

# Instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos Aislados (Off-Grid)

Fundamentos, componentes, dimensionamiento e instalación



# Objetivos de Aprendizaje

Al finalizar esta presentación, conocerá de:

01

## Fundamentos solares

Explicar los fundamentos de la radiación solar y la conversión fotovoltaica.

02

## Electricidad y tipos de sistemas

Diferenciar corriente directa (CD) y corriente alterna (CA) y los tipos de sistemas FV.

03

## Componentes del sistema

Identificar y describir la función de cada componente de un sistema aislado.

04

## Dimensionamiento off-grid

Dimensionar un sistema off-grid básico (paneles y baterías) a partir de la demanda.

05

## Instalación y normativa

Aplicar buenas prácticas, protecciones y normativa en la instalación.

# Contenido

Esta presentación está estructurada en cinco bloques temáticos que llevan al estudiante desde los fundamentos físicos hasta la instalación práctica de un sistema fotovoltaico aislado.

1

1. Fundamentos físicos y eléctricos

2

2. Tipos de sistemas fotovoltaicos

3

3. Componentes de un sistema aislado

4

4. Caso práctico: dimensionamiento

5

5. Instalación, normativa y aplicaciones

# ¿Qué es la Radiación Solar?

La radiación solar es la energía emitida por el Sol que llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas. Comprender sus magnitudes es fundamental para el diseño de cualquier sistema fotovoltaico.

## Irradiancia

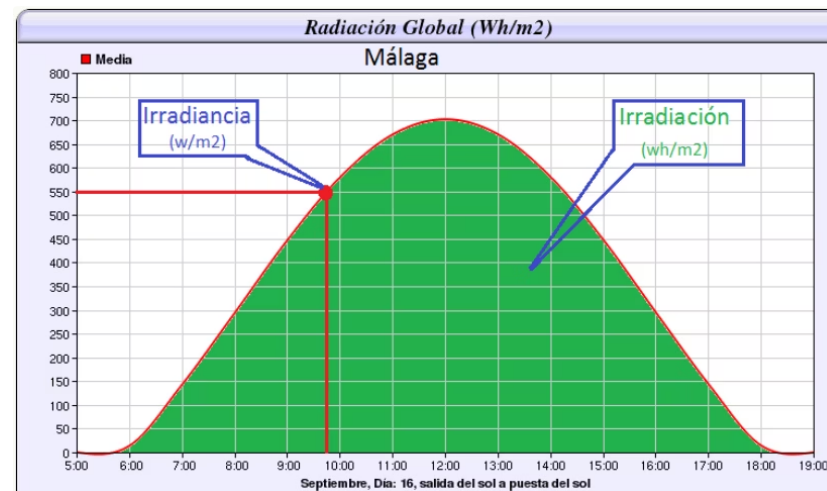
Potencia instantánea por unidad de área. Unidad:  $\text{W/m}^2$ . Valor de referencia estándar:  $1.000 \text{ W/m}^2$ .

## Radiación

es la emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material en forma de ondas o partículas.

## Hora Solar Pico (HSP)

Número de horas equivalentes con irradiancia de  $1.000 \text{ W/m}^2$ .  
Numéricamente igual a la irradiación diaria en  $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ .



# El Recurso Solar y el Efecto Fotovoltaico

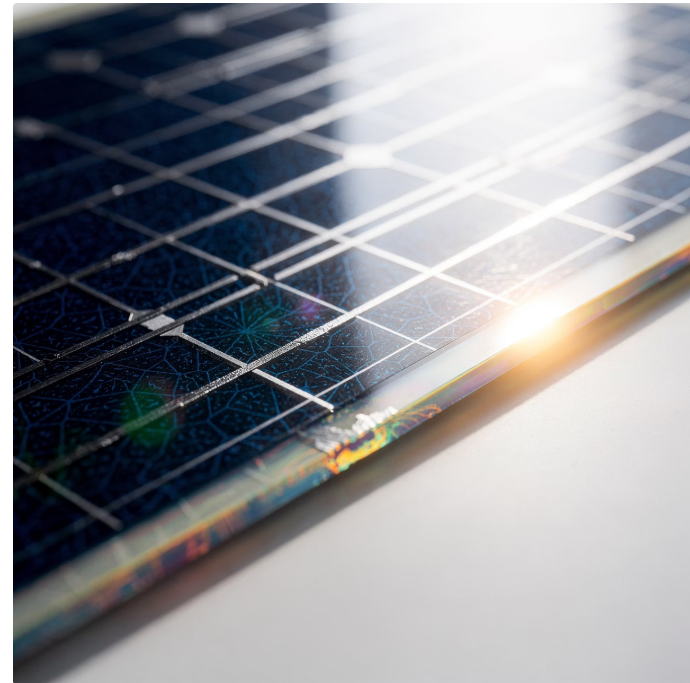
## Factores que afectan la captación

- Latitud y ubicación geográfica.
- Inclinação y orientación del panel (hacia el ecuador).
- Sombras producidas por árboles o edificaciones.
- Temperatura: a mayor temperatura, menor voltaje y eficiencia del panel.



## Efecto fotovoltaico

Los fotones de la luz solar impactan las celdas de silicio y liberan electrones en la unión P-N del semiconductor. Este movimiento dirigido de electrones genera una **corriente eléctrica continua (CD)** que puede ser aprovechada directamente.



# Corriente Directa (CD) vs. Corriente Alterna (CA)

Los paneles solares generan CD; el inversor la convierte en CA para alimentar la mayoría de las cargas domésticas. Conocer sus diferencias es esencial para entender el flujo de energía en el sistema.

| Característica    | Corriente Directa (CD)                  | Corriente Alterna (CA)      |
|-------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| Sentido del flujo | Constante, una sola dirección           | Cambia periódicamente       |
| Forma de onda     | Línea recta                             | Onda senoidal               |
| Fuente típica     | Paneles solares, baterías               | Red eléctrica, generadores  |
| Uso principal     | Carga de baterías, equipos electrónicos | Electrodomésticos del hogar |

# Conceptos Eléctricos Clave

## Voltaje (V)

Diferencia de potencial entre dos puntos. Unidad: **voltios (V)**.

## Corriente (I)

Flujo de electrones a través de un conductor. Unidad: **amperios (A)**.

## Potencia: $P = V \times I$

Unidad: **vatios (W)**.

## Energía: $E = P \times t$

Unidad: **vatios-hora (Wh)**.

## Conexiones de paneles

### Serie

Suma los **voltajes**, mantiene la corriente constante. Se conecta el positivo de un panel al negativo del siguiente.

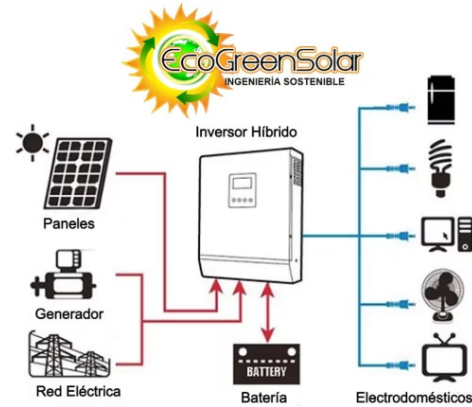
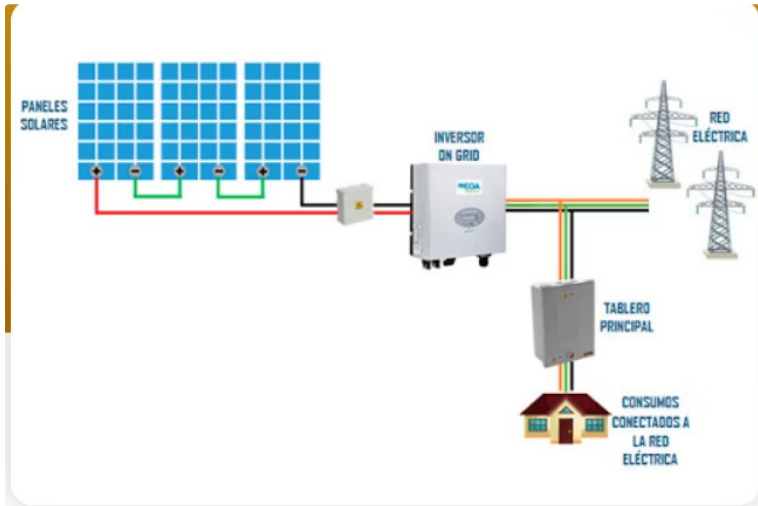
### Paralelo

Suma las **corrientes**, mantiene el voltaje constante. Se conectan los positivos juntos y los negativos juntos.

# Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

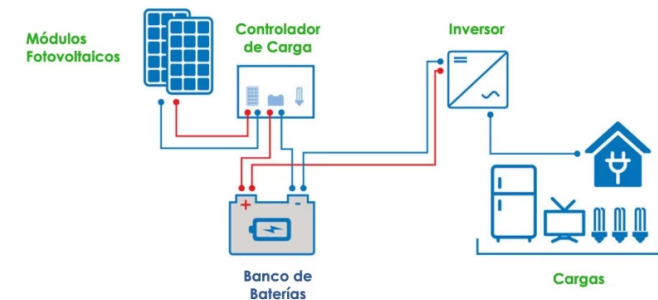
| Tipo               | Conexión a la red | Baterías | Aplicación típica                            |
|--------------------|-------------------|----------|----------------------------------------------|
| On-grid            | Sí                | No       | Viviendas urbanas con acceso a red eléctrica |
| Híbrido            | Sí                | Sí       | Respaldo ante cortes de suministro           |
| Off-grid (aislado) | No                | Sí       | Zonas remotas sin acceso a la red eléctrica  |

# Arquitecturas



## Tipos de Sistemas Fotovoltaico

Aislado de la Red Eléctrica | Autónomo | Off Grid





# Sistemas Aislados (Off-Grid) en Detalle

**Sistema off-grid:** independiente de la red eléctrica. El almacenamiento es obligatorio porque no hay red de respaldo que cubra los periodos sin generación solar.

## Ventajas

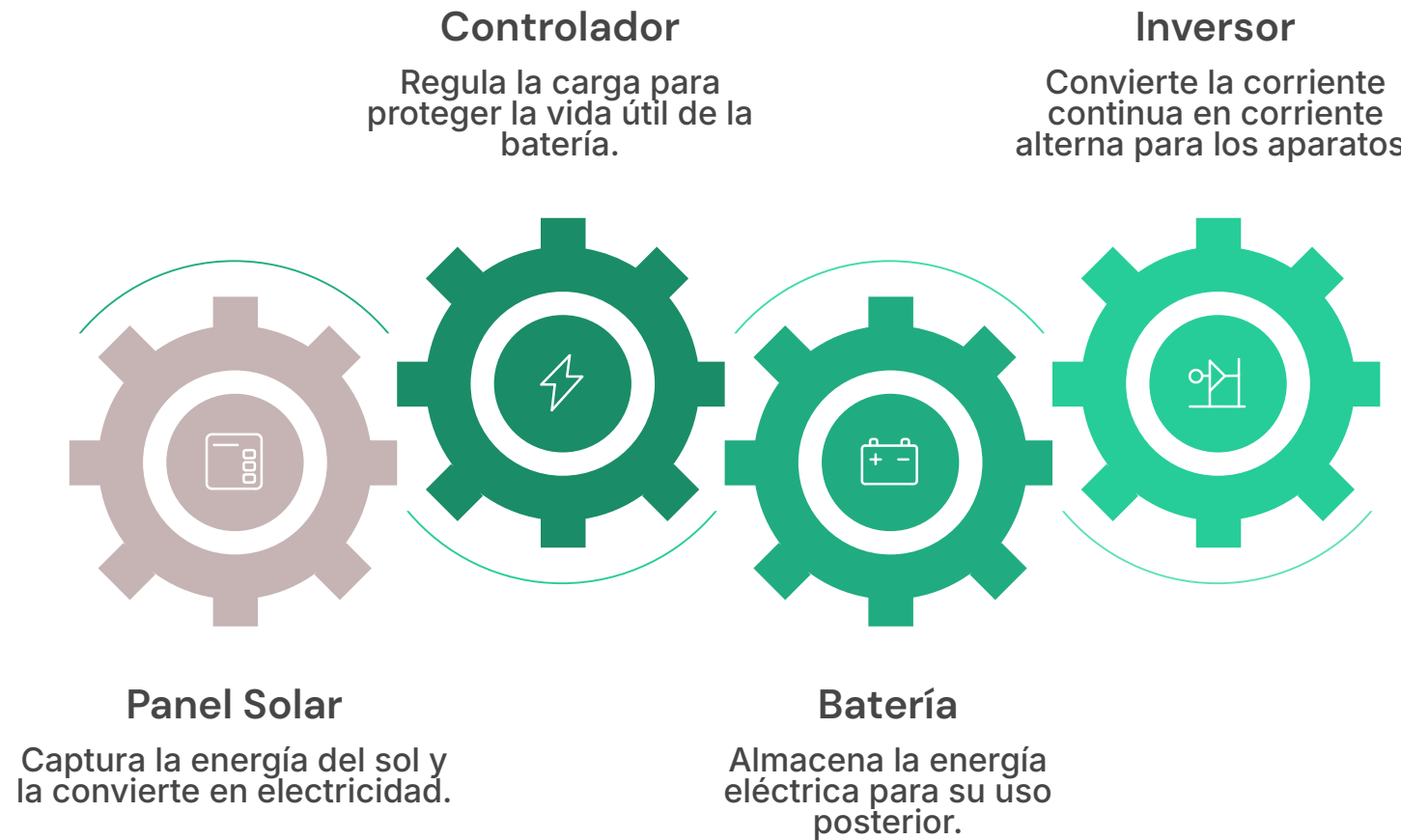
- Autonomía energética total.
- Ideal para zonas rurales y remotas.
- Sin facturación de energía eléctrica.

## Limitaciones

- Requiere banco de baterías (mayor costo inicial).
- Energía disponible limitada al dimensionamiento.
- Necesita mantenimiento periódico del almacenamiento.

# Elementos de un Sistema FV Aislado

Cada componente cumple una función específica dentro de la cadena de generación, almacenamiento y consumo de energía. La secuencia de conexión determina el correcto funcionamiento del sistema.



# El Panel Solar

Dispositivo que convierte la radiación solar en electricidad (CD) mediante el efecto fotovoltaico. Se caracteriza por sus parámetros eléctricos de placa: **Voc**, **Isc**, **Vmp**, **Imp** y **Pmax**.

## Monocrystalino

Mayor eficiencia: **18–22%**. Mayor costo. Recomendado para espacios limitados.

## Policristalino

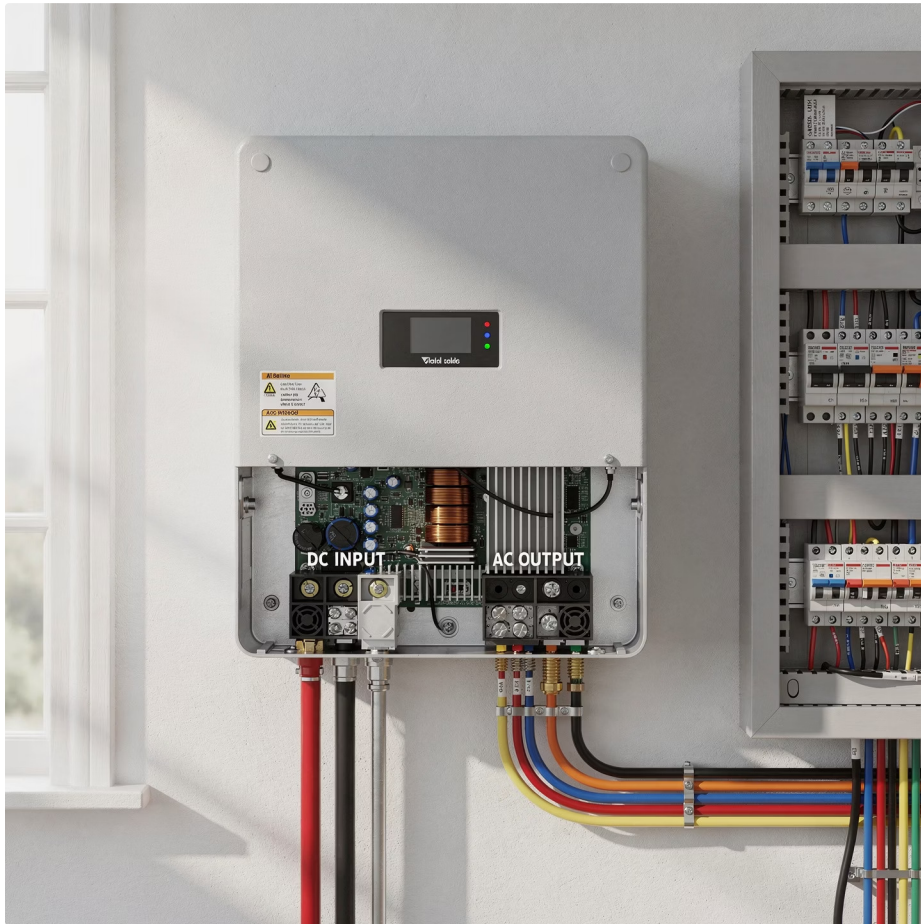
Eficiencia media: **15–17%**. Costo menor. Buena relación costo-beneficio.

## Capa fina

Baja eficiencia. Flexible y económico. Apto para superficies irregulares.



# El Inversor



Equipo que convierte la corriente directa (CD) de paneles/baterías en corriente alterna (CA) para las cargas del hogar o instalación.

## Onda senoidal pura

Compatible con **todos los equipos**, incluyendo sensibles. Recomendado para sistemas off-grid.

## Onda senoidal modificada

Más económico. **No apto** para equipos sensibles (motores, medical, audio).

- ❏ En sistemas aislados se usa frecuentemente un **inversor/cargador** que integra inversor y cargador de baterías en un solo equipo.

# El Controlador de Carga

Regula el flujo de energía de los paneles solares hacia las baterías, protegiendo el almacenamiento y optimizando el proceso de carga. Es el cerebro de la gestión energética del sistema.

## Funciones principales

- Evita la **sobrecarga** de la batería cuando está al 100%.
- Evita la **sobredescarga**, protegiendo la vida útil del acumulador.
- Optimiza el proceso de carga en sus diferentes etapas (bulk, absorción, flotación).
- Monitorea el estado de carga (SoC) del banco de baterías.

# Controlador PWM vs. MPPT

| Característica         | PWM                                                 | MPPT                                              |
|------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Principio de operación | Reduce el voltaje del panel al de la batería        | Sigue el punto de máxima potencia del panel       |
| Eficiencia             | 70–80%                                              | 92–99%                                            |
| Costo                  | Bajo                                                | Alto                                              |
| Aplicación recomendada | Sistemas pequeños, panel y batería de igual voltaje | Sistemas medianos/grandes, mayor voltaje de panel |

❏ El MPPT aprovecha mejor la energía disponible, especialmente con baja temperatura o cuando se usan paneles de mayor voltaje que el banco de baterías.

# Baterías (Parte 1): Parámetros

Las baterías almacenan la energía generada durante las horas de sol para usarla cuando no hay radiación solar disponible. Sus parámetros determinan el dimensionamiento del banco de almacenamiento.



## Capacidad (Ah)

Energía total que puede entregar la batería a una tasa de descarga determinada.



## DoD (Profundidad de descarga)

Porcentaje de la capacidad que se puede descargar sin dañar la batería.



## Ciclos de vida

Número de cargas/descargas completas útiles antes de perder capacidad significativa.



## Autodescarga

Pérdida de carga almacenada en reposo, sin estar conectada a ninguna carga.

# Baterías (Parte 2): Tipos

| Tipo                         | DoD recomendado | Ciclos      | Mantenimiento                  | Costo |
|------------------------------|-----------------|-------------|--------------------------------|-------|
| Plomo-ácido inundada         | 30%             | 400–800     | Alto (requiere agua destilada) | Bajo  |
| AGM                          | 50%             | 600–1.200   | Nulo                           | Medio |
| Litio (LiFePO <sub>4</sub> ) | 80–99%          | 3.000–6.000 | Nulo                           | Alto  |

📌 El litio permite mayor DoD y más ciclos de vida, reduciendo el costo por kWh almacenado a largo plazo frente al plomo-ácido.

# Cables y Conductores

| Característica      | Cable solar               | Cable tradicional         |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| Resistencia UV      | Sí                        | No                        |
| Temperatura máx.    | Hasta 90–120°C            | Menor resistencia térmica |
| Uso a la intemperie | Sí                        | No                        |
| Aplicación          | Tramo paneles-controlador | Interior / tramo CA       |

### Calibre del conductor

Se mide en AWG o mm<sup>2</sup>. A mayor distancia o corriente, se requiere mayor calibre para mantener la caída de tensión máxima recomendada del 2–3%.



# Protecciones del Sistema

Las protecciones eléctricas son obligatorias para garantizar la seguridad de personas y equipos frente a cortocircuitos, sobrecargas y fenómenos atmosféricos.



## Fusibles e interruptores CD

Protegen el tramo de corriente directa (paneles → controlador → baterías) ante cortocircuitos y sobrecargas.



## Breakers CA

Protegen el lado de corriente alterna entre el inversor y las cargas del hogar.



## Protector de sobretensiones (DPS/SPD)

Protege todos los equipos del sistema contra descargas atmosféricas e inducciones eléctricas.



## Breakers DC

Permiten aislar equipos de forma segura para realizar labores de mantenimiento o reparación.

# Sistema de Puesta a Tierra

La puesta a tierra es la conexión intencional que desvía corrientes de falla y descargas eléctricas hacia el terreno, protegiendo tanto a las personas como a los equipos del sistema fotovoltaico.

## Estructura y marcos de paneles

Todos los marcos metálicos de los módulos y la estructura soporte deben conectarse al sistema de tierra.

## Varilla de tierra

Se clava en el suelo para crear el punto de referencia potencial cero. Reduce riesgo de electrocución y daños por rayos.

## Aterrizaje de equipos

Controlador de carga e inversor deben conectarse al conductor de protección (PE).



# Paso 1: Cálculo de la Demanda Energética

Caso: vivienda con 3 electrodomésticos. El primer paso es calcular la energía consumida por día (Wh/día) de cada equipo y obtener el total del sistema.

| Equipo          | Potencia | Horas/día | Energía (Wh/día) |
|-----------------|----------|-----------|------------------|
| Refrigerador    | 150 W    | 8 h       | 1.200 Wh         |
| Televisor       | 80 W     | 5 h       | 400 Wh           |
| Iluminación LED | 60 W     | 6 h       | 360 Wh           |
| TOTAL           | —        | —         | 1.960 Wh/día     |

Consumo total  $\approx$  **2.000 Wh/día**. Aplicando un factor por pérdidas del sistema (eficiencia 0,7): **Energía requerida =  $2.000 \div 0,7 = 2.857$  Wh/día**.

## Paso 2: Recurso Solar y HSP

Se determina la **Hora Solar Pico (HSP)** de la zona de instalación utilizando un mapa de radiación solar (irradiación global horizontal).

### HSP = Irradiación diaria

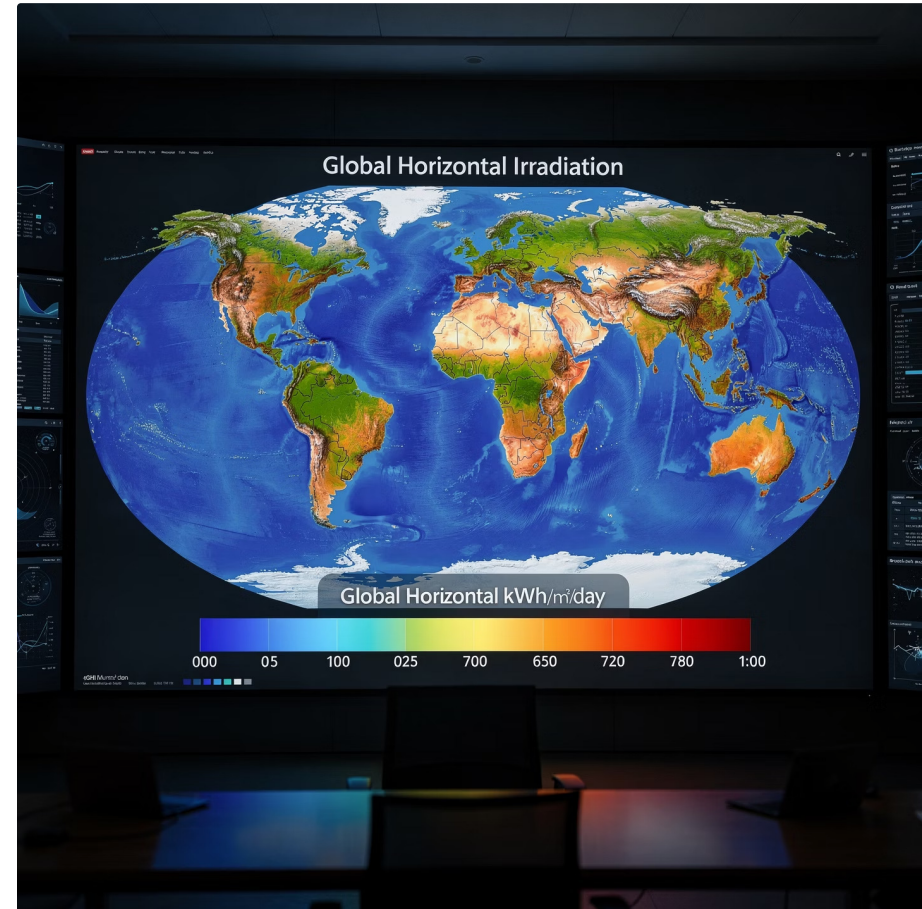
El valor numérico de la HSP (h/día) es igual a la irradiación diaria promedio de la zona en kWh/m<sup>2</sup>/día.

### Valor para este ejemplo

**HSP = 5,0 horas/día** — valor representativo de muchas zonas tropicales y subtropicales.

### Criterio de diseño

Siempre usar el **mes de menor radiación** del año para garantizar el funcionamiento en el peor caso.



## Paso 3: Cálculo del Número de Paneles



### Fórmula: Potencia FV requerida

Potencia FV (W) = Energía requerida  
(Wh/día) ÷ HSP

$$2.857 \div 5,0 = 571 \text{ W}$$

### Fórmula: Número de paneles

Nº de paneles = Potencia FV requerida ÷  
Potencia de un panel

$$571 \div 50 = 1,14 \rightarrow \text{se redondea hacia arriba}$$

### Resultado del dimensionamiento

Se necesitan 2 paneles de 500 W para  
cubrir la demanda energética diaria  
calculada con la HSP de diseño.

# Paso 4: Cálculo del Banco de Baterías

Parámetros: Voltaje del sistema = 24 V | Autonomía = 50% días | DoD = 0,5 (GEL) |

## Fórmula general

Autonomía = Consumo diario x  
porcentaje del consumo que quiero  
cubrir

## Cálculo

Capacidad Batería = Autonomía / DoD  
Ah = Capacidad Batería / Voltaje

## Calcular ejemplo

📌 Las baterías se combinan **en serie** para alcanzar 24 V y **en paralelo** para sumar la capacidad total en Ah.

# Resumen del Sistema Dimensionado

| Componente      | Especificación                                        |
|-----------------|-------------------------------------------------------|
| Demanda diaria  | 2.000 Wh/día                                          |
| HSP de diseño   | 5,0 h                                                 |
| Paneles solares | 2 × 500 W                                             |
| Baterías        |                                                       |
| Controlador     | MPPT, acorde a la corriente del arreglo de paneles    |
| Inversor        | Onda senoidal pura, según potencia pico de las cargas |

# Buenas Prácticas de Instalación y Mantenimiento

## Instalación

- Estructura firme con inclinación y orientación correctas (hacia el ecuador).
- Conectores MC4 bien sellados; cableado ordenado, sujeto y rotulado.
- Respetar polaridad y secuencia de conexión (paneles → controlador → baterías → inversor).

## Mantenimiento y seguridad

- Limpieza periódica de la superficie de los paneles.
- Revisión visual de conexiones y estado de las baterías.
- Uso obligatorio de EPP y precaución con el arco eléctrico en CD.



# Marco Regulatorio

La instalación de sistemas fotovoltaicos debe cumplir normas técnicas y de seguridad vigentes en el país donde se realice el trabajo. El incumplimiento puede generar riesgos eléctricos y anulación de garantías.

## Normas internacionales

**IEC** — Estándares para equipos y módulos FV.

**NEC Art. 690** — Instalaciones FV (EE.UU.).

## Normativa Latinoamérica

**RETIE** — Colombia.  
NTC 2050

## Certificación de equipos

Todos los equipos deben contar con certificación reconocida, garantía del fabricante y fichas técnicas disponibles.

 Localizar y verificar la normativa específica del país donde se realice la instalación antes de iniciar cualquier proyecto.

# Aplicaciones de Sistemas FV Aislados

Los sistemas off-grid permiten llevar energía eléctrica limpia y confiable a lugares donde la red convencional no llega o resulta demasiado costosa de extender.



## Electrificación rural

Viviendas en zonas alejadas con acceso a energía eléctrica por primera vez.



## Telecomunicaciones

Antenas repetidoras y estaciones de comunicación en zonas remotas.



## Bombeo de agua

Sistemas de riego agrícola y abastecimiento de agua potable en fincas.



## Señalización y alumbrado

Señalización vial y alumbrado público en vías sin acceso a red eléctrica.

# Conclusiones y Referencias

## Conclusiones clave

### Energía donde no llega la red

Los sistemas aislados brindan autonomía energética total a comunidades y aplicaciones remotas.

### El dimensionamiento es determinante

El cálculo correcto de la demanda, la HSP, el número de paneles y la capacidad de baterías garantiza el funcionamiento continuo del sistema.

### Componentes, normas y seguridad

La selección correcta de componentes y el cumplimiento de la normativa vigente garantizan la seguridad eléctrica y la vida útil del sistema.