UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BAHÍA DE BANDERAS

Manual de Diseño y cálculo de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red para la empresa SIMER

Luis Fernando Pérez Sánchez

ER-1801015

Ingeniero de Energías Renovables

ING. CÉSAR PAUL PAREDES VAZQUEZ
ASESOR ACADÉMICO

ING. JOSÉ RAMON ALVARADO RODRÍGUEZ
ASESOR EMPRESARIAL

Nuevo Vallarta, Nayarit, 07 de abril de 2025

DEDICATORIAS

A mi hermano, Roberto Pérez, Ingeniero de Energías Renovables, mi gran modelo a seguir.

Tu valentía y determinación al enfrentar los límites de tus capacidades físicas y mentales me inspiran profundamente. Has demostrado que la fortaleza no solo reside en el cuerpo, sino también en el espíritu inquebrantable.

Siempre te recordaré como un ejemplo de perseverancia, coraje y amor por lo que haces. Gracias por iluminar mi camino con tu vida y enseñarme que no hay barreras imposibles cuando se tiene voluntad.

Con admiración y cariño eterno.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por el grandísimo apoyo que he recibido, por el gran esfuerzo y sacrificio que han hecho por mí, acampanándome en cada momento cada etapa,

RESUMEN

Este proyecto tuvo como objetivo crear un manual de diseño y cálculo de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red para la empresa SIMER. La idea surgió porque la empresa no cuenta con un documento que explique de forma clara los pasos para diseñar estos sistemas, lo que dificulta la capacitación de los nuevos empleados y ocasiona errores en los cálculos.

Para llevar a cabo el proyecto, se investigaron los conceptos básicos de la energía solar y se analizaron los elementos esenciales de un sistema fotovoltaico, como los paneles solares, inversores, estructuras de soporte, cableado y protecciones eléctricas. Además, se incluyeron fórmulas y ejemplos prácticos para calcular el número de paneles e inversores necesarios, considerando las condiciones del lugar y las pérdidas de energía.

El resultado fue un manual práctico y detallado que facilita el aprendizaje de los nuevos integrantes de SIMER. Este documento permite realizar los cálculos de manera correcta, reduce los errores y agiliza el proceso de instalación de los sistemas fotovoltaicos, mejorando así la eficiencia y calidad del trabajo dentro de la empresa.

ÍNDICE

Dedicatorias 1
Agradecimientos 2
Resumen 3
Introducción 1
Capítulo I. Planteamiento del Problema 3
1.1. Objetivo 3
1.2. Justificación 3
1.3. Preguntas de investigación 4
Capítulo II. Fundamentación 6
2.1 Antecedentes históricos 6
2.2 Energía solar fotovoltaica 7
2.2.1 Irradiancia solar 8
2.2.2 Insolación solar 9
2.3 Geometría solar 11
2.3.1 Ángulo de incidencia 13
2.3.2 Declinación solar 14
2.3.3 Separación de paneles solares 15
2.4 Sistema fotovoltaico interconectado 16
2.4.1 Panel solar 19
2.4.2 Inversor 30
2.4.3 Estructura 44
2.4.4 Cableado y protecciones 53

2.4.4.1 Calculo y selección del conductores 55

2.4.4.2 Calculo y selección de las protecciones 57

Capítulo III. Desarrollo del proyecto 59

3.1.1 Dimencionamiento de sistema fotovoltaico interconectado a la red. 59

Capítulo IV. Análisis de resultados 72

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones 73

Referencias 74

INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en una opción eficiente y sostenible para la generación de electricidad. Los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red permiten aprovechar la luz solar para producir energía, generando beneficios económicos y ambientales.

El objetivo principal de este proyecto fue desarrollar un manual de diseño y cálculo de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red para la empresa SIMER. Este manual tiene como propósito proporcionar una guía clara y estructurada que facilite la capacitación de nuevos integrantes. De este modo, se busca reducir errores, optimizar el tiempo de aprendizaje y mejorar la eficiencia en la ejecución de los proyectos fotovoltaicos.

El trabajo está dividido en varios capítulos.

En el Capítulo I, se plantea el problema principal, destacando la falta de un documento técnico en la empresa SIMER. También se exponen el objetivo del proyecto y las preguntas de investigación que orientaron el desarrollo del manual.

En el Capítulo II, se presenta el marco teórico, donde se explican los conceptos fundamentales relacionados con la energía solar, como la irradiancia, la insolación, la geometría solar, el cálculo de paneles e inversores, y la importancia de las estructuras de soporte y el cableado eléctrico.

En el Capítulo III, se describe el desarrollo del proyecto, detallando los pasos seguidos para la elaboración del manual, desde la recopilación de información hasta el diseño de los cálculos y procedimientos.

El Capítulo IV se centra en el análisis de resultados, donde se exponen los beneficios del manual para la empresa y cómo este material facilita la capacitación y disminuye los errores técnicos.

La motivación principal para llevar a cabo este proyecto fue la necesidad de resolver un problema real dentro de la empresa SIMER. La ausencia de un manual técnico generaba dificultades para los nuevos empleados, provocando errores en los cálculos y retrasos en los proyectos. Al crear este documento, se busca no solo mejorar la capacitación de los nuevos integrantes, sino también garantizar la calidad y eficiencia en el desarrollo de sistemas fotovoltaicos, contribuyendo así al crecimiento de la empresa y a la promoción de tecnologías limpias y sostenibles.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa SIMER no cuenta con un manual cálculo de diseño de sistema fotovoltaico, la problemática es cuando un nuevo integrante inicia en SIMER, este nuevo integrante necesita de tener conocimientos básicos del proceso a fin dentro de la empresa.

La empresa SIMER necesita un manual de capacitación para los nuevos integrantes de empresa SIMER, el manual de diseño y cálculo de sistema fotovoltaico que tenga la función de una primera capacitación.

1.1. OBJETIVO

Desarrollar un manual de capacitación en diseño y cálculo de sistemas fotovoltaicos interconectados para la empresa SIMER, con el propósito de proporcionar a los nuevos integrantes una guía estructurada que les permita comprender los fundamentos, metodologías y procesos clave en la implementación de estos sistemas.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El diseño y cálculo de sistemas fotovoltaicos es un proceso técnico que requiere conocimientos específicos en energías renovables, electricidad y normativas vigentes. Actualmente, la empresa SIMER no cuenta con un manual de capacitación que estandarice estos conocimientos, lo que genera dificultades cuando un nuevo integrante se incorpora al equipo. La falta de documentación formal puede provocar errores en los cálculos, demoras en los proyectos y una curva de aprendizaje más prolongada. Por ello, se eligió este tema con el propósito de desarrollar un material estructurado que facilite la formación de nuevos integrantes y garantice la correcta aplicación de los procedimientos técnicos dentro de la empresa.

1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son los principales desafíos que enfrentan los nuevos integrantes de SIMER en el diseño y cálculo de sistemas fotovoltaicos?

¿Qué conocimientos técnicos y normativos son esenciales para la correcta implementación de sistemas fotovoltaicos en la empresa?

¿Cómo puede un manual de capacitación contribuir a la reducción de errores en el cálculo y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos?

¿Cuáles son los principales componentes de un sistema fotovoltaico interconectado a la red y qué función cumple cada uno?

¿Cómo se determina la demanda energética de un cliente para dimensionar un sistema fotovoltaico adecuado?

¿Cómo se calcula el número de paneles solares necesarios en función de la radiación solar disponible y el consumo energético?

¿Qué factores se deben considerar en la selección e inclinación de los paneles solares para optimizar la captación de energía?

¿Cómo se selecciona el inversor adecuado para un sistema fotovoltaico interconectado a la red?

¿Cuáles son las mejores prácticas para la instalación física y estructural de los paneles solares para garantizar su estabilidad y seguridad?

¿Cuál es el procedimiento para conectar el sistema fotovoltaico a la red eléctrica y qué requisitos se deben cumplir con la empresa distribuidora de electricidad?

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Los sistemas fotovoltaicos han experimentado un desarrollo significativo desde su descubrimiento en el siglo XIX hasta su implementación masiva en la actualidad. Su evolución ha estado marcada por avances científicos, mejoras en la eficiencia y la reducción de costos, lo que ha permitido su adopción como una fuente de energía sostenible y viable.

El efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel, quien observó que ciertos materiales podrían generar corriente eléctrica cuando eran expuestos a la luz solar. Sin embargo, no fue hasta 1883 que Charles Fritts fabricó la primera célula solar de selenio recubierta de una fina capa de oro, logrando una eficiencia de conversión de menos del 1%.

A mediados del siglo XX, los avances en la física del estado sólido permitieron el desarrollo de células solares más eficientes. En 1954, los laboratorios Bell en Estados Unidos crearon la primera célula solar de silicio con una eficiencia del 6%, marcando un hito en la historia de la energía solar. Este desarrollo permitió el uso de células fotovoltaicas en aplicaciones espaciales, como en los satélites Vanguard 1 y Telstar en la década de 1950 y 1960.

Durante las décadas de 1970 y 1980, la crisis del petróleo incentivó la investigación y desarrollo de energías renovables, incluyendo la energía solar. Se comenzaron a desarrollar tecnologías más eficientes y económicas, y surgieron los primeros paneles solares comerciales. Durante este período, los gobiernos y organismos internacionales promovieron la investigación en energía fotovoltaica mediante subsidios y proyectos piloto.

El siglo XXI ha sido testigo de una revolución en la tecnología fotovoltaica, con mejoras significativas en la eficiencia de las células solares y una drástica reducción en los costos de producción. Gracias a avances en materiales como el silicio

monocristalino y policristalino, así como la introducción de tecnologías emergentes como las células de perovskita, la eficiencia de conversión ha superado el 20% en muchas aplicaciones comerciales.

La producción en masa y el abaratamiento de los costos han impulsado la adopción de la energía solar a nivel global. Países como China, Estados Unidos y Alemania han liderado la instalación de sistemas fotovoltaicos a gran escala, promoviendo la transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible.

2.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es una tecnología que convierte la luz solar en electricidad mediante el uso de materiales semiconductores, generalmente silicio, a través de un proceso conocido como efecto fotovoltaico. Este tipo de energía es una de las fuentes renovables más accesibles, sostenibles y utilizadas en la actualidad.

El principio fundamental de los sistemas fotovoltaicos radica en el efecto fotovoltaico:

Los fotones de la luz solar inciden sobre las células fotovoltaicas del panel solar.

Los fotones transfieren su energía a los electrones del material semiconductor, generando un flujo de corriente eléctrica.

Este flujo de corriente (corriente continua, DC) es procesado por un inversor para convertirla en corriente alterna (AC), que es apta para ser utilizada por los consumidores o inyectada a la red eléctrica.

Cuando los fotones liberan electrones, se genera una corriente eléctrica directa (DC). Este tipo de corriente es continua, fluye en una sola dirección, y requiere de un inversor para convertirla en corriente alterna (AC), que es la que se utiliza comúnmente en los hogares y redes eléctricas.

2.2.1 IRRADIANCIA SOLAR

La irradiancia solar se define como la cantidad de energía solar que incide por unidad de área sobre una superficie específica. Se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m²) y es una magnitud fundamental para el diseño y cálculo de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red. Este parámetro determina la cantidad de energía disponible en una ubicación determinada y, por ende, influye directamente en la generación de electricidad mediante paneles solares.

La irradiancia solar se compone de los siguientes elementos principales:

Radiación Directa Normal (DNI): Es la radiación solar que llega directamente desde el Sol a una superficie orientada perpendicularmente a los rayos solares. Es crucial para las tecnologías solares de concentración.

Radiación Difusa Horizontal (DHI): Es la radiación dispersada por partículas y moléculas en la atmósfera, que llega a la superficie desde todas las direcciones del cielo.

Radiación Global Horizontal (GHI): Es la suma de la radiación directa y difusa sobre una superficie horizontal. Es el parámetro más utilizado para sistemas fotovoltaicos.

La cantidad y calidad de la irradiancia solar disponible dependen de varios factores:

Latitud y Longitud: Determinan la posición geográfica del lugar y, por consiguiente, los ángulos de incidencia solar.

Estación del Año: La inclinación del eje terrestre provoca variaciones en la irradiancia solar a lo largo del año.

Clima y Condiciones Atmosféricas: Factores como nubosidad, contaminación, polvo y aerosoles pueden reducir la irradiancia solar, principalmente la directa.

Ángulo de Inclinación y Orientación: La captación de energía solar aumenta cuando los paneles están correctamente orientados e inclinados hacia el Sol.

Los datos de irradiancia solar son fundamentales para:

Determinar el número de paneles necesarios y su configuración.
Estimar la energía generada anualmente para evaluar la viabilidad económica del proyecto.
Mejorar la captación de radiación solar para maximizar la eficiencia del sistema.
Detectar obstáculos que puedan reducir la irradiancia disponible y afecten el rendimiento.

Los datos de irradiancia solar se recopilan mediante diversas herramientas y métodos:

Piranómetros: Miden la radiación global (GHI) sobre una superficie horizontal.

Pirheliómetros: Registran la radiación directa normal (DNI).

Satélites Climáticos: Proporcionan datos históricos y modelos de irradiancia en áreas amplias.

Estaciones Meteorológicas: Recopilan información local en tiempo real, como la radiación solar, temperatura y velocidad del viento.

2.2.2 INSOLACIÓN SOLAR

La insolación solar se define como la cantidad de energía solar total recibida en una superficie específica durante un período de tiempo determinado. Este concepto se mide en términos de energía por unidad de área, y su unidad más común es el kilovatio-hora por metro cuadrado por día (kWh/m²/día). Es un indicador clave para evaluar el potencial solar de una región y diseñar sistemas fotovoltaicos eficientes.

Aunque están relacionados, la insolación y la irradiancia son conceptos distintos:

Irradiancia solar: Es la potencia de la radiación solar en un instante específico (W/m^2).
Insolación solar: Es la energía solar acumulada durante un período de tiempo, normalmente un día o un año (kWh/m^2/día).

La cantidad de insolación solar que una superficie recibe depende de diversos factores:

Latitud: Las regiones cercanas al ecuador suelen recibir mayor insolación durante el año.

Estación del año: La inclinación del eje terrestre afecta la cantidad de energía solar recibida en diferentes épocas.

Duración del día: Días más largos, como en verano, implican mayor insolación.

Condiciones atmosféricas: Nubosidad, polvo, aerosoles y contaminación reducen la cantidad de energía solar que llega a la superficie.

Orientación e inclinación de la superficie: Superficies orientadas hacia el sol en el ángulo óptimo captan más energía.

La insolación solar es un parámetro esencial en el diseño de sistemas solares, ya que:

Permite estimar la producción anual de energía: Conocer la insolación solar de una región ayuda a calcular cuánta electricidad puede generar un sistema fotovoltaico.

Optimiza el diseño del sistema: Basándose en los valores de insolación, los ingenieros pueden determinar el número de paneles y la orientación adecuada para maximizar la captación de energía.

Evaluación de viabilidad: La insolación solar es un criterio clave para seleccionar ubicaciones con alto potencial solar y asegurar la rentabilidad del proyecto.

2.3 GEOMETRÍA SOLAR

La geometría solar es el estudio de la posición del sol en relación con un punto específico en la superficie terrestre, a lo largo del tiempo. Este conocimiento es fundamental para el diseño de sistemas solares, ya que determina cómo los rayos solares inciden sobre una superficie, afectando la captación de energía. La geometría solar se basa en la interacción entre la rotación y traslación de la Tierra, así como la inclinación de su eje.

Los cálculos y análisis de la geometría solar dependen de los siguientes parámetros clave:

Declinación Solar (δ): La declinación solar es el ángulo entre el ecuador celeste y la línea que conecta el centro de la Tierra con el centro del Sol. Este valor varía a lo largo del año entre ±23.45°, dependiendo de la época del año, debido a la inclinación del eje terrestre.

Ángulo Horario (ω): Representa el ángulo que el sol ha recorrido sobre el plano ecuatorial desde el mediodía solar. Se mide en grados, donde cada hora equivale a 15° (360°/24h).

Mediodía solar: $\omega = 0°$

Mañana (antes del mediodía): Valores negativos.

Tarde (después del mediodía): Valores positivos.

Ángulo Cenital (θz): Es el ángulo entre los rayos solares y la línea perpendicular a la superficie horizontal del punto de interés. Este ángulo indica qué tan directa es la incidencia solar sobre la superficie.

Ángulo de Altura Solar (α): Es el complemento del ángulo cenital, indicando la elevación del sol respecto al horizonte.

Ángulo de Acimut Solar (γs): Indica la dirección horizontal del sol con respecto al norte geográfico.

En el hemisferio norte: Este positivo, Oeste negativo.

En el hemisferio sur: La convención puede invertirse.

Latitud (φ): La posición geográfica del lugar afecta directamente la geometría solar, ya que define cómo se inclina la trayectoria solar.

Para determinar cómo los rayos solares inciden en una superficie, los siguientes cálculos son fundamentales:

Ecuación del Ángulo de Incidencia (θi): Determina el ángulo entre los rayos solares y la superficie receptora, considerando su orientación (inclinación y acimut del panel). Fórmula:

$$\text{Cos}\theta = \cos(\Theta - ß).\text{cosp.cosw} + \text{sen}(\Theta - ß).\text{senp} \qquad (1)$$

Donde:

θ = ángulo formado por incidencia solar directa sobre el panel inclinado y la incidencia solar horizontal.
Θ = latitud
P= ángulo de inclinación p = ángulo de declinación solar
w = ángulo solar
n = día del año

Duración del Día Solar: Se calcula la cantidad de horas con luz solar, que depende de la latitud y la declinación solar: Fórmula:

$$Duración\ del\ día = 2 \cdot 15 \cdot arccos\ (-tan\ (\varphi) \cdot tan\ (\delta)) \qquad (2)$$

El conocimiento de la geometría solar es fundamental para optimizar el diseño de sistemas solares. Sus aplicaciones incluyen:

Determinación de la orientación e inclinación óptima de los paneles solares para maximizar la captación de energía.

Cálculo de la irradiancia solar efectiva que incide sobre superficies inclinadas.

Diseño de sistemas de seguimiento solar, que ajustan dinámicamente la orientación de los paneles siguiendo la trayectoria solar.

Evaluación de sombras: Permite analizar la obstrucción causada por edificios, montañas u otros objetos en diferentes momentos del día y del año.

2.3.1 ÁNGULO DE INCIDENCIA

Es el ángulo formado entre los rayos solares y la línea perpendicular (normal) a la superficie receptora, como un panel solar o una superficie horizontal. Este ángulo es un parámetro crítico para evaluar la cantidad de radiación solar captada por una superficie, ya que determina qué fracción de la energía solar incide de manera efectiva.

El ángulo de incidencia afecta directamente la eficiencia de los paneles solares. A medida que este ángulo aumenta (es decir, los rayos solares son menos perpendiculares a la superficie), la cantidad de radiación solar captada disminuye. Cuando el ángulo es demasiado grande, parte de la radiación puede reflejarse en lugar de ser absorbida.

En términos prácticos, la máxima captación de energía ocurre cuando el ángulo de incidencia es cercano a 0° (es decir, los rayos solares inciden perpendicularmente a la superficie).

Factores que Influyen en el Ángulo de Incidencia El ángulo de incidencia está determinado por varios factores, incluyendo:

La posición del Sol: Depende de la hora del día, la latitud geográfica y la estación del año.

La orientación de la superficie receptora: Paneles solares inclinados o ajustados con un sistema de seguimiento pueden optimizar el ángulo de incidencia.

El diseño del sistema solar: Los sistemas estáticos tienen ángulos fijos, mientras que los sistemas de seguimiento ajustan continuamente su posición para mantener un ángulo óptimo.

El cálculo del ángulo de incidencia en una superficie inclinada y orientada depende de varios parámetros, como la latitud, la declinación solar, el ángulo horario y los ángulos de inclinación y acimut de la superficie. La ecuación general para el ángulo de incidencia es:

$$\mathrm{Cos}\boldsymbol{\theta} = \cos(\boldsymbol{\theta} - ß).\cos p.\cos w + \mathrm{sen}(\boldsymbol{\theta} - ß).\mathrm{sen}p \qquad (3)$$

2.3.2 DECLINACIÓN SOLAR

La declinación solar juega un papel fundamental en el diseño e implementación de sistemas de paneles solares, ya que afecta directamente la posición del sol en el cielo y, por ende, la captación de radiación solar por parte de los paneles.

La declinación solar afecta la altura del Sol en el horizonte, lo que influye en la cantidad de radiación solar que llega a los paneles.

En el solsticio de verano (δ≈+23.45°), los días son más largos y el Sol alcanza su máxima altura.

En el solsticio de invierno ($\delta \approx -23.45°$), los días son más cortos y el Sol tiene menor altura.

2.3.3 SEPARACIÓN DE PANELES SOLARES

La separación de paneles solares es un aspecto clave en el diseño de un sistema fotovoltaico, ya que asegura que los paneles no proyecten sombras unos sobre otros y maximicen la captación de radiación solar. Esta distancia depende de varios factores, como la ubicación geográfica, la inclinación de los paneles, la altura de las estructuras y el tiempo del año.

Factores que considerar para la Separación de Paneles

Inclinación del Panel: Cuanto mayor sea la inclinación, mayor será la separación necesaria para evitar sombras entre los paneles, especialmente durante el invierno cuando el sol está más bajo en el horizonte.

Altura Solar: La altura solar varía con la latitud y la estación del año. En zonas con latitudes altas, donde el ángulo solar es más bajo, se requiere mayor distancia para evitar sombras.

Latitud del Lugar: En regiones ecuatoriales, donde el sol está más alto durante todo el año, la separación puede ser menor.

En latitudes altas, la separación debe aumentar debido al menor ángulo de elevación solar.

Estación del Año: Es esencial diseñar el sistema teniendo en cuenta el solsticio de invierno, ya que es cuando las sombras son más largas. Esto asegura que los paneles reciban la máxima radiación incluso en los días de menor altura solar.

Orientación de los Paneles: En instalaciones con orientación este-oeste, la separación necesaria puede ser menor que en sistemas orientados estrictamente al sur (en el hemisferio norte) o al norte (en el hemisferio sur).

La distancia mínima entre filas de paneles solares puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$D = L \frac{1}{tan(A)} \tag{4}$$

Donde:

D: Distancia entre filas.

L: Altura del panel (desde la base hasta el punto más alto del panel).

A: Ángulo de altura solar mínima (en el solsticio de invierno).

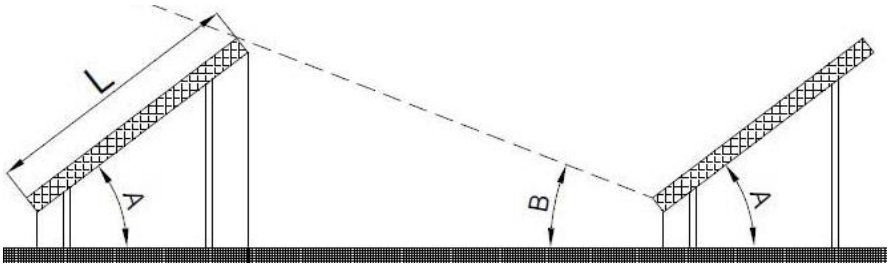


Figura 1. Separación entre paneles solares.

2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO

Un sistema fotovoltaico interconectado a la red es un tipo de instalación solar que genera electricidad a partir de la luz solar mediante paneles solares y la inyecta directamente a la red eléctrica. Este sistema no requiere baterías para almacenar la energía, ya que la electricidad generada se consume directamente o se envía a la red para su uso por otros consumidores.

Componentes Principales:

Paneles solares: Captan la luz solar y la convierten en electricidad en forma de corriente continua (DC).

Inversor: Convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), que es la forma en que se utiliza la electricidad en hogares y empresas.

Medidor bidireccional: Registra tanto la electricidad consumida de la red como la energía generada e inyectada por el sistema fotovoltaico.

Estructura de soporte: Sostiene los paneles solares en la inclinación y orientación óptimas.

Cableado eléctrico: Conecta los paneles al inversor y al medidor, facilitando el flujo de electricidad.

Protecciones eléctricas: Salvaguardan el sistema ante sobrecargas o problemas técnicos.

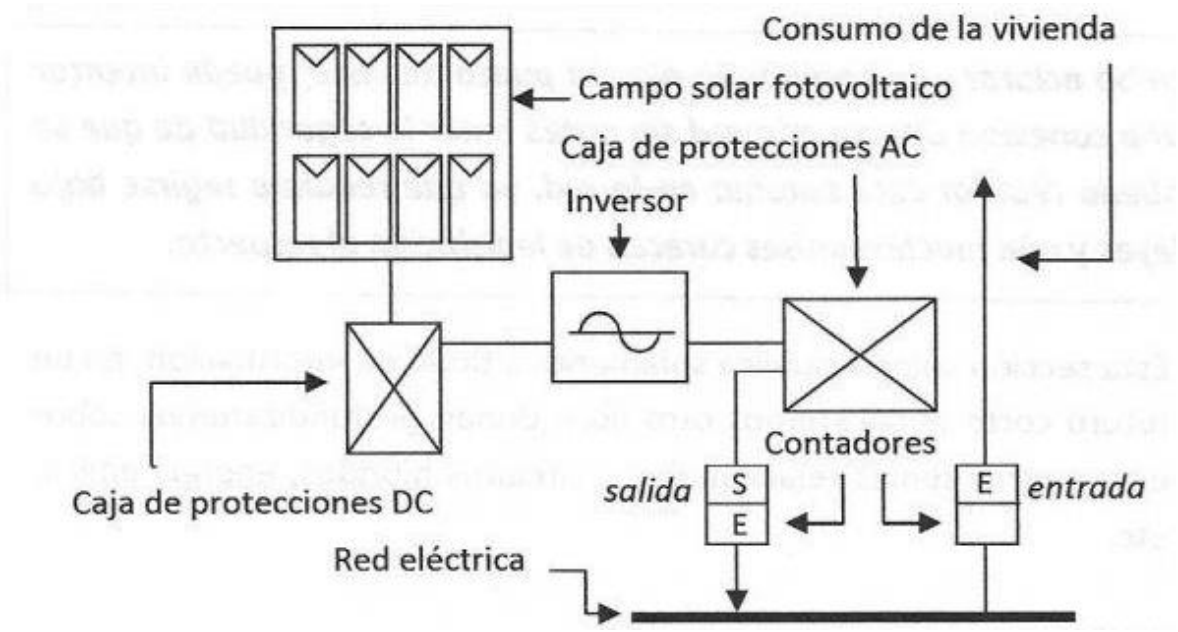


Figura 2. Esquema de sistema fotovoltaico interconectado.

Ventajas de un sistema fotovoltaico interconectado: Disminuye significativamente el pago mensual de electricidad, ya que la energía generada por los paneles sustituye parte o la totalidad del consumo de la red.

En muchos países, el excedente de energía que no consumes se inyecta a la red, generando créditos o descuentos en tu factura.

Reduce la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Contribuye a la lucha contra el cambio climático al disminuir la contaminación.

Los paneles solares tienen una vida útil de 25 a 30 años con un rendimiento estable.

Solo requieren limpieza periódica y revisiones mínimas para garantizar un buen desempeño.

Si el sistema no genera suficiente energía (por ejemplo, en días nublados o por la noche), se toma electricidad de la red eléctrica sin interrupciones.

Al estar interconectado, no requiere sistemas de almacenamiento costosos, lo que reduce la inversión inicial.

Desventajas de un sistema fotovoltaico interconectado:

Aunque los precios han bajado en los últimos años, el desembolso inicial puede ser significativo (paneles, inversor, estructura, instalación).
Dependiendo del consumo y las tarifas eléctricas, el retorno de inversión (ROI) suele tardar entre 4 y 10 años.
La generación de energía depende de la radiación solar, por lo que, en días nublados, lluviosos o durante la noche, el sistema no produce electricidad.
En regiones con baja insolación o estaciones con menos luz solar (invierno) la producción se reduce.

Por seguridad, los sistemas interconectados se apagan automáticamente cuando hay un corte de electricidad en la red pública (a menos que tengas un sistema híbrido con baterías).

No proporciona energía de respaldo en emergencias si no se cuenta con almacenamiento.

Aunque los paneles solares pueden durar 25 a 30 años, los inversores (que convierten la corriente continua en alterna) tienen una vida útil de 10 a 15 años y su reemplazo implica un costo adicional.

2.4.1 PANEL SOLAR

Un panel solar es un dispositivo compuesto por varias células fotovoltaicas conectadas entre sí, cuyo objetivo principal es convertir la luz solar en energía utilizable. Este dispositivo se utiliza en sistemas de generación de energía renovable.

Materiales comunes:

Monocristalino: Alta eficiencia y larga duración. Ideal para espacios reducidos.
Policristalino: Más económico, aunque con menor eficiencia.
Película delgada: Ligero y flexible, pero menos eficiente.

El panel solar monocristalino es un tipo de panel solar fotovoltaico fabricado con células solares de silicio monocristalino. Estas células se distinguen por estar hechas de un solo cristal de silicio puro, lo que les otorga una estructura uniforme y eficiente para la conversión de la luz solar en electricidad.

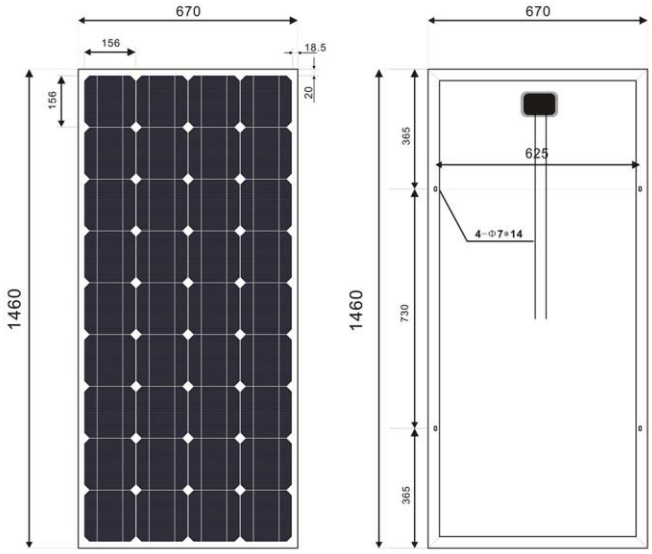


Figura 1. Representación de panel solar monocristalino, imagen sacada de https://energygreen.uy/product-page/panel-solar-150w-monocristalino/

Características del silicio monocristalino:

Las células solares están compuestas por un único cristal de silicio, lo que reduce las imperfecciones internas y mejora la eficiencia.

Estos paneles suelen tener un color negro uniforme debido a la manera en que el silicio interactúa con la luz.

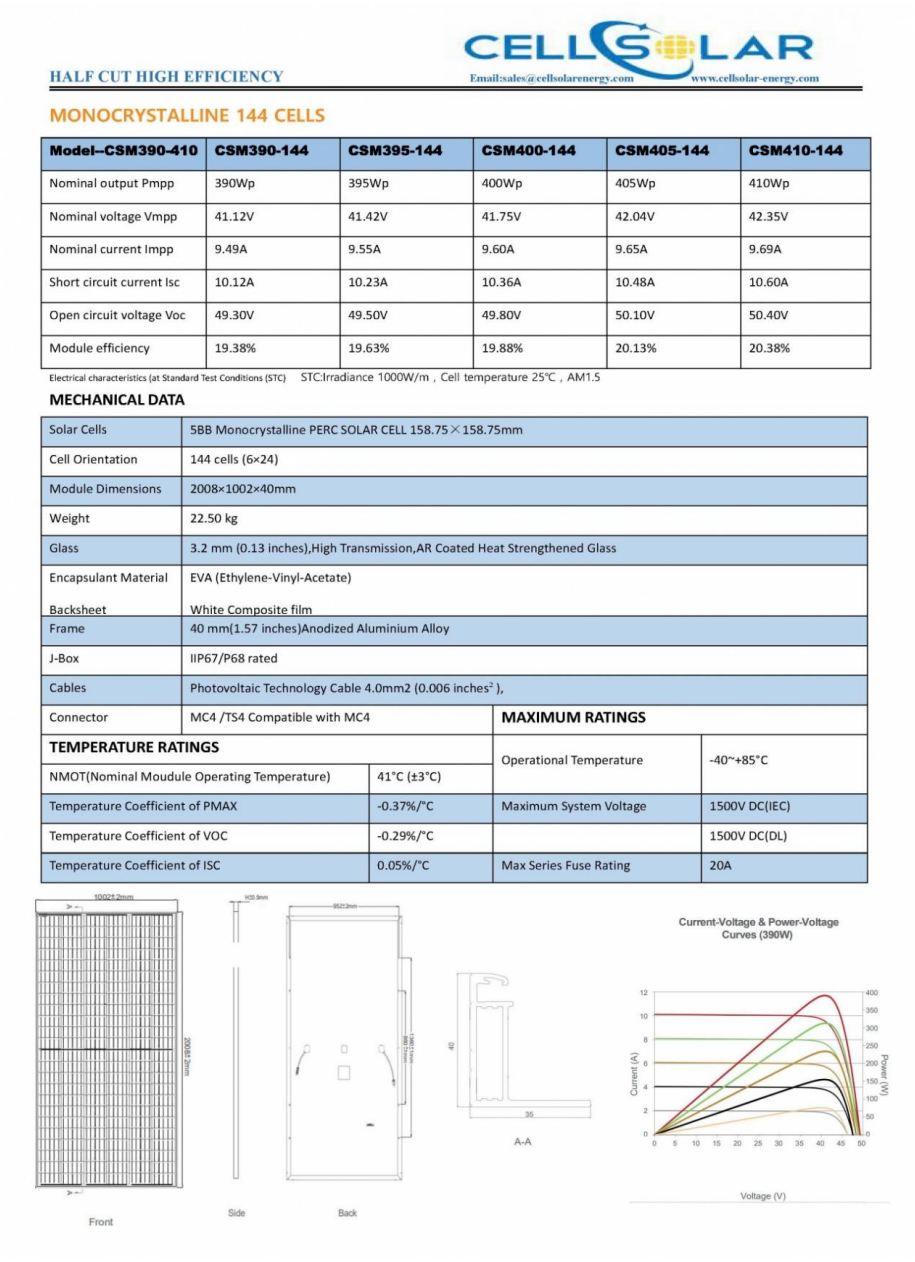
Pueden generar más electricidad en comparación con otros tipos de paneles (como los policristalinos) ocupando el mismo espacio.

Ventajas de los Paneles Monocristalinos:

Suelen tener eficiencias entre el 17% y el 22%, lo que los hace ideales para aplicaciones en espacios limitados.

Larga vida útil (20-25 años), con una pérdida de eficiencia más baja a lo largo del tiempo en comparación con otros tipos de paneles.

Funcionan mejor en situaciones de baja luz solar, como días nublados.



CELLSOLAR

HALF CUT HIGH EFFICIENCY

Email:sales@cellsolarenergy.com www.cellsolar-energy.com

MONOCRYSTALLINE 144 CELLS

Model--CSM390-410	CSM390-144	CSM395-144	CSM400-144	CSM405-144	CSM410-144
Nominal output Pmpp	390Wp	395Wp	400Wp	405Wp	410Wp
Nominal voltage Vmpp	41.12V	41.42V	41.75V	42.04V	42.35V
Nominal current Impp	9.49A	9.55A	9.60A	9.65A	9.69A
Short circuit current Isc	10.12A	10.23A	10.36A	10.48A	10.60A
Open circuit voltage Voc	49.30V	49.50V	49.80V	50.10V	50.40V
Module efficiency	19.38%	19.63%	19.88%	20.13%	20.38%

Electrical characteristics (at Standard Test Conditions (STC)) STC:Irradiance 1000W/m , Cell temperature 25℃ , AM1.5

MECHANICAL DATA

Solar Cells	5BB Monocrystalline PERC SOLAR CELL 158.75×158.75mm
Cell Orientation	144 cells (6×24)
Module Dimensions	2008×1002×40mm
Weight	22.50 kg
Glass	3.2 mm (0.13 inches),High Transmission,AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Backsheet	White Composite film
Frame	40 mm(1.57 inches)Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IIP67/P68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm2 (0.006 inches^2),
Connector	MC4 /TS4 Compatible with MC4

TEMPERATURE RATINGS		MAXIMUM RATINGS	
NMOT(Nominal Moudule Operating Temperature)	41°C (±3°C)	Operational Temperature	-40~+85°C
Temperature Coefficient of PMAX	-0.37%/°C	Maximum System Voltage	1500V DC(IEC)
Temperature Coefficient of VOC	-0.29%/°C		1500V DC(DL)
Temperature Coefficient of ISC	0.05%/°C	Max Series Fuse Rating	20A

Figura 2. Ficha técnica de un panel solar monocristalino, imagen sacada https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/43780

Desventajas de los Paneles Monocristalinos:

Son más caros que los paneles policristalinos debido al proceso de fabricación más complejo.

Aunque su eficiencia es alta, si una parte del panel está sombreada o sucia, el rendimiento general puede reducirse significativamente.

El proceso de fabricación requiere más material y energía que otros tipos de paneles, lo que aumenta su huella inicial de carbono.

Un panel solar policristalino es un tipo de panel fotovoltaico fabricado a partir de múltiples cristales de silicio fundidos juntos. Este tipo de panel se caracteriza por su aspecto azul moteado debido a la estructura desordenada de los cristales en su composición. Es una alternativa más económica a los paneles monocristalinos, aunque con una eficiencia ligeramente menor.

Figura 3. Figura de un panel solar policristalino, imagen sacada https://es.slideshare.net/KevinGuerrero89/panelpolicristalinopdf

Características Principales:

Se producen fundiendo silicio y vertiéndose en un molde cuadrado, que luego se corta en láminas delgadas. Esto genera una estructura multicristalina menos homogénea en comparación con los paneles monocristalinos.

Tienen un color azul característico y una textura irregular debido a la disposición aleatoria de los cristales.

Su eficiencia varía típicamente entre el 15% y el 18%, lo que es ligeramente inferior a la de los paneles monocristalinos.

Son más sensibles a las altas temperaturas, lo que puede reducir su rendimiento en climas calurosos.

Ventajas de los paneles policristalinos

Son más económicos de fabricar debido a un proceso de producción más sencillo que el de los paneles monocristalinos.

Durante la fabricación, se genera menor desperdicio de material en comparación con los paneles monocristalinos.

Ofrecen una solución accesible con un rendimiento aceptable para proyectos residenciales y comerciales.

Aunque menos eficientes, tienen una vida útil similar a los monocristalinos (20-25 años) y son compatibles con diversas aplicaciones.

GM Industrias Fotovoltaicas

FOTOVOLTAICA GM

MÓDULO SOLAR

LLEGCP-350W-24V

La nueva generación de módulos solares LLGC ensamblan células solares policristalinas.
El sistema de clases de potencia permite la proyección a medida de instalaciones fotovoltaicas con la máxima flexibilidad.

Los módulos fabricados por Industrias Fotovoltaicas GM incorporan únicamente células integradas de alta eficiencia. Esto es lo que hace posible obtener un rendimiento solar máximo. Un vidrio solar transparente de 3.2 mm y bastidor fabricado en perfil de aluminio anonizado de 35 o 40 mm garantizan la mejor resistencia y fiabilidad.
Módulos de alta potencia, máxima eficiencia y diferencial de tolerancia positiva que permiten obtener la máxima producción en cualquier emplazamiento

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Categoría	Policristalina

MEDIDAS DEL MÓDULO

Largo x ancho	1996 mm X 992 mm X 40mm
Área	1.904 m²
Grosor	40 mm
Peso	22.5 kg
Eficiencia	17.22 %

DESCRIPCIÓN DE PANELES

Los módulos solares fotovoltaicos GM obtienen un alto rendimiento, están fabricados con materiales de alta calidad, permiten su uso tanto para aplicaciones fotovoltaicas, como en electrificación rural, bombeo de agua, telemetría, antenas de comunicaciones, recargas de baterías.

Figura 4. Ficha técnica de un panel solar policristalino, imagen sacada https://comerciosolar.es/paneles-solares-de-24v/1093-placa-solar-policristalina-llegc-p-350w24v-144-celulas.htm

Desventajas de los Paneles Policristalinos:

Requieren más espacio para generar la misma cantidad de energía que un panel monocristalino debido a su menor eficiencia.

Su rendimiento disminuye más rápidamente en climas cálidos en comparación con los paneles monocristalinos.

Comparación con Paneles Monocristalinos		
Aspecto	**Policristalino**	**Monocristalino**
Eficiencia	15%-18%	17%-22%
Costo	Más económico	Más costoso
Apariencia	Azul moteado	Negro uniforme
Rendimiento térmico	Menos eficiente en calor	Mejor tolerancia a altas temperaturas
Espacio requerido	Más espacio	Menos espacio

Tabla 1. comparación de eficiencia entre paneles.

Los paneles solares de película delgada son un tipo de panel fotovoltaico caracterizado por su ligereza, flexibilidad y delgadez, ya que utilizan capas muy finas de material semiconductor para convertir la luz solar en electricidad. Este tipo de tecnología es diferente de los paneles monocristalinos y policristalinos, ya que no está basado en láminas gruesas de silicio, sino en una deposición de materiales sobre una superficie base, como vidrio, plástico o metal.

Figura 5 Figura de un panel solar de película delgada, imagen sacada https://www.researchgate.net/figure/Panel-de-pelicula-delgada-24_fig1_352667210

Características Principales:

Los paneles de película delgada utilizan materiales alternativos al silicio cristalino, como:

Teluro de cadmio (CdTe).

Seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS).

Silicio amorfo (a-Si).

Las capas semiconductoras suelen tener un grosor de unas pocas micras, haciéndolos mucho más ligeros que otros tipos de paneles.

La eficiencia suele oscilar entre el 10% y el 13%, siendo inferior a la de los paneles monocristalinos o policristalinos.

Ventajas:

Son mucho más ligeros y flexibles, lo que facilita su instalación en superficies curvas o menos convencionales, como techos no estructurales o vehículos.

Son más económicos de producir gracias al uso de menos material y procesos de fabricación más simple.

Mantienen un rendimiento más constante en altas temperaturas y condiciones de baja irradiancia, lo que puede ser ventajoso en ciertas ubicaciones geográficas.

Desventajas:

Su eficiencia es notablemente menor en comparación con los paneles monocristalinos y policristalinos, lo que significa que se requiere más espacio para generar la misma cantidad de electricidad.

Tienen una vida útil menor, que generalmente no supera los 10-15 años, dependiendo del material utilizado.

Sufren una pérdida de eficiencia más acelerada con el tiempo en comparación con otros tipos de paneles.

Algunos materiales, como el teluro de cadmio, pueden plantear preocupaciones ambientales si no se reciclan correctamente.

Aspecto	Película delgada	Monocristalino	Policristalino
Eficiencia	10%-13%	17%-22%	15%-18%
Peso	Ligero	Más pesado	Más pesado
Flexibilidad	Flexible	Rígido	Rígido
Costo	Más económico	Más caro	Moderado
Durabilidad	10-15 años	20-25 años	20-25 años

Tabla 2. de comparación de eficiencia entre tres tipos de paneles.

2.4.1.1 Cálculo del número de paneles solares.

El cálculo del número de paneles solares necesarios para un sistema fotovoltaico depende de varios factores, como el consumo eléctrico, la capacidad de los paneles, la irradiación solar del lugar de instalación y las pérdidas del sistema.

Conocer el Consumo Eléctrico Mensual

El primer paso es determinar cuánta electricidad consume el usuario o la instalación en un mes. Este dato se puede obtener de la factura eléctrica y se mide en kilovatios-hora (kWh).

Por ejemplo:

Consumo mensual promedio: 450 kWh.

Calcular el Consumo Diario.

Divide el consumo mensual entre 30 días para obtener el consumo diario:

$$consumo\ diario = \frac{consumo\ diario}{30} \tag{5}$$

Ejemplo:

$$15\ kWh/dı´a \frac{450\ kwh}{30}$$

Calcular el número de paneles necesarios

El número de paneles necesarios se calcula dividiendo el consumo diario entre la capacidad del panel:

$$número\ de\ paneles = \frac{consumo\ diario}{capacidad\ del\ panel} \tag{6}$$

Ejemplo:

$$número\ de\ paneles = \frac{15\ kWh/día}{2} = 7.5$$

En este caso, se necesitan 8 paneles para cubrir la demanda (redondeando hacia arriba).

Ajustar por Pérdidas del Sistema

Los sistemas fotovoltaicos no son 100% eficientes debido a pérdidas por inversores, cableado, suciedad en los paneles, entre otros. Estas pérdidas suelen ser del 15% al 20**%**.

Para considerar estas pérdidas, incrementa el número de paneles en un factor de ajuste:

$$Número\ ajustado = \frac{Número\ de\ paneles\ calculado}{1-Perdidas} \tag{8}$$

Ejemplo:

Pérdidas estimadas: 15%.

$$número\ ajustado = \frac{8\ paneles\ solares}{(1 - 0.15)} = 9.4$$

Este cálculo del número de módulos se determinó un sistema de 10 módulos.

2.4.2 INVERSOR

El inversor es un componente esencial en los sistemas fotovoltaicos, ya que se encarga de convertir la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC), que es el tipo de electricidad que utilizamos en nuestros hogares y empresas, y que es compatible con la red eléctrica.

Funciones Principales del Inversor:

Transforma la corriente continua, generada por los paneles solares, en corriente alterna, necesaria para alimentar los electrodomésticos y dispositivos eléctricos.

En sistemas interconectados, el inversor sincroniza la electricidad producida con las características de la red (frecuencia y voltaje) para garantizar un flujo seguro y estable.

Algunos inversores avanzados permiten monitorear la producción de energía y el rendimiento del sistema en tiempo real a través de aplicaciones o dispositivos conectados.

Incluyen protecciones contra sobrecargas, cortocircuitos y fallas en la red eléctrica, protegiendo el sistema solar y los dispositivos conectados.
Algunos inversores incluyen funciones como el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés), que optimiza la captación de energía de los paneles solares, incluso en condiciones de sombreado parcial.

Tipos de Inversores:

Inversor centralizado: Se utiliza en sistemas grandes, como granjas solares, donde un único inversor gestiona la conversión de energía de múltiples paneles conectados en serie o paralelo.
Inversor string: Ideal para sistemas residenciales y comerciales. Cada "string" o serie de paneles solares se conecta a un inversor que gestiona la energía de esa cadena.
Microinversores: Cada panel solar tiene su propio inversor, lo que permite un rendimiento independiente. Son ideales para techos con orientación variable o zonas con sombras parciales.
Inversores híbridos: Permiten combinar sistemas interconectados con baterías para almacenar la energía generada, ofreciendo más flexibilidad y autonomía.

Un inversor centralizado es un tipo de inversor utilizado en sistemas fotovoltaicos de gran escala, como granjas solares o instalaciones industriales. Este dispositivo se encarga de convertir la corriente continua (DC) generada por múltiples cadenas de paneles solares en corriente alterna (AC), que puede ser utilizada directamente o inyectada a la red eléctrica.

Figura 6. Imagen de ejemplo un inversor central, imagen sacada https://aserenovables.es/blog/instalacion-de-autoconsumo-electrico-los-inversores-solares/

Características de un Inversor Centralizado:

Está diseñado para manejar una gran cantidad de energía, con capacidades que van desde cientos de kilovatios (kW) hasta varios megavatios (MW).

Recibe la corriente continua de múltiples strings o cadenas de paneles solares y la convierte en corriente alterna desde un único punto.

Se ubica generalmente en una sala técnica o una estructura cercana a los paneles solares, donde se concentran todas las conexiones eléctricas.

Los inversores centralizados suelen tener altas tasas de conversión, con eficiencias que superan el 97%.

Diseñados para operar de manera confiable en instalaciones a gran escala y bajo condiciones climáticas adversas.

Ventajas del Inversor Centralizado.

Perfecto para proyectos de gran tamaño, ya que puede gestionar cientos o miles de paneles solares con un solo dispositivo.

En proyectos grandes, reduce los costos al centralizar el sistema y eliminar la necesidad de múltiples inversores pequeños.

Al ser un único punto de conversión, el mantenimiento y las inspecciones son más fáciles de gestionar.

La alta eficiencia del inversor maximiza la generación de energía en proyectos fotovoltaicos a gran escala.

Desventajas del Inversor Centralizado.

Si el inversor falla, todo el sistema queda inoperativo hasta que se repare, lo que puede resultar en pérdidas de generación significativas.

Al concentrar toda la energía en un único punto, se requieren cables de mayor longitud, lo que puede aumentar las pérdidas de energía y los costos de instalación.

No es ideal para instalaciones con sombras parciales o variaciones en la orientación de los paneles, ya que no optimiza la generación de cadenas individuales.

Debido a su tamaño y capacidad, los inversores centralizados requieren un lugar adecuado para su instalación y ventilación.

Aplicaciones Comunes.

Granjas solares: Ideal para instalaciones de gran escala conectadas a la red eléctrica que producen energía para distribución masiva.

Proyectos industriales: Usados en fábricas o grandes instalaciones comerciales con altas demandas energéticas.

Plantas fotovoltaicas en campo abierto: Centrales solares ubicadas en terrenos grandes donde un inversor centralizado gestiona toda la conversión.

Un inversor string es un tipo de inversor utilizado en sistemas fotovoltaicos que gestiona la conversión de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) para una cadena o "string" de paneles solares conectados entre sí. Es ideal para sistemas residenciales y comerciales de tamaño mediano, ya que ofrece un equilibrio entre capacidad, costo y eficiencia.

Figura 7. Figura de un inversor string, Imagen sacada https://pv-tracker.de/zim-track-system/our-system/

Características del Inversor String.

Cada string o serie de paneles solares se conecta al inversor, lo que permite gestionar múltiples cadenas en sistemas fotovoltaicos más complejos.
Los sistemas se pueden escalar fácilmente al agregar más cadenas de paneles con sus respectivos inversores string.

Los inversores string modernos tienen tasas de conversión de energía cercanas al 96%-98%.

Comparado con los inversores centralizados, los inversores string son más pequeños y fáciles de instalar.

Aunque gestionan múltiples paneles, funcionan como una unidad centralizada, lo que significa que el rendimiento de la cadena puede verse afectado por el panel más débil (sombras, suciedad, etc.).

Ventajas del Inversor String.

Más económico que microinversores y más práctico que los inversores centralizados para aplicaciones residenciales y comerciales.

Su tamaño compacto y diseño modular los hace fáciles de instalar y mantener.
Perfectos para sistemas en crecimiento, ya que es posible agregar más strings e inversores según sea necesario.

Se adapta bien a techos residenciales o instalaciones comerciales de tamaño intermedio.

Proporciona un rendimiento confiable en sistemas con una configuración de paneles uniforme y bien diseñada.

Desventajas del Inversor String.

El desempeño de toda la cadena puede verse afectado si un solo panel tiene sombra o está sucio, ya que los paneles están conectados en serie.
No es ideal para techos con múltiples orientaciones o inclinaciones, ya que cada string debe trabajar bajo condiciones similares.
A diferencia de los microinversores, los inversores string no permiten optimizar el rendimiento de cada panel individualmente.

Aplicaciones Comunes.

Perfectos para hogares con techos que tienen una orientación uniforme y suficiente espacio para una o más cadenas de paneles.

Utilizados en instalaciones comerciales donde las cadenas de paneles están bien alineadas y las sombras no son un problema significativo.

Es una opción ideal para quienes planean expandir su sistema fotovoltaico a largo plazo.

Comparación con Otros Inversores			
Aspecto	**Inversor String**	**Microinversor**	**Inversor Centralizado**
Eficiencia	Alta (96%-98%)	Máxima por panel (98%-99%)	Muy alta en sistemas grandes (>97%)

Costo	Moderado	Más caro	Más económico para grandes escalas
Flexibilidad	Moderada (afectado por sombras)	Alta (independiente por panel)	Limitada en sistemas complejos
Escalabilidad	Fácil de ampliar	Más costoso de ampliar	Muy escalable
Tamaño	Compacto	Pequeño, pero distribuido	Grande

Tabla 3. Comparación de eficiencia entre tipos de inversores.

Los microinversores son dispositivos compactos utilizados en sistemas fotovoltaicos para convertir la corriente continua (DC) generada por cada panel solar en corriente alterna (AC). A diferencia de los inversores centralizados o string, los microinversores se instalan directamente en cada panel, lo que permite que cada módulo funcione de manera independiente. Esto los hace especialmente útiles en sistemas donde la orientación de los paneles, las sombras o las condiciones variables afectan el rendimiento de forma desigual.

Figura 8. Figura de ejemplo un micro inversor, imagen sacada http://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/10-passos-para-voce-escolher-o-melhor-microinversor.

Características de los Micro inversores.

Cada panel tiene su propio microinversor, lo que permite optimizar la producción de energía por separado. Si un panel se sombrea, los demás no se ven afectados.

Tienen un diseño pequeño y se colocan directamente en la parte trasera del panel solar o cerca de él.

Ofrecen tasas de conversión energética elevadas, entre el 95% y el 99%, maximizando la captación energética de cada panel.

Permiten monitorear el rendimiento de cada panel solar en tiempo real, ayudando a identificar problemas específicos.

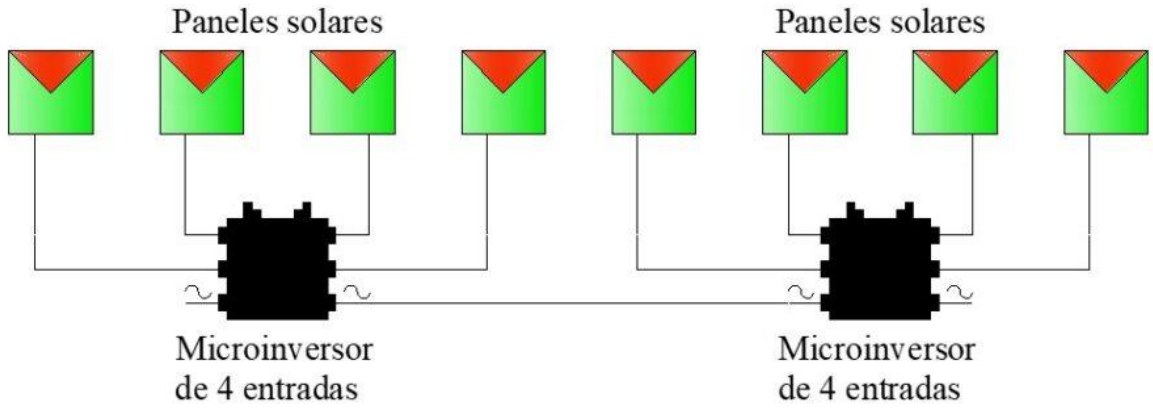


Figura 9. Figura de diagrama de microinversor, imagen sacada https://activosolar.com/inversores-solares/microinversores/

Ventajas de los Microinversores.

Al operar de manera independiente, cada panel trabaja a su punto máximo de potencia, eliminando las pérdidas causadas por sombras o suciedad en otros paneles.

Al monitorear cada panel por separado, es fácil identificar y reparar problemas individuales sin afectar al resto del sistema.

Se adaptan a techos con orientaciones e inclinaciones variables, ya que cada panel opera de manera autónoma.

Dado que convierten la corriente DC en AC directamente en el panel, reducen los riesgos asociados a largas líneas de corriente continua de alta tensión.

Es fácil agregar más paneles al sistema sin necesidad de reemplazar o redimensionar el inversor.

Desventajas de los Micro inversores.

Son más costosos por panel en comparación con los inversores string o centralizados, lo que puede incrementar el presupuesto total del sistema.

Requieren más conexiones eléctricas debido a su diseño individualizado.

Su exposición directa a condiciones climáticas puede afectar su vida útil, aunque los microinversores de alta calidad tienen protecciones contra agua, polvo y temperaturas extremas.

Aunque identifican problemas con facilidad, cada microinversor debe ser inspeccionado o reemplazado por separado en caso de fallos.

Aplicaciones Comunes.

Ideales para hogares con techos irregulares, orientación variable o posibles sombras parciales.
Son útiles en negocios que buscan maximizar la producción en espacios limitados y con diseños no uniformes.
Perfectos para áreas donde las condiciones ambientales y de terreno no garantizan una distribución uniforme de la luz solar.

Comparación con Otros Tipos de Inversores			
Aspecto	**Microinversor**	**Inversor String**	**Inversor Centralizado**
Independencia	Individual por panel	Por cadena de paneles	Todo el sistema
Eficiencia	Máxima (95%-99%)	Alta (96%-98%)	Muy alta (>97%)
Costo inicial	Alto	Moderado	Más económico para grandes escalas
Escalabilidad	Muy alta	Media	Muy alta en grandes proyectos
Sombra/Desempeño	Sin afectación global	Afectado por sombras parciales	Afectado por fallos individuales

Tabla 4. Comparación de eficiencia entre tipos de inversores.

Los inversores híbridos son dispositivos avanzados diseñados para sistemas fotovoltaicos que combinan las funciones de un inversor tradicional y un controlador de carga de batería. Este tipo de inversor permite gestionar la energía generada por los paneles solares, almacenarla en baterías y, al mismo tiempo, integrar con la red eléctrica. Esto los hace ideales para aplicaciones que requieren flexibilidad y confiabilidad en el suministro energético.

Figura 10. Imagen de ejemplo de un inversor hibrido, imagen de https://cceea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/nuevos-inversores-hibridos-y-multimodo-para-sistemas-con-respaldo-de-energia.

Características de los Inversores Híbridos.

Pueden cargar y descargar baterías, gestionando eficientemente el almacenamiento energético.

Funcionan como inversores interconectados, permitiendo inyectar energía a la red eléctrica y consumirla cuando sea necesario.

Priorizan el uso de la energía solar, almacenan el excedente en baterías y utilizan la red como respaldo en caso de que sea necesario.

Pueden funcionar en sistemas fuera de la red (off-grid), interconectados (on-grid) o en sistemas mixtos.

Muchos incluyen herramientas de monitoreo para controlar el consumo, la generación y el estado de las baterías mediante aplicaciones o plataformas en línea.

Ventajas de los Inversores Híbridos.

Permiten utilizar la energía solar de día y aprovechar la energía almacenada en las baterías durante la noche o cortes de electricidad.

Reducen la dependencia de la red eléctrica y aseguran suministro energético en caso de fallos en la red.

Almacenan energía durante períodos de baja demanda, evitando comprar electricidad de la red en horarios de tarifa alta.

Integran todas las funciones en un solo dispositivo, reduciendo costos y simplificando la instalación.
Son perfectos para hogares y negocios que buscan un equilibrio entre autoconsumo, almacenamiento y respaldo de la red.

Desventajas de los Inversores Híbridos.

Son más costosos que los inversores string o centralizados, especialmente cuando se combinan con baterías de alta capacidad.

Para aprovechar todo su potencial, necesitan baterías, lo que puede aumentar significativamente el costo total del sistema.

La vida útil de las baterías puede ser menor que la de los paneles o el inversor, lo que implica gastos adicionales a largo plazo.

Su instalación y configuración requieren más conocimiento técnico en comparación con los inversores convencionales.

Aplicaciones Comunes.

Ideales para hogares que buscan almacenar energía para uso nocturno o durante cortes de suministro.

Utilizados por empresas para reducir costos durante horarios de tarifa alta y garantizar suministro en emergencias.

Perfectos para ubicaciones sin acceso confiable a la red eléctrica, al combinar energía solar y almacenamiento.

Aplicados en sistemas que requieren integración de energía renovable, almacenamiento y red eléctrica.

Comparación con Otros Inversores			
Aspecto	**Inversor Híbrido**	**Inversor String**	**Inversor Centralizado**
Baterías	Compatible	No compatible	No compatible
Costo inicial	Alto	Moderado	Más bajo para sistemas grandes
Independencia energética	Alta (con baterías)	Baja (dependiente de la red)	Baja (dependiente de la red)
Flexibilidad	Muy alta	Moderada	Baja
Complejidad de instalación	Alta	Baja	Moderada

Tabla 5. comparación de eficiencia con otros tipos de inversores.

2.4.2.1 Calculo del número de inversores.

El cálculo del número de inversores necesarios en un sistema fotovoltaico depende de varios factores clave, como la capacidad total del sistema, las especificaciones de los inversores y el diseño de las cadenas o strings de paneles solares.

Determinar la Potencia Total del Sistema.

Suma la capacidad de todos los paneles solares en el sistema para conocer la potencia total instalada:

$$(\text{kWp}) = \text{Cantidad de paneles} \times \text{Potencia por panel (kWp)} \quad (9)$$

Ejemplo:

20 paneles solares, cada uno de 400 Wp (0.4 kWp)

Potencia total del sistema=20×0.4=8 kWp

Capacidad del Inversor

Verifica la capacidad nominal de cada inversor, que usualmente se indica en kilovatios (kW). Generalmente, la capacidad del inversor debe coincidir o ser ligeramente inferior a la potencia total del sistema.

Recomendación: La capacidad del inversor puede ser del 80% al 100% de la potencia total del sistema (esto se llama "sobredimensionamiento" de los paneles). Esto asegura que el inversor funcione de manera eficiente.

Ejemplo:

Si la potencia total del sistema es 8 kWp, podrías seleccionar un inversor de entre 6.4 kW (80%) y 8 kW (100%).

Capacidad del inversor.

El inversor no siempre necesita igualar la potencia total de los paneles, ya que los paneles rara vez operan a su capacidad máxima debido a factores como las condiciones climáticas.

Generalmente, el inversor tiene una capacidad entre el 80% y el 125% de la potencia del sistema:

$$Capacidad\ del\ inversor = Potencia\ total\ del\ sistema \times Factor\ de\ ajuste. \quad (10)$$

Ejemplo Práctico.

Potencia total de paneles: 10 kWp.
Factor de ajuste: 90% (0.9).

Cálculo de la capacidad del inversor:

Capacidad del inversor=10×0.9=9 kW.

Resultado: Necesitas un inversor de 9 kW o cercano, ajustando siempre por pérdidas y requisitos de conexión.

Validar las Características del Inversor

Además del cálculo, verifica:

Rango de voltaje de entrada: Asegúrate de que el inversor pueda manejar la tensión de los strings de paneles solares.
Corriente máxima de entrada: Comprueba que la corriente generada por los paneles no supere el límite del inversor.
Capacidad del MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia): Cada inversor tiene un número limitado de entradas MPPT. Esto determina cuántos strings pueden conectarse de manera independiente al inversor.

2.4.3 ESTRUCTURA

La estructura en un sistema fotovoltaico se refiere al conjunto de soportes y componentes mecánicos diseñados para sostener los paneles solares, garantizar su estabilidad y asegurar que estén instalados en la orientación y el ángulo de inclinación óptimos para maximizar la captación de radiación solar. Es un elemento crucial, ya que influye en el rendimiento del sistema y en su durabilidad.

Características de una Buena Estructura:

Fabricada con materiales robustos como aluminio, acero galvanizado o acero inoxidable, que resisten la corrosión, el viento, la nieve y otros factores climáticos.

Debe garantizar que los paneles permanezcan fijos incluso en condiciones adversas como vientos fuertes o terremotos, dependiendo del diseño local.

Diseñada para adaptarse al tipo de superficie donde se instalan los paneles, como techos inclinados, techos planos, suelos o estructuras flotantes.

Permite ajustar los paneles en el ángulo óptimo según la latitud del lugar para maximizar la captación de luz solar.

Compatible con el tamaño, peso y tipo de paneles solares utilizados.

Estructura de aluminio

Las estructuras para sistemas solares solían construirse principalmente con acero galvanizado. Sin embargo, en las últimas dos décadas, el aluminio ha desplazado al acero en muchos proyectos debido a:

Su resistencia al deterioro ambiental sin necesidad de mantenimiento constante.

Su adaptabilidad para tecnologías innovadoras como los seguidores solares y los sistemas bifaciales.

El uso de estructuras de aluminio en sistemas fotovoltaicos es altamente eficiente y versátil, ya que combina ligereza, resistencia a la corrosión y durabilidad en diversos entornos. Estas estructuras están diseñadas para soportar los paneles solares.

El aluminio es significativamente más liviano que otros materiales estructurales como el acero. Esto facilita el transporte e instalación, especialmente en techos o superficies con limitaciones de carga.
Resistencia a la corrosión forma naturalmente una capa de óxido de aluminio que actúa como barrera contra la corrosión, haciéndolo ideal para ambientes húmedos, costeros o con alta salinidad.

Las estructuras de aluminio deben cumplir con las normativas locales e internacionales para garantizar seguridad y durabilidad.

IEC 61215: Requisitos para paneles solares, que afectan el diseño de las estructuras de soporte.

NOM-001-SEDE-2012: Instalaciones eléctricas en México.

IEC 62930: Certificaciones relacionadas con instalaciones solares.

2.4.3.1 Bases de diseño de estructuras

Las bases de diseño de estructuras para sistemas fotovoltaicos son un conjunto de principios y criterios técnicos que deben considerarse al planificar y construir una estructura de soporte para paneles solares. Estas bases garantizan la seguridad, estabilidad, durabilidad y eficiencia de la instalación.

El diseño debe considerar todas las cargas que la estructura debe soportar.

Peso de los paneles solares, la estructura y cualquier componente adicional (como inversores o cableado).

Factores temporales como personas que realicen mantenimiento.

Las estructuras deben diseñarse para resistir vientos fuertes de acuerdo con las normativas locales (por ejemplo, la velocidad del viento en m/s).

En climas fríos, es importante prever el peso adicional de la nieve acumulada.

En zonas sísmicas, la estructura debe diseñarse para resistir fuerzas laterales generadas por terremotos.

Análisis del Terreno o Superficie.

El tipo de terreno o superficie afecta directamente el diseño de la estructura.

Techos inclinados :Aprovechan la inclinación del techo, minimizando la cantidad de soporte adicional.

Techos planos: Necesitan estructuras con ángulos ajustables para optimizar la inclinación de los paneles.

Suelos: Requieren cimentación adecuada, como bases de concreto o anclajes al terreno, para asegurar estabilidad.

Tipos de Techos Inclinados.

Los techos inclinados son ideales para instalaciones fotovoltaicas porque su pendiente natural permite aprovechar al máximo la orientación del techo, reduciendo la necesidad de estructuras de soporte adicionales.

Tejas (cerámicas o de concreto).

Necesitan sistemas de montaje específicos que no perforen o dañen las tejas.

Verificar que las vigas del techo soporten el peso de los paneles y la estructura.

Evalúa la inclinación del techo y la orientación hacia el sol para optimizar la producción de energía.

Características.

Las tejas son frágiles y pueden quebrarse fácilmente si no se manejan correctamente.

Es importante evitar perforar las tejas directamente, ya que esto podría provocar filtraciones de agua.

Lámina metálica.

Fáciles de adaptar, los paneles se fijan con soportes diseñados para sujetarse a las ondulaciones del metal.

Si se perfora la lámina, utilizar selladores de silicona o neopreno para evitar fugas.

Asegúrate de que la estructura de la lámina pueda soportar el peso del sistema.

Características.

Es un material liviano y fácil de perforar, lo que lo hace más práctico para la instalación.
Existen diferentes tipos de láminas (onduladas, trapezoidales, etc.), y cada una requiere métodos específicos de fijación.

Techos de fibrocemento.

Su estructura ligera requiere una evaluación de resistencia antes de instalar los paneles.
Evalúa el peso total del sistema para evitar sobrepasar los límites estructurales del fibrocemento.
Minimiza el tránsito sobre el fibrocemento para evitar fracturas.
Si la resistencia es insuficiente, considera reforzar el techo desde el interior con vigas o perfiles de soporte adicionales.

Características.

Este material es más frágil y no soporta directamente pesos elevados.
Es necesario distribuir las cargas de manera uniforme para evitar daños.

Techo plano.

En techos planos, la instalación de paneles solares requiere estructuras que no solo los sostengan de manera segura, sino que también proporcionen la inclinación adecuada para maximizar la captación solar.

Sistemas de Estructuras para Techos Planos.

Existen dos sistemas principales que se emplean en este tipo de instalaciones.

Estructuras con balasto: Utilizan contrapesos (lastres) para fijar los paneles sin necesidad de perforar el techo, lo que protege la impermeabilidad de la cubierta.

Ideales para techos con una buena capacidad de carga y donde no se quiera comprometer la integridad estructural.

Figura 11. Imagen de ejemplo de instalación con balasto, imagen de https://es.bluesunpv.com/support-de-panneau-solaire-au-sol-ballast_p107.html

Estructuras ancladas: Requieren perforaciones para fijar las bases al techo.

Figura 12. Imagen de ejemplo de instalación anclada, imagen de https://es.bluesunpv.com/support-de-panneau-solaire-au-sol-ballast_p107.html

Son más resistentes a condiciones climáticas adversas, como fuertes vientos, pero deben sellarse cuidadosamente para evitar filtraciones de agua.

Las estructuras con balasto son sistemas de montaje diseñados para instalar paneles solares en superficies planas (como techos planos) sin necesidad de perforaciones o anclajes directos al techo. Estas estructuras utilizan contrapesos o lastres (normalmente bloques de concreto, sacos de arena u otros materiales pesados) para mantener los paneles en su lugar y garantizar su estabilidad frente a condiciones climáticas adversas, como fuertes vientos.

Características de las Estructuras con Balasto.

No perforan ni dañan la superficie del techo, lo que protege la impermeabilidad y evita riesgos de filtraciones.
Requieren menos tiempo y herramientas en comparación con sistemas anclados.
Pueden adaptarse a diferentes configuraciones de paneles y a las necesidades específicas del sitio.
Se distribuyen los contrapesos para garantizar que la estructura no se desplace por efecto del viento o movimientos inesperados.

Ventajas de las Estructuras con Balasto.

Al no perforar la superficie, se preserva la impermeabilidad y se evitan futuras reparaciones por filtraciones.
Son ideales para techos arrendados o instalaciones temporales, ya que pueden desmontarse sin dejar daños permanentes.
Funcionan en techos planos con materiales como concreto, membrana impermeable, lámina metálica o asfalto.
Sin perforaciones, se eliminan problemas asociados con el deterioro de sellos o anclajes.

Inspección del techo: Capacidad de carga: Evalúa si el techo puede soportar el peso combinado de los paneles, las estructuras y los balastos.

Estado del techo: Revisa que la superficie esté en buen estado, sin filtraciones, daños o irregularidades significativas.

Estructuras ancladas.

Las estructuras ancladas son sistemas de montaje para paneles solares que requieren fijar directamente los soportes al techo o al suelo mediante perforaciones y anclajes. Estas estructuras son ideales en situaciones donde se necesita mayor estabilidad, especialmente en áreas con condiciones climáticas adversas, como fuertes vientos o lluvias intensas.

Características de las Estructuras Ancladas.

Se perfora la superficie del techo o suelo para asegurar los soportes.
Las perforaciones se sellan cuidadosamente para evitar filtraciones de agua en techos o el debilitamiento del terreno.
Ofrecen mayor resistencia frente a desplazamientos causados por viento o vibraciones.
Funcionan en distintos tipos de techos y suelos, adaptándose al diseño del lugar.
Son ideales para instalaciones de largo plazo, donde no se requiere retirar el sistema frecuentemente.

Evaluación inicial: Verifica la resistencia de la estructura (techo o suelo) donde se instalarán los paneles.

Comprueba que no existan grietas, humedad o daños en las superficies que puedan comprometer la fijación.

Colocación de las bases ancladas: Fija las bases metálicas (generalmente de acero galvanizado o aluminio) al techo o suelo mediante pernos o tornillos.

Asegúrate de usar selladores impermeables para techos, como silicona o juntas de neopreno, en cada perforación para evitar filtraciones de agua.

Figura 13. Imagen de ejemplo de fijación y sellado en cada perforación.

Ventajas de las Estructuras Ancladas.

Ofrecen estabilidad superior, especialmente frente a condiciones climáticas como vientos fuertes o nevadas.
Las estructuras bien ancladas tienen una vida útil prolongada y requieren poco mantenimiento.
Pueden instalarse en distintos tipos de superficies, tanto en techos como en suelos.
Son ideales para instalaciones permanentes en residencias, edificios comerciales o granjas solares.

2.4.4 CABLEADO Y PROTECCIONES

Cableado en Sistemas Fotovoltaicos.

Tipos de Cables Utilizados.

Cables fotovoltaicos (DC): Conectan los paneles solares con el inversor. Deben ser cables especiales para sistemas fotovoltaicos, como PV Wire o solar cables, que cumplen con requisitos de alta tensión y resistencia a condiciones extremas.

Características principales: Aislamiento resistente a rayos UV, temperaturas extremas y humedad. Doble aislamiento para mayor seguridad. Resistencia a la abrasión.

Sección del cable	Intensidad máxima	Potencia máxima en 12 Vcc	Potencia máxima en 24 Vcc	Potencia máxima en 48 Vcc	Potencia máxima en 220 Vac
1,5 mm2	11 A	132 W	264 W	528 W	2.420 W
2,5 mm2	15 A	180 W	360 W	720 W	3.300 W
4 mm2	20 A	240 W	480 W	960 W	4.400 W
6 mm2	25 A	300 W	600 W	1.200 W	5.500 W
10 mm2	34 A	408 W	816 W	1.632 W	7.480 W
16 mm2	45 A	540 W	1.080 W	2.160 W	9.900 W
25 mm2	59 A	708 W	1.416 W	2.832 W	12.980 W

Figura 14. Imagen de tabla de apoyo de calibre de cable fotovoltaico, información sacada de https://krannich-solar.com/mx-es/blog/eleccion-de-conductores-electricos-y-protecciones-en-ca/

Cables para corriente alterna (AC**)**: Transportan la energía desde el inversor hasta el punto de consumo o conexión a la red eléctrica. Suelen ser cables estándar de baja tensión, como los cables THHN o similares.

Tabla AWG Según el Amperaje		
Sección AWG	Sección mm^2	Corriente (Amperios)
20	0.5	3
18	1	7
16	1,5	10
14	2,5	15
12	4	20
10	6	30
8	10	40
6	16	55
4	25	70

Figura 17, Tabla de apoyo de calibre de cable, imagen de https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/electricidad-industrial/cables-electricos-corriente-alterna/

Conductores de puesta a tierra:

Conectan las estructuras metálicas y los paneles al sistema de puesta a tierra para evitar riesgos de descargas eléctricas.

Protecciones en Sistemas Fotovoltaicos

Protecciones contra Sobre corrientes

Interruptores termomagnéticos:
Protegen contra cortocircuitos y sobrecargas en el lado DC del sistema.
Deben ser seleccionados según la corriente máxima del string de paneles solares y la capacidad del inversor.

Interruptores automáticos (breakers):
En el lado AC, los interruptores protegen los circuitos de salida del inversor y el sistema conectado a la red.

Es importante que sean compatibles con la corriente nominal y la tensión de operación.

Puesta a Tierra.

Importancia de la Puesta a Tierra.

Minimiza el riesgo de choques eléctricos y protege los equipos contra descargas.
Los paneles, las estructuras metálicas y los inversores deben estar conectados a un sistema de tierra común.

Requisitos Básicos.

Se debe usar un cable de puesta a tierra con sección adecuada.
Los conductores de puesta a tierra deben ser de cobre u otro material altamente conductor.

2.4.4.1 CALCULO Y SELECCIÓN DEL CONDUCTORES

Cable Fotovoltaico (DC).

Para el lado AC, el cálculo considera la corriente alterna y las pérdidas por caída de tensión:

$$SDC = \frac{2 \cdot I \cdot L}{\rho \cdot \Delta V} \qquad (10)$$

Donde:

I: Corriente nominal en amperios (A).
L: Longitud total del recorrido (ida y vuelta, en metros).
ρ: Resistividad del material (0.01780 para cobre y 0.0280 para aluminio).
ΔV: Caída de tensión permisible (en voltios).

Normativa.

Cumplir con estándares como **IEC 62930** y **UL 4703**, que regulan los cables solares.

Selección Comercial.

Según el cálculo, selecciona cables normalizados de 4 mm², 6 mm², 10 mm², o mayores.

Sección del cable	Intensidad máxima	Potencia máxima en 12 Vcc	Potencia máxima en 24 Vcc	Potencia máxima en 48 Vcc	Potencia máxima en 220 Vac
1,5 mm2	11 A	132 W	264 W	528 W	2.420 W
2,5 mm2	15 A	180 W	360 W	720 W	3.300 W
4 mm2	20 A	240 W	480 W	960 W	4.400 W
6 mm2	25 A	300 W	600 W	1.200 W	5.500 W
10 mm2	34 A	408 W	816 W	1.632 W	7.480 W
16 mm2	45 A	540 W	1.080 W	2.160 W	9.900 W
25 mm2	59 A	708 W	1.416 W	2.832 W	12.980 W

Figura 15. Imagen de tabla de calibre de cable fotovoltaico, imagen de https://eliseosebastian.com/calcular-cables-conductores-para-paneles-fotovoltaicos-3/

Cable para AC.

El cable de corriente alterna conecta el inversor al cuadro eléctrico o red de consumo.

Para el lado AC, el cálculo considera la corriente alterna y las pérdidas por caída de tensión:

$$SAC = \frac{I \cdot L}{\rho \cdot \Delta V} \tag{11}$$

Donde los parámetros son los mismos que en DC, adaptados a las condiciones de corriente alterna.

Calibre	Resistencia AC a 20°C	Calibre	Resistencia AC a 20°C	Corriente a transportar	Comparación porcentual de pérdidas por efecto Joule RI^2, para la misma corriente DC	
AWG	Ωhm/km	mm²	Ωhm/km	A	AWG	mm²
14	8.88	2.5	7.98	35	100%	86%
12	5.58	4	4.95	40	100%	84%
10	3.51	6	3.3	55	100%	91%
8	2.23	10	1.91	80	100%	80%
6	1.4	16	1.21	105	100%	81%

Figura 16. Imagen de tabla de calibres de cable, imagen de https://www.ecozaque.com/2023/07/31/los-conductores-electricos-en-tus-sistemas-fotovoltaicos-son-los-correctos/}

Comparación entre Cable Fotovoltaico y Cable para AC		
Aspecto	**Cable Fotovoltaico (DC)**	**Cable para-AC**
Corriente	Corriente continua	Corriente alterna
Tensión nominal	600V, 1000V, o hasta 1500V	220V, 380V (según el sistema)
Material	Cobre estañado o aluminio	Cobre o aluminio
Aplicación	Desde los paneles al inversor	Desde el inversor a la red
Normativa	IEC 62930, UL 4703	NOM-001-SEDE-2012, IEC 60364

Tabla 6, Comparación de cable solar DC y cable AC.

2.4.4.2 CALCULO Y SELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES

Protección contra Sobrecorrientes Interruptores.

Se colocan en las cadenas de paneles solares para proteger contra sobrecorrientes. El valor nominal debe ser mayor que la corriente máxima del sistema multiplicada por un factor de seguridad.

$$Interruptor = 1.25 \cdot I \tag{12}$$

Donde:

I: Corriente del módulo fotovoltaico.

1.25: Factor de seguridad considerando irradiancia y tolerancia.

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A LA RED.

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red implica calcular la capacidad y los componentes necesarios para satisfacer las necesidades energéticas de un lugar específico.

El primer paso es determinar cuánta energía necesita generar el sistema fotovoltaico. Esto se logra analizando 12 meses retroactivos a partir del último recibo de energía por parte de Comisión Federal de Electricidad como se muestra en la figura 20:

CFE Suministrador de Servicios Básicos

MONTES QUECHOL VALENTE
L CARDENAS SUR 6 2 CP.72860
EMILIANO ZAPATA Y ABASOLO
TEMOXTITLA X CHIPILO07#. C.P. 72498
SN 6 TEMOXTITLA, PUE.
NO. DE SERVICIO : 216141001801
NO. DE SERVICIO (RMU): 72498 14-10-15 XAXX-010101 006 CFE

TOTAL A PAGAR:
$237.00
(DOSCIENTOS TREINTA Y SIETE PESOS 00/100 M.N.)

PERIODO FACTURADO: 16 MAR 18 - 16 MAY 18

TARIFA: PDBT NO. MEDIDOR: 773K7A MULTIPLICADOR: 1 LÍMITE DE PAGO: 01 JUN 18 CORTE A PARTIR: 02 JUN 18

Concepto	Lectura actual Medida ● Estimada ●	Lectura anterior Medida ● Estimada ●	Total periodo	Precio (MXN)	Subtotal (MXN)
Energía (kWh)	02698	02658	40		

Figura 17. Imagen de ejemplo frontal del recibo de luz CFE.

En tarifa residenciales la facturación es bimestral, por lo que se deberán contemplar los últimos 6 recibos, como ejemplo, ver la Figura 20.

Periodo	kWh	Importe	Pagos	Pendientes de Pago
del 21 SEP 20 al 19 NOV 20	264	$284.00	$284.00	
del 22 JUL 20 al 21 SEP 20	232	$50.00	$50.00	
del 21 MAY 20 al 22 JUL 20	191	$194.00	$194.00	
del 20 MAR 20 al 21 MAY 20	347	$469.00	$469.00	
del 20 ENE 20 al 20 MAR 20	239	$154.00	$154.00	
del 19 NOV 19 al 20 ENE 20	284	$309.00	$309.00	
del 18 SEP 19 al 19 NOV 19	225	$229.00	$229.00	
del 19 JUL 19 al 18 SEP 19	237	$230.00	$230.00	
del 20 MAY 19 al 19 JUL 19	243	$236.00	$236.00	
del 19 MAR 19 al 20 MAY 19	256	$259.00	$259.00	
del 17 ENE 19 al 19 MAR 19	264	$36.00	$36.00	

Figura 18. Imagen de ejemplo de recibo CFE, el consumo histórico.

Cálculo del consumo promedio diario.

Se realiza el promedio del historial de consumo energético de los siguientes periodos siguiendo los datos de la tabla 7.

Periodo	kWh
Del 21 Sep al 19 Nov	1506
Del 22 Jul al 22 Sep	1425
Del 21 May al 22 Jul	1432
Del 20 Mar al 21May	1450
Del 20 Ene al 20 Mar	1581
Del 19 Nov al 20 Ene	1736
Promedio	1521.67

Tabla 7, Información de historial de consumo.

$$Promedio\ diario = \frac{1521.67\ kWh}{60\ dia} \tag{13}$$

Para determinar el resultado final del promedio diario, es necesario calcular el promedio 1521.67 kWh y dividirlo entre el periodo de 60 días

$$Promedio\ diario = 25.36\ kWh \tag{14}$$

El resultado final del cálculo del promedio diario.

Determinar la potencia fotovoltaica necesaria.

La potencia fotovoltaica requerida depende del consumo promedio diario y de las Horas Pico de Sol (HPS) disponibles en la ubicación del proyecto. Las HPS son las horas promedio diarias en las que la irradiancia solar es de 1000 W/m².

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{25.36\ kwh}{5\ horas} = 5.07kWp \tag{15}$$

El procedimiento del cálculo del sistema, se deberá calcular el resultado del promedio diario y dividirlo entre las horas pico de sol para obtener la potencia para determinar la capacidad del sistema fotovoltaico y logre cubrir la demanda.

Las 5 horas pico de sol se tomó como ejemplo estimado en la zona. Se muestra la Figura 21.

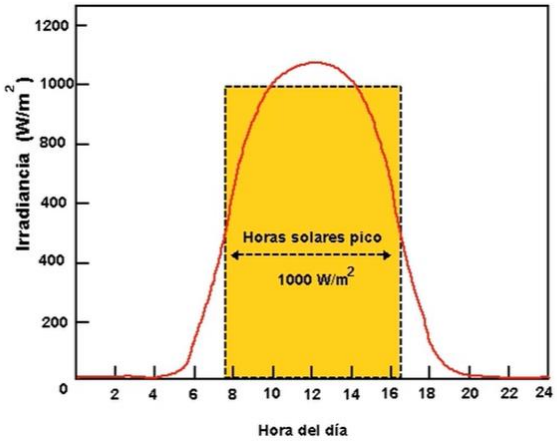


Figura 19. imagen de ejemplo de horas sol pico, Información sacada de https://www.bing.com/ck/a?!&&p=3ac54a7447976daa5a5cef05a3073a7608a31d7e9fc057f93c9615a55f7b16a6JmltdHM9MTc0MzQ2NTYwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&fclid=236023f7-2b9e-6ee5-11a5-37fe2afd6fd7&psq=calcular

Cálculo del número de módulos.

Con la potencia fotovoltaica calculada, se calcula el número de paneles solares necesarios. Esto depende de la potencia pico del módulo seleccionado, normalmente de 550 W en la empresa SIMER.

$$Número\ de\ modulo = \frac{5.07kwp}{0.55kwp} \tag{16}$$

Para el cálculo del numero de módulos que se requiere el sistema fotovoltaico, la potencia fotovoltaica se dividirá entre la potencia del módulo.

$$Número\ de\ modulo = 9.2 \tag{17}$$

Se muestra el resultado del cálculo.

$$Número\ de\ modulo = 10 \tag{18}$$

Se deberá de redondear el resultado de 9.2 a 10.

ODA550-36V-MH

Potência nominal máx. (Pmáx)	550W
Tolerância	0~+3%
Tensão operacional máx.(Vmp)	42.10V
Corrente operacional máx. (Imp)	13.06A
Tensão de circuito aberto (Voc)	50.10V±3%
Corrente de curto circuito (Isc)	14.01A±3%
Eficiência do módulo	21.30%
Tensão máxima do sistema	1500VDC
Classe de segurança contra incêndio	C
Carga de mecânica testada 5400pa	5400pa
Classificação máx. de fusíveis da série	25A
Classificação da aplicação	Classe A
Tecnologia da célula Sílicio	Monocristalino-Perc
Peso (Kg)	28.40
Dimensões (mm)	2279*1134*35

Padrão de teste (STC)
Am=1.5 E=1000 W/m² TC=25℃

Manufacturer: Ningbo Osda Solar Co., Ltd.
Website: www.osdasol.com Contact:+0086-574-87913266

Figura 20. imagen apoyo de ficha técnica, información sacada de https://www.pichau.com.br/painel-solar-fotovoltaico-osda-550w-2279x1134x35mm-oda550-36-mh

Se muestra la Figura 22, como ficha tecnica de apoyo de datos del panel solar que se utilizaran en el sistema fotovoltaico.

Selección del inversor.

El inversor convierte la energía generada de Corriente Directa (DC) a Corriente Alterna (AC). Si la potencia fotovoltaica requerida es de 5.07 kWh: El inversor debe manejar al menos el 80%-125% de la potencia nominal del sistema.

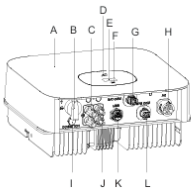
$$Capacidad\ del\ inversor = 5.07kW\ X\ 1.25 \tag{19}$$

Se muestra el cálculo de capacidad del inversor, la potencia fotovoltaica se multiplicará por 1.25 de la potencia nominal.

$$Capacidad\ del\ inversor = 6.34\ kW \tag{20}$$

Obtenemos la capacidad del inversor, el inversor lo vamos a seleccionar con base al voltaje de red del sitio y a la potencia requerida para cubrir la necesidad. Considerando que la empresa utiliza de línea la marca Growatt, las capacidades comerciales son de

Inversor Growatt 6kW 2MPPT, 220V



Posición	Descripción
A	CUBIERTA
B	INTERRUPTOR CD
C	ENTRADA FV +
D	LED
E	OLED
F	BOTÓN TOUCH
G	PUERTO DRM (solo para Australia)
H	SALIDA CA
I	VÁLVULA DE VENTILACIÓN
J	ENTRADA FV-
K	PUERTO USB
L	PUERTO COM

Figura 21. Figura de inversor

Certificación MIN_2500-6000TL-X2_UL1741_IEEE1547A

Datasheet	MIN 2500TL-X	MIN 3000TL-X	MIN 3600TL-X	MIN 4200TL-X	MIN 4600TL-X	MIN 5000TL-X	MIN 6000TL-X
Input Data							
Max. recommended PV power (for module STC)	3500W	4200W	5040W	5880W	6440W	7000W	8100W
Max. DC voltage	500V	500V	550V	550V	550V	550V	550V
Start voltage	100V	100V	100V	100V	100V	100V	100V
MPP work voltage range/ nominal voltage	80V-500V /360V	80V-500V /360V	80V-550V /360V	80V-550V /360V	80V-550V /360V	80V-550V /360V	80V-550V /360V
Max. input current	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A
Max. short-circuit current	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A
Number of independent MPP trackers / strings per MPP tracker	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1

Figura 22. Ficha técnica de inversor Growatt 6kW 2MPPT, 220V

Interruptor de corriente directa

La NOM-001-SEDE es una norma oficial mexicana que regula las instalaciones eléctricas en México.

La corriente máxima debe ser la suma de la corriente de cortocircuito de los módulos en paralelo, multiplicado por el 125%, es un criterio del artículo 690 de la fotovoltaica.

$$Interruptor = (2 * 13.98A) * 1.25 \quad (21)$$

El cálculo del interruptor para protección, el sistema fotovoltaico esta conectado con dos series de cinco paneles, las dos series de paneles se conectan en paralelo, así que se multiplicará la corriente de las dos cadenas y se multiplicará **1.25.**

$$Interruptor = 27.96A * 1.25 \quad (22)$$

$$Interruptor = 34.95A \quad (23)$$

$$Interruptor = 35\ A \quad (24)$$

La selección del interruptor termomagnético será de 30A.

Interruptor termomagnético AC.

Para calcular este interruptor se debe de considerar la corriente de salida del inversor que se obtiene en la ficha técnica del inversor y el voltaje es determinado por la red eléctrica (CFE).

$$Interruptor\ AC = 19A * 1.25 \quad (25)$$

$$Interruptor\ AC = 23.75\ A \quad (26)$$

$$Interruptor\ AC = 30A \quad (27)$$

Cálculo de calibre de conductor.

Para determinar el conductor eléctrico del sistema fotovoltaico dependerá del amperaje del interruptor termomagnético que se ha seleccionado.

Tabla AWG Según el Amperaje

Sección AWG	Sección mm^2	Corriente (Amperios)
20	0.5	3
18	1	7
16	1,5	10
14	2,5	15
12	4	20
10	6	30
8	10	40
6	16	55
4	25	70

Figura 23. Imagen de apoyo de tabla de calibre de conductor eléctrico. información sacada de http://basicaelectr.blogspot.com/2015/02/conductores-electricos.html

En el calculo realizado, se selecciono interruptores de 30 A en corriente AC y DC, la Figura 25 muestra la selección del cable mediante la corriente, así que para ambos sistemas de conductores eléctricos se colocara calibre 10.

Estructura del sistema fotovoltaica.

Para el montaje de un sistema fotovoltaico en un techo plano utilizando estructuras de aluminio, se requieren varios accesorios:

Rieles de aluminio.

Pinzas intermedias.

Tornillos M8m x 25.

Escuadras M8.

Pinzas finales.

Tuercas M8.

Colocación de las bases.

Las bases para techos planos deben colocarse según el diseño previo para soportar los rieles y los paneles.

El anclaje de bases de la estructura se fijará con taquetes expansivos. Como se observa en la Figura 26.

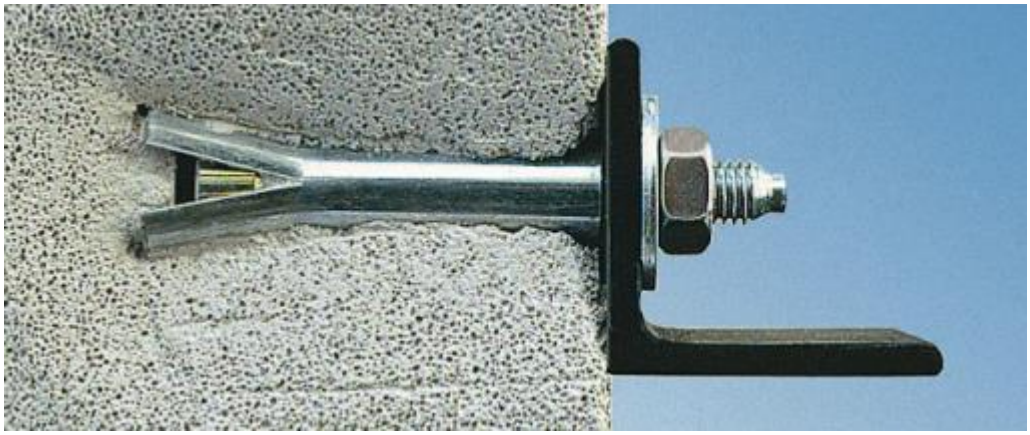


Figura 24. Imagen de ejemplo de anclaje de las bases de la estructura

Montaje de los rieles.

Fija los rieles a las bases utilizando los tornillos de acero inoxidable, asegurándote de que estén nivelados para garantizar la estabilidad y alineación del sistema.

Alinea los rieles con las bases y colócalos sobre los puntos de fijación previstos.

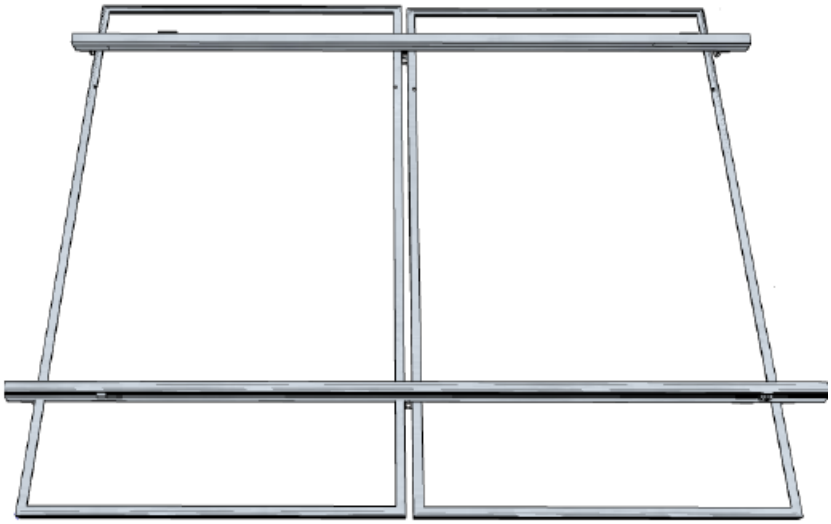


Figura 25. Imagen de ejemplo de montaje de los rieles.

Ajustes de inclinación.

Verifica que la inclinación sea uniforme para maximizar la eficiencia. Por la zona se inclinará 20 grados.

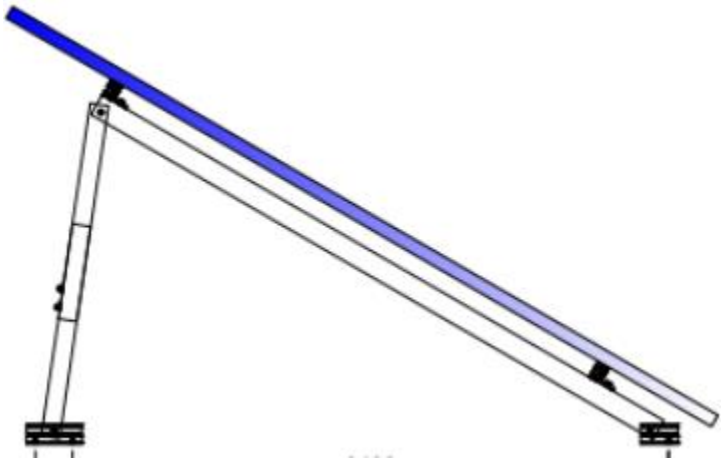


Figura 26. Imagen de ejemplo de inclinación

Montaje de los paneles solares.

Coloca el primer panel en el extremo de la estructura y fíjalo con abrazaderas finales a los rieles.

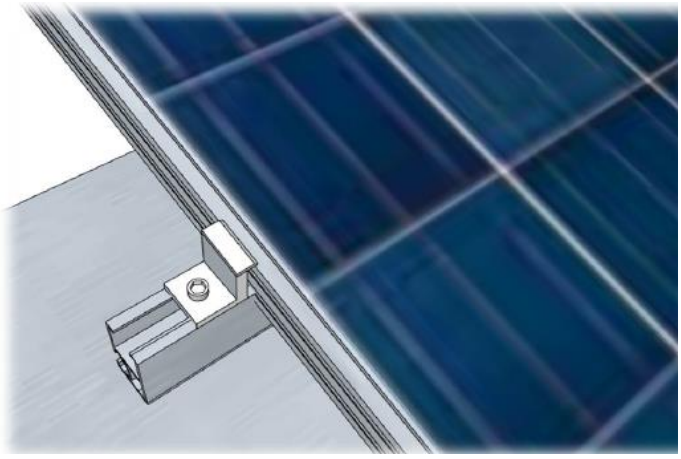


Figura 27. Imagen de ejemplo

Se instala los paneles solares restantes asegurándote de que queden alineados.

Usa abrazaderas intermedias para fijar cada panel entre sí en los rieles. Asegúrate de que las abrazaderas estén bien ajustadas para evitar movimientos.

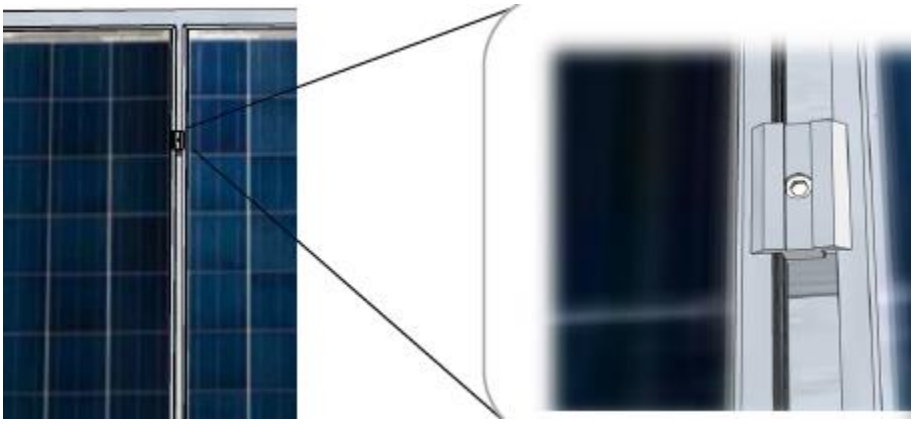


Figura 28, Imagen de ejemplo

Figura 29. Imagen de ejemplo.

Conexión de MC4

MC4 son conectores eléctricos de un solo contacto utilizados para la conexión de módulos fotovoltaicos. Las siglas MC4 significan Multi-Contact y un 4 para el pin de contacto de 4 mm (diámetro).

Figura 30. Conector MC4 positivo.

Figura 31 Conector de un MC4 negativo.

Así se observa la conexión entre módulos como las ilustraciones 32 y 33,se conecta positivo y negativo entre módulos.

Arreglo de Interconexión a la red.

El sistema incluye un medidor bidireccional, encargado de registrar la energía consumida desde la red y la energía inyectada en esta.

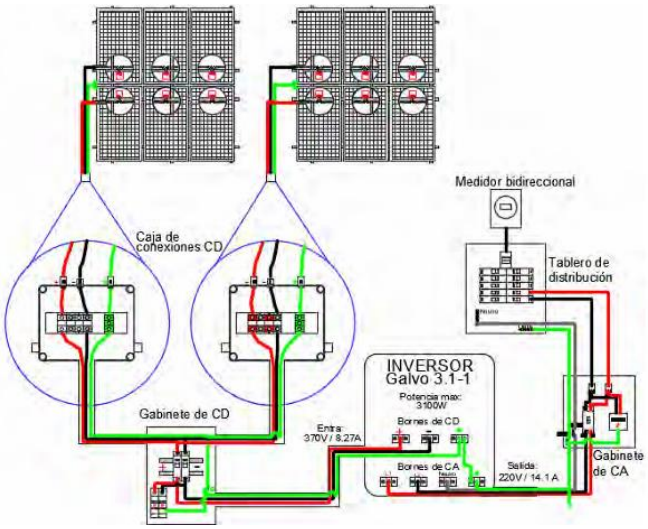


Figura 32. Diagrama de ejemplo del sistema fotovoltaico interconectado a la red

El diseño del sistema fotovoltaico utiliza un inversor central y dos subarreglos de paneles solares conectados en serie para alcanzar una tensión óptima de 370 V. Este nivel de tensión está dentro del rango de operación del **inversor Galvo 3.1-1**, que funciona entre 165 V y 550 V. Cada subarreglo por sí solo genera 184 V en su punto de máxima potencia (MPP), se decidió conectar los dos subarreglos en serie, logrando una tensión más alta y estable.

Los conductores tipo solar que surgen del gabinete de CD se conectan al inversor Galvo. Los conductores de salida del inversor generan una tensión y corriente de salida de 220 V y 14.1 A respectivamente en corriente alterna (CA) y estos son conectados al gabinete en donde se encuentra la protección contra sobre corrientes, las salidas de los bloques de distribución van conectados al tablero de distribución para su conexión a la red. En la Figura 34 se puede observar.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los cálculos teóricos y los resultados obtenidos permiten evidenciar que el manual cumple con los objetivos propuestos:

Se logra un dimensionamiento preciso que reduce la curva de aprendizaje y los errores en la instalación.

La selección de componentes (paneles, inversores y cableado) se ajusta a los requerimientos técnicos y normativos, lo que optimiza tanto la eficiencia del sistema como la seguridad de la instalación.

La estructuración del sistema, 5junto con los métodos de conexión y protecciones eléctricas, facilita la correcta integración a la red, disminuyendo riesgos operativos y asegurando una mayor vida útil del sistema.

La aplicación de este manual permite estandarizar el proceso de diseño de sistemas fotovoltaicos, facilitando la capacitación interna y la reproducción del modelo en otras instalaciones.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación de este manual contribuye significativamente a la capacitación de los nuevos integrantes de la empresa SIMER, al proporcionar una guía clara y estructurada que facilita la toma de decisiones técnicas y la ejecución de los cálculos necesarios para el diseño de sistemas fotovoltaicos.

REFERENCIAS

- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2023). *Requisitos para la interconexión de sistemas fotovoltaicos en México.* Recuperado de: https://www.cfe.mx
- Centro de Capacitación y Educación en Energía Alternativa. (n.d.). *Manual del instalador fotovoltaico: Sistemas autónomos*. Recuperado de https://cceea.mx/libro-manual-del-instalador-fotovoltaico.
- Solar Energy International. (2016). *Fotovoltaica: Manual de diseño e instalación*. Recuperado de https://www.solarenergy.org/es/fotovoltaica/
- Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA). (n.d.). *Manual del instalador fotovoltaico: Sistemas autónomos*. Recuperado de https://cceea.mx/.
- Consejo de Profesionales en Energía Fotovoltaica (CPEF). (n.d.). *Capacitación y certificación en energía solar fotovoltaica*. Recuperado de https://cpef.org.mx/
- Secretaría de Energía (SENER). (2020). *Guía de referencia para instalaciones fotovoltaicas interconectadas*. Recuperado de https://www.gob.mx/sener
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2018). *Normas de interconexión para sistemas fotovoltaicos en México*. Recuperado de https://www.cfe.mx
- Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL). (2021). *Capacitación técnica en energía solar fotovoltaica*. Recuperado de https://www.ineel.mx
- ResearchGate. (n.d.). *Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red eléctrica*. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Esquema-de-un-sistema-fotovoltaico-conectado-a-red-electrica_fig5_41545842

- EnergyGreen. (n.d.). *Representación de panel solar monocristalino.* Recuperado de https://energygreen.uy/product-page/panel-solar-150w-monocristalino/.
- ENF Solar. (n.d.). *Ficha técnica de un panel solar monocristalino.* Recuperado de https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/43780.
- Slideshare. (n.d.). *panel solar policristalino.* Recuperado de https://es.slideshare.net/KevinGuerrero89/panelpolicristalinopdf.
- Comercio Solar. (n.d.). *Ficha técnica de un panel solar policristalino.* Recuperado de https://comerciosolar.es/paneles-solares-de-24v/1093-placa-solar-policristalina-llegc-p-350w24v-144-celulas.htm
- ResearchGate. (n.d.). *panel solar de película delgada.* Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Panel-de-pelicula-delgada-24_fig1_352667210.
- ASER Renovables. (n.d.). *inversor central.* Recuperado de https://aserenovables.es/blog/instalacion-de-autoconsumo-electrico-los-inversores-solares/
- PV Tracker. (n.d.). *inversor string.* Recuperado de https://pv-tracker.de/zim-track-system/our-system/.
- Ecoren Energia Solar. (n.d.). *micro inversor.* Recuperado de http://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/10-passos-para-voce-escolher-o-melhor-microinversor
- Activo Solar. (n.d.). *diagrama de microinversor.* Recuperado de https://activosolar.com/inversores-solares/microinversores/.
- CCEEA. (n.d.). *inversor híbrido.* Recuperado de https://cceea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/nuevos-inversores-hibridos-y-multimodo-para-sistemas-con-respaldo-de-energia

- Bluesun PV. (n.d.). *instalación con balasto.* Recuperado de https://es.bluesunpv.com/support-de-panneau-solaire-au-sol-ballast_p107.html.
- Bluesun PV. (n.d.). *instalación anclada.* Recuperado de https://es.bluesunpv.com/support-de-panneau-solaire-au-sol-ballast_p107.html.
- Krannich Solar. (n.d.). *Tabla de calibre de cable fotovoltaico.* Recuperado de https://krannich-solar.com/mx-es/blog/eleccion-de-conductores-electricos-y-protecciones-en-ca/
- IngMecaFenix. (n.d.). *Tabla de calibre de cable.* Recuperado de https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/electricidad-industrial/cables-electricos-corriente-alterna/
- Sebastián, E. (n.d.). *tabla de calibre de cable fotovoltaico.* Recuperado de https://eliseosebastian.com/calcular-cables-conductores-para-paneles-fotovoltaicos-3/.
- Ecozaque. (n.d.). *tabla de calibres de cable.* Recuperado de https://www.ecozaque.com/2023/07/31/los-conductores-electricos-en-tus-sistemas-fotovoltaicos-son-los-correctos/
- Pichau. (n.d.). *ficha técnica.* Recuperado de https://www.pichau.com.br/painel-solar-fotovoltaico-osda-550w-2279x1134x35mm-oda550-36-mh

ANEXOS

CELLSOLAR

HALF CUT HIGH EFFICIENCY

Email:sales@cellsolarenergy.com www.cellsolar-energy.com

MONOCRYSTALLINE 144 CELLS

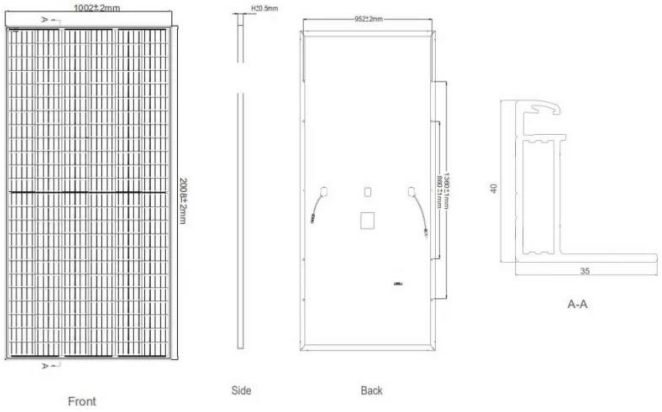
Model--CSM390-410	CSM390-144	CSM395-144	CSM400-144	CSM405-144	CSM410-144
Nominal output Pmpp	390Wp	395Wp	400Wp	405Wp	410Wp
Nominal voltage Vmpp	41.12V	41.42V	41.75V	42.04V	42.35V
Nominal current Impp	9.49A	9.55A	9.60A	9.65A	9.69A
Short circuit current Isc	10.12A	10.23A	10.36A	10.48A	10.60A
Open circuit voltage Voc	49.30V	49.50V	49.80V	50.10V	50.40V
Module efficiency	19.38%	19.63%	19.88%	20.13%	20.38%

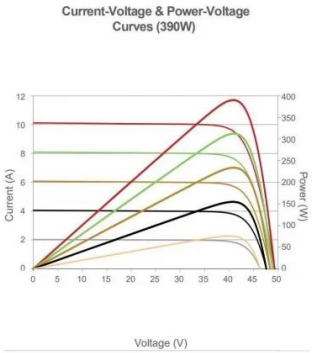
Electrical characteristics (at Standard Test Conditions (STC) STC:Irradiance 1000W/m , Cell temperature 25°C , AM1.5

MECHANICAL DATA

Solar Cells	5BB Monocrystalline PERC SOLAR CELL 158.75×158.75mm
Cell Orientation	144 cells (6×24)
Module Dimensions	2008×1002×40mm
Weight	22.50 kg
Glass	3.2 mm (0.13 inches),High Transmission,AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Backsheet	White Composite film
Frame	40 mm(1.57 inches)Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IIP67/P68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm2 (0.006 inches^2),
Connector	MC4 /TS4 Compatible with MC4

TEMPERATURE RATINGS		MAXIMUM RATINGS	
NMOT(Nominal Moudule Operating Temperature)	41°C (±3°C)	Operational Temperature	-40~+85°C
Temperature Coefficient of PMAX	-0.37%/°C	Maximum System Voltage	1500V DC(IEC)
Temperature Coefficient of VOC	-0.29%/°C		1500V DC(DL)
Temperature Coefficient of ISC	0.05%/°C	Max Series Fuse Rating	20A





ZXM6-LD72 Series | Znshinesolar 5BB Light-Weight Double Glass Mono PV Module

ZNSHINESOLAR

ELECTRICAL PROPERTIES | STC*

Module Type	ZXM6-LD72 -350/M	ZXM6-LD72 -355/M	ZXM6-LD72 -360/M	ZXM6-LD72 -365/M	ZXM6-LD72 -370/M	ZXM6-LD72 -375/M
Nominal Power Watt Pmax(W)	350	355	360	365	370	375
Power Output Tolerance Pmax(%)	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3
Maximum Power Voltage Vmp(V)	39.0	39.2	39.4	39.6	39.8	40.0
Maximum Power Current Imp(A)	8.98	9.06	9.14	9.22	9.30	9.38
Open Circuit Voltage Voc(V)	47.1	47.4	47.7	48.0	48.3	48.6
Short Circuit Current Isc(A)	9.57	9.64	9.71	9.78	9.85	9.92
Module Efficiency (%)	17.84	18.09	18.35	18.60	18.86	19.11

*STC (Standard Test Condition): Irradiance 1000W/m², Module Temperature 25℃, AM 1.5
*The data above is for reference only and the actual data is in accordance with the pratical testing

ELECTRICAL PROPETIES | NMOT*

Maximum Power Pmax(Wp)	259.5	263.1	266.8	270.5	274.2	277.9
Maximum Power Voltage Vmpp(V)	35.8	36.0	36.2	36.5	36.7	36.9
Maximum Power Current Impp(A)	7.25	7.31	7.36	7.41	7.47	7.52
Open Circuit Voltage Voc(V)	43.7	43.9	44.2	44.5	44.8	45.0
Short Circuit Current Isc(A)	7.73	7.79	7.85	7.90	7.96	8.02

*NMOT(Nominal module operating temperature):Irradiance 800W/m²,Ambient Temperature 20℃,AM 1.5,Wind Speed 1m/s
*The data above is for reference only and the actual data is in accordance with the pratical testing

TEMPERATURE RATINGS

NMOT	45℃ ±2℃
Temperature coefficient of Pmax	-0.38%/K
Temperature coefficient of Voc	-0.29%/K
Temperature coefficient of Isc	0.05%/K

WORKING CONDITIONS

Maximum system voltage	1500 V DC
Operating temperature	-40℃~+85℃
Maximum series fuse	15 A
Maximum load(snow/wind)	5400 Pa / 2400 Pa

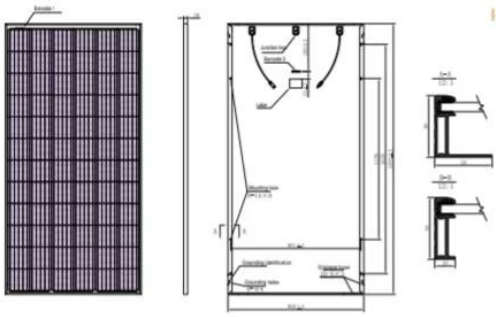
MECHANICAL DATA

Solar cells	Mono 156.75×156.75 mm
Cells orientation	72 (6×12)
Module dimension	1978×992×30 mm(With Frame)
Weight	25.5 kg
Glass	2.0mm+2.0mm heat strengthened glass
Junction box	IP 68, 3 diodes
Cables	4 mm², 1000mm
Connectors	MC4-compatible

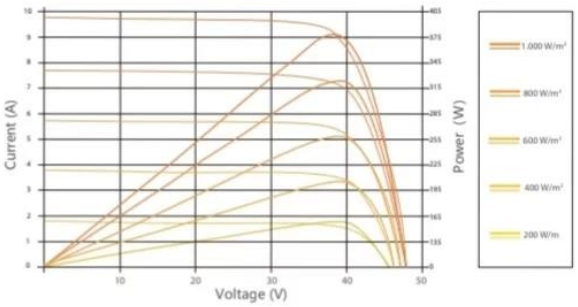
PACKAGING INFORMATION

Packing Type	40' HQ
Piece/Box	36
Piece/Container	864/912

DIMENSION OF THE PV MODULE (mm)



I-V CURVES OF THE PV MODULE

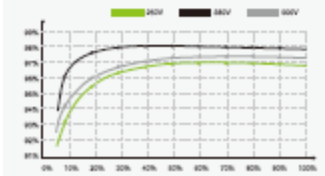


Add : 1#, Zhixi Industrial Zone, JintanJiangsu 213251, P.R. China
Tel: +86 519 6822 0233 E-mail: info@znshinesolar.com

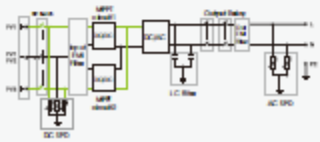
Remark: please read safety and installation instructions before using the product | Subject to change without prior notice © ZNSHINE SOLAR 2019 | Version: ZXM6-LD72-1908.E

Datasheet	MIN 2500TL-X	MIN 3000TL-X	MIN 3600TL-X	MIN 4200TL-X	MIN 4600TL-X	MIN 5000TL-X	MIN 6000TL-X
Input Data							
Max. recommended PV power (for module STC)	3600W	4500W	5400W	5600W	6600W	7000W	8100W
Max. DC voltage	550V	550V	550V	550V	550V	550V	550V
Start voltage	100V	100V	100V	100V	100V	100V	100V
MPP work voltage range/ nominal voltage	80V-530V /360V	80V-530V /360V	80V-550V / 360V	80V-550V / 360V	80V-550V / 360V	80V-550V / 360V	80V-530V /360V
Max. input current	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A	12.5A/12.5A
Max. short-circuit current	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A	16A/16A
Number of independent MPP trackers / strings per MPP tracker	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1
Output (AC)							
Rated AC output power	2500W	3000W	3600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Max. AC apparent power	2500VA	3000VA	3600VA	4500VA	4600VA	5000VA	6000VA
Max. output current	11.3A	13.6A	16A	19A	20.9A	22.7A	27.3A
AC nominal voltage	230V(180V-300V)	230V(180V-300V)	230V(180V-300V)	230V(180V-300V)	230V(180V-300V)	230V(180V-300V)	230V(180V-300V)
AC grid frequency	50Hz/60Hz ±5Hz	50Hz/60Hz ±5Hz	50Hz/60Hz ±5Hz	50Hz/60Hz ±5Hz	50Hz/60Hz ±5Hz	50Hz/60Hz ±5Hz	50Hz/60Hz ±5Hz
Adjustable power factor	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging	0.8leading... 0.8lagging
THD	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
AC connection	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase	Single phase
Efficiency							
Max.efficiency	98.3%	98.3%	98.3%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
Euro weighted efficiency	97.7%	97.7%	97.8%	97.8%	97.8%	97.8%	97.8%
MPPT efficiency	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
Protection Devices							
DC reverse polarity protection	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
DC switch	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
DC surge protection	Type II	Type II	Type II	Type II	Type II	Type II	Type II
Output over current protection	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Output over voltage protection-varistor	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Ground fault monitoring	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Grid monitoring	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Integrated all - pole sensitive leakage current monitoring unit	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
General Data							
Dimensions (W / H / D) in mm	335(550)/160	375(550)/160	375(550)/160	375(550)/160	375(550)/160	375(550)/160	375(550)/160
Weight	10.8KG	10.8KG	10.8KG	10.8KG	10.8KG	10.8KG	10.8KG
Operating temperature range	-25°C ... +60°C	-25 °C ... + 60 °C	-25 °C ... + 60 °C	-25 °C ... + 60°C	-25 °C ... + 60°C	-25 °C ... + 60 °C	-25°C ... +60°C
Noise emission (typical)	<25 dB(A)	<25 dB(A)	<25 dB(A)	<25 dB(A)	<25 dB(A)	<25 dB(A)	<25 dB(A)
Altitude	4000m	4000m	4000m	4000m	4000m	4000m	4000m
Self-Consumption night	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W
Topology	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless
Cooling concept	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural
Environmental Protection Rating	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Relative humidity	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Features							
DC connection	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)
AC connection	Connector	Connector	Connector	Connector	Connector	Connector	Connector
Display	OLED+LED	OLED+LED	OLED+LED	OLED+LED	OLED+LED	OLED+LED	OLED+LED
Interfaces: RS485 / USB/ WLAN / GSM / RF	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt	yes / yes / opt / opt / opt
Warranty: 5 years / 10 years	yes / opt	yes / opt	yes / opt	yes / opt	yes / opt	yes / opt	yes / opt

Growatt MIN 4000 TL-X efficiency



Growatt MIN 2.5-6KTL-X topology



CE, IEC62109, G83, VDE0126-1-1, VFR2014, G59, AS4777, AS/NZS 3100, CEI0-21, VDE-AR-N4105, IN50438, CQC, IEC61683, IEC60068, IEC61727, IEC62116