

Universidad de Matanzas
sede “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ciencias Técnicas



**UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR PARA LA PRODUCCIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA CÁMARA NO. 1 DE LA
UNIVERSIDAD DE MATANZAS**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica

Autor: Yordanys W. San Martín Fragoso

Tutor: MSc. Marlene Oramas Ortega

Matanzas, 2022

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

Yordanys W. San Martín Fragoso.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia y a mi novia que siempre han estado detrás de cada paso que he dado durante mi formación y han aportado su granito de arena para ayudarme a llegar hasta donde estoy.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a mis padres y a mi hermano por su apoyo incondicional y la ayuda que me han dado en el transcurso de mis estudios.

A mi novia por su paciencia y por siempre estar ahí cuando la necesito.

A mi tutor por la ayuda y el asesoramiento brindado, sin el cual no hubiese podido llegar a este resultado.

A todos los profesores que de una forma u otra contribuyeron a mi formación como profesional.

A todos, MUCHAS GRACIAS.

RESUMEN

El principal objetivo del proyecto es fomentar el interés e investigación en energía renovable por parte de la comunidad con estudios superiores, mediante el diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer la Cámara #1 de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. En el primer capítulo, se definen los conceptos más relevantes, los principales fundamentos teóricos y las características de los equipos que conforman una instalación fotovoltaica, ya sea aislada o conectada a la red, utilizando bibliografía de autores con presencia en la industria fotovoltaica. En el segundo capítulo, se realizan los cálculos necesarios para determinar la cantidad de baterías, paneles solares, inversores y controladores a emplear. En el capítulo final, se realiza un estudio medioambiental para determinar su impacto en comparación con los métodos convencionales de generación de energía eléctrica. Por último, se estima la magnitud de la inversión a realizar y se comprueba su factibilidad para finalmente seleccionar cuál de los dos sistemas es el que se va a implementar.

Palabras claves: Sistema fotovoltaico, energía renovable, paneles solares, generación.

ABSTRACT

The main objective of the project is to promote interest and research in renewable energy by the community with higher education, through the design of a photovoltaic system to supply Chamber #1 of the University of Matanzas "Camilo Cienfuegos". In the first chapter, the most relevant concepts are defined, the main theoretical foundations and the characteristics of the equipment that make up a photovoltaic installation, either isolated or connected to the network, using bibliography of authors with a presence in the photovoltaic industry. In the second chapter, the necessary calculations will be made to determine the number of batteries, solar panels, inverters and controllers to use. In the final chapter, an environmental study is carried out to determine its impact compared to conventional methods of electric power generation. Finally, the magnitude of the investment to be made is estimated and its feasibility is checked to finally select which of the two systems is the one to be implemented.

Keywords: Photovoltaic system, renewable energy, solar panels, generation.

Contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica.....	3
1.1 Características principales de las energías renovables.....	3
1.2 Tipos de energía renovable.....	3
1.2.1 Energía solar.....	3
1.2.2 Energía hidráulica o hidroeléctrica.....	4
1.2.3 Energía eólica.....	4
1.2.4 Biomasa y biogás.....	4
1.2.5 Energía geotérmica.....	4
1.2.6 Energía mareomotriz.....	5
1.3 Radiación Solar.....	5
1.3.1 Recorrido de la radiación solar.....	7
1.3.2 Horas de Sol Pico (H.S.P.).....	8
1.4 Panel Fotovoltaico.....	8
1.4.1 Célula Fotovoltaica.....	9
1.4.2 Parámetros característicos.....	11
1.4.3 Curvas características.....	12
1.4.4 Efecto sombras.....	14

1.5 Componentes de un sistema fotovoltaico aislado	15
1.5.1 La batería o acumulador	16
1.5.2 Unidad de control o regulador	19
1.5.3 Inversores o convertidores	20
1.5.4 Elementos de protección	21
1.5.5 Cables	22
1.5.6 Estructura de soporte	22
1.6 Componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red.	24
1.7 Conclusiones parciales del capítulo.	24
Capítulo 2 Materiales y Métodos	25
2.1 Levantamiento de cargas.	25
2.2 Potencial solar de la zona.	28
2.3 Cálculo y selección de componentes de un sistema aislado (<i>Off-Grid</i>).	30
2.3.1 Módulos fotovoltaicos.	30
2.3.2 Selección y Cálculo de los reguladores.	32
2.3.3 Selección y Cálculo de Baterías.	34
2.3.4 Selección y Cálculo de Inversores.	35
2.4 Cálculo y selección de componentes de un sistema conectado a la red (<i>On-Grid</i>).	36

2.4.1 Selección y Cálculo de paneles.	36
2.4.2 Selección y Cálculo del inversor	37
2.5 Cálculo y selección de la posición de los paneles.	37
2.6 Área que ocupa la instalación.	39
2.6.1 Instalación aislada.	39
2.6.2 Instalación conectada a la red.	39
2.7 Selección de lugar de instalación	40
2.8 Conclusiones parciales del capítulo.	41
Capítulo 3 Análisis de resultados.....	42
3.1 Comparación de ambos sistemas en cuanto a sus componentes y energía generada.	42
3.2 Impacto medioambiental de la central fotovoltaica de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.	42
3.2.1 Central aislada.	43
3.2.2 Central conectada a la red.	44
3.3 Análisis económico de la central aislada.	44
3.3.1 Costo de los componentes.	44
3.3.2 Cálculo de Costo-Beneficios.	45
3.3.3 Retorno de la inversión.	46
3.4 Análisis económico del sistema conectado a la red.	48

3.4.1 Costo de los componentes.....	48
3.4.2 Tarifa eléctrica aplicada en la Universidad de Matanzas.....	48
3.4.3 Cálculo de Costo-Beneficios.....	49
3.4.4 Retorno de la inversión.....	51
3.5 Comparación de ambos sistemas.....	52
3.6 Conclusiones parciales del capítulo.....	53
Conclusiones.....	54
Recomendaciones.....	55
Referencias Bibliográficas.....	56

Introducción.

En la actualidad uno de los problemas más relevantes en cuanto a contaminación ambiental se refiere lo constituyen los métodos convencionales de obtención de energía eléctrica que generan altas cantidades de CO₂, lo cual disminuye la calidad del aire que se respira y afecta la capa de ozono, favoreciendo al calentamiento global. En los últimos tiempos se han implementado formas más amigables con el Medio Ambiente para la obtención de electricidad, formas que aprovechan los recursos infinitos de la naturaleza, conocidas como fuentes renovables de energía.

Toda sociedad basa su desarrollo en dos ejes, sostenibilidad energética y el bienestar general de la población. La tendencia mundial actual es lograr generar energía con fuentes amigables con el medio ambiente, para atenuar el impacto ambiental provocado (Palpa Bueno, 2019). El rápido agotamiento de los combustibles fósiles en las reservas mundiales conduce a precios más altos de la energía, inquietudes en la seguridad energética y preocupaciones medioambientales. Aquí es donde entran los sistemas fotovoltaicos, son limpios, fiables y tienen un papel potencial en la generación de energía verde (Ramanan & Karthick, 2019).

Las Fuentes Renovables de Energía (FRE) en 2014 tuvieron una expansión significativa a nivel mundial en términos de capacidad instalada y energía producida. Las inversiones en el sector eléctrico llegaron a superar inversiones netas en las centrales eléctricas térmicas. Tres tecnologías se destacaron del resto con un crecimiento acelerado: la eólica, la solar fotovoltaica y la energía hidráulica (Altomonte, 2017).

Cuba ha apostado por las fuentes renovables de energía. La dependencia de los combustibles importados ha dirigido el interés del gobierno hacia un mejor uso de los recursos internos para mejorar la seguridad e independencia energética de Cuba, haciéndola menos vulnerable a los cambios externos. Al mismo tiempo, el archipiélago cubano enfrenta problemas relacionados con la insularidad, mientras que las condiciones geográficas y climáticas permiten aprovechar el importante potencial que tiene para

generar energía a través de fuentes renovables de energía, principalmente la solar fotovoltaica y la energía eólica. La resiliencia del sistema energético es fundamental.

El siguiente trabajo está enfocado en la utilización de la energía solar para la instalación de un sistema fotovoltaico en la Cámara #1 de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, que permita ahorrar desde el punto de vista económico los gastos en consumo de energía eléctrica del centro y contribuir a aliviar la tensa situación energética que está enfrentando el país en cuanto a la generación.

Por ello se toma como **situación problemática**:

Se necesita instalar un sistema fotovoltaico para cubrir la demanda energética de la Cámara #1 de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

Hipótesis: si se instala un sistema fotovoltaico en la Cámara #1 de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” será posible obtener un ahorro del presupuesto destinado a cubrir la demanda eléctrica del centro.

Objetivo General: Realizar un estudio para el diseño de un sistema fotovoltaico que permita suministrar energía eléctrica a la Cámara #1 de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

Objetivos Específicos:

- Argumentar todos los fundamentos teóricos necesarios para una mejor comprensión del tema de estudio.
- Realizar el levantamiento de cargas de los edificios correspondientes a la Cámara #1 de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
- Calcular los componentes del sistema aislado y los del sistema conectado a la red.
- Determinar su costo ambiental comparado con los métodos convencionales de generación de energía eléctrica
- Determinar el costo total de la inversión de cada sistema y calcular la relación costo beneficio.
- Calcular el área que van a ocupar los paneles para seleccionar el lugar de instalación.

Capítulo 1 Revisión Bibliográfica.

En este capítulo se describirá el estado del arte de los sistemas fotovoltaicos, para ello es necesario explicar brevemente el fundamento teórico relacionado a las instalaciones fotovoltaicas, debe incluir el principio básico de funcionamiento de los componentes, tecnologías actuales y comparaciones cuando amerite. El objetivo de este capítulo es facilitar al lector el entendimiento de los cálculos y procedimientos para el diseño.

1.1 Características principales de las energías renovables.

Las energías renovables son aquellas que se obtienen a partir de fuentes naturales que producen energía de forma inagotable e indefinida. Por ejemplo, la energía solar, la energía eólica o la energía mareomotriz son fuentes renovables de energía. También se consideran renovables cuando se obtienen a partir de fuentes que se regeneran con el tiempo de manera natural, como la masa forestal.

La mayor contribución a las necesidades energéticas globales provendrá de la generación fotovoltaica, que incluso ya hoy ha superado a la eólica. No obstante, esas esperanzas no están cifradas en las celdas de segunda o tercera generación, sino en la tecnología de silicio, cuya eficiencia aumenta, con un costo cada vez menor. Las energías renovables son recursos limpios y casi inagotables que proporciona la naturaleza. Por su carácter autóctono contribuyen a disminuir la dependencia de un país por los suministros externos, aminoran el riesgo de un abastecimiento poco diversificado y favorecen el desarrollo de nuevas tecnologías y de la creación de empleo (González Couret, 2015).

1.2 Tipos de energía renovable.

1.2.1 Energía solar.

La energía que produce el sol puede ser aprovechada de diversas maneras. Los paneles fotovoltaicos de los tejados son los que más se conocen, sin embargo, el avance de la tecnología ha dado lugar a distintas variedades: paneles flexibles, de bajo coste, en órbita alrededor de la tierra o aplicables como una pintura en cualquier clase de superficie. La

energía solar se basa en el aprovechamiento de la energía emanada por el sol, transformándola en energía eléctrica o energía térmica (Sornichero, 2014).

1.2.2 Energía hidráulica o hidroeléctrica.

Consiste en el aprovechamiento de las corrientes de agua en los ríos a través de presas que mediante sus generadores producen la electricidad. Las presas grandes producen el veinte por ciento de la electricidad de todo el mundo y el siete por ciento de la energía total. La energía hidroeléctrica hace posible una reducción en un trece por ciento de la emisión a la atmósfera de agentes contaminantes (Osorio, 2008).

1.2.3 Energía eólica

La tecnología eólica es de las más consolidadas y de las que tienen un mayor potencial en los próximos años. Los enormes aerogeneradores ya forman parte del paisaje de muchas zonas. En la actualidad, se trabaja en el diseño de turbinas de una o dos palas, voladoras, de eje vertical o flotante (López, 2012).

1.2.4 Biomasa y biogás

La biomasa es el conjunto de residuos orgánicos que produce la sociedad, desde la basura hasta los residuos ganaderos, agrícolas o forestales. Como ciudadano, puedes emplearla para la climatización de tu vivienda y abastecerte de la electricidad que se produce en instalaciones específicas. Por lo tanto, gracias a ella se resuelve el problema del tratamiento de los residuos que se desaprovechan del monte y del campo. Además, se reduce el peligro de incendios forestales. Se puede emplear también como fertilizante en la agricultura (CRESPO MARTINEZ et al., 2003).

1.2.5 Energía geotérmica

La geotérmica se consigue a través del calor que se genera en el interior de la tierra. Su aprovechamiento puede producirse en instalaciones grandes en las que es posible generar varios megavatios o en las conocidas como calefacciones de distrito. Estas son una especie de calefacción central de un edificio, pero para toda una ciudad (Pous & Jutglar, 2004).

1.2.6 Energía mareomotriz

Se determina que la energía mareomotriz se genera mediante el aprovechamiento del movimiento del agua en las subidas y bajadas de marea lo cual hace girar las turbinas de los generadores produciendo energía eléctrica (Chimbo-Campuzano, 2017).

1.3 Radiación Solar

La radiación solar absorbida por la atmósfera terrestre no es aprovechada al 100%. En términos generales, el 24% de la radiación llega directamente, el 21% de la radiación no llega directamente. Mientras que el 29% se pierde en el espacio (Laguarda, 2021).

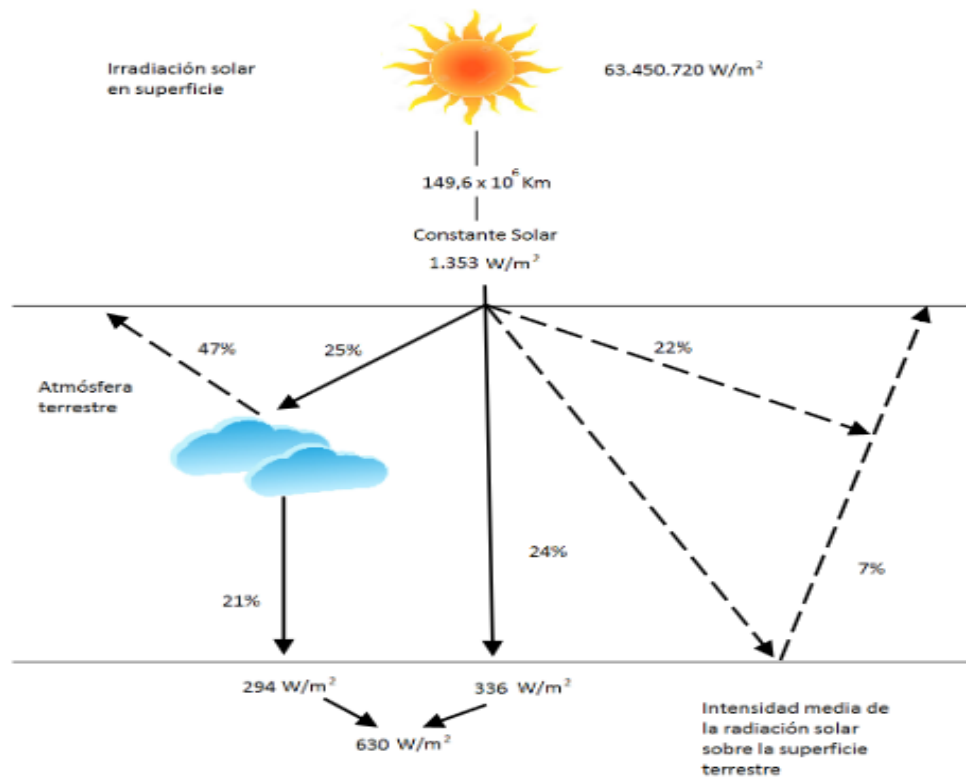


Figura 1.1. Esquema de distribución de radiación. (Fuente:

https://data02.123doks.com/thumbv2/123dok_es/000/624/624305/22.893.223.690.159.644/figura-esquema-de-distribuci%C3%B3n-de-radiaci%C3%B3n.webp)

Existen tres componentes de la radiación solar:

- ❖ Directa: Es la que proviene del sol, sin desviar su paso por la atmósfera.
- ❖ Difusa: Sufre cambios debidos a la reflexión difusión en la atmósfera.
- ❖ Albedo: Es la que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas, puede ser directa o difusa.

La radiación directa es la mayor y la más importante en el diseño de un sistema fotovoltaico. Cuba cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica (Martínez, 2016). Esto se puede observar en la Figura (1.2).

Radiación solar global sobre plano horizontal (Datos del SWERA)

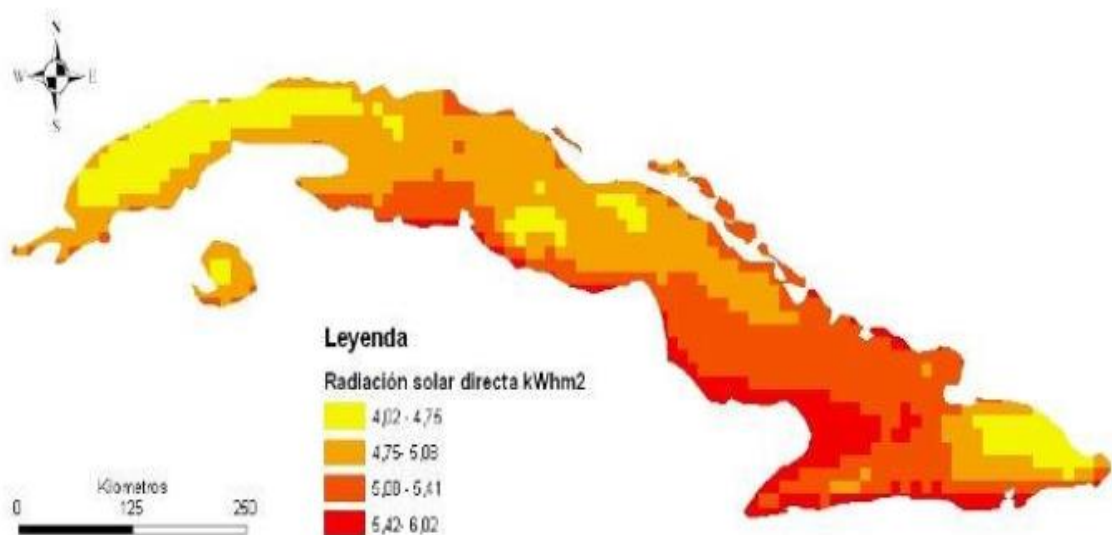


Figura 1.2. Radiación solar global sobre plano horizontal (kWh/m². día). (Fuente: <https://www.researchgate.net/publication/260342019/figure/fig8/AS:669389225467930@1536606236754/Figura-V-2-Radiacion-solar-global-sobre-plano-horizontal-kWh-m-2-dia.jpg>)

1.3.1 Recorrido de la radiación solar

Es evidente que mientras menor sea la distancia del sol, mayor será la radiación solar. Esto ocurre cuando el sol se encuentra más cerca de la Tierra, es decir, $\alpha = 90^\circ$.

Es necesario definir el concepto de masa de aire (AM), es una medida de la distancia que recorre la radiación al atravesar la atmósfera (Martí García, 2015).

Se obtiene la masa de aire mediante la siguiente ecuación:

$$AM = \frac{1}{\cos 90^\circ - \alpha} \quad (1.1)$$

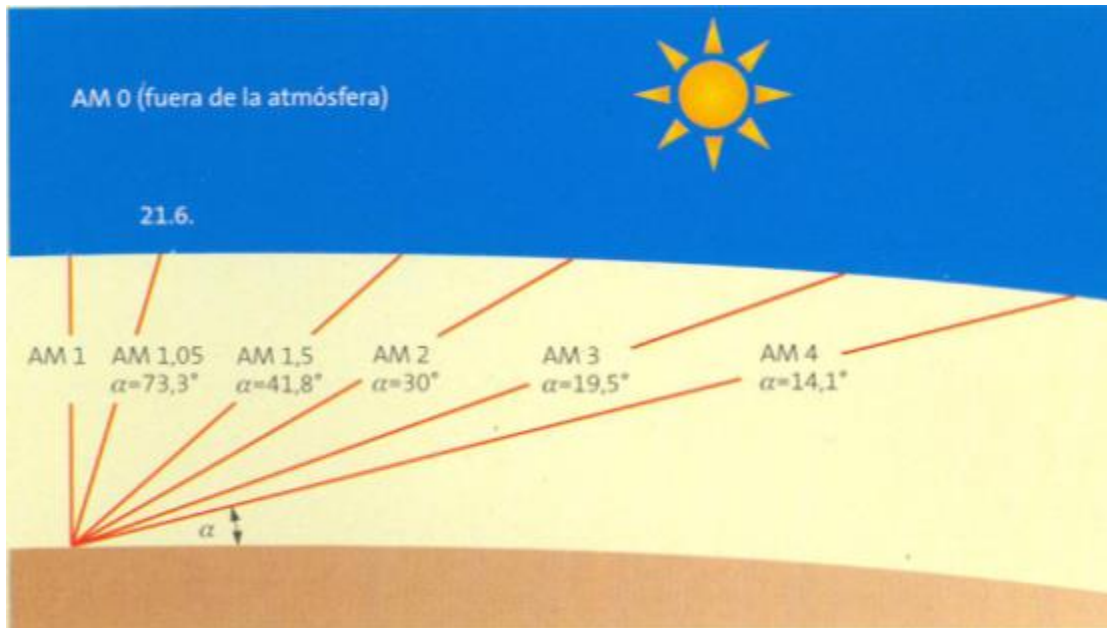


Fig. 1.3. Valores referenciales de Aire-Masa en función de la altura solar. (Fuente:

[https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQRe2ssSgb6-](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQRe2ssSgb6-0G6jjWqQG6wtNu10ZOhndXBEalO_p8Hg_Rx-4QOKkZ7AT6jtXp6812pmwQ&usqp=CAU)

[0G6jjWqQG6wtNu10ZOhndXBEalO_p8Hg_Rx-](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQRe2ssSgb6-0G6jjWqQG6wtNu10ZOhndXBEalO_p8Hg_Rx-4QOKkZ7AT6jtXp6812pmwQ&usqp=CAU)

[4QOKkZ7AT6jtXp6812pmwQ&usqp=CAU\)](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQRe2ssSgb6-0G6jjWqQG6wtNu10ZOhndXBEalO_p8Hg_Rx-4QOKkZ7AT6jtXp6812pmwQ&usqp=CAU)

1.3.2 Horas de Sol Pico (H.S.P.)

Las horas de sol pico son las que se definen como el número de horas al día con una irradiancia hipotética de 1000 W/m^2 que sumen la misma irradiación total que la real ese día.

Se puede notar que cuando la irradiancia se expresa en KWh/m^2 es numéricamente similar a las H.S.P. Este concepto es importante, ya que junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos (Abella, 2010). La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico de sol se muestran en la figura (1.4).

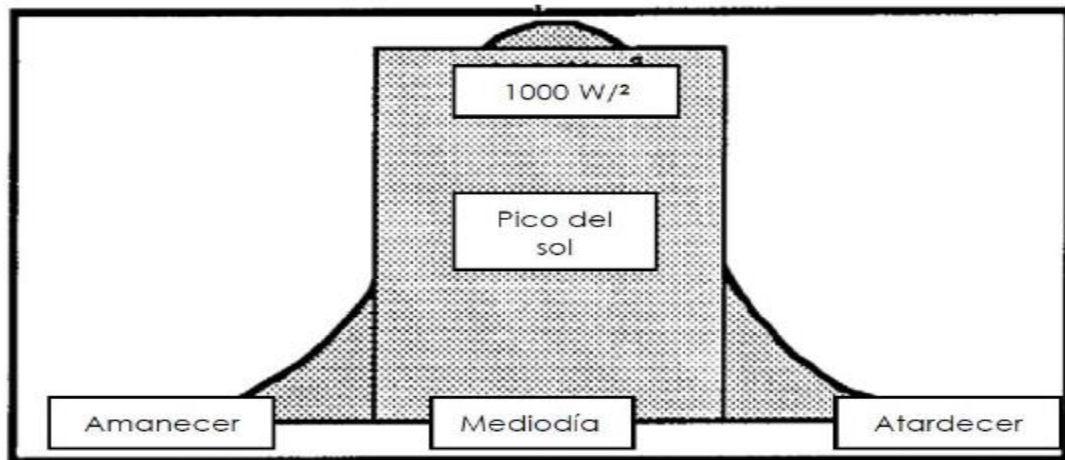


Figura 1.4. Concepto de Horas Sol Pico. (Fuente:

https://data02.123doks.com/thumbv2/123dok_es/000/537/537499/36.918.335.673.771.972/figura-horas-sol-pico-hsp-salas.webp)

1.4 Panel Fotovoltaico

Un panel fotovoltaico es la conexión de varias células en paralelo y/o en serie, se conectan en serie para aumentar el voltaje y en paralelo para incrementar la corriente. Para ensamblar un panel fotovoltaico, se cuentan con plantas que deben estar certificadas con altos estándares de calidad sobre todo en soldadura. Se utilizan principalmente, metales (buenos conductores) y vidrios (Jovinao & Campo, 2021).

En la figura (1.7) se muestra la composición de la célula fotovoltaica a la izquierda y el panel fotovoltaico a la derecha.

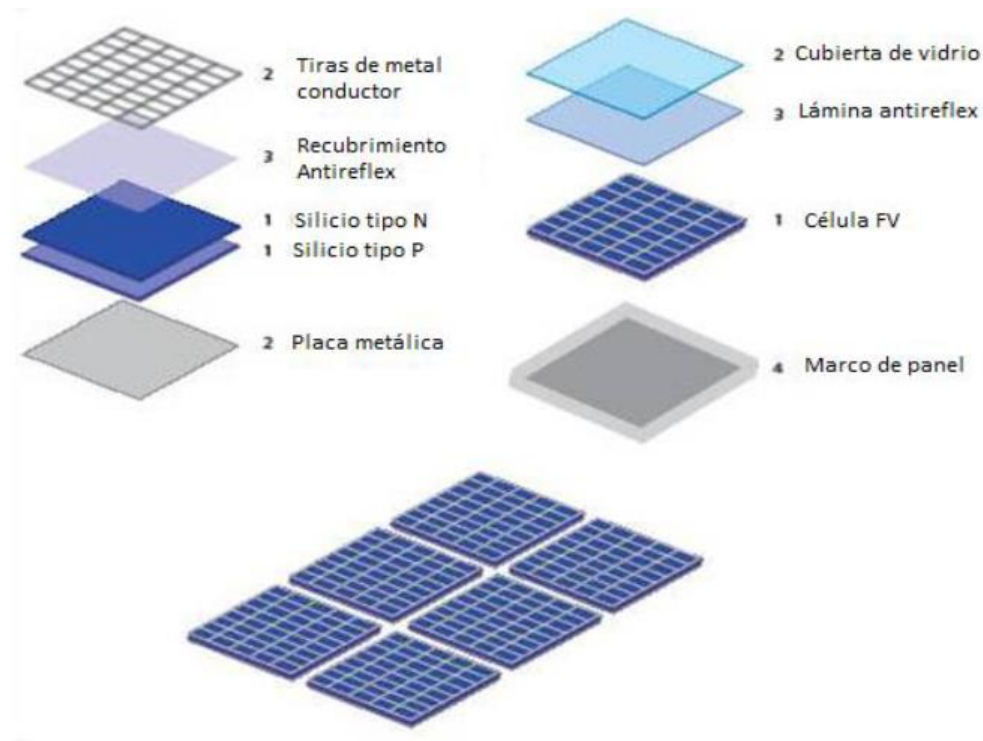


Figura 1.5. Fabricación de la célula y el panel fotovoltaico. (Fuente: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSb8CkQkiUIlwyrFxdynlRbmlw0cq6Hq7ORMg&usqp=CAU>)

1.4.1 Célula Fotovoltaica.

El componente principal de los paneles fotovoltaicos es la célula, su funcionamiento es el que hace posible la obtención de electricidad a partir de luz solar.

Las células fotovoltaicas son sensibles a la luz, están hechas de un material semiconductor, silicio en la mayoría de los casos, el cual se excita ante la presencia de radiación (aumento de temperatura) y los electrones pueden fluir del tipo P (positivo) al tipo N (negativo), esto ocasiona un voltaje interno, el cual ante la presencia de una resistencia se produce una corriente (Juvinao & Campo, 2021).

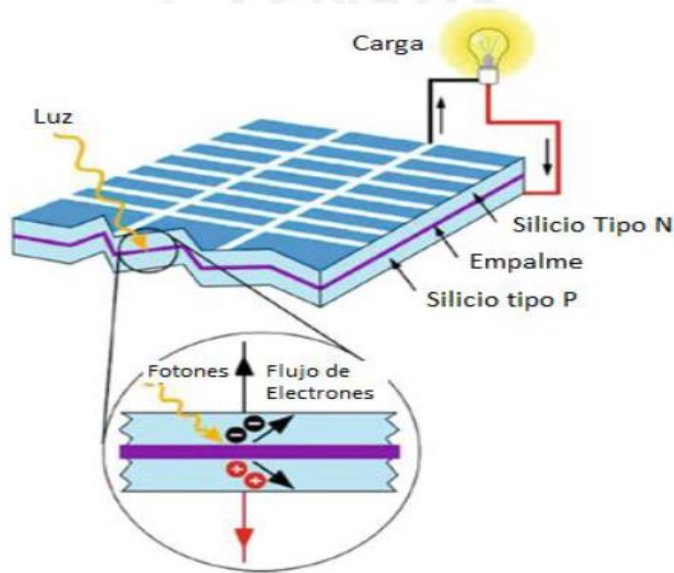


Figura 1.6. Funcionamiento célula silicio. (Fuente:

<https://mercadoelectrico.files.wordpress.com/2012/10/como-funciona-el-silicio-en-una-celda-solar.jpg>)

En la actualidad, existen varios tipos de células fotovoltaicas con diversas tecnologías, cada una de ellas tiene diferentes propiedades y se debe escoger la más apropiada dependiendo de los siguientes factores:

- ❖ **Cristalinidad:** Indica el grado de orden en la estructura cristalina de los átomos de silicio. Puede ser: monocristalino, policristalino o amorfo.
- ❖ **Coefficiente de absorción:** Indica como la luz puede penetrar antes de ser absorbida por el material. Esto depende del material de la célula y de la longitud de onda de la luz.
- ❖ **Costo y complejidad de fabricación:** Depende de un gran grupo de factores, número de pasos implicados, necesidad de ambiente especial, cantidad y tipo de material, necesidad de mover las células, entre otros (Jovinao & Campo, 2021).

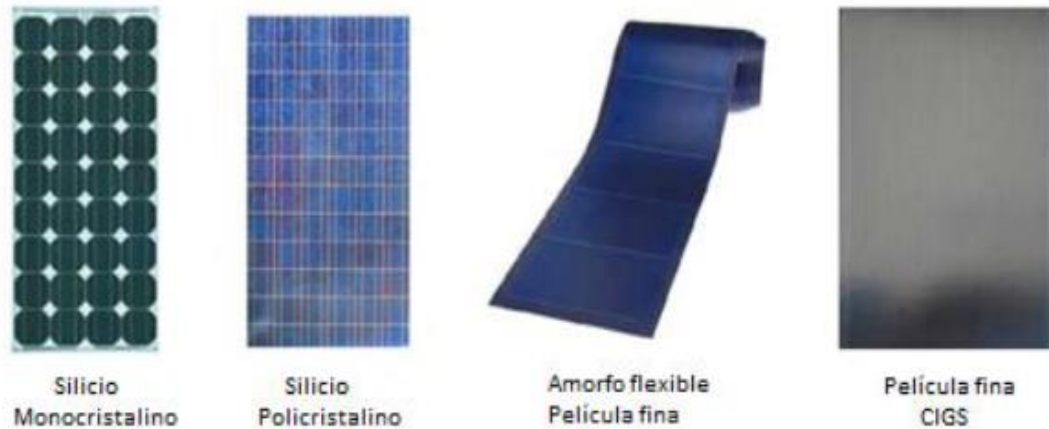


Figura 1.7. Tecnologías fotovoltaicas más comunes. (Fuente: elaboración propia)

Tabla 1.1 Eficiencia de células fotovoltaicas. (Fuente: elaboración propia)

Tecnología	Eficiencia del módulo
Mono-Crystalline Silicon	12.5-15%
Poly-Crystalline Silicon	11-14%
Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)	10-13%
Cadmium Telluride (CdTe)	9-12%
Amorphous Silicon (a-Si)	5-7%

Se puede notar que la eficiencia de la célula de Silicio monocristalina es la más alta, sin embargo, su alta pureza eleva los costos de producción y la encarecen. En nuestro caso, la mejor opción es la de utilizar la tecnología policristalina, ya que es la superior en el balance rendimiento/costo.

1.4.2 Parámetros característicos.

En las fichas técnicas los paneles muestran datos de eficiencia, voltaje y amperaje bajo condiciones estándares, las cuales son llamadas STC (*Standard Testing Condition*).

Estos parámetros son los siguientes:

- ❖ Irradiación 1000 W/m².
- ❖ Temperatura del módulo 25°C
- ❖ AM 1.5.

El voltaje y la intensidad producida por los paneles fotovoltaicos depende de diversos factores, los más importantes son la irradiación y la temperatura a la cual se encuentre el módulo (Robayo & Serna, 2015).

1.4.3 Curvas características.

Los paneles fotovoltaicos tienen curvas características en las cuales se muestra el funcionamiento de los paneles y cuál es el efecto ante cambios en la temperatura o radiación.

- Curvas Intensidad vs Tensión y Potencia vs Tensión

La figura (1.8) muestra puntos característicos en los catálogos de paneles, usualmente se expresa la potencia del panel en el Punto de Máxima Potencia (PMP), aunque para el cálculo del cableado es recomendable utilizar el punto de corto circuito (I_{cc}).

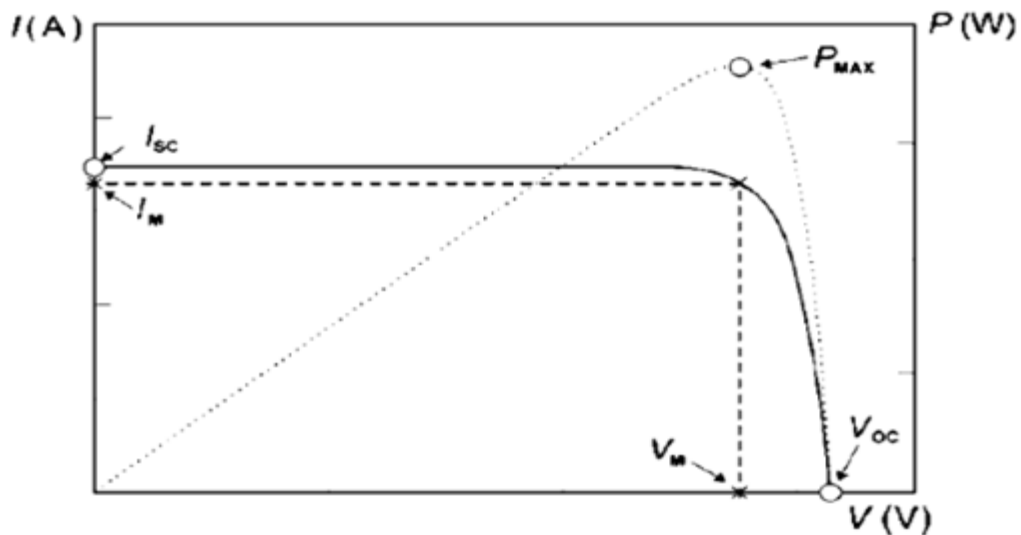


Figura 1.8. Curva I vs V / P vs V . (Fuente: <https://docplayer.es/docs-images/65/53748586/images/4-3.jpg>)

- Efecto de la temperatura

En la figura (1.9) se puede apreciar que conforme disminuye la temperatura, aumenta la tensión de salida (también la potencia), y la corriente se mantiene casi constante. Este efecto se debe a que las propiedades del silicio varían con la temperatura.

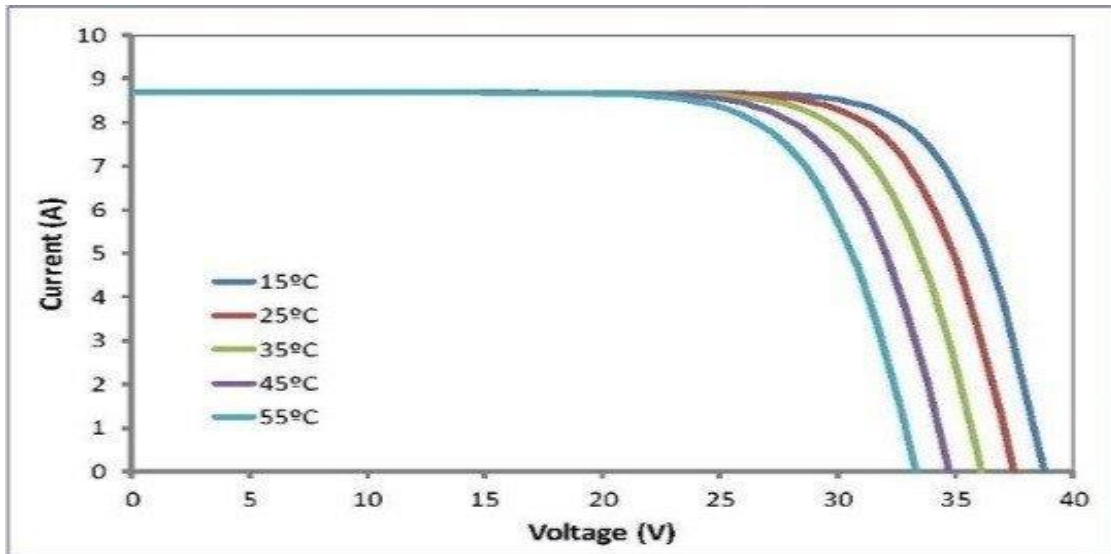


Figura 1.9 Efecto de la temperatura. (Fuente: https://www.monsolar.com/blog/wp-content/uploads/2017/07/efecto_temperatura_en_placas_solares.jpg)

- Efecto de la radiación

Es evidente que, a mayor radiación, el panel produzca una potencia mayor. Este efecto se muestra en la figura (1.10).

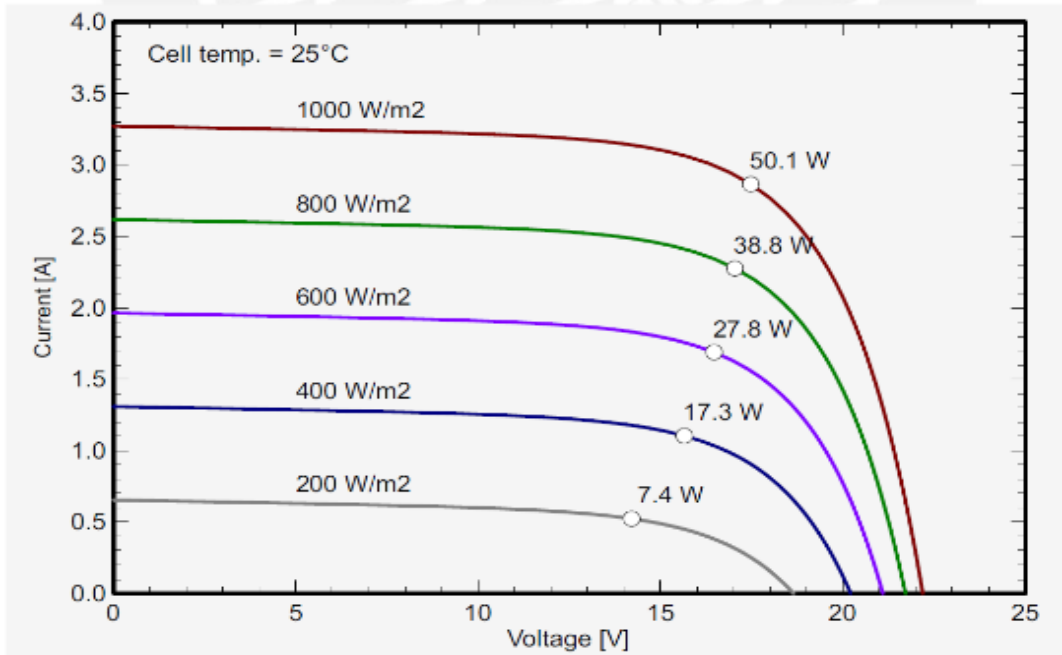


Figura 1.10 Efecto de radiación en panel 50 Wp EverExceed. (Fuente: https://data02.123doks.com/thumbv2/123dok_es/000/625/625555/44.918.260.638.224.49/figura-efecto-radiaci%C3%B3n-panel-wp-everexceed-efecto-sombra.webp)

1.4.4 Efecto sombras.

Las sombras pueden ser muy perjudiciales tanto para la potencia entregada como para la vida útil de los paneles fotovoltaicos. Es siempre recomendable evitar sombras en los paneles.

Como recomendación, la distancia mínima que debe existir entre un muro, árbol o panel y un panel solar debe ser la siguiente:

$$d_{\min} = \tan^{-1} \frac{H}{d} \quad (1.2)$$

Donde:

d : Distancia entre el panel fotovoltaico y cualquier objeto causante de sombra.

H : Altura de objeto causante de sombra sobre el panel fotovoltaico.

Lo cual garantiza que los paneles se encuentren libres de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año.

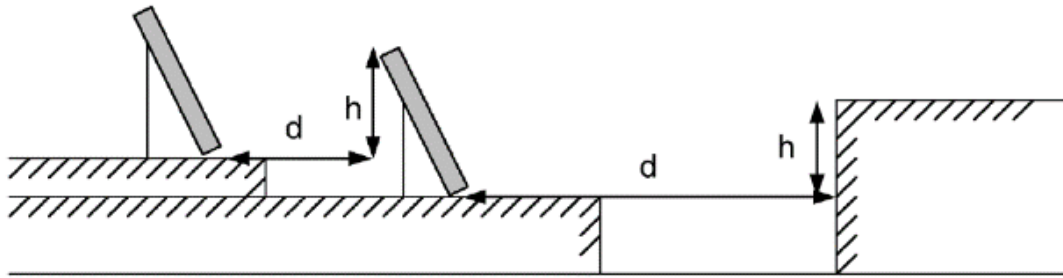


Figura 1.11. Distanciamiento entre Filas de módulos fotovoltaicos. (Fuente: <https://ingelibreblog.files.wordpress.com/2014/01/idae2.jpg>)

1.5 Componentes de un sistema fotovoltaico aislado

Se suplirá la demanda utilizando únicamente la energía generada por los paneles solares, es decir, el sistema fotovoltaico será aislado.

Los sistemas fotovoltaicos aislados se subdividen en tres tipos:

- Directamente conectados a una carga: Es el más simple y eficiente, se utiliza cuando se alimenta un sistema de corriente continua de manera discreta (Fernandez, 2017).

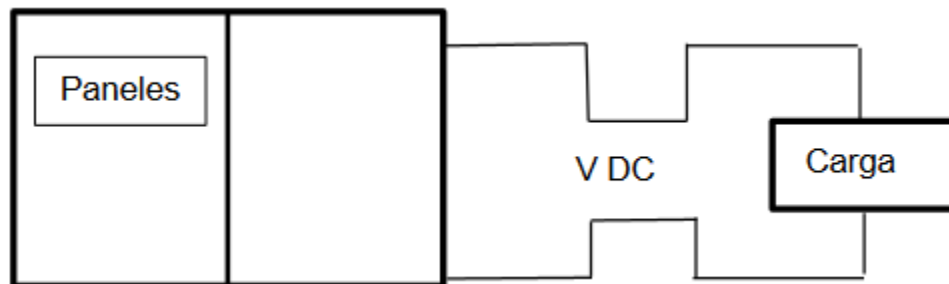


Fig. 1.12a. Sistema fotovoltaico aislado. (Fuente: elaboración propia)

- Sistemas con regulador y batería: Las baterías alimentan a la carga en corriente continua y los reguladores para el buen funcionamiento de las baterías (Fernandez, 2017).

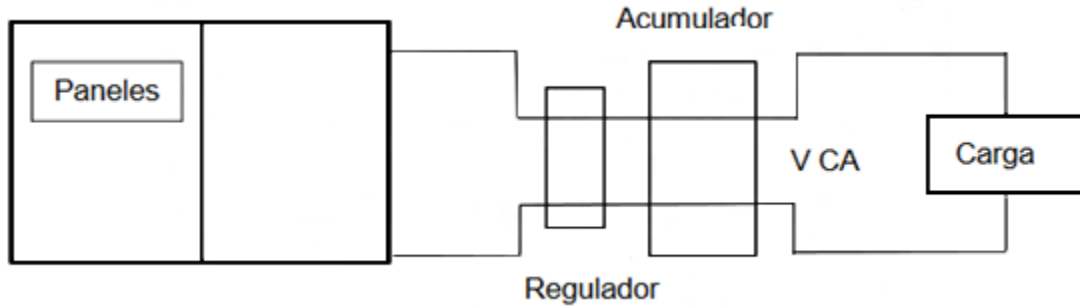


Figura 1.12b. Sistema fotovoltaico aislado. (euento: Elaboración propia)

- Sistemas con regulador, batería e inversor: Este tipo de sistema es necesario cuando se requiere alimentar una carga en corriente alterna (Fernandez, 2017).

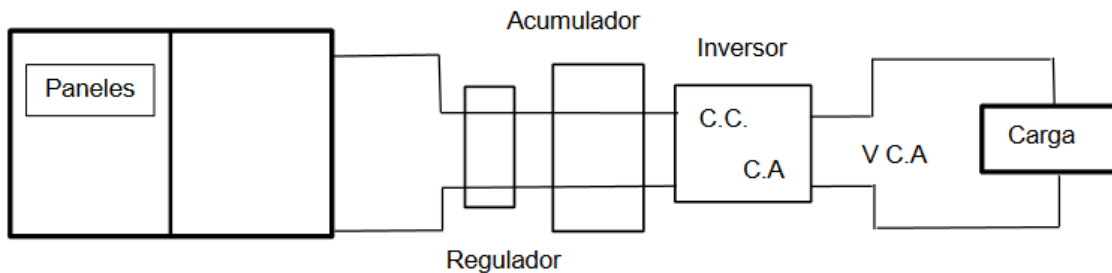


Figura 1.12c. Sistema fotovoltaico aislado. (Fuente: elaboración propia)

1.5.1 La batería o acumulador

Las baterías son elementos dentro de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos capaces de almacenar la energía para su posterior consumo, se pueden conectar entre sí en serie o en paralelo según las recomendaciones del fabricante o según el requerimiento de la instalación ya sea 12, 24 o 48 voltios de salida para el sistema (de la Cruz Gómez, 2012).

Las partes esenciales para explicar su funcionamiento son las siguientes:

- Placas: Son conductores metálicos de diferente polarización, con lo cual permiten un flujo de electrones.

- **Electrolito:** Puede ser líquido, sólido o en pasta, es un conductor iónico que se descompone al pasar la corriente eléctrica. El voltaje o la tensión de la batería es función del número de celdas electroquímicas, siendo el voltaje de cada celda de 2V.

Los principales parámetros que determinan el comportamiento de la batería son:

- **Capacidad de descarga (Ah):** Es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que actúa. Se expresa en Amperios Hora. Si la temperatura es mayor a la indicada en el catálogo, la capacidad disminuye; si la temperatura es menor, puede afectar la vida útil de la batería.
- **Profundidad de la descarga:** Es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga. Para aplicaciones fotovoltaicas es común utilizar baterías de descarga profunda, es decir, descargas entre 75% - 80%.
- **Vida útil en ciclos:** Se expresa en ciclos, es decir, la cantidad de cargas/descargas que llega a tener la batería. La vida útil depende del espesor de las placas, concentración del electrolito y principalmente de la profundidad de descarga.

La nomenclatura usual es XX Ah Cyy, donde XX es la capacidad de la batería e yy es el tiempo de descarga de la misma. Estos parámetros deben ser indicados por el fabricante.

Los principales tipos de batería disponibles en el mercado son los mencionados a continuación:

Baterías de plomo ácido abierto. Contienen seis compartimentos separados pero conectados en serie que están sumergidos en ácido sulfúrico. Las placas por las que está compuesta la batería contienen los electrodos polarizados positiva y negativamente que se alternan dentro de la batería. Este tipo de batería se utilizan en instalaciones aisladas gracias al gran rendimiento que tienen y el bajo coste. (AutoSolar, 2020)

Baterías AGM. AGM significa *Absortion Glass Mat*, una tecnología que permite a las placas de plomo de la batería absorber más rápido y mejor el ácido. Una de las principales características de estas baterías es que no requieren de mantenimiento gracias a su diseño sellado por lo que su transporte es más sencillo. Soportan un gran número de ciclos de

forma que su uso es recomendable en instalaciones exigentes. Cuentan con una larga vida útil, aunque sean sometidas a ciclos de descarga profunda, tienen un funcionamiento excelente y se pueden recargar. (AutoSolar, 2020)

Baterías GEL. Este tipo de baterías contienen el electrolito gelificado y al estar selladas no desprenden gases nocivos por lo que podría instalarse en un lugar con poca ventilación. Puede tener ciclos de descarga profundos con hasta 800 ciclos de vida de ahí que sea una batería de gran durabilidad. Por otro lado, al ser una batería completamente sellada no requiere de mantenimiento pues no se producen evaporaciones y su cuidado se vuelve mucho más sencillo. baterías GEL están recomendadas para instalaciones medianas y pequeñas que necesitan una batería eficaz y con una funcionalidad extraordinaria. (AutoSolar, 2020)

Baterías estacionarias. Estas baterías se caracterizan porque se mantienen cargadas constantemente. Contienen un regulador que alimenta el consumo y que recarga la batería cuando se produce una descarga. De este modo la batería se descarga con muy poca frecuencia. Dentro de las baterías estacionarias se encuentran las baterías estacionarias OPzV o baterías de electrolito absorbido, que son aquellas que no requieren de mantenimiento; o las baterías estacionarias OPzS y TOPzS o baterías de electrolito líquido que debe comprobarse los niveles de ácido periódicamente por lo que sí que requieren de mantenimiento. Por otro lado, las baterías estacionarias son muy recomendadas para instalaciones fotovoltaicas. Tienen una vida útil larga y sus ciclos de descarga profundos ofrecen resultados notables para cualquier tipo de consumo. (AutoSolar, 2020)

Batería de litio. Las baterías de litio se cargan más rápido que otros tipos, ofrecen más densidad energética y cuentan con una mayor vida útil. No tienen efecto memoria por lo que podrían descargarse al 100% o a la mitad sin que la batería sufriera. Las características físicas de las baterías de litio difieren de los demás tipos, pero obtienen mayor autonomía además son menos pesadas por lo que su transporte es más sencillo. No requiere mantenimiento ni emite gases por lo que pueden instalarse en un lugar sin ventilación. Son muy utilizadas en instalaciones fotovoltaicas exigentes del sector industrial, pero cada vez más a nivel doméstico. (AutoSolar, 2020)

1.5.2 Unidad de control o regulador

El regulador evita la descarga de las baterías sobre los paneles, para ello utiliza un diodo. Asimismo, cuida la vida útil de la batería, para ello monitorea la tensión de la batería, como se observa en figura (1.15), se desconecta al llegar a 14.8V y se debe recargar al llegar al valor de 10.8V.

Se utilizará un regulador de dos etapas, es decir, controlará la carga y descarga de la batería.

El regulador quedará definido conociendo la tensión del sistema y la corriente máxima que deberá manejar.

La unidad de control puede estar equipada con un microprocesador que permite adaptar las características de producción del campo fotovoltaico a las exigencias de la carga, de tal manera que el panel trabaje siempre con la máxima potencia, es decir con un seguidor de máxima potencia (MPPT) (Rovira, 2015).

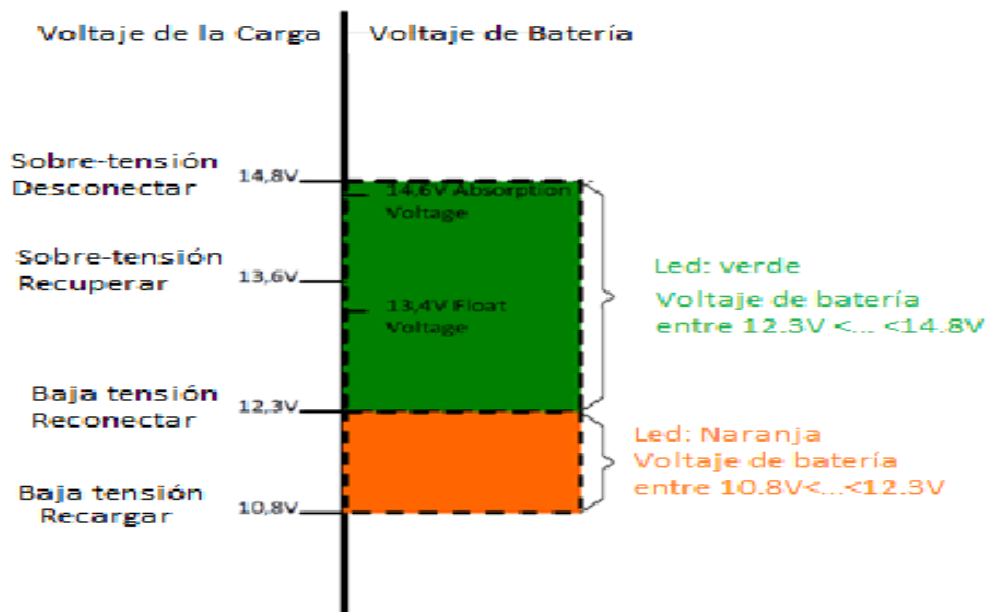


Figura 1.13 Tensiones en la batería 12V. (Fuente:

https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5447/VALDIVIEZO_PAULO_DISE%3%91O_SISTEMA_FOTOVOLTAICO_ENERGIA_ELECTRICA_PUC_P.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Si se utilizan relés electromecánicos, la reposición de la carga debe retardarse entre 1 y 5 minutos.

Las tensiones de desconexión, reconexión y alarma deben tener una precisión de $\pm 0,5 \%$ ($\pm 10 \text{ mV/celda}$, o $\pm 60 \text{ mV/batería de } 12 \text{ V}$).

Las cajas de los reguladores de carga deben como mínimo proveer protección IP 32

Para seleccionar los reguladores es necesario conocer la I_{max} , la cual se calcula al dividir la potencia máxima del sistema entre el voltaje del banco de baterías (Rovira, 2015).

1.5.3 Inversores o convertidores

Los inversores transforman la corriente continua en corriente alterna. Se basan en dispositivos electrónicos que permiten interrumpir y conmutar su polaridad.

Para las aplicaciones de una instalación aislada, deben ser autoconmutados, es decir, no utilizan energía de una fuente exterior.

Debido a que se alimentarán cargas del tipo electrónico, es recomendable utilizar un inversor que genere una onda senoidal pura, es decir, muy similar a la de la red eléctrica.

Deben arrancar y operar todas las cargas especificadas en la instalación y entregar la potencia nominal de forma continua.

El autoconsumo del inversor sin carga conectada no deberá ser mayor al 2% de la potencia nominal de salida; mientras que las pérdidas diarias por el inversor no deberán exceder el 5% del consumo total diario (Arenas Sánchez & Zapata Castaño, 2011).

El inversor se debe proteger ante las siguientes circunstancias:

- Tensión de entrada fuera del rango de operación.
- Desconexión de las baterías.
- Cortocircuito en la salida de corriente alterna.
- Sobrecargas que excedan la duración y límites permitidos.

La superficie del inversor debe ser de material inoxidable o, en su defecto, arenado y pintados al horno, con doble base anticorrosiva (epóxica) o similar (Aulestia Martínez & Celi Panata, 2017).

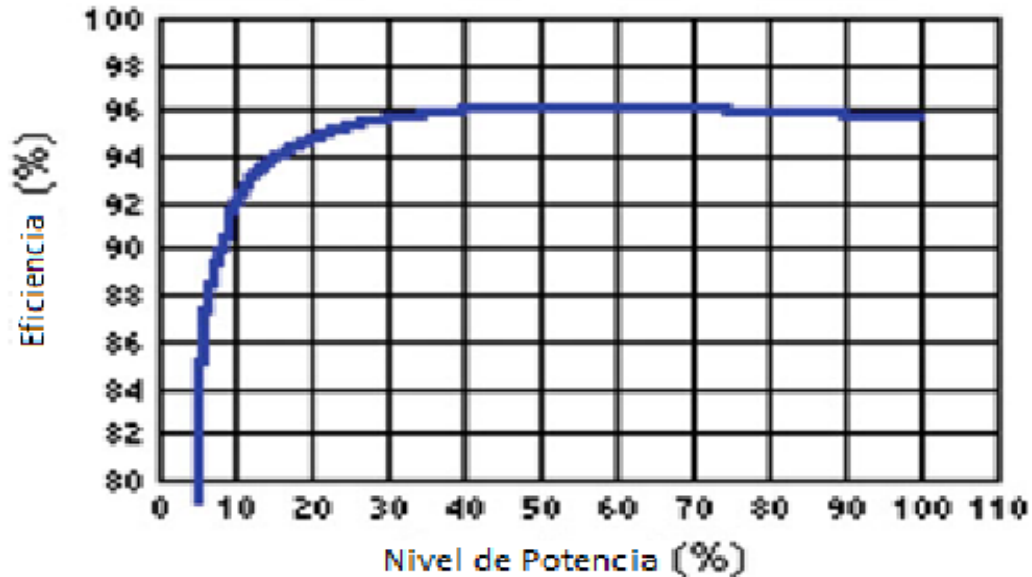


Figura 1.14 Curva típica de eficiencia del Inversor. (Fuente: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSqGnh06aAUVssLI0aa75GLEQRYFKjRuPap9g&usqp=CAU>)

1.5.4 Elementos de protección

Dentro de un sistema solar fotovoltaico se localizan elementos de protección como diodos de bloqueo (en los paneles solares fotovoltaicos), interruptores para desconexión, brakers, fusibles térmicos, cajas de distribución, tierra, etc., adaptados entre diferentes partes del sistema, para proteger de descarga y bifurcación de elementos en caso presentarse algún mal funcionamiento o estados de sobrecarga (Arenas Sánchez & Zapata Castaño, 2011).

Los diodos son dispositivos electrónicos que permiten el flujo de energía en forma de corriente en una única dirección. En los sistemas fotovoltaicos generalmente se utilizan de dos formas: como diodos de bloqueo y como diodos de bypass (Rovira, 2015).

Los fusibles deben elegirse de modo tal que la máxima corriente de operación esté en el rango del 50 al 80 % de la capacidad nominal del fusible (Amador, 2007).

1.5.5 Cables

Los cables para la instalación deben contar con el aislamiento adecuado, la selección de los mismos depende de la aplicación y del tipo de canales utilizados.

Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3 % entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga, inferiores al 1 % entre la batería y el regulador de carga, e inferiores al 5 % entre el regulador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente (Coras Vallejo, 2011).

1.5.6 Estructura de soporte

El tipo de estructura depende de las condiciones climatológicas, la aplicación y los requerimientos específicos de cada proyecto. Existen dos tipos de estructuras de soporte que cumplen con las necesidades de este proyecto:

- Sistema Fijo

Este sistema está fijo y para ello se debe realizar un estudio de determinación de la inclinación adecuada. El mantenimiento es mínimo, es la estructura que genera menor eficiencia, pero es la más económica.

El sistema fijo tiene mayor duración y casi no requiere mantenimiento. Debido a que no puede variar la inclinación, se debe considerar la lluvia y efecto de sombras en la elección de la inclinación (Preciado Garcés, 2017).



Figura 1.15 Estructura Fija. (Fuente: <https://www.solarmat.es/blog/wp-content/uploads/2017/02/fija.jpg>)

- Seguidores solares

Especialmente en cielos despejados, con alto efecto de radiación directa (nubosidad baja), se suele utilizar seguidores solares. Estos incrementan los costos iniciales, ya que se necesitan sistemas de control para modificar la inclinación (seguir al sol), un motor, engranajes y demás elementos mecánicos. Además, se necesitan realizar un mantenimiento a estos equipos mecánicos. Sin embargo, al seguir al sol en su trayectoria, suelen incrementar las potencias generadas. Existen diversos tipos de seguidores solares en la actualidad (Sánchez-Toril Mora, 2021).

- ✓ Seguidores de un solo eje: Horizontal, vertical, polar.
- ✓ Seguidores doble eje.



Figura 1.16 Instalación de Seguidor Solar. (Fuente: <https://mipanelssolar.com/img/blog/seguidor-solar-360x240.webp>)

1.6 Componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Una central fotovoltaica conectada a la red está compuesta por los mismos componentes que la aislada, exceptuando los acumuladores y los reguladores. Los módulos fotovoltaicos están conectados directamente al inversor, que es el encargado de convertir la corriente continua generada en corriente alterna lista para el consumo.

1.7 Conclusiones parciales del capítulo.

- La energía solar fotovoltaica se encuentra entre las energías renovables más factibles y las más implementadas en los últimos tiempos.
- Cuba posee un gran potencial de radiación solar para la implementación de estos sistemas
- Los sistemas de generación fotovoltaico pueden ser con inyección a la red o completamente aislados
- En los sistemas aislados es necesario un banco de acumuladores que aporten electricidad cuando los paneles no están generando.
- Los sistemas conectados a la red suelen ser más económicos y factibles que los aislados

Capítulo 2 Materiales y Métodos

En este capítulo se realizaron los pasos correspondientes para determinar la potencia demandada por la cámara No. 1 de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, para posteriormente lograr el diseño de un parque que satisfice dicha demanda. Se diseñaron dos sistemas fotovoltaicos, uno autónomo y uno conectado a la red, para compararlos y asegurarnos de instalar la mejor opción.

2.1 Levantamiento de cargas.

El levantamiento de cargas eléctricas en el edificio consiste en cuantificar todos los equipos consumidores de energía eléctrica, anotar la demanda eléctrica de la placa datos específica. El censo o levantamiento de cargas se lleva a cabo por cada uno de los edificios a analizar.

El levantamiento de datos es la etapa de mayor importancia para el buen desarrollo del estudio, debido a que las subsecuentes etapas están fundamentadas en ella.

El centro objeto de estudio Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” representa uno de los principales consumidores de la provincia en general, a partir de los diferentes servicios eléctrico que la componen: Cámara 1, Cámara 2, Cámara 3, Cámara 4, Facultad Industrial y Lavandería. Este trabajo se desarrolla con el objetivo de crear un sistema de generación fotovoltaica para la Cámara 1 y de esta forma aliviar la carga que representa el centro para el sistema electro-energético nacional, a la vez que representaría un ahorro para el presupuesto de la institución.

La Cámara 1 se encarga de suministrar energía eléctrica a las respectivas áreas que las componen, Motel, Rectoría, Edificio de Idioma D4, Edificio de Suelo D5, además también comprende el alumbrado exterior.

A partir del levantamiento de carga y con la ayuda del *software* programado *Excel* se determina el consumo total de cada equipo en su respectiva área de servicio y el consumo total de la Cámara

Tabla 2.1 Equipos eléctricos en el Motel. (Fuente: elaboración propia)

Equipos Eléctricos	No	Potencia (W)	Voltaje (V)	T. trabajo (h)	Cons. diario (kWh)	Días de Trabajo	Cons. mensual (kWh)
Televisores	12	135	110	5	8.1	26	210.04
Ventilador Pared	10	100	110	5	5	26	130
Refrigerador	10	110	110	12	13.2	26	343.2
Aire acondicionado media tonelada	19	410	220	8	62.32	26	1620.32
Aire acondicionado 1 tonelada	2	1690	220	8	27.04	26	703.04
Microondas Mabe	10	700	110	1	7	20	140
Microondas Panasonic	1	800	110	1	0.8	20	16
Microondas Midea	1	900	110	1	0.9	20	18
Computadoras	3	185	110	8	4.44	26	115.44
Impresoras	1	120	110	5	0.6	20	12
Ventilador Pata	4	55	110	8	1.76	20	35.2
Lavadora semiautomática	1	530	110	5	2.65	10	26.5
Lavadora automática	1	1200	110	2	2.4	30	72
Lámparas dobles de 18W	53	36	110	12	22.896	30	686.88
Lámpara de 18W	33	18	110	12	7.128	30	213.84
Lámpara doble de 32W	3	64	110	8	1.536	30	46.08
Total	164				167.77		4389.1

Tabla 2.2 Equipos eléctricos en Rectoría. (Fuente: elaboración propia)

Equipos Eléctricos	No	Potencia (W)	Voltaje (V)	T. trabajo (h)	Cons. diario (kWh)	Días de Trabajo	Cons. mensual (kWh)
Televisores	2	135	110	5	1.35	26	35.1
Ventilador de Pared	8	100	110	8	6.4	26	166.4
Ventilador de Patas	5	38	110	8	1.52	26	39.52
Aire Acondicionado media tonelada	1	410	220	5	2.05	26	53.3
Aire Acondicionado 1 Tonelada	3	1290	220	5	19.35	26	503.1
Refrigerador	3	110	110	8	2.64	26	68.64
Microondas	1	1200	110	1	1.2	26	31.2
Cocina Eléctrica	1	1100	110	3	3.3	26	85.8
Computadoras	14	185	110	8	20.72	26	538.72
Impresoras	10	120	110	5	6	26	156

Lámpara doble de 18W	6	36	110	8	1.728	26	44.928
Lámpara de 18W	4	18	110	8	0.576	26	14.97
Lámpara doble de 32W	30	64	110	8	15.36	26	399.36
Total	88				82.194		2137.044

Tabla 2.3 Equipos eléctricos del edificio de Suelo. (Fuente: elaboración propia)

Equipos Eléctricos	No	Potencia (W)	Voltaje (V)	T. trabajo (h)	Cons. diario (kWh)	Días de Trabajo	Cons. mensual (kWh)
Televisores	3	135	110	5	2.025	26	52.65
Televisor Panda	1	85	110	5	0.425	26	11.05
Ventilador	1	100	110	8	0.8	26	20.8
Aire acond. media tonelada	1	410	220	2	0.82	10	8.2
Aire acondicionado 1 tonelada	6	1580	220	2	18.96	10	189.6
Split	2	1700	220	2	6.8	10	68
Refrigeradores	2	125	110	8	2	26	52
Hornilla	1	1500	110	3	4.5	26	117
Computadoras	6	185	110	8	8.88	26	230.88
Impresoras	2	120	110	5	1.2	26	31.2
Frízer Grande	1	1400	110	8	11.2	26	291.2
Lámparas dobles de 18W	2	36	110	8	0.576	26	14.976
Lámpara de 18W	3	18	110	8	0.432	26	11.232
Lámpara doble de 32W	74	64	110	8	37.888	26	985.088
Lámpara de 32W	3	32	110	8	0.768	26	19.98
Total	108				97.274		2103.844

Tabla 2.4 Equipos Eléctricos del Edificio de Idioma D4. (Fuente: elaboración propia)

Equipos Eléctricos	No	Potencia (W)	Voltaje (V)	T. trabajo (h)	Cons. diario (Wh)	Días de Trabajo	Cons. mensual (kWh)
Televisores	7	185	110	5	6.475	26	168.35
Televisor	1	100	110	5	0.5	26	13
Ventilador	9	880	110	8	63.36	26	1647.36

Aire acondicionado (media T)	6	1290	220	20	154.8	30	4644
Aire acondicionado (1 T)	3	2600	220	20	156	30	4680
Refrigerador	2	110	110	8	1.76	26	45.76
Caja de Agua	1	880	110	10	8.8	26	228.8
Hornilla	2	1000	110	3	6	26	156
Computadoras	132	185	110	8	195.36	26	5079.36
Impresora	5	120	110	8	4.8	20	96
Split	2	4900	220	20	196	30	5880
Microondas	2	1200	110	2	4.8	26	124.8
Inversores	2	2800	110	20	112	30	3360
Lámpara Led doble	4	32	110	8	1024	26	26.624
Lámpara doble de 32W	77	64	110	8	39.424	26	1025.024
Lámpara de 18W	26	18	110	8	3.744	26	97.344
Lámpara doble de 18W	1	36	110	8	0.288	26	7.488
Mini Bar	1	92	110	8	0.736	26	19.136
Total	283				955.871		27299.046

El consumo total de la Cámara No. 1 es de 33597.9 kWh al mes. En un día en el que estén todos los equipos eléctricos de la cámara conectados el consumo será de 1303.1 kWh al día. Aplicando un margen de seguridad del 20 % nos queda como consumo diario 1563.72 kWh.

2.2 Potencial solar de la zona.

Con el estudio del potencial solar de la zona donde se realiza el proyecto, se garantiza un adecuado aprovechamiento energético. Según estudios previos realizados en Cuba se conoce que la isla en general recibe aproximadamente una radiación solar promedio de 5 kWh al día, por lo que, al año se tiene por cada m² de superficie 1 825 kWh/m². Los datos que se disponen para realizar este trabajo (Tabla 2.5) fueron obtenidos a partir de la red de estaciones meteorológicas de la provincia y facilitados por el Instituto de Meteorología (INSMET) de la provincia.

Tabla 2.5 Radiación solar en Matanzas. (Fuente: INSMET, 2019)

Meses de año	Radiación solar kWh/m ²
Enero	4,01
Febrero	5,29
Marzo	5,87
Abril	7,08
Mayo	6,52
Junio	5,98
Julio	5,94
Agosto	5,66
Septiembre	5,00
Octubre	4,99
Noviembre	4,07
Diciembre	4,20
Promedio	5,38

La figura (2.1) representa el comportamiento de la radiación solar recibida en el año 2019. Se puede apreciar que en los meses de verano la radiación solar es mucho mayor que en los meses de invierno.

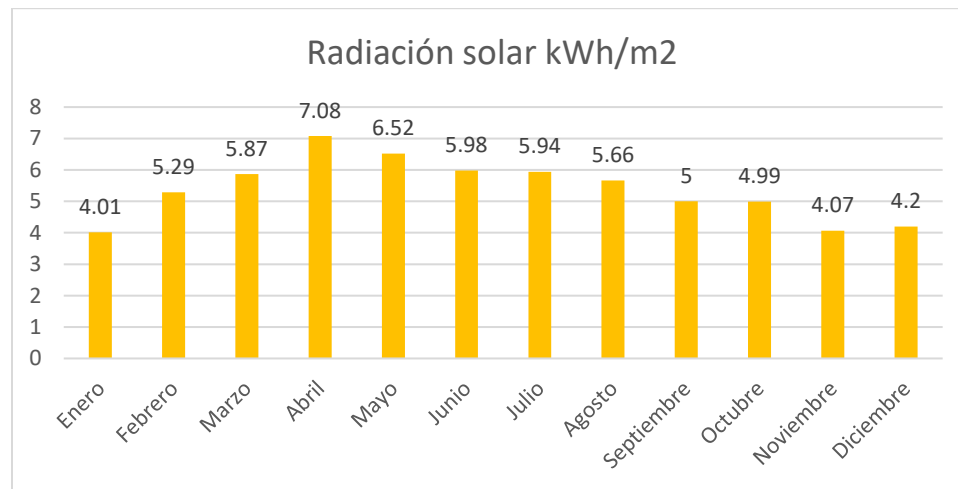


Figura 2.1 Radiación de la zona en el año 2019. (Fuente: Elaboración propia)

2.3 Cálculo y selección de componentes de un sistema aislado (*Off-Grid*).

2.3.1 Módulos fotovoltaicos.

Para seleccionar un modelo comercial y calcular el número de paneles es necesario conocer la energía necesaria diaria que debe producir el sistema. También se deben conocer las condiciones de radiación de cada mes, las condiciones de la instalación y el criterio para dimensionarla (Alvarado Ladrón de Guevara, 2016).

La energía necesaria y las condiciones de radiación ya han sido expuestas en este trabajo. El criterio para dimensionar la instalación, como suele ser habitual, será considerar la radiación del mes menos favorable, enero 4.01 kWh/m^2 .

Teniendo en cuenta esta información, se va a elegir un modelo comercial de panel y a comprobar que cumple con todos los requisitos. Finalmente se elige un panel policristalino de 72 células con un tamaño aproximado de 2 m^2 y un peso de 22.5 kg .

El panel cuya ficha técnica se adjunta en los anexos (Anexo 1) es el que se muestra en la figura (2.2)

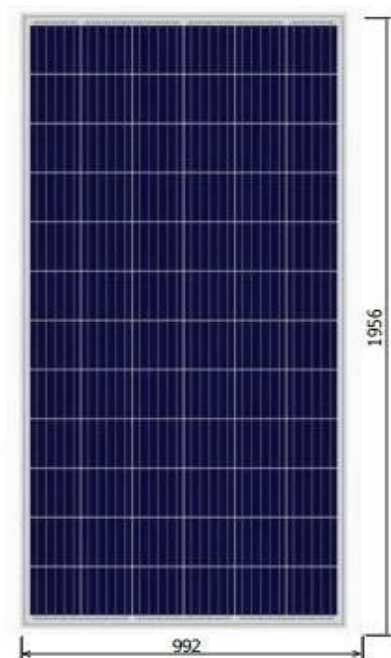


Figura 2.2 Panel solar seleccionado para el proyecto. (Fuente: https://es.made-in-china.com/co_flagsun/product_A-Grade-Poly-12V-24V-300W-Poly-Solar-Plate-Polycrystalline-Solar-Panel-for-off-Grid-Battery-Solar-System_uouiunuoig.html)

El panel de la marca FLAGSUN (Suzhou) New Energy posee una Potencia Nominal (P_{MPP}) de 300 W, una Tensión Máxima (V_{MPP}) de 36.3 V y una Intensidad Máxima (I_{MPP}) de 8.26 A

Energía que genera este panel:

$$Energía = P_{MPP} * H.S.P.* PR \quad (2.1)$$

Donde:

P_{MPP} : Potencia nominal del panel (0.3kW)

$H.S.P.$: Horas de sol pico del mes menos favorable (4.01)

PR : Factor solar de funcionamiento (0.90)

$$Energía = 1.083 \text{ kWh/día}$$

Para calcular el número total de paneles (N_{tp}) necesarios para cubrir la demanda diaria se utiliza la ecuación (2.2)

$$N_{tp} = \frac{Energía\ necesaria\ diaria}{Energía\ de\ un\ panel} \quad (2.2)$$

Antes de elegir el número concreto de paneles se debe tener en cuenta la configuración de la instalación y el regulador o reguladores que se van a utilizar.

Asociación en serie:

Al conectar los paneles en serie (*Strings*) lo que se consigue es, manteniendo la intensidad, aumentar la tensión. Se va sumando la tensión de máxima potencia (V_{MPP}) de cada panel para determinar la tensión del conjunto.

Para saber cuántos paneles se pueden asociar en serie es necesario saber los valores de tensión que admite el regulador conectado a la salida de los paneles.

Asociación en paralelo:

Mediante la conexión en paralelo de los paneles se consigue aumentar la intensidad del campo fotovoltaico manteniendo la tensión. Se va sumando la intensidad de cada panel (I_{MPP}) para determinar la intensidad total del conjunto. Al igual que con la tensión, los reguladores están preparados para admitir un máximo de corriente, y para saber cuántos *strings* o ramas en paralelo se pueden conectar es necesario conocer las características del regulador que se va a utilizar.

2.3.2 Selección y Cálculo de los reguladores.

El regulador que se utilizará es un MPPT de la marca Victron Energy 250/100 (Anexo 2) que admite una entrada de 250V y 100A.



**Controlador de carga solar
MPPT 250/100-Tr
Con dispositivo conectable**

Figura 2.3 Regulador seleccionado para el proyecto. (Fuente:

https://www.victronenergy.com.es/upload/products/408_141_20190730082229.png)

Para diseñar la configuración del sistema es necesario dividirlo en bloques para la instalación de los reguladores. Para ello a cada bloque se le instala un regulador.

$$N_{ps} = \frac{V_{reg}}{V_{mmp}} \quad (2.3)$$

Donde:

N_{ps} : Número de paneles en serie del bloque

V_{REG} : Tensión del regulador (250V)

V_{MMP} : Tensión del panel (36.3V)

$$N_{ps} = 6$$

$$N_{pp} = \frac{I_{reg}}{I_{mmp}} \quad (2.4)$$

Donde:

N_{pp} : Número de paneles en paralelo del bloque

I_{REG} : Intensidad del regulador (100A)

I_{MMP} : Intensidad del panel (8.26A)

$$N_{pp} = 12$$

Cantidad de paneles por bloque.

$$NT_{bloque} = N_{ps} * N_{pp} \quad (2.5)$$

Donde:

NT_{bloque} : Número total de paneles por bloque

$$NT_{bloque} = 72$$

Cantidad de bloques del sistema:

$$\text{Cant. bloques} = \frac{\text{cant. paneles}}{NT_{bloque}} \quad (2.6)$$

Entonces 20 bloques de 72 paneles cada uno dan como resultado un total de 1440 paneles y 20 reguladores. Para saber si el sistema abastece la demanda requerida, se procede a comprobar:

$$P_{bloque} = V_{bloque} * I_{bloque} * H.S.P. \quad (2.7)$$

Donde:

P_{bloque} : Generación diaria del bloque

V_{bloque} : Tensión del bloque (6*36.3V)

I_{bloque} : Intensidad del bloque (12*8.26A)

$H.S.P.$: Horas de Sol Pico (4.01h)

$$P_{bloque} = 86.568 \text{ kWh}$$

La generación diaria del sistema se calcula multiplicando la generación diaria del bloque por la cantidad de bloques. Nos da que la generación diaria del sistema es de 1731 kWh, y siendo este valor mayor que la demanda diaria (1563.72 kWh), la configuración del sistema cumple con los requisitos.

2.3.3 Selección y Cálculo de Baterías.

Las baterías escogidas para el sistema son *CS Power HTL 12-300* con una capacidad nominal de 300 Ah y voltaje nominal de 12 V (Anexo 3). Estas baterías de fabricación china son de GEL, de ciclo profundo y alta temperatura, ideales para el clima de nuestro país. Poseen una larga vida útil (15-20 años) y al ser completamente selladas son libres de mantenimiento.



Figura 2.4 Batería seleccionada para el sistema. (Fuente: https://www.micstatic.com/common/img/space_a058beab.png)

Conociendo que la demanda de energía eléctrica diaria, aplicándole el un margen del 20%, es de 1563.72 kWh/día es posible calcular la capacidad (C_b Ah) que requerirá el banco de baterías a diseñar. Para ello la ecuación (2.8).

$$C_b(Ah) = \frac{D_{aut} * E_{td}}{V_{bat} * Desc} \quad (2.8)$$

Donde:

C_b (Ah): Capacidad del banco de baterías

$D_{aut.}$: Días de autonomía (2 días)

E_{td} : Consumo total diario (1563720 Wh/día)

$Desc.$: Descarga de la batería (80%)

V_{bat} : Voltaje nominal de la batería

$$C_b = 325775 \text{ Ah}$$

Teniendo la capacidad del banco y la capacidad nominal de las baterías, se procede a calcular el número de baterías necesarias con la ecuación 2.9

$$N_{bat} = \frac{C_b}{AH} \quad (2.9)$$

Donde:

N_{bat} : Número de baterías necesarias.

C_b : Capacidad del banco

AH : Capacidad nominal de las baterías

$$N_{bat} = 1086$$

2.3.4 Selección y Cálculo de Inversores.

El inversor seleccionado es un MAX 50-80KTL3 LV, que cuenta con una potencia de 88.8 kW, una eficiencia de 99%, una salida de V ac de 230 V y una frecuencia de 50-60Hz. Para ver ficha completa consultar los anexos (Anexo 4).



Figura 2.5 Inversor seleccionado para el sistema. (Fuente: <https://inversolar.es/wp-content/uploads/2020/03/MAX-50-80KTL3-LVMV.png>)

Para dimensionar el inversor se tiene en cuenta la potencia que demanda la carga en corriente alterna (CA), de forma que se seleccione un inversor cuya potencia nominal sea algo superior a la máxima demanda eléctrica de la carga. Como se asume el caso crítico, en el que todas las cargas eléctricas funcionen al mismo tiempo, es recomendable considerar un factor de simultaneidad 100 %, por tanto, la potencia del inversor (P_{inv}) va a ser igual a la potencia de las cargas (P_{ca}).

$$P_{inv} = 142.84 \text{ kW}$$

Para calcular la cantidad de inversores a utilizar se empleó la ecuación (2.10).

$$N_{inv} = \frac{P_{inv}}{P_{ninv}} \quad (2.10)$$

Donde:

N_{inv} : número de inversores

P_{inv} : potencia del inversor = 142.84 kW

P_{ninv} : potencia nominal del inversor = 88.8 kW

$$N_{inv} = 2$$

2.4 Cálculo y selección de componentes de un sistema conectado a la red (On-Grid).

2.4.1 Selección y Cálculo de paneles.

En este caso como se trata de un sistema conectado a la red no se trabaja con el caso crítico en el que el consumo diario sea el día en el que estén conectados todos los equipos consumidores, sino, con un consumo medio diario teniendo en cuenta el consumo del mes. Por lo tanto, el consumo medio diario será: $C_{md} = 1120 \text{ kWh/día}$. Se toma entonces los mismos paneles cuya ficha técnica aparece en los anexos (Anexo 1).

Conociendo que para las condiciones de radiación solar antes expuestas en este trabajo el panel genera 1.083 kWh/día , se procede al cálculo de la cantidad de paneles necesarios para cubrir el 100 % de la demanda, para ello se emplea la ecuación (2.11).

$$N_{tp} = \frac{C_{md}}{E_p} \quad (2.11)$$

Donde:

N_{tp} : Número total de paneles.

C_{md} : Consumo medio diario

E_p : Energía producida por el panel en un día

$$N_{tp} = \frac{C_{md}}{E_p} = 1034.16$$

Conociendo el número mínimo de paneles necesarios para abastecer el sistema se procede al diseño de la configuración a partir del cálculo y selección del inversor. Para luego definir la cantidad final de paneles.

2.4.2 Selección y Cálculo del inversor

El inversor seleccionado es el mismo del caso anterior ya que sirve para ambos tipos de sistemas y es de gran potencia. Es un inversor GROWATT MAX 50-80KTL3 LV que posee 6 MPPT con 2 conexiones para *strings* cada uno, por tanto, se le pueden conectar 12 ramas. Cada MPPT admite una corriente máxima de 25 A y una tensión con un rango de 200-1000 V. Teniendo como dato que son 12 ramas y el número total de paneles se procede a calcular la cantidad de paneles en serie (N_{ps}) con la ecuación (2.12)

$$N_{ps} = \frac{N_{tp}}{N_{pp}} \quad (2.12)$$

Donde:

N_{pp} : es el número de ramas en paralelo

$$N_{ps} = 87$$

Entonces se tienen 12 *strings* con 87 paneles cada una para un total de 1044 paneles fotovoltaicos y 1 inversor. Este sistema genera unos 1131 kWh/día, superior al consumo medio diario (1120 kWh/día) de la instalación.

2.5 Cálculo y selección de la posición de los paneles.

No necesariamente hay que ajustar la inclinación de los paneles cada temporada. En sistemas fijos como el nuestro el ángulo de inclinación ideal coincide con la latitud y al estar en el hemisferio norte los paneles se orientan hacia el sur. A partir de dicho ángulo se

determina la distancia óptima entre las filas de módulos fotovoltaicos con el fin de garantizar la menor afectación a la generación de energía originada por el sombreado de los módulos.

También es importante conocer la altura (h) a la que se ubicarán los módulos para garantizar un mínimo de cuatro horas de Sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. La altura depende de la latitud ya que según varía esta, también lo hace la altura del sol.

El área seleccionada para la ubicación del proyecto tiene como coordenadas geográficas $23^{\circ}02'06''$ latitud Norte y $81^{\circ}30'36''$ longitud Oeste.

Para calcular la sombra proyectada por las filas se usa la ecuación (2.13).

$$L = \cos(\alpha) \cdot \beta \quad (2.13)$$

Donde:

L : proyección normal del panel sobre la horizontal en metros.

α : ángulo de inclinación (23°).

β : longitud del módulo FV (0.992 m).

$$L = 0,913 \approx 1 \text{ m}$$

Con la ecuación (2.14) se procede a calcular la altura de los módulos.

$$h = \sin(\alpha) \cdot \beta \quad (2.14)$$

Donde:

h : altura del módulo FV

α : ángulo de inclinación (23°).

β : longitud del módulo FV (0.992 m).

$$h = 0,387 \approx 0.40 \text{ m}$$

La distancia mínima entre los módulos se calcula con la ecuación (2.15)

$$d = k \cdot h \quad (2.15)$$

Donde:

d : distancia mínima entre los módulos FV en metros

h : altura del módulo FV

k : es un factor que depende de la latitud del lugar y se determina por la ecuación (2.16)

$$k = \frac{1}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} \quad (2.16)$$

$$k = 1,281$$

$$d = 0,502 \approx 0,50 \text{ m}$$

2.6 Área que ocupa la instalación.

2.6.1 Instalación aislada.

Para el cálculo del área de la instalación aislada, teniendo en cuenta que son 20 bloques de 6 filas con 12 paneles cada una, se procede a calcular el área que ocupa cada bloque

Tabla 2. 6. Aspectos a tener en cuenta para el cálculo del área a instalar. (Fuente: elaboración propia)

Dimensiones del panel	1956 x 992 x 40mm
Espacio perimetral	0,50m
Distancia mínima entre paneles de una misma fila	0,50m
Filas	6u
Paneles en serie	12u
Distancia mínima entre filas	1m

Teniendo en cuenta esto, cada fila de 12 paneles va a tener una longitud de 30 metros y las 6 filas tendrán un ancho total de 12 metros. De esta forma nos queda que cada bloque va a ocupar un área de 360 m^2 . La instalación se diseña con 5 bloques a lo largo y 4 a lo ancho, esto nos daría un largo total de 150 m y un ancho total de 48 m para un área total de 7200 m^2 .

2.6.2 Instalación conectada a la red.

Al ser el mismo panel y el mismo ángulo de inclinación, la distancias entre paneles y filas es igual.

Tabla 2.7 Aspectos a tener en cuenta para el cálculo del área a instalar. (Fuente: elaboración propia)

Dimensiones del panel	1956 x 992 x 40mm
Espacio perimetral	0,50m
Distancia mínima entre paneles de una misma fila	0,50m
Filas	12u
Paneles en serie	87u
Distancia mínima entre filas	1m

En este caso se tiene que son 12 filas de 87 paneles cada una, por tanto, da como resultado un largo de fila de 215 m y un ancho total de 24 m, para un área de 5160 m^2 .

2.7 Selección de lugar de instalación

La instalación de los paneles fotovoltaicos tiene como objetivo abastecer la Cámara No. 1 de la Universidad de Matanzas. Para ello se hace necesario que la instalación del sistema se ejecute en un lugar donde la captación de la radiación solar se realice sin elementos que la entorpezcan para evitar sombras y lograr la máxima absorción. La Cámara No. 1 posee 6 edificios, pero las cubiertas de los mismos quedan descartadas como lugar para la instalación por la presencia de calentadores solares y árboles de gran tamaño que producen sombras. Finalmente se designa el área mostrada en la figura (2.1), situada a unos 25 metros al norte del Motel y unos 70 metros al oeste de Rectoría.



Figura 2.6 Lugar escogido para la instalación. (Fuente: Google Maps)

Un aspecto positivo sobre el lugar escogido es que el banco de Paneles Fotovoltaicos estaría en un punto donde el viento circula de forma libre, permitiendo la transferencia de calor de la celda hacia el medio ambiente y aumentando así la vida útil de la instalación y las prestaciones de la misma (Autores, 2010).

2.8 Conclusiones parciales del capítulo.

- La cámara No. 1 tiene un alto consumo, siendo este aproximadamente de 33.6 MWh/mes.
- La zona posee un alto potencial solar, con un promedio de 5.38 kWh/m² y siendo el mes menos favorable enero con 4.01 kWh/m²
- El sistema aislado funciona correctamente con un total de 1440 paneles, 1086 baterías, 20 reguladores y 1 inversor, formando 20 bloques de 72 paneles y un regulador cada uno.
- El sistema conectado a la red funciona correctamente para el 100% de la demanda diaria con un total de 1044 paneles y 1 inversor, con una configuración de 12 ramas con 87 paneles cada una.
- El ángulo óptimo de inclinación de los paneles es de 23° a una altura sobre el suelo de 0.40 m.
- La instalación aislada ocupa un área de 7200 m², mientras que la conectada a la red 5160 m².

Capítulo 3 Análisis de resultados.

El presente capítulo tiene como objetivo realizar una comparación entre los dos sistemas de generación para elegir cual es el que se va a implementar. Dicha comparación se basa en el análisis del impacto ambiental y el análisis costo-beneficios de la inversión a realizar.

3.1 Comparación de ambos sistemas en cuanto a sus componentes y energía generada.

Tabla 3.1. Componentes de los sistemas fotovoltaicos y generación. (Fuente: Elaboración propia)

	Sistema <i>On-Grid</i>	Sistema <i>Off-Grid</i>
Cantidad de paneles	1044	1440
Cantidad de reguladores	-	20
Cantidad de baterías	-	1086
Cantidad de inversores	1	2
Generación diaria (kWh/día)	1131	1731
Generación anual (MWh/año)	413	632

La tabla (3.1) recoge a manera de resumen datos calculados en el capítulo anterior y que serán empleados en el presente para analizar la factibilidad de los sistemas.

3.2 Impacto medioambiental de la central fotovoltaica de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

La energía solar fotovoltaica al igual que otras energías renovables, constituye, frente a los combustibles fósiles, una fuente inagotable, contribuye al autoabastecimiento energético nacional y es menos perjudicial para el medio ambiente.

Los efectos de la energía solar fotovoltaica sobre los principales factores ambientales son los siguientes:

- **Clima:** la generación de energía eléctrica directamente de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de CO₂ que favorezcan al efecto invernadero.
- **Geología:** las células fotovoltaicas se fabrican con Silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la naturaleza y del que no se requieren cantidades significativas. Por lo tanto, en la producción de paneles no se producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno.
- **Suelo:** al no producirse ni contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características físico-químicas del suelo o su erosionabilidad es nula.
- **Aguas superficiales y subterráneas:** no se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos.
- **Ruidos:** los sistemas fotovoltaicos son completamente silenciosos, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores convencionales.
- **Medio social:** el suelo necesario para instalar un sistema fotovoltaico de dimensión media, no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto.

Cada kWh producido por una central fotovoltaica representa cierta cantidad de combustible que deja de ser quemado y por tanto menos CO₂ que se produce debido a la generación de energía eléctrica.

3.2.1 Central aislada.

Para el cálculo de la cantidad de combustible ahorrado en el año se utiliza la ecuación (3.1).

$$\text{combustible ahorrado} = \frac{E \cdot g}{1000} \quad (3.1)$$

Donde:

E: energía generada en kWh/año.

g: consumo específico ponderado de combustible para la generación en el país 253 g/kWh.

De esta forma se llega al resultado que se dejan de quemar unas 160 T/año, lo que representan 160000 l/año. Teniendo las toneladas de petróleo ahorradas se procede a calcular el CO₂ que se deja de emitir, para ello se utiliza la ecuación (3.2).

$$CO_2 = \frac{\text{Combustible ahorrado} \cdot k}{\rho} \quad (3.2)$$

Donde:

k: coeficiente que permite relacionar el combustible no quemado con las toneladas de CO₂ no emitidas a la atmósfera y que es igual a 3,119 kg/l.

ρ: densidad del combustible y es igual a 0,9781 kg/l.

Se dejan de emitir 510213.7 l/año, lo que representa unas 510.2 T/año de CO₂.

3.2.2 Central conectada a la red.

Utilizando las mismas ecuaciones del epígrafe anterior se llega al resultado de que se dejan de quemar 104.5 T/año de combustible (104413 l/año), lo que representa unas 332.9 T/año de CO₂ (332955 l/año).

3.3 Análisis económico de la central aislada.

En el análisis económico se evalúan los costos y las ganancias de un proyecto. Se asume que su realización ayudará al desarrollo de la economía y que su contribución social justifica el uso de los recursos que necesitará. Para comprobar su factibilidad económica se procede al cálculo de los costos y los beneficios de la instalación fotovoltaica. Para calcular los costos de cada componente de los sistemas se realizó una búsqueda por todos los sitios dedicados a la venta de los mismos para la selección de los precios más económicos.

3.3.1 Costo de los componentes.

Tabla 3.2. Costo de los componentes (Off-Grid). (Fuente: Elaboración propia)

Equipo	Cantidad	Costo (USD)	Total (USD)	Total (MN)
Paneles: Flagsun New Energy	1440	85	122400	2937600
Baterías CS Power HTL 12-300	1086	230	249780	5994720

Regulador MPPT Victron 250/100 TR 12-24-48V	20	942.65	18853	452472
Inversor MAX 50-80KTL3 LV	2	4765.38	9530.76	228738.24
Soporte fijo del panel	1440	23.71	34142.4	819417
Coste mínimo de la instalación	-	55.9	55.9	1342
Total			434762.06	10434289.2

3.3.2 Cálculo de Costo-Beneficios.

Para calcular el ahorro en dinero se utiliza el precio del MWh servido, que no es más que el valor que tiene llevar 1 MWh hasta la subestación de entrada de los clientes. Este valor multiplicado por la energía que generarán los sistemas fotovoltaicos daría el ahorro que se tendrá en el concepto de Costo Evitado, al no consumir energía del SEN. Actualmente el costo del MWh servido ronda los 3610 pesos, a partir de este dato se puede calcular el ahorro del capital anual. Para ello se utiliza la ecuación (3.3).

$$ACA = ET(SFVCR) \cdot CMWhs \quad (3.3)$$

Donde:

ACA: ahorro de capital anual

ET(SFVCR): Es la energía total generada por el SFVCR en MWh/año.

CMWhs: Es el costo en pesos del MWh servido

$$ACA = 2281520 \text{ pesos}$$

Análisis de la eficiencia de los paneles.

Según datos del fabricante los paneles tienen una vida útil de 25 años. La eficiencia de los mismos va variando a medida que aumenta el tiempo de explotación. Mantienen el 100% solo el primer año y terminan su vida útil con un 81% de eficiencia. La tabla (3.3) recoge los valores de ahorro de capital según la eficiencia de los paneles en los distintos períodos de tiempo.

Tabla 3.4 Eficiencia de los paneles en función del tiempo. (Fuente: elaboración propia)

Período (años)	Eficiencia (%)	Beneficios por período (\$)
1	100	2281520
2 al 5	97	8852297.6

6 al 10	92	10494992
11 al 15	88	10038688
15 al 20	84	9582384
20 al 25	81	9240156
Total		50490037.6

Como los sistemas aislados prescinden del uso de baterías para su funcionamiento, para el cálculo de los beneficios totales del proyecto no se toma la vida útil de los paneles, sino la de las baterías que es más corta. Siendo la misma de 15 años, se tiene que los beneficios son de 31667497 pesos. Para el cálculo de la relación costo-beneficios se utiliza la ecuación (3.4).

$$CB = \frac{CI}{B} \quad (3.4)$$

Donde:

CB: Relación costo-beneficio.

CI: costo de la inversión

B: beneficios

$$CB = 0.33$$

Como $CB < 1$, queda demostrada la viabilidad del Proyecto.

3.3.3 Retorno de la inversión.

Para determinar el retorno de la inversión se fue restando el costo evitado cada año en dependencia de la eficiencia de los paneles al monto total de la inversión hasta llegar a números positivos, como se muestra en la tabla (3.5) y en la figura (3.1).

Tabla 3.5 Tiempo de retorno de la inversión. (Fuente: elaboración propia)

Año	Generación	Retorno
0	0	-10434289.2
1	2281520	-8152769.2
2	2213074.4	-5939694.8
3	2213074.4	-3726620.4
4	2213074.4	-1513546
5	2213074.4	699528.4

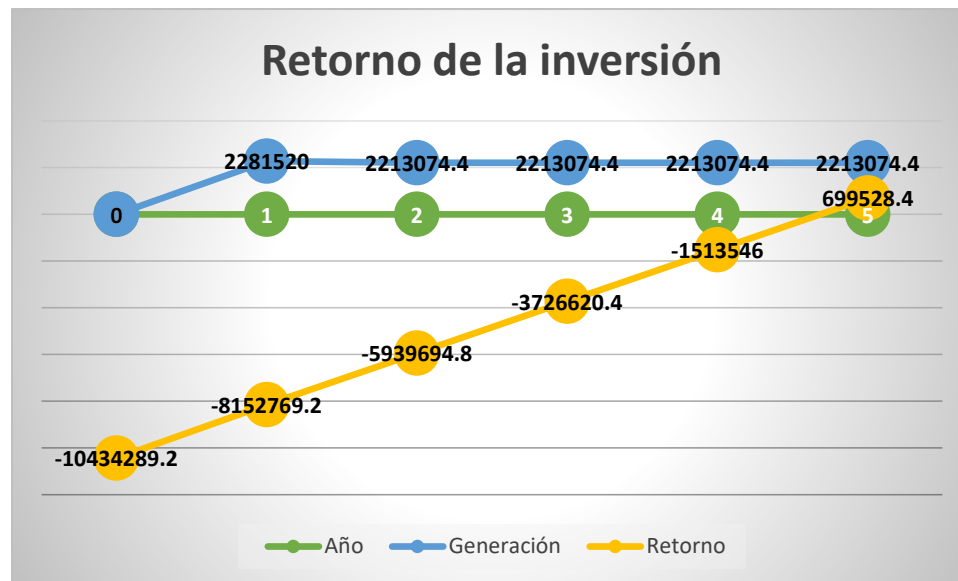


Figura 3.1. Retorno de la inversión. (Fuente: elaboración propia)

Como se puede observar la inversión se recupera en cuestión de poco más de 4 años y medio, por lo que es factible invertir en el proyecto.

3.4 Análisis económico del sistema conectado a la red.

3.4.1 Costo de los componentes.

Tabla 3.6. Costo de los componentes (On-Grid). (Fuente: elaboración propia)

Equipo	Cantidad	Costo (USD)	Total (USD)	Total (MN)
Paneles: Flagsun New Energy	1044	85	88740	2 129 760
Inversor MAX 50-80KTL3 LV	1	4765.38	4765.38	114 370
Soporte fijo del panel	1044	23.71	24753.24	594 078
Coste mínimo de la instalación	-	55.9	55.9	1 342
Total			118314.52	2 839 550

3.4.2 Tarifa eléctrica aplicada en la Universidad de Matanzas.

En todos los servicios eléctricos de la Universidad de Matanzas se aplica la tarifa M1-A: Tarifa de Media Tensión con Actividad Continua, esta se aplica a consumidores clasificados como de Media Tensión cuya actividad sea continua, reportando 3 registros de consumo: Día, Pico y Madrugada.

La Tarifa M1A contempla pago por cargo fijo y pago por cargo variable. Además, Se aplica la cláusula del factor de potencia y la cláusula de ajuste por variación del precio de los combustibles (UNE, 2021).

Se pagan 94.00 CUP mensual por cada kW de máxima demanda contratada en el horario comprendido entre las 5:00 y las 21:00 horas. Si la demanda máxima registrada en el horario establecido, es mayor que la demanda máxima contratada, se facturará la contratada al precio de la tarifa y el exceso al triple de su valor, 282.00 CUP por cada kW (UNE, 2021).

Sólo se permitirá contratar dos valores de demanda al año, por períodos no menores de tres meses a los consumidores cíclicos o por períodos de alta y baja en el caso de las instalaciones hoteleras (UNE, 2021).

Por cada kWh consumido en el horario pico:

$$(3.1672 \text{ CUP/ kWh} * K + 0.8595 \text{ CUP/ kWh}) * \text{Consumo pico en kWh} \quad (3.5)$$

Por cada kWh consumido en el horario del día:

$$(1.5869 \text{ CUP/kWh} * K + 0.8595 \text{ CUP/ kWh}) * \text{Consumo día en kWh} \quad (3.6)$$

Por cada kWh consumido en el horario de la madrugada:

$$(1.0601 \text{ CUP/kWh} * K + 0.8595 \text{ CUP/kWh}) * \text{Cons. madrug. en kWh} \quad (3.7)$$

3.4.3 Cálculo de Costo-Beneficios.

Para el caso del sistema conectado a la red se utilizaron datos del consumo real recogidos en la tabla (3.3).

Tabla 3.7. Consumo real de la Cámara No. 1. (Fuente: Elaboración propia)

MES	DC	K	FP	KWH1	KWH2	KWH3	KWHP	KWHT	ICF	I1	I2	I3	IP	IT
oct-21	75	1.0390	0.97	4160	6919	1851	467	13397	7050	8157.53	17354.85	7682.06	1198.32	39715.96
nov-21	75	1.1058	0.98	4709	10647	2029	510	17895	7050	9567.55	27834.39	8850.07	1355.18	52379.79
dic-21	75	0.9907	0.98	4210	11015	2130	495	17850	7050	8040.01	26784.53	8514.13	1235.15	49472.81
ene-22	75	0.9279	0.98	4586	8596	2050	494	15726	7050	8452.76	20045.74	7786.61	1175.64	42656.12
feb-22	75	0.9269	1.00	7107	18618	3727	625	30077	7050	13091.85	43387.34	14144.63	1497.22	75872.22
mar-22	75	0.9309	0.99	3568	9333	2139	449	15489	7050	6587.77	21808.84	8144.98	1092.59	42822.32
abr-22	75	0.9442	0.98	4238	10234	2005	503	16980	7050	7884.57	24130.25	7719.19	1211.89	45996.05
may-22	75	1.0028	0.98	4260	10481	2086	492	17319	7050	8190.14	25687.29	8418.2	1235.03	48473.12
jun-22	75	1.0559	0.90	4662	11380	2356	531	18929	7050	9225.44	28849.53	9904.03	1386.59	56415.59
jul-22	75	1.0331	0.98	4073	15139	2065	528	21805	7050	7961.45	37831.25	8531.62	1347.24	66312.14
ago-22	75	1.0445	0.98	3620	11777	1884	509	17790	7050	7119.72	29642.91	7851.83	1316.13	54439.05
sep-22	75	1.0306	0.98	3293	5796	1602	469	11160	7050	6428.06	14460.78	6606.03	1207.02	34262.22
Total									84600					608817.39

El consumo real de la cámara en un año ronda los 215 MWh, la demanda contratada es de 75 kVA, por la que paga un importe de cargo fijo de 84600 pesos al año. En total la Cámara No. 1 pagó 608 817.39 pesos desde octubre de 2021 a septiembre de 2022. Si se toma como referencia el mes crítico, o sea en el que menos se ahorró electricidad (feb-22), nos da como resultado un consumo anual de la cámara de 361 MWh/año, lo que representa 910467 pesos al año.

Una vez instalado el sistema *on grid* para la cámara No. 1, la Universidad de Matanzas tiene que dirigirse a la empresa eléctrica para realizar un cambio de contador por uno

bidireccional y adquirir una tarifa de compra-venta de energía eléctrica. Según La Resolución No. 359-2021 la nueva tarifa será la C1F, la cual plantea que la empresa eléctrica compra la energía generada por un valor de 1.81 pesos/kWh entregados al SEN en cualquier horario del día.

Para calcular el ahorro del capital anual primero se halla el excedente de generación a partir de la ecuación (3.8)

$$Exg = EG - EC \quad (3.8)$$

Donde:

Exg: Excedente de energía generada MWh

EG: Energía generada

EC: Energía consumida

$$Exg = 52 \text{ MWh}$$

El excedente de energía generada es como mínimo 52 MWh/año, lo que según la tarifa C1F representa unos 94120 pesos al año. Teniendo este dato se procede a calcular el ahorro de capital anual mediante la ecuación (3.9)

$$ACA = IT + Exg - ICF \quad (3.9)$$

Donde:

ACA: ahorro de capital anual

IT: Importe total de la factura de la empresa eléctrica (910467 pesos)

Exg: Valor del excedente de energía generada (pesos)

ICF: Importe de cargo fijo por la demanda contratada al año (84600 pesos)

$$ACA = 919987 \text{ pesos}$$

Análisis de la eficiencia de los paneles.

En este caso la eficiencia influye en el ahorro del capital anual en cuanto al excedente de energía generada. La tabla (3.8) muestra los beneficios obtenidos por período según la eficiencia del panel a lo largo de su vida útil.

Tabla 3.8. Eficiencia de los paneles en función del tiempo. (Fuente: Elaboración propia)

Período (años)	Eficiencia (%)	Beneficios por período (\$)
1	100	919987
2 al 5	97	3668653.6
6 al 10	92	4562287
11 al 15	88	4543463
15 al 20	84	4524639
20 al 25	81	4510521
Total		22729550.6

Con el costo total de la inversión y los beneficios generados a lo largo de los 25 años de vida útil de la central fotovoltaica se puede calcular la relación costo-beneficios mediante la ecuación (3.4) antes expuesta. Al calcular se obtiene como resultado que $CB = 0.12$, por tanto, $CB < 1$, lo que significa que la inversión es viable.

3.4.4 Retorno de la inversión.

Para determinar el retorno de la inversión se utilizó el mismo procedimiento que en el caso anterior. Esto se ve reflejado en la tabla (3.9) y en la figura (3.2).

Tabla 3.5 Tiempo de retorno de la inversión. (Fuente: elaboración propia)

Año	Generación	Retorno
0	0	-2839550
1	919987	-1919563
2	917163.4	-1002399.6
3	917163.4	-85236.2
4	917163.4	831927.2

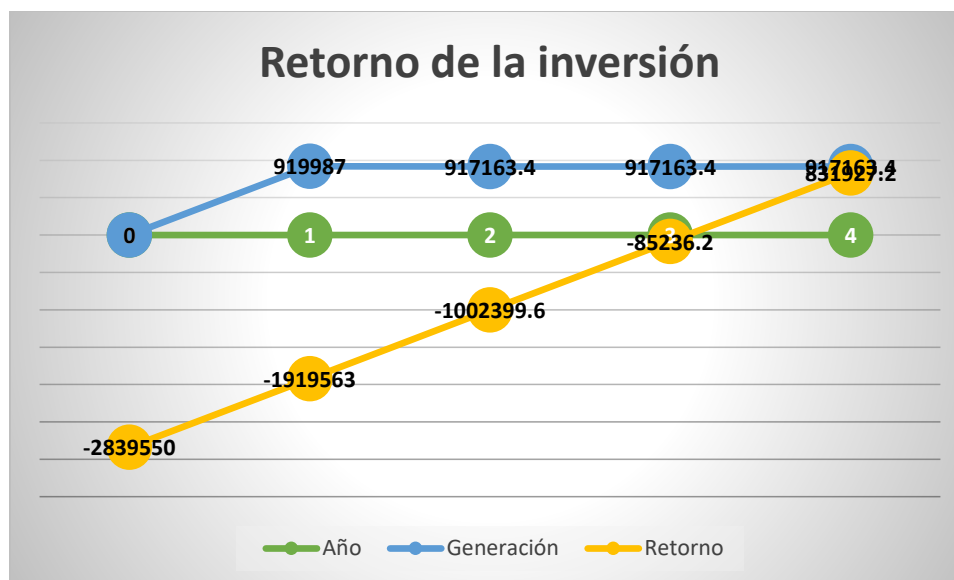


Figura 3.1. Retorno de la inversión. (Fuente: elaboración propia)

Como se puede observar la inversión se recupera en cuestión de poco más de 3 años, por lo que es factible invertir en el proyecto.

3.5 Comparación de ambos sistemas.

La comparación se lleva a cabo para ver cuál de los dos sistemas es más factible y así elegir el que se va a desarrollar en la Universidad de Matanzas para suministrar energía eléctrica a la Cámara No. 1.

Tabla 3.6 Comparación de los sistemas. (Fuente: elaboración propia)

Parámetros	Sistema Off-Grid	Sistema On-Grid
Área que ocupa (m ²)	7200	5160
Monto total de la inversión (pesos)	10434289.2	2839550
Capacidad de generación (kWh/día)	1731	1131
Total, generado en 25 años (MWh/año)	13986.16	9139.69
Ahorro de capital total	31667497	22729550.6
Relación costo-beneficio	0.33	0.12
Retorno de la inversión	4 años y 8 meses	3 años y 1 mes
Factibilidad	Si	Si

De acuerdo con los datos expuestos en la tabla (3.6), ambos sistemas son factibles y cumplen con cubrir el 100% del consumo de la cámara. A pesar de que el sistema aislado tiene una capacidad de generación mayor, se escoge realizar el sistema conectado a la red ya que tiene una menor inversión inicial, una mejor relación costo-beneficios y un menor tiempo de retorno de la inversión.

3.6 Conclusiones parciales del capítulo.

- Se calcularon los costos ambientales de ambos sistemas comparándolos con los métodos convencionales de obtención de electricidad.
- Los dos sistemas poseen un elevado costo de inversión.
- El balance costo-beneficios de ambas centrales es positivo.
- El retorno de la inversión no supera los 5 años en ambos casos.

Conclusiones

Con la realización de este trabajo se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se logra un mayor entendimiento por parte de los lectores sobre el tema a partir de lo expuesto en el capítulo 1.
- El levantamiento de cargas de la Cámara No.1 dio como resultado que el consumo de la misma es bastante elevado, por lo que se hace necesaria la realización de este proyecto.
- El sistema aislado presenta muchos más componentes que el sistema conectado a la red, lo que provoca el encarecimiento del costo de la inversión de la misma.
- Ambas centrales tienen un impacto ambiental muy positivo ya que con su realización se dejarían de emitir cientos de toneladas de CO₂ al año comparado con la misma generación de electricidad a partir de métodos convencionales.
- Se decide seleccionar el sistema conectado a la red ya que su costo de inversión es mucho menor que el del sistema aislado, posee una relación costo-beneficios mucho más factible y el tiempo de retorno de la inversión es menor.
- El área total del sistema conectado a la red y la configuración que presenta cumplen con las especificidades del terreno seleccionado para la instalación.

Recomendaciones.

Se recomienda:

- Llevar a cabo esta inversión por los altos beneficios ambientales y económicos que genera, a la vez que alivia un poco la situación tan difícil por la que está pasando el país en cuanto a la generación de energía eléctrica.
- Después de la realización del proyecto, reducir la demanda contratada a la Empresa Eléctrica, la cual ya no tendría que ser tan alta y que en estos momentos representa un importe fijo mensual de más de 7 mil pesos
- Hacer un estudio de diseño anticorrosivo y conservación para los sistemas de soporte de los paneles por el alto nivel de aerosol marino que presenta la zona de instalación.

Referencias Bibliográficas

- Abella, M. (2010). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autonomos. *Madrid, España.*[15] González D., Rojas A. *Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos. Ciudad del Este, Paraguay.*
- Altomonte, H. (2017). Las energías renovables: panorama mundial, latinoamericano y síntesis de tres estudios de caso. *Las energías renovables no convencionales en la matriz de generación eléctrica: tres estudios de caso. Santiago: CEPAL, 2017. LC/TS. 2017/1. p. 9-41.*
- Alvarado Ladrón de Guevara, J. (2016). *Diseño e instalación de un sistema fotovoltaico aislado* Universidad Politécnica de Madrid]. España.
- Amador, R. T. (2007). Protecciones eléctricas. *Bogotá, Colombia.*
- Arenas Sánchez, D. A., & Zapata Castaño, H. S. (2011). Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones.
- Aulestia Martínez, L. A., & Celi Panata, M. S. (2017). *Implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos con capacidad de 20 kw/mes para ser utilizados en instalaciones industriales*
- Autores, C. D. (2010). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos.
- AutoSolar. (2020). *Tipos Baterías Solares.* <https://autosolar.es/baterias-placas-solares/tipos-baterias-solares>
- Chimbo-Campuzano, M. (2017). Aprovechamiento de la energía undimotriz en el Ecuador. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(17), 23-28.
- Coras Vallejo, E. L. (2011). Cálculo e instalación de paneles solares fotovoltaicos-Paquichari-La Mar-Ayacucho.
- CRESPO MARTINEZ, A., DE FRANCISCO GARCÍA, A., FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, J., HERRERO GARCÍA, M. Á., DE JUANA SARDÓN, J. M., & SANTOS GARCÍA, F. (2003). *Energías renovables para el desarrollo.* Ediciones Paraninfo, S.A. <https://books.google.es/books?id=NyvcConR-xoC>
- de la Cruz Gómez, F. (2012). *Guía de mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas.* Ediciones Experiencia.
- Fernandez, E. C. (2017). FV7? Tipos de Sistemas FV-Sistemas FV aislados.
- González Couret, D. (2015). Las energías renovables al servicio de la humanidad. *Arquitectura y Urbanismo*, 36(1), 93-98.

- Juvinao, D. D. L., & Campo, B. J. V. (2021). Sistema fotovoltaico como alternativa sostenible para el funcionamiento de una alcaldía municipal. *Prospectiva*, 19(1).
- Laguarda, A. (2021). Modelado de la irradiancia solar sobre la superficie terrestre: modelos físicos e híbridos utilizando información satelital sobre la Pampa Húmeda.
- López, M. V. (2012). *Ingeniería de la energía eólica* (Vol. 5). Marcombo.
- Martí García, C. (2015). *La radiación solar en el Ensanche de Barcelona: estudio tipológico de la radiación solar en las fachadas del Ensanche de Barcelona a través de un recorrido por las distintas ordenanzas urbanísticas* [Universitat Politècnica de Catalunya].
- Martínez, M. (2016). Radiación solar—conceptos y aplicaciones. *Informativo (109) INIA—URURI. Recuperado el, 20*.
- Osorio, J. F. S. (2008). *Energía hidroeléctrica* (Vol. 139). Universidad de Zaragoza.
- Palpa Bueno, A. I. (2019). Integración arquitectónica de energía solar fotovoltaica para el mejoramiento de la eficiencia energética en establecimientos de salud de comunidades nativas.
- Pous, J., & Jutglar, L. (2004). *Energía geotérmica*. Ed. CEAC.
- Preciado Garcés, A. M. (2017). *Diseño y cálculo de estructura soporte para paneles solares* [Universitat Politècnica de València].
- Ramanan, P., & Karthick, A. (2019). Performance analysis and energy metrics of grid-connected photovoltaic systems. *Energy for Sustainable Development*, 52, 104-115.
- Robayo, C., & Serna, S. (2015). Sistema para caracterización de paneles fotovoltaicos. *Avances en Ingeniería*, 220.
- Rovira, L. J. (2015). *Las energías renovables*. Editorial UOC.
- Sánchez-Toril Mora, J. (2021). *Estructura motorizada para soporte de paneles solares, con seguimiento solar y medida de temperatura*
- Sornichero, L. J. (2014). Energías renovables. Propuesta didáctica. *Ribalta: Quaderns d'aplicació didàctica i investigació*(21), 23-32.
- UNE. (2021). Manual de Consumidores.

Anexos

Anexo1: Ficha técnica del panel fotovoltaico seleccionado. (Fuente: https://es.made-in-china.com/co_flagsun/product_A-Grade-Poly-12V-24V-300W-Poly-Solar-Plate-Polycrystalline-Solar-Panel-for-off-Grid-Battery-Solar-System_uouiunuoig.html)

Tipo	FSP300W
Tipo de célula Solar	Policristalino, 156mm×156mm
Número de celdas	72 piezas (156×156)
Tamaño del módulo	1956×992×40mm (156mm×156 celdas)
Módulo, Peso	22,5 kg
Caja de conexiones/conector	TOP,IP67, 1000V DC, CERTIFICADO TUV
Cables, longitud (+/-)	Personalizable
Cristal de la cubierta delantera	Vidrio templado
Grosor del cristal de la cubierta delantera	3,2 mm
Marco	Aluminio anodizado
Potencia máxima PM(W)	300 W
Tolerancia de potencia	3%
Tensión de alimentación máxima (VMP)	36,3 V
Corriente de potencia máxima (Imp)	8,26 A
Tensión de circuito abierto (VOC)	45,0 V
Corriente de cortocircuito (ISC)	8,93 A
Eficiencia del módulo	15,70%
Tensión máxima del sistema	1000 V
Temperatura de funcionamiento	-40 grados a 85 grados
Carga mecánica pesada	5400Pa (conoce IEC61215)

Anexo2: Ficha técnica del regulador seleccionado. (Fuente: <https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-SmartSolar-charge-controller-MPPT-250-70-up-to-250-100-VE.Can-ES.pdf>)

Controlador de carga SmartSolar	MPPT 250/85	MPPT 250/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48V (Se precisa una herramienta de <i>software</i> para ajustar el sistema en 36V)	
Corriente de carga nominal	85A	100A
Potencia FV máxima, 12 V 1a,b)	1200W	1450W
Potencia FV máxima, 24 V 1a,b)	2400W	2900W
Potencia FV máxima, 48 V 1a,b)	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito	70A	70A
Tensión máxima del circuito abierto FV	250V máximo absoluto en las condiciones más frías 245V en arranque y funcionando al máximo	
Eficacia máxima	99%	
Autoconsumo	Menos de 35mA a 12V / 20mA a 48V	
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)	
Algoritmo de carga	adaptativo multifase	
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -68 mV / °C	
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretensión	
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)	
Humedad	95%, sin condensación	
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct o Bluetooth	
Interruptor on/off remoto	Sí (conector bifásico)	
Relé programable	DPST Capacidad nominal CA 240 V AC / 4 A Capacidad nominal CC 4 A hasta 35 V CC, 1 A hasta 60 V CC	
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)	

Anexo3: Ficha técnica de la batería seleccionada. (Fuente: https://es.made-in-china.com/co_cspower/product_Solar-Power-12volt-300ah-Deep-Cycle-Gel-Battery-Marine-Battery_riouryyeg.html)

No. de Modelo.	HTL12-300Ah
Recargable	Recargable
Dimension	520*268*220*226mm
Terminal	M8
Lifespan	18years
Export Area	Global
Certificate	Ce, IEC, ISO
Especificación	High temperature solar Gel battery 12v300ah
Origen	China
Capacidad de Producción	1000000000PCS/Month

Instalación	Fijo
Model	Deep Cycle Gel Battery 12V300ah
Weight	77kgs
Warranty	3 Years
Color	Red Color with Black Cover
50% Dod	1500 Cycle Times
Paquete de Transporte	Carton and Pallet
Marca Comercial	CSPOWER/OEM
Código del HS	8507200000

Anexo4: Ficha técnica del inversor seleccionado. (Fuente: <http://inversolar.es/wp-content/uploads/2020/03/Ficha-tecnica-MAX-50-80KTL3-LV.pdf>)

Datasheet	MAX 50KTL3 LV	MAX 60KTL3 LV	MAX 70KTL3 LV	MAX 80KTL3 LV
Input Data				
Max.DC power	65000W	78000W	91000W	104000W
Max.DC voltage	1100V	1100V	1100V	1100V
Start Voltage	250V	250V	250V	250V
MPP work voltage range	200V-1000V	200V-1000V	200V-1000V	200V-1000V
Nominal voltage	585V	585V	600V	685V
Max. input current per MPPT	25A	25A	25A	25A
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	6/2	6/2	6/2	6/2
Output (AC)				
Rated AC output power	50000W	60000W	70000W	80000W
Max. AC apparent power	55500VA	66600VA	77700VA	88800VA
Max. output current	80.5A	96.6A	112.7A	128.8A
AC nominal voltage	230V/400V;340-440V	230V/400V;340-440V	230V/400V;340-440V	230V/400V;340-440V
AC grid frequency	50Hz/60Hz,±5Hz	50Hz/60Hz,±5Hz	50Hz/60Hz,±5Hz	50Hz/60Hz,±5Hz
Power factor	0.8leading ...0.8lagging	0.8leading ...0.8lagging	0.8leading ...0.8lagging	0.8leading ...0.8lagging
THDi	<3%	<3%	<3%	<3%
AC grid connection type	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE
Efficiency				
Max. efficiency	98.8%	98.8%	99%	98.8%
Euro - eta	98.3%	98.3%	98.4%	98.3%
MPPT efficiency	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
Protection Devices				
DC reverse polarity protection	yes	yes	yes	yes
DC Switch	yes	yes	yes	yes
DC Surge protection	Type II	Type II	Type II	Type II
Ground fault monitoring	yes	yes	yes	yes
Output short circuit protection	yes	yes	yes	yes
AC Surge protection	Type II	Type II	Type II	Type II
String fault monitoring	yes	yes	yes	yes
Anti-PID protection	opt	opt	opt	opt
General Data				
Dimensions (W / H / D) in mm	860/600/300	860/600/300	860/600/300	860/600/300
Weight	82kg	82kg	82kg	82kg
Operating temperature range	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C
Noise emission (typical)	≤55dB(A)	≤55dB(A)	≤55dB(A)	≤55dB(A)
Self-Consumption	< 1W*	< 1W*	< 1W*	< 1W*
Topology	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless
Cooling concept	Smart cooling	Smart cooling	Smart cooling	Smart cooling
Environmental Protection Rating	IP65	IP65	IP65	IP65
Altitude	4000m	4000m	4000m	4000m
Relative Humidity	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%
Features				
Display	LED/WIFI+APP	LED/WIFI+APP	LED/WIFI+APP	LED/WIFI+APP
Interfaces:USB/R485/GPRS	yes / yes / opt	yes / yes / opt	yes / yes / opt	yes / yes / opt
Warranty:5 years / 10 years	yes / opt	yes / opt	yes / opt	yes / opt
CQC, CE, VDE 0126-1-1, UTE C 15-712, VDE-AR-N4105, EN50438, DRRG, CEI 0-16, BDEW, IEC 62116, IEC61727, IEC 60068, IEC 61683, AS 4777				