre 5.5 y 6 kWh/m<sup>2</sup> /día, con un aproximado de 6 horas diarias de radiación solar libres de sombras, requiriendo de una estructura adicional con la finalidad de inclinar los paneles fotovoltaicos a 16° de manera óptima. En similitud a la presente investigación se obtuvo una irradiación promedio 4.46 kWh/m<sup>2</sup>/día en la ciudad de Chiclayo en la ubicación del centro comercial MAKRO, con paneles fotovoltaicos inclinados 20° en dirección al Ecuador. Cabe precisar que el investigador López seleccionó para su análisis los valores de irradiación más elevados en Trujillo a comparación de esta investigación donde se consideró el valor de irradiación promedio más estable, para de esta manera realizar una selección correcta de los paneles solares.

## VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Se realizó un análisis de la fluctuación de irradiación solar en la localización del centro comercial MAKRO de Chiclayo, desde el año 1981 hasta el año 2021, encontrando un valor constante promedio para la irradiación solar de 4.46 KWh/m<sup>2</sup>/día. Para lo cual los paneles solares deben estar inclinados 20°.
- 6.2. Se determinó que el gasto másico de hidrógeno verde para cumplir con la demanda máxima del sistema eléctrico de iluminación debe ser 8.06 Kg/h, para generar 228 KWh/día, en el intervalo de tiempo de 5:00 am – 12:00 pm (Horario diurno).
- 6.3. Se realizó un análisis al sistema fotovoltaico, seleccionando celdas de tipo monocristalinas de alta eficiencia. Los paneles fotovoltaicos tienen una potencia pico de 505 W y eficiencia de 21.10%. Para lo cual se necesitarían 96 paneles para cubrir la demanda máxima de energía del sistema de iluminación.
- 6.4. Se dimensionaron y seleccionaron los equipos intervinientes en el sistema fotovoltaico – hidrógeno verde, obteniendo: 1 tanque de hidrógeno verde de acero al carbón SA-285 Grado C, con un diámetro de 162 pulgadas, longitud 420 pulgadas y espesor 9/16 pulgadas; 17 celdas de combustible de membrana polimérica (PEMFC) con un potencia nominal de 30 KW; 13 baterías de gel de silicio de 12V con una capacidad de 510 Ah; 1 electrolizador PEM con 21 celdas, con una potencia nominal de 30KW; conductores eléctricos de sección 4 AWG; 1 regulador de voltaje de 12 V y corriente de 20 A; 2 interruptores termomagnéticos de 2 polos de 20 A; 2 interruptores diferenciales con corte de carga a 30 mA; 1 electrobomba de ½ HP con un flujo másico de 88.66 Kg/día y 1 compresor de ¼ HP con un flujo volumétrico de 57.57 m<sup>3</sup>/día.
- 6.5. El análisis económico financiero, determinó que la inversión es de 72520.00 dólares con un beneficio de 21221.10 dólares/año, periodo de retorno de la inversión de 3.4 años, valor actual neto de 38171.71 dólares y tasa interna de rentabilidad del 26%, valores que representan una factibilidad económica positiva del estudio.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- 7.1. Se recomienda que, para la ejecución del sistema de generación eléctrica basado en fuente fotovoltaica e hidrógeno, se debe capacitar al personal de mantenimiento de la empresa MAKRO.
- 7.2. Se recomienda realizar un impacto ambiental comparando el sistema de generación eléctrica basado en fuente fotovoltaica e hidrógeno, con el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), para evaluar la reducción de la masa de CO<sub>2</sub>.
- 7.3. Se recomienda ampliar el estudio a todo el sistema eléctrico de la tienda comercial MAKRO, para ampliar los beneficios económicos.
- 7.4. Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo para los elementos críticos: Paneles fotovoltaicos, celdas de combustible, electrolizador y tanque de hidrógeno.

## REFERENCIAS

- Alvarado, J. (2017). Celdas de combustible como elementos potenciadores para un desarrollo energético sustentable. *UNAM*, 18. Obtenido de <http://ru.iiec.unam.mx/>
- Anaya Huamán, M. (2019). Diseño y evaluación de sistemas fotovoltaicos autónomos para electrificación rural . Huancayo, Perú. Obtenido de [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6456/T010\\_47256634\\_T\\_compressed\\_removed.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6456/T010_47256634_T_compressed_removed.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arencibia, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación. 17(6), 2. Obtenido de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n060616.html>
- Bermúdez, J. (2021). Electrolizador para la generación de hidrógeno. *Revista Científico-Popular de Cubasolar*, 42-44. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Electrolizador\\_para\\_la\\_generaci%C3%B3n\\_de\\_hidr%C3%B3geno](https://www.ecured.cu/Electrolizador_para_la_generaci%C3%B3n_de_hidr%C3%B3geno)
- Brijaldo, M., Castillo, C., & Pérez, G. (2021). Principales Rutas en la Producción de Hidrógeno. *Ingeniería y competitividad*, 56-75. doi:<https://doi.org/10.25100/iyc.v23i2.11155>
- Caicedo, S. (2019). Estudio técnico de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la universidad piloto de Colombia como caso de estudio. 47. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5497/PG-17-2-04%20Santiago%20Caicedo%20Gomez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Campos, J. (2019). Auditoría energética en los sistemas eléctricos de KPMG para mejorar el índice de consumo energético. 35. Chiclayo, Perú. Obtenido de [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2642/1/TL\\_CamposMoreJose.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2642/1/TL_CamposMoreJose.pdf)
- Carrión, N. (2021). Diseño de la mayor planta de hidrógeno verde para uso industrial en Europa. *Técnica industrial*, 4-5. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7998724>
- Cengel, Y. (2012). *Termodinámica*. México, D.F: McGraw-Hill Companies.

- Chura, V. (2020). Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) de 3 kw con inversor string analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca. 41. Juliaca, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/bitstream/handle/UNAJ/118/Vianey%20Daysi%20Chura%20Palli%20TESIS%20FINAL%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cortez, C., Gómez, G., Betancur, F., Carvajal, S., & Guerrero, N. (2020). Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales. *TecnoLógicas*, 3-23. doi:<https://doi.org/10.22430/22565337.1403>
- Delgado, A., & Pérez, Á. (2021). Hidrógeno Verde, parte de la solución para descarbonizar la economía. *Cuadernos de energía*, 138-152. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7962330>
- Delgado, M. (2019). Energía fotovoltaica para suministrar electricidad a villa hermosa, Yambras bamba Bongara, Amazonas. 33. Perú. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/3846/BC-TES-TMP-2684.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, F. (2018). Dimensionamiento de una minicentral solar fotovoltaica aislada para el suministro de energía eléctrica al centro poblado Guarrago ubicado en el distrito de Súcota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca. 27. Perú. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/2502/BC-TES-TMP-1375.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Diazgranados, J., Romero, J., Navarro, I., Castillo, R., Soto, J., & Pardo, M. (2020). Analysis of the soiling effect on solar-panel power efficiency in the Colombian Caribbean region. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 22-29. doi:<https://doi.org/10.17533/udea.redin.20191156>
- Gaibor, B. (Setiembre de 2020). Análisis técnico - económico de una instalación fotovoltaica en consumidores residenciales en áreas rurales aisladas. 28. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19154/1/UPS%20-%20TTS103.pdf>

- García , F. (2019). Determinación de la irradiancia solar en Ciego de Ávila y Morón, para su uso en sistemas de aprovechamiento de la energía solar. *Revista Infometric@ -Serie Ingeniería, Básicas y Agrícolas*, 1(1), 114. Obtenido de <http://www.infometrica.org/index.php/syh/article/view/71>
- Giménez, J. (2020). Europa coloca el hidrógeno en el eje de una “recuperación verde”. *Gas actual*, 28-31. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7577798>
- González, D., Osario, A., Trejos, L., Dur, M., & Rodríguez, J. (2020). Análisis del comportamiento de arreglos fotovoltaicos con degradación operando bajo condiciones de sombreado parcial. *Revista EIA*, 230-239. doi:<https://doi.org/10.24050/reia.v17i33.1376>
- González, Y. (2018). Producción de hidrogeno a partir de energía solar fotovoltaica. Análisis de sensibilidad de parámetros de diseño. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería*, 136. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/>
- Juarez, R. (2018). Diseño y evaluación de un sistema de energía distribuida para módulos de 3 kw alimentado con energía solar aplicado en la zona de Socabaya-Arequipa. 27; 28. Arequipa, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8404/MCjurirm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, J. (Octubre de 2019). Diseño de un sistema fotovoltaico para autoconsumo conectado a red en la empresa Viettel Perú S.A.C. 67. Lambayeque, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/5494/BC-TES-%204079%20LOPEZ%20BARBOZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marcelo Beltrán, E. F. (2019). “Propuesta de implementación de un sistema fotovoltaico para reducir costos de energía en la caseta de bombeo de agua potable de la Universidad Nacional de Piura”. Perú.
- Markit, I. (2020). El hidrógeno verde alcanzará la paridad de precios con el hidrógeno gris en 2030. *Trade World Energy*, 2-3.
- Miranda, G. (2019). Sistema fotovoltaico conectado a la red para el centro de salud “El Arenal” en el centro poblado El Arenal, distrito El Arenal, Paita – Piura. 14; 21. Perú. Obtenido de

- <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8040/BC-4442%20SANCHEZ%20MIRANDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Montalvo, H. (2019). Diseño de la instalación del sistema eléctrico solar fotovoltaica para incrementar la potencia eléctrica en el Local Comunal de Alto Anapati –Pangoa- Junín. 29. Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5375>
- OSINERGMIN. (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aporte al crecimiento económico del país*. Magdalena del Mar, Lima.
- Pacheco, D. (Diciembre de 2019). Diseño de un controlador de carga de tres etapas para sistemas fotovoltaicos usando lógica difusa. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27(4). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000400540>
- Pérez, D. (2019). Diseño de un sistema de generación fotovoltaico con seguidor lumínico independiente a su ubicación. 16; 99. Chiclayo, Perú.
- Planas, O. (30 de Junio de 2021). Efecto Fotovoltaico. *Energía Solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>
- Prado Gaibor, B. X. (Setiembre de 2020). Análisis Técnico - Económico de una instalación fotovoltaica en consumidores residenciales en áreas rurales aisladas . Quito, Ecuador.
- Román, B., & Arévalo, B. (2018). Analisis de la producción de hidrógeno verde a partir de energía solar fotovoltaica. *Universidad Estatal De Milagro*, 44. Obtenido de <http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/>
- Rubio, H. (2019). Diseño de sistema fotovoltaico centralizado para suministrar energía eléctrica al Fundo Palo Blanco – Oberazal, Llama, Chota – Cajamarca - 2017. 23. Perú. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/29937/Rubio\\_MH.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/29937/Rubio_MH.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rufasto, J. (2019). Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica a la sala de cómputo de la Universidad Nacional de Jaén. Jaén, Perú.
- Salas, Y. (Julio de 2018). Diseño técnico y económico de un banco de prueba solar fotovoltaico para generación de energía eléctrica de forma aislada. *Prospectiva*, 16(2). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.15665/rp.v16i2.1653>

- Serrano, A. (2021). Hidrógeno verde y transición energética. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 83-92. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7947437>
- Torres, L. (2018). Sistemas Solares Aislados. *Universidad Nacional de Trujillo*, 99. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>
- Vásquez Díaz, A. J. (Noviembre de 2019). Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado con PVSYST en el centro Poblado Boca Chinganaza - Amazonas . Perú.
- Vásquez, R. (2019). Dimensionamiento y simulación de un sistema fotovoltaico para el caserío Tancho Jalca en Bagua Grande usando la herramienta computacional homer. 40. Perú. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/4357/BC-TES-TMP-3172.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Velásquez, A. (2020). Diseño y análisis mediante software ETAP de una instalación fotovoltaica de generación distribuida en la red de distribución para autoconsumo de la UCSM en Arequipa. 19. Arequipa, Perú. Obtenido de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/10177>
- Verne, J. (2021). Potencial del Hidrógeno Verde en el Perú. *Asociación Peruana de Hidrógeno*, 47. Obtenido de [https://h2.pe/uploads/20210908\\_H2-Peru\\_Estudio-final.pdf](https://h2.pe/uploads/20210908_H2-Peru_Estudio-final.pdf)
- Vilca Choque, M. C. (2020). Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCRs) de 2.16KW con microinversor analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca . Juliaca. Obtenido de <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/handle/UNAJ/116>
- Villegas, S., & Luis, A. (Octubre de 2020). Diseño de un sistema fotovoltaico para la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en la comunidad masa 2, Golfo de Guayaquil. 101. Guayaquil, Ecuador.
- Zsiborács, H. (31 de January de 2019). Economic Analysis of Grid-Connected PV System Regulations: A Hungarian Case Study. *electronics*, 8, 1. doi:10.3390/electronics8020149

Zuhair, H. (July de 2018). Optimal Design and Analysis of Grid-Connected Solar Photovoltaic Systems. 101; 102. Montreal, Canada. Obtenido de [https://spectrum.library.concordia.ca/984102/1/Algarni\\_PhD\\_F2018.pdf](https://spectrum.library.concordia.ca/984102/1/Algarni_PhD_F2018.pdf)

Zuriaga, I. (2021). Retos del hidrógeno verde. *Economía aragonesa*, 103-129. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8017764>

## ANEXOS

**ANEXO 1:** Tabla 10: Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Sistema de generación eléctrica basado en fuente fotovoltaica e hidrógeno.	Conjunto de componentes que utiliza a la radiación solar para abastecer energía eléctrica limpia y necesaria para la producción de hidrogeno verde, en el proceso de electrólisis. (Pérez, 2019)	Nuestra variable será medida utilizando los parámetros de observación y revisión documentaria.	Equipos utilizados	Selección de panel solar.	ordinal
				Selección de inversor de corriente.	
				Selección de los acumuladores.	
				Selección de electrolizador	
			Radiación solar	Coordenadas geográficas de la zona.	Razón.
				Inclinación de paneles.	
				Capacidad de radiación.	
				Días de autonomía.	
			Energía eléctrica Necesaria	Dimensiones y calidad de paneles solares.	Razón
				Capacidad de acumuladores (baterías).	
				Tipo de regulador.	

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Costos de Iluminación.	Actualmente el consumo energético suele afectar a muchas empresas y uno de los sistemas importantes que tienen relación a dicho consumo es la iluminación, por lo que es necesario buscar soluciones a este problema, una de las alternativas es utilizar luminarias con tecnología LED, debido a que para su funcionamiento requieren de poca energía que las convencionales. (Sabogal Cruz, 2015)	Nuestra variable será medida utilizando los parámetros de observación y revisión documentaria.	Consumo Energético.	Máxima demanda total	Razón
				Máxima demanda por iluminación.	
				Cantidad de luminarias utilizadas	
				Horas de iluminación.	
			consumo de energía para iluminación	Costos por zona comercial.	Razón
				Costos por hora horas punta.	
			Costos de diferentes alternativas de tecnología	Costos de instalación.	Razón
				Costos por mantenimiento de paneles solares.	
				Costos por mantenimiento de acumuladores.	
				Costos por mantenimiento de inversores.	

**ANEXO 2:** Fichas de instrumentos de recolección de datos

Tabla 11: Ficha de observación

**FICHA DE OBSERVACIÓN**

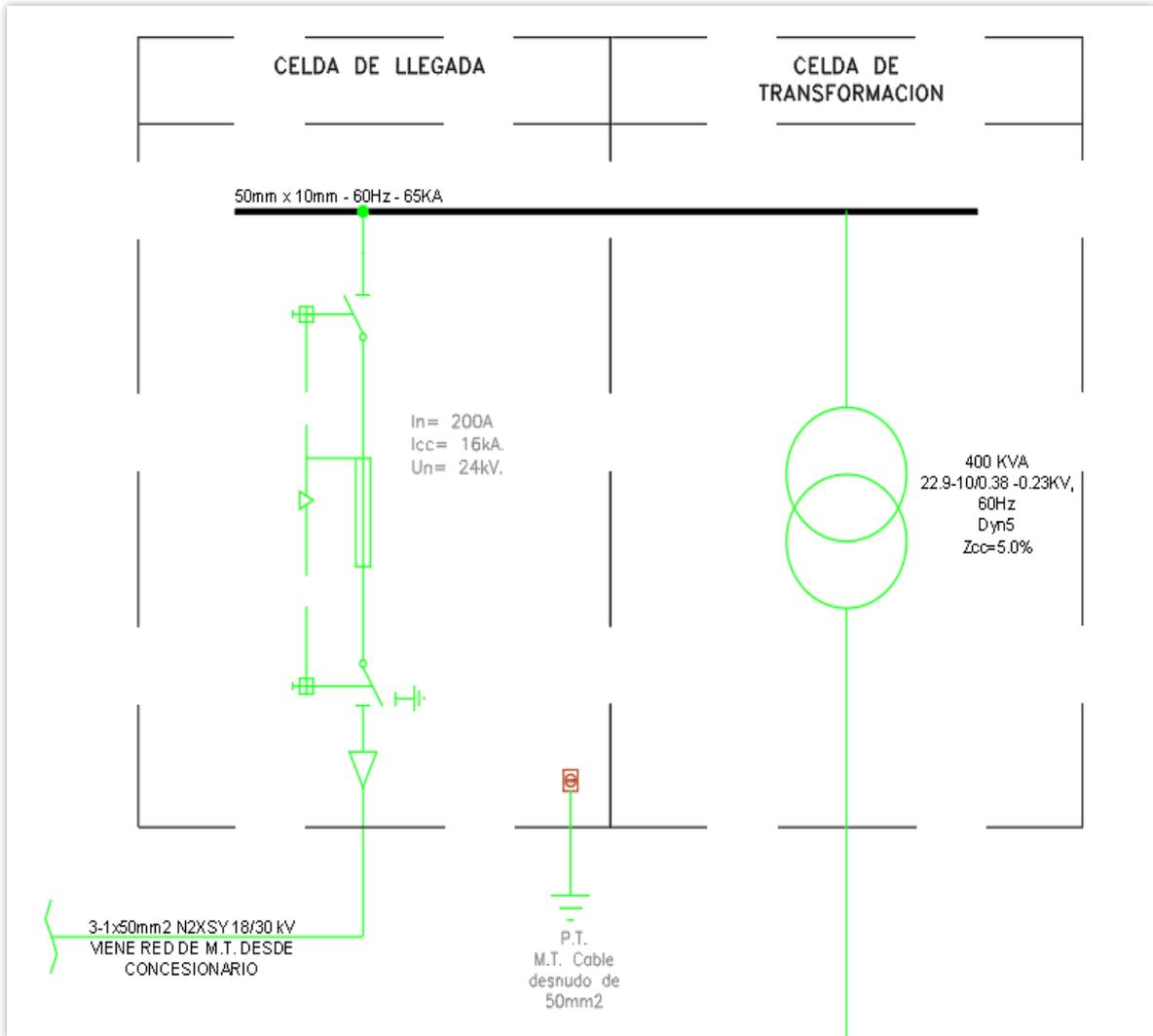
<b>“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO PARA OPTIMIZAR LOS COSTOS DE ILUMINACIÓN EN CENTRO COMERCIAL DE CHICLAYO”</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Parámetros eléctricos del centro comercial</b>	<b>Descripción</b>
01	Potencia instalada de cada área (w)	CGN-1: 31,472.00 CGN-2: 23,240.00 CGN-3: 5,000.00 CGN-4: 25,765.00 CGN-5: 25,000.00 CGN-6: 5,000.00
02	Máxima demanda de carga de cada área (w)	CGN-1: 22,659.84 CGN-2: 13,792.00 CGN-3: 5,000.00 CGN-4: 19,299.36 CGN-5: 16,000.00 CGN-6: 5,000.00
03	Consumo eléctrico de las áreas (w)	74,751.20 (w)
04	Potencia eléctrica de las luminarias (w)	2x39
<b>Ítem</b>	<b>Características del sistema de iluminación</b>	<b>Descripción</b>
01	Tipos y características de las luminarias	2x39W-T5-85cm-PHILIPS-865-865.

02	Cantidad de luminarias	700 luminarias
03	Horas de trabajo del sistema de iluminación	18 horas x día

Tabla 12: Ficha de evaluación de radiación

<b>Periodo</b>	<b>P-1981</b>	<b>P-1990</b>	<b>P-2000</b>	<b>P-2010</b>	<b>P-2021</b>
Enero	5.94	5.83	5.96	4.06	4.71
Febrero	4.95	5.3	5.09	4.26	5.6
Marzo	5.37	5.52	5.32	4.43	4.84
Abril	5.01	5.41	5.13	4.9	4.75
Mayo	4.46	4.94	4.9	5.00	4.52
Junio	4.56	5.00	3.89	4.97	3.92
Julio	4.53	4.78	4.29	5.33	4.72
Agosto	5.09	4.96	4.87	5.17	5.23
Septiembre	5.57	5.64	5.42	5.07	5.66
Octubre	5.73	5.97	6.21	5.91	5.92
Noviembre	5.73	6.07	6.51	6.31	6.05
diciembre	5.82	5.77	5.58	5.4	5.7
<b>PROM.</b>	5.230	5.433	5.264	5.068	5.135

**ANEXO 3.1.** Diagrama unifilar de celda de llegada y de transformación de tienda MAKRO



Fuente: Red eléctrica de tienda MAKRO Chiclayo, 2022.

### ANEXO 3.2. Cargas de potencia y consumo eléctrico de la tienda MAKRO

<u>CUADRO DE CARGA TABLERO GENERAL TG-N</u>						
ITEM	CIR.	DESCRIPCIÓN	POT. INST. (W)	MAX. DEM. (W)	F.D.	MAX. DEM. DIV. (W)
1	CGN-1	TABLERO TA-N ALUMBRADO TIENDA	31,472.00	28,324.80	0.80	22,659.84
2	CGN-2	TABLERO TN-1 1ER PISO	23,240.00	17,240.00	0.80	13,792.00
3	CGN-3	RESERVA	5,000.00	5,000.00	1.00	5,000.00
4	CGN-4	TABLERO TN-3	25,765.60	15,374.20	0.90	12,299.36
5	CGN-5	TABLERO TN-4	25,000.00	20,000.00	0.8	16,000.00
6	CGN-6	RESERVA	5,000.00	5,000.00	1.00	5,000.00
POTENCIA INSTALADA TOTAL (W)						144,197.60
MAXIMA DEMANDA TOTAL (W)						90,939.00
FACTOR DE DIVERSIDAD						<b>0.80</b>
MAXIMA DEMANDA DIVERSIFICADA TOTAL (W)						74,751.20

Fuente: Red eléctrica de tienda MAKRO Chiclayo, 2022.

### ANEXO 3.3. Tarifa eléctrica de la tienda MAKRO

			FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	
Punto de suministro			26444594	26444594	26444594	26444594	
Ubicación			Chiclayo	Chiclayo	Chiclayo	Chiclayo	
<b>Factura 1</b>	Energía	S/	7707.93	9078.88	8428.26	7790.55	
	Potencia	S/	4345.34	4557.44	4656.15	4689.61	
	Saldos (Meses anteriores)	S/	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Subtotal	S/	12053.27	13636.32	13084.41	12480.16	
	IGV (18)%	S/	2169.58	2454.53	2355.19	2246.44	
	<b>Total</b>	<b>S/</b>	<b>14222.85</b>	<b>16090.85</b>	<b>15439.60</b>	<b>14726.60</b>	
<b>Factura 2</b>	Peaje SPT	S/	5309.06	5863.40	5716.38	5059.66	
	Peaje SST	S/	2008.16	2258.66	2160.65	1544.64	
	Peaje VAD	S/	2406.88	2360.90	2425.14	2423.38	
	Exceso Energía Reactiva Ind.	S/	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Energía Reactiva Capacitiva	S/	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Alumbrado Público+Cargo Fijo	S/	767.41	818.03	826.94	835.24	
	Saldos (Meses anteriores)	S/	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Subtotal	S/	10491.51	11300.99	11129.11	9862.92	
	IGV (18%)	S/	1888.47	2034.18	2003.24	1775.33	
		<b>Total</b>	<b>S/</b>	<b>12379.98</b>	<b>13335.17</b>	<b>13132.35</b>	<b>11638.25</b>
<b>Factura 3</b>	Cargo FISE	S/	974.31	1070.40	1034.17	957.52	
	Saldos (Meses anteriores)	S/	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<b>Cargo FISE</b>	<b>S/</b>	<b>974.31</b>	<b>1071.40</b>	<b>1034.17</b>	<b>957.52</b>	
<b>Factura 4</b>	Cargo LER	S/	724.40	814.76	740.31	682.78	
	Saldos (Meses anteriores)	S/	0.00	0.00	0.00	0.00	
	<b>Cargo LER</b>	<b>S/</b>	<b>724.40</b>	<b>814.76</b>	<b>740.31</b>	<b>682.78</b>	
<b>TOTAL</b>			<b>S/</b>	<b>28301.54</b>	<b>31312.18</b>	<b>30346.43</b>	<b>28005.15</b>

Fuente: Red eléctrica de tienda MAKRO Chiclayo, febrero – mayo 2022.

### ANEXO 3.4. Eficiencias logradas en distintos tipos de celdas solares

Tecnología	Simbolo	Características	Eficiencia de celdas en laboratorio(%)	Eficiencia típica en módulos comerciales (%)
Silicio monocristalino	sc - Si	tipo oblea	24	(13-15)
Silicio policristalino	mc - Si	tipo oblea	19	(12-14)
Películas de silicio cristalino cobre ceramica	f - Si	tipo oblea	17	(8-11)
Película de silicio cristalino sobre vidrio		película delgada	9	
Silicio amorfo (incluye tandems silicio - germanio)	a - Si	película delgada	13	(6-9)
Diseleniuro de cobre - indio / galios	CIGS	película delgada	18	(8-11)
Telurio de cadmio	CdTe	película delgada	18	(7-10)
Celdas organicas (incluye celdas de TiO2 sensibles a la humedad)		película delgada	11	
Caeldas tandem de alta eficiencia	III - V	tipo oblea y película delgada	30	
Celdas concentradoras de alta eficiencia	III - V	tipo oblea y película delgada	33 (tandem) 28 (solo)	

## ANEXO 3.5. Irradiación solar en punto de ubicación de la tienda MAKRO CHICLAYO

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual  
 Dates (month/day/year): 01/01/1981 through 12/31/2021  
 Location: Latitude -6.7311 Longitude -79.8817  
 Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 119.79 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/m<sup>2</sup>/day)  
 -END HEADER-  

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1984	5.94	4.95	5.37	5.01	4.46	4.56	4.53	5.09	5.57	5.73	5.73	5.82	5.23
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1985	5.84	5.58	6.11	5.52	5.13	5.18	4.64	4.91	5.73	5.93	6.26	6.16	5.58
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1986	4.81	5.24	5.99	4.94	5.46	4.85	4.81	4.73	5.59	5.90	5.94	5.45	5.31
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1987	4.73	4.81	5.47	5.21	5.55	4.74	4.55	4.85	5.58	5.96	6.20	5.98	5.31
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1988	5.44	5.68	6.03	5.39	5.12	5.01	4.57	4.79	5.49	5.86	5.64	5.83	5.40
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1989	5.43	4.58	5.30	5.16	5.40	4.74	5.05	5.08	5.69	5.71	6.94	6.87	5.50
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1990	5.83	5.30	5.52	5.41	4.94	5.00	4.78	4.96	5.64	5.97	6.07	5.77	5.43
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1991	5.82	5.59	4.96	5.67	4.97	4.94	5.32	5.41	5.28	5.50	6.35	5.69	5.46
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1992	4.94	5.03	4.80	4.66	4.63	4.45	4.51	4.84	5.59	6.11	6.06	5.88	5.12
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1993	5.07	4.57	4.91	5.15	4.47	4.19	4.49	4.96	4.96	5.49	6.32	5.30	4.99
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1994	5.07	4.95	5.24	4.93	4.91	4.55	4.61	4.94	5.53	5.77	5.94	5.26	5.14
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1995	5.41	5.79	6.02	5.94	5.48	4.84	4.54	4.87	5.52	5.75	6.15	6.44	5.56
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1996	5.68	5.57	5.23	5.64	5.53	4.77	4.75	4.79	5.51	5.87	6.64	6.55	5.54
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1997	6.06	5.61	6.00	5.38	5.14	4.43	4.42	4.45	4.88	5.72	4.91	4.73	5.14
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1998	4.89	5.15	5.09	5.08	4.26	4.44	4.86	5.22	5.76	6.02	6.67	6.23	5.31
ALLSKY_SFC_SW_DWN	1999	5.64	4.84	5.69	5.17	4.95	4.85	4.81	5.32	5.61	6.17	6.54	5.61	5.44
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2000	5.96	5.09	5.32	5.13	4.90	3.89	4.29	4.87	5.42	6.21	6.51	5.58	5.27
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2001	4.84	4.77	4.27	4.20	4.36	3.58	4.44	5.19	5.45	5.99	5.62	5.52	4.85
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2002	6.00	4.31	4.18	4.35	4.99	5.17	4.88	5.13	6.08	5.36	5.54	5.02	5.09
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2003	4.69	4.38	5.03	5.37	5.14	5.08	5.38	5.59	5.67	6.05	6.03	5.30	5.31
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2004	5.72	4.59	5.14	5.31	5.45	5.03	4.67	5.83	5.46	5.77	6.06	5.63	5.39
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2005	5.47	4.50	4.35	5.29	5.30	5.13	5.34	5.35	5.57	5.93	6.27	5.56	5.34
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2006	5.22	4.24	4.73	5.36	5.60	4.50	4.47	5.13	5.83	6.23	5.83	5.50	5.23
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2007	4.46	5.30	4.52	4.82	5.24	5.06	5.20	5.02	5.49	5.48	5.73	5.91	5.19
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2008	4.28	4.23	4.52	4.93	4.60	3.69	3.87	4.01	5.43	5.69	5.87	6.22	4.78
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2009	4.20	4.22	4.47	4.98	5.16	4.26	4.53	5.05	5.70	6.01	5.71	4.94	4.94
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2010	4.06	4.26	4.43	4.90	5.00	4.97	5.33	5.17	5.07	5.91	6.31	5.40	5.07
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2011	5.26	4.86	5.54	4.93	5.13	4.48	4.71	5.34	5.51	6.09	6.06	5.01	5.25
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2012	4.36	4.84	4.80	5.01	4.54	4.37	4.63	5.30	5.72	5.45	5.96	5.44	5.03
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2013	4.54	5.03	4.45	5.27	4.50	4.85	5.24	5.60	6.01	5.71	6.45	5.79	5.29
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2014	4.62	4.67	4.72	5.22	4.09	4.41	5.26	5.16	5.96	5.82	6.08	5.69	5.14
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2015	5.02	4.48	4.41	4.55	3.89	4.01	4.67	5.30	5.88	5.53	5.27	5.03	4.84
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2016	4.50	3.93	4.56	4.90	5.49	5.25	5.42	5.84	5.95	6.42	6.80	5.58	5.39
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2017	4.68	4.88	4.35	4.52	4.21	4.42	4.58	5.15	5.45	6.01	6.28	5.72	5.02
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2018	5.38	4.56	4.82	5.23	4.77	4.66	4.75	5.59	6.11	5.84	5.66	5.21	5.22
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2019	4.75	4.08	4.62	5.03	4.85	5.16	5.06	5.53	5.84	5.69	5.55	5.20	5.12
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2020	5.65	5.27	5.15	5.18	5.17	5.36	5.29	5.87	5.81	6.15	6.28	4.93	5.51
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2021	4.71	5.60	4.84	4.75	4.52	3.92	4.72	5.23	5.66	5.92	6.05	5.70	5.13

### ANEXO 3.6. Tablas termodinámicas de sustancias

Enthalpy of formation, Gibbs function of formation, and absolute entropy at 25°C, 1 atm

Substance	Formula	$\bar{h}_f^\circ$ kJ/kmol	$\bar{g}_f^\circ$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/kmol · K
Carbon	C(s)	0	0	5.74
Hydrogen	H <sub>2</sub> (g)	0	0	130.68
Nitrogen	N <sub>2</sub> (g)	0	0	191.61
Oxygen	O <sub>2</sub> (g)	0	0	205.04
Carbon monoxide	CO(g)	-110,530	-137,150	197.65
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub> (g)	-393,520	-394,360	213.80
Water vapor	H <sub>2</sub> O(g)	-241,820	-228,590	188.83
Water	H <sub>2</sub> O(l)	-285,830	-237,180	69.92
Hydrogen peroxide	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g)	-136,310	-105,600	232.63
Ammonia	NH <sub>3</sub> (g)	-46,190	-16,590	192.33
Methane	CH <sub>4</sub> (g)	-74,850	-50,790	186.16
Acetylene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)	+226,730	+209,170	200.85
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	+52,280	+68,120	219.83
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-84,680	-32,890	229.49
Propylene	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (g)	+20,410	+62,720	266.94
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)	-103,850	-23,490	269.91
<i>n</i> -Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	-126,150	-15,710	310.12
<i>n</i> -Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (g)	-208,450	+16,530	466.73
<i>n</i> -Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (l)	-249,950	+6,610	360.79

## ANEXO 3.7: Características de panel fotovoltaico del proveedor VERTEX TSM-DE18M

Mono Multi Solutions

# THE Vertex

BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE



**500W+**  
MAXIMUM POWER OUTPUT

---

**21.1%**  
MAXIMUM EFFICIENCY

---

**0~+5W**  
POSITIVE POWER TOLERANCE

PRODUCTS | POWER RANGE

**TSM-DE18M(II)** | **480-505W**

**High customer value**

- Lower LCOE (Levelized Cost Of Energy), reduced BOS (Balance Of System) cost, shorter payback time
- Lower guaranteed first year and annual degradation
- Designed for compatibility with existing mainstream system components
- Higher return on Investment

**High power up to 505W**

- Large area cells based on 210mm silicon wafers and 1/3-cut cell technology
- Up to 21.1% module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping effect, lower series resistance and improved current collection

**High reliability**

- Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology
- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity areas
- Mechanical performance up to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load

**High energy yield**

- Excellent IAM (Incident Angle Modifier) and low irradiation performance, validated by 3rd party certifications
- The unique design provides optimized energy production under inter-row shading conditions
- Lower temperature coefficient (-0.35%) and operating temperature

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading total solution provider for solar energy. With local presence around the globe, Trina Solar is able to provide exceptional service to each customer in each market and deliver our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, bankable brand. Trina Solar now distributes its PV products to over 100 countries all over the world. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaborations with installers, developers, distributors and other partners in driving smart energy together.

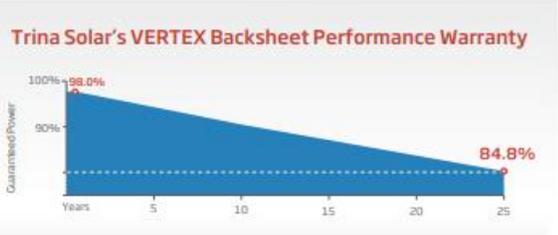
**Comprehensive Products and System Certificates**

IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716  
 ISO 9001: Quality Management System  
 ISO 14001: Environmental Management System  
 ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification  
 ISO45001: Occupational Health and Safety Management System

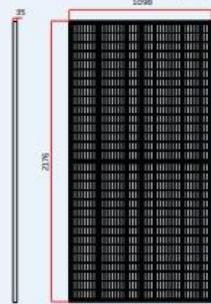
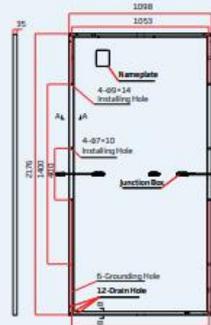
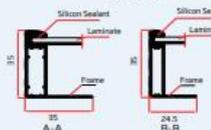
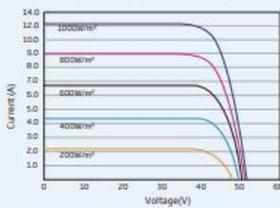
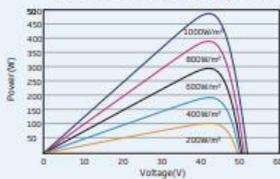


**Trinasolar**

**Trina Solar's VERTEX Backsheet Performance Warranty**



Years	Guaranteed Power (%)
0	98.0%
25	84.8%

**DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)**

**Front View**

**Back View**

**I-V CURVES OF PV MODULE(490 W)**

**P-V CURVES OF PV MODULE(490W)**

**ELECTRICAL DATA (STC)**

Peak Power Watts- $P_{MAX}$ (Wp)*	480	485	490	495	500	505
Power Tolerance- $P_{MAX}$ (W)	0 ~ +5					
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	42.0	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	11.42	11.49	11.56	11.63	11.69	11.75
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	50.8	51.1	51.3	51.5	51.7	51.9
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	11.99	12.07	12.14	12.21	12.28	12.35
Module Efficiency $\eta_m$ (%)	20.1	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass A.M1.5.  
\*Measuring tolerance: ±3%.

**ELECTRICAL DATA (NMOT)**

Maximum Power- $P_{MAX}$ (Wp)	363	367	371	375	379	382
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	39.6	39.8	40.0	40.2	40.4	40.6
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	9.15	9.20	9.26	9.32	9.37	9.43
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	48.0	48.2	48.4	48.6	48.8	49.0
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	9.65	9.72	9.77	9.83	9.89	9.94

NMOT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

**MECHANICAL DATA**

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	150 cells
Module Dimensions	2176 × 1098 × 35 mm (85.67 × 43.23 × 1.38 inches)
Weight	26.3 kg (58.0 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm <sup>2</sup> (0.006 inches <sup>2</sup> ), Portrait: N 280mm/P 280mm(11.02/11.02inches) Landscape: N 1400 mm / P 1400 mm (55.12/55.12 inches)
Connector	MC4 EV02 / TS4*

\*Please refer to regional datasheet for specified connector.

**TEMPERATURE RATINGS**

NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41 C (±3 C)
Temperature Coefficient of $P_{MAX}$	-0.36%/C
Temperature Coefficient of $V_{OC}$	-0.26%/C
Temperature Coefficient of $I_{SC}$	0.04%/C

(Do not connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

**WARRANTY**

12 year Product Workmanship Warranty
25 year Power Warranty
2% first year degradation
0.55% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

**MAXIMUM RATINGS**

Operational Temperature	-40 ~ +85 C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	20A

**PACKAGING CONFIGURATION**

Modules per box: 30 pieces
Modules per 40' container: 600 pieces

## ANEXO 3.8: Ficha técnica de la celda PEMFC - FCGEN

### PRODUCT DATA SHEET



Power to change the world®



### High Performance Fuel Cell Stack

**Introducing FCgen®-HPS**  
Ballard's high performance proton exchange membrane (PEM) liquid cooled fuel cell stack.

FCgen®-HPS incorporates our latest technology, design and materials to meet the requirements of the most demanding mobility applications delivering one of the highest fuel cell stack power densities in the industry.

The FCgen®-HPS stack uses Ballard's latest generation of proprietary membrane electrode assemblies (MEA) and thin carbon plates to deliver performance and durability.

The FCgen®-HPS stack provides up to 140kW of stable electrical power over a wide range of operating and environmental conditions. The FCgen®-HPS stack can be configured to different power outputs to meet customer requirements.

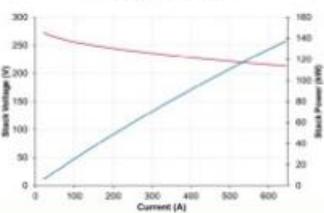
Designed for motive applications, the FCgen®-HPS features fast, dynamic response and robust and reliable operation. The FCgen®-HPS establishes a new industry standard for power density, performance and product reliability.

**Key attributes:**

- High power density<sup>(1)</sup> fuel cell stack
  - o ~ 4.3kW/L
  - o ~ 4.7kW/kg
- Designed to automotive standards
- Freeze start capability





### PRODUCT SPECIFICATIONS

PEM (Proton Exchange Membrane) fuel cell stack	
Rated Power	40 kW
Cell Count	17
Rated Current	645 A
Rated Voltage	15 V
Mass (dry)	55 kg
Length	484 mm
Width	555 mm
Height	195 mm
Fuel Standard	ISO 14687-2
Oxidant	Air up to 2.5 bara
Coolant	DI water or Fuel Cell Grade Glycol
Max Coolant Temp.	95°C
Min. Start Temp.	-28°C
Storage Temp. (<12 hrs)	-40°C to 95°C
Storage Temp. (long term)	2°C to 40°C

(1) excludes end plate hardware

Specifications and descriptions in this document were in effect at the time of publication. Ballard Power Systems, Inc. reserves the right to change specifications, product appearance or to discontinue products at any time. (04/2020) SPC5109615-0A

Ballard®, Powered by Ballard®, FCgen®, FCveloCity®, FCmove™ and Power to change the world® are trademarks of Ballard Power Systems Inc.

**Ballard Power Systems, Inc.**  
9000 Glenlyon Parkway  
Burnaby, British Columbia  
Canada, V5J 5J8

TEL: (+1) 604.454.0900  
FAX: (+1) 604.412.4700  
[www.ballard.com](http://www.ballard.com)

## ANEXO 3.9: Ficha técnica de la batería o acumulador



### Batería solar SCL de ciclo profundo

Las baterías de ciclo profundo Power DC están especialmente diseñadas para admitir funcionar con ciclos de descarga superiores al 50%.

Estas disponen de un óptimo diseño de placas reforzadas para aumentar su durabilidad, así como una óptima entrega de energía.

Además, dichas placas disponen de rejillas de difícil corrosión que también aumentan su vida útil.



Preparadas para ciclos superiores al 50%



Placas reforzadas de alta duración



Diseño compacto



### Características principales

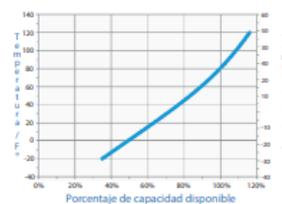
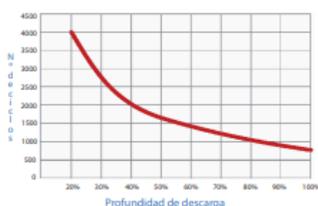
Ciclo Profundo: Alta calidad para alta descarga

La rejilla de metal utilizado en la placa de la batería de ciclo profundo está específicamente diseñada para aumentar la adhesión del material de pasta activo de alta densidad. Esto proporciona un mejor funcionamiento disponible y una mayor durabilidad.

- Más de 1000 ciclos al 75% de profundidad de descarga.
- Más de 2500 según IEC61427.
- Alta resistencia a ciclos repetitivos de descargas profundas.
- Larga vida útil.
- Bajo mantenimiento.



Visualizado técnico del modelo Power DC-395



Baterías Power-DC Ciclo Profundo	Características			
<b>Especificaciones eléctricas y generales</b>	Power DC-260	Power DC-315	Power DC-395	Power DC-510
Capacidad en C100 (Ah)	260	315	395	510
Voltaje (V)	12	12	12	12
<b>Características físicas</b>				
Color	Negro			
Material	Polipropileno			
Largo (mm)	395	261	314	314
Ancho (mm)	177	180	181	181
Alto (mm)	379	286	360	416
Peso (kg)	51.7	32.5	42.6	51.4

Dirección: San Pio X, nº6 bajo izda, 46017 Valencia.  
Teléfono: 96 381 39 81  
www.monsolar.com

## ANEXO 3.10: Ficha técnica del electrolizador

# HyPM™ HD 30

## Heavy Duty Fuel Cell Power Module

- *Liquid-cooled advanced MEA PEM stack*
- *Integral Balance of Plant*
- *Advanced onboard controls and diagnostics*
- *Comes with low pressure cathode air delivery*
- *-46 °C sub-zero shutdown capability*

### Technical Data

Rated Electrical Power	33 kW continuous
Operating Current	0 to 500 A <sub>DC</sub>
Operating Voltage	60 to 120 V <sub>DC</sub>
Peak Efficiency	55% <sup>1)</sup>
Response	< 5 s from off to idle < 3 s from idle to rated power
Fuel	Dry Hydrogen >99.98%
Oxidant	Ambient Air
Coolant	De-ionized water (DI H <sub>2</sub> O) or 60% ethylene glycol / DI H <sub>2</sub> O
Ambient Temperature	-10 to +55 °C operating -40 to +65 °C storage (<2 °C with automated freeze shutdown feature)
Communication	CAN v2.0A (standard 11 bit)

<sup>1)</sup> Efficiency based on LHV of H<sub>2</sub>, 25 °C, 101.3 kPa, including onboard parasitic loads, excluding radiator fan and water pump



- *Rapid start-up and dynamic response*
- *Unlimited start-stop cycling*
- *Robust, rugged and reliable*
- *No water for humidification required*
- *No nitrogen required for shutdown*

### Physical

Dimensions L x W x H <sup>2)</sup>	605 x 410 x 265 mm
Mass <sup>3)</sup>	61 kg
Volume <sup>3)</sup>	66 L

<sup>2)</sup> Excluding air delivery and optional water pump

<sup>3)</sup> Including air delivery and optional water pump

### Includes

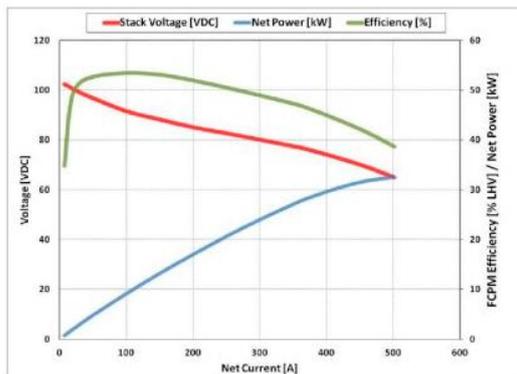
- Air delivery unit (low pressure blower)
- Integration and operation manual
- Product Warranty

### Optional

- Coolant pump
- Thermal management kit
- Diagnostics software
- Power electronics components

### Applications

- Urban transit buses
- Heavy duty commercial fleet vehicles
- Marine
- Aerospace



HyPM™ HD30 Typical Performance<sup>1)</sup>

Actual delivered product may differ in appearance.  
Specifications subject to change without prior notification.  
Printed in Canada © Hydrogenics Corporation 2012-04-16

[www.hydrogenics.com](http://www.hydrogenics.com)  
[Fuelcellsales@hydrogenics.com](mailto:Fuelcellsales@hydrogenics.com)

HYDROGENICS Corporation  
220 Admiral Blvd, Mississauga, Ont, L5T 2N6 Canada  
Tel. +1 (905) 361 3660 Fax +1 (905) 361 3626

HYDROGENICS GmbH  
Am Wiesenbusch 2, 45966 Gladbeck, Germany  
Tel. +49 (2043) 944 133 Fax +49 (2043) 944 146

## ANEXO 3.11: Ficha técnica del regulador de carga



### Reguladores EP Solar VS: Serie A

La series ViewStar de EP Solar están diseñadas para sistemas solares off-grid, sistemas para viviendas, estaciones de energía de poco tamaño, etc. Contiene una pantalla LCD, muestra fielmente el nivel de carga de la batería y contiene una fiable protección electrónica. Además, dispone de control del tiempo de carga y ofrece estadísticas sobre los procesos realizados anteriormente.



Display



Modo farola



Fácil uso



### Características principales

- 3 etapas inteligentes de carga PWM: Carga en bruto, carga de impulso y ecualización y carga flotante
- Soporta 3 opciones de carga: Sellada, gel y bañada
- Función de estadísticas de energía
- Protección extensiva electrónica
- Diseño con pantalla LCD incluida, que muestra dinámicamente datos de funcionamiento y el estado del equipo
- Múltiples modos de control de carga
- Función de compensación de la temperatura de la batería
- Función nocturna



### Protecciones eléctricas

- Cortocircuito FV
- Batería sobredescargada
- Sobrecarga
- Polaridad inversa FV
- Polaridad inversa de la batería
- Sobrecalentamiento del regulador
- Sobretensión de la batería
- Cortocircuito de carga
- Sobrecalentamiento de la batería

### Características Técnicas

Medida	VS1024A	VS2024A	VS3024A
Voltaje nominal del sistema	12/24V auto work		
Corriente nominal de batería	10 A	20 A	30 A
Corriente nominal de carga	10 A	20 A	30 A
Rango de volt. de entrada de la bat.	9-32 V		
Voltaje máximo de batería	50V		
Toma a tierra	Común positivo		
Autoconsumo	≤8.1 mA(12V), ≤6.5 mA(24V)		
Compensación de temperatura	-3mV/°C / 2V		
Voltaje de carga de ecualización	Sellada: 14.6V; Bañada: 14.8V		
Voltaje de carga de impulso	Gel: 14.2V; Sellada: 14.4V; Bañada: 14.6V		
Voltaje de carga flotante	13.8 V		
Voltaje de reconexión por bajo volt.	12.6 V		
Voltaje de desconexión por bajo volt.	11.1 V		
Temperatura ambiente de trabajo	-25°C ~+55°C		
Sellado	IP30		
Dimensiones	132x84.6x39.7mm	149x94.1x46.1mm	177.5x106.6x46.2mm
Terminal	4mm <sup>2</sup>	16mm <sup>2</sup>	16mm <sup>2</sup>
Peso neto	0.18 kg	0.26 kg	0.33 kg

## ANEXO 3.12: Ficha técnica del interruptor termomagnético.

# INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO 1, 2 Y 3 POLOS DE 3/4" IUSA-NOARK TIPO ENCHUFABLE



Los **interruptores termomagnéticos** están diseñados para interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. El dispositivo consta de dos partes: un electroimán y una lámina bimetálica. Ambas conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.

Los interruptores termomagnéticos protegen la instalación eléctrica contra sobrecorrientes (sobrecargas y cortocircuitos).

### CARACTERÍSTICAS

- Posee un ancho de 3/4" de tipo enchufable. Este interruptor es compatible en tamaño con sus similares en el mercado.
- Los conductores principales están fabricados en Cobre.
- El modelado del material es Poliamida, el cual es retardante a la flama.
- Características de disparo: Curva C. Esta curva es utilizada para la protección de los circuitos (alumbado y tomas de corriente) en aplicaciones generales.
- Corriente nominal: 10 A, 15 A, 20 A, 30 A, 40 A, 50 A y 60 A.
- Capacidad interruptiva: 10 kA.
- Desarrollado para su conexión en cables de Cobre o Aluminio del calibre 14 al calibre 4 AWG.
- Certificación: NOM ANCE
- Cuenta con indicador del estado de interrupción.
- Póliza de garantía: 2 años.

### APLICACIONES

- Protección de circuitos derivados y alimentadores en instalaciones domésticas, comerciales e industriales.
- Instalación en centros de carga y tableros de alumbado.
- Control y protección contra sobrecargas y cortocircuitos en una instalación monofásica (1 Polo).
- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos en sistemas de distribución eléctrica de tipo domésticas, comerciales e industriales de 2 fases y 3 fases (2 Polos y 3 Polos).

### INDICADOR DEL ESTADO DE INTERRUPCIÓN

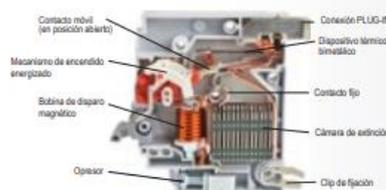
Este interruptor tiene una ventana indicadora que muestra el estado de interrupción.

En **VERDE** indica que el interruptor está apagando (OFF / 0) por lo que no hay peligro para instalarlo o quitarlo del centro de carga.

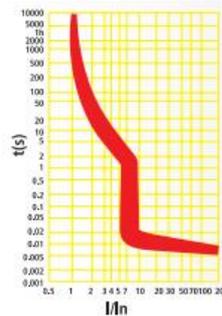
En **ROJO** señala que el interruptor está encendiendo (ON / I) e indica peligro. No es recomendable instalarlo o quitarlo del centro de carga ya que el interruptor está energizado.

Cuando el interruptor se dispara **LA MIRILLA CAMBIA DEL COLOR ROJO AL VERDE**, hay que mover la palanca **OFF-ON** para restablecer la energía.

### ESTRUCTURA INTERNA



### CURVA DE DISPARO



Distribuido y comercializado por INDUSTRIAS UNIDAS, S.A. DE C.V.

Carretera Panamericana México Querétaro Kilómetro 109, s/n Pastejé, Jocotitlán, Estado de México, C.P. 50734



1 POLO	
CÓDIGO	CORRIENTE
616634	10 A
616635	15 A
616636	20 A
616637	30 A
616638	40 A
616639	50 A
616640	60 A
CAJA 12	

2 POLOS	
CÓDIGO	CORRIENTE
616641	10 A
616642	15 A
616643	20 A
616644	30 A
616645	40 A
616646	50 A
616647	60 A
CAJA 6	

3 POLOS	
CÓDIGO	CORRIENTE
616648	10 A
616649	15 A
616650	20 A
616651	30 A
616652	40 A
616653	50 A
616654	60 A
CAJA 4	



PRODUCTOS  
ELÉCTRICOS

### ANEXO 3.13: Ficha técnica del interruptor diferencial.



## Interruptor diferencial Easy9 2P 25A tipo AC 30mA

EZ9R36225

### Principal

<b>Gama de producto</b>	Easy9
<b>Tipo de producto o componente</b>	Interruptor diferencial (RCCB)
<b>Nombre corto del dispositivo</b>	Easy9 RCCB
<b>Poles</b>	2P
<b>Posición de neutro</b>	Izquierda
<b>Corriente nominal (In)</b>	25 A
<b>Tipo de red</b>	CA
<b>Sensibilidad ante fugas a tierra</b>	30 mA
<b>Retardo de la protección contra fugas a tierra</b>	Instantáneo
<b>Clase de protección contra fugas a tierra</b>	Tipo AC
<b>Poder de corte y de cierre nominal</b>	500 A
<b>Intensidad de cortocircuito condicional</b>	Easy9 MCB, estado 1 6000 A 25 A

## ANEXO 3.14: Ficha técnica de la electrobomba



**Datos  
de prestaciones**

CENTRÍFUGA  
CPM 600  
0.5 H.P.



MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	H metros																		
Monofásica	Trifásica	kW	HP ▲		m <sup>3</sup> /h	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6	
				l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160		
CPm 600	CP 600	0.37	0.50		22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9										
CPm 610	CP 610	0.60	0.85	IE2	30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19.5	17.5	15										
CPm 620	CP 620	0.75	1		35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19								
CPm 650	CP 650	1.1	1.5	IE3	42	41.5	41	40.5	39.5	39	38	36.5	35	33	30	27	24						
CPm 660	CP 660	1.5	2		48	47.5	47	46.5	46	45	43.5	42	40.5	38.5	36	33.5	31	28					
CPm 670	CP 670	2.2	3	IE3	57	56.5	55.5	55	54	53.5	53	52	50.5	49.5	47	45	42.5	38	33				
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5		39	38.5	38	37	36.5	36	35	34	33	32	30	28.5	26.5	24.5	22.5	20	18		
CPm 660M	CP 660M	1.5	2	IE3	43	42.5	42	41	40.5	40	39	37.5	36.5	35	34	32.5	31	29	27	25	23		
CPm 670M	CP 670M	2.2	3		51	50.5	50.5	50	49.5	48.5	47.5	46.5	45	44	42.5	41	39.5	37.5	36	34	32		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30)



### ANEXO 3.15: Ficha técnica del compresor

## Compresor 1 etapa 1/2 HP 40 litros. | E040ME050-040



MOTOR	-
Potencia del motor:	1/2 HP
Velocidad del motor	1750 RPM
Tipo de motor:	Eléctrico
Marca del motor:	Weg/Siemens
Fases:	Monofásico
Voltaje:	110/220 V
CENTRO DE COMPRESION	-
Numero de cabezas:	1
Numero de etapas:	1
Numeros de cilindros/pistones:	1
Modelo de cabeza:	CE055



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, ANIBAL JESUS SALAZAR MENDOZA, 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 eléctrica basado en fuente fotovoltaica e hidrógeno, para optimizar los costos de iluminación en centro comercial de Chiclayo.", cuyos autores son BRAVO CORDOVA WANDER, MANAYAY MARTINEZ DEIVI ALEXANDER, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.00%, 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

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
ANIBAL JESUS SALAZAR MENDOZA <b>DNI:</b> 16720249 <b>ORCID:</b> 0000-0003-4412-8789	Firmado electrónicamente por: AJSALAZARM el 22- 07-2022 20:16:52

Código documento Trilce: TRI - 0361775