

2.4 Compatibilidad con MPPT del inversor

Introducción

Antes de diseñar cuántos paneles vamos a colocar en **serie** o en **paralelo**, primero debemos entender una **pieza muy importante del sistema fotovoltaico: el inversor**.

El inversor es quien **pone las reglas del juego**.

Los paneles solo entregan lo que pueden, pero el inversor es quien decide:


- qué **voltajes** acepta,
- qué **corrientes** tolera,
- en qué **rango** puede operar,
- y cuánta **potencia** puede manejar.

Por eso, **todo diseño FV profesional comienza revisando la ficha técnica del inversor**.

2.4.1 Parámetros del inversor a revisar

Vamos a revisar los **parámetros esenciales** que **SIEMPRE** debes leer en la ficha técnica de un inversor. Estos valores determinan si tus strings son compatibles o no.

a) Rango de voltaje de operación (mín – máx)

Datos de entrada de la cadena fotovoltaica	
Potencia de entrada máx. (W)	3900
Tensión de entrada máx. (V)	600
Gama MPPT (V)	80-550 
Tensión de arranque (V)	80
Tensión de entrada nominal (V)	360
Corriente de entrada máx. por MPPT (A)	11 / 11
Corriente de cortocircuito máx. por MPPT (A)	13,8 / 13,8
Número de MPPT	2
Número de cadenas por MPPT	1

Es el **rango de voltaje** en el que el inversor puede operar buscando el **punto de máxima potencia**. Este rango define el **voltaje operativo real** del sistema.

- Si el voltaje cae **por debajo del mínimo**, el inversor **no arranca**.
- Si el voltaje supera el máximo, el inversor **se desconecta**.

b) Voltaje máximo de entrada DC (Voc_max)

Datos de entrada de la cadena fotovoltaica	
Potencia de entrada máx. (W)	3900
Tensión de entrada máx. (V)	600
Gama MPPT (V)	80-550

Este es un **límite absoluto**.

- Si se supera, incluso por unos segundos en un **amanecer frío**, el inversor **puede dañarse de forma permanente**.
- Este valor se compara contra el **Voc real del string en frío**.

c) Corriente máxima por entrada MPPT

Datos de entrada de la cadena fotovoltaica	
Potencia de entrada máx. (W)	3900
Tensión de entrada máx. (V)	600
Gama MPPT (V)	80-550
Tensión de arranque (V)	80
Tensión de entrada nominal (V)	360
Corriente de entrada máx. por MPPT (A)	11 / 11

Cada MPPT tiene un **límite de corriente**.

- Este parámetro define **cuántos strings en paralelo** puedes conectar.
- Si se excede, el MPPT se **satura, limita o falla**.

d) Corriente máxima total DC

Datos de entrada de la cadena fotovoltaica	
Potencia de entrada máx. (W)	3900
Tensión de entrada máx. (V)	600
Gama MPPT (V)	80-550
Tensión de arranque (V)	80
Tensión de entrada nominal (V)	360
Corriente de entrada máx. por MPPT (A)	11 / 11
Corriente de cortocircuito máx. por MPPT (A)	13,8 / 13,8
Número de MPPT	2
Número de cadenas por MPPT	1

Algunos inversores tienen varios MPPT independientes, pero un **límite global de corriente DC**. En el caso de este ejemplo cada MPPT tiene un máximo de 13.8 A lo que sumaría un máximo de corriente de 27.6 A de corriente de corto circuito para el inversor. Pero hay casos en que el máximo de corriente de corto circuito de un inversor es menor a la suma de la corriente de entrada máxima por MPPT.

Debes asegurarte de no exceder este valor, incluso si cada MPPT individual parece estar dentro de rango.

e) Potencia DC máxima (oversizing permitido)

Datos de entrada de la cadena fotovoltaica	
Potencia de entrada máx. (W)	3900 ←
Tensión de entrada máx. (V)	600
Gama MPPT (V)	80~550
Tensión de arranque (V)	80
Tensión de entrada nominal (V)	360
Corriente de entrada máx. por MPPT (A)	11 / 11
Corriente de cortocircuito máx. por MPPT (A)	13,8 / 13,8
Número de MPPT	2
Número de cadenas por MPPT	1

Datos de salida de CA	
Potencia nominal de salida (W)	3000*1 ←
Potencia aparente CA máx. (VA)	3000
Tensión de salida nominal (V)	220 / 230
Frecuencia nominal de red de CA (Hz)	50 / 60
Corriente de salida máx. (A)	13,6
Factor de potencia de salida	
Distorsión armónica total máx.	< 3 %

Muchos inversores permiten conectar entre **120% y 150% de potencia DC** respecto a su potencia AC nominal.

Esto **NO daña al inversor**, porque el MPPT controla y limita la potencia.

2.4.2 Ejemplo práctico de compatibilidad

Supongamos un inversor con los siguientes parámetros:

- Rango de Voltaje = **150-500 V**
- $V_{max} = 600 \text{ V}$ (**Tensión máxima de entrada permitida**)
- Corriente máxima por MPPT = **13 A**

Vamos a revisar si un string es compatible. Para que lo sea, deben cumplirse **tres condiciones simultáneamente**.

✓ **Condición 1:** $V_{O_{Creal}} < V_{max}$

El **Voc total REAL del arreglo en frío** debe ser menor al **Voltaje máximo del inversor**.

Ejemplo:

- V_{OCreal} del panel en invierno = **50 V**

Entonces:

- 13 paneles $\rightarrow 50 \times 13 = \mathbf{650 V} \rightarrow \mathbf{PELIGRO}$
- 12 paneles $\rightarrow 50 \times 12 = \mathbf{600 V} \rightarrow$ justo al límite

☞ Esta condición define el **máximo número de paneles en serie**.

✓ Condición 2: V_{MPreal} dentro del rango de Voltaje de operación

El inversor solo puede trabajar **dentro del rango MPPT**.

Supongamos:

- V_{MPreal} del panel en condiciones calientes = **36 V**

Entonces:

- 4 paneles $\rightarrow 36 \times 4 = \mathbf{144 V} \rightarrow$ Está debajo del Voltaje mínimo. El inversor no arranca
- 5 paneles $\rightarrow 36 \times 5 = \mathbf{180 V} \rightarrow$ Está por encima del voltaje mínimo. Es correcto
- 14 paneles $\rightarrow 36 \times 14 = \mathbf{504 V} \rightarrow$ Está por encima del Voltaje límite máximo de operación.

☞ Esto define la cantidad **MÍNIMA** de paneles conectados al inversor. Esto también nos aporta otro detalle importante. Aunque de acuerdo con el cálculo de Voltaje de operación máximo más bajo se pueden conectar **13 paneles** en serie. El cálculo de Voltaje de circuito abierto máximo restringe el sistema a **12 paneles**.

✓ Condición 3: $I_{MPtotal} <$ corriente máxima del MPPT

Ahora revisamos la corriente.

Supongamos:

- I_{mp} por panel = **10.5 A**

Entonces:

- 1 string $\rightarrow 10.5 A \rightarrow$ correcto
- 2 strings $\rightarrow 21 A \rightarrow$ **excede 13 A**

☞ Esto define el **máximo número de strings en paralelo por MPPT**. En este ejemplo sólo podemos conectar UN string por MPPT

Conclusiones

Luego de estos cálculos definimos que a este inversor podemos conectar un máximo de 12 paneles solares en serie y un mínimo de 5 y solamente podemos conectar un string de paneles por MPPT.

2.4.3 Entendiendo los límites

Quiero que esto quede **muy claro**:

- El **voltaje** depende de cuántos paneles conecto en **serie**.
- La **corriente** depende de cuántos strings/paneles conecto en **paralelo**.

Y el inversor impone tres límites fundamentales:

- un **límite superior de voltaje** (V_{max})
- un **rango operativo de voltaje** (Voltaje_min – Voltaje_max)
- y un **límite superior de corriente** (Corriente máxima por MPPT)

Nota importante sobre potencia y clipping

El inversor **no puede entregar más potencia AC** que su potencia nominal.

Ejemplo:

- Potencia DC instalada: **6.5 kW**
- Potencia AC del inversor: **5 kW**
- Eficiencia: **97%**

Aunque:

- $6.5 \times 0.97 \approx 6.3 \text{ kW}$

El inversor **limitará su salida AC a 5 kW**. Esto se llama **power clipping** o **saturación**.

Resumen clave

- La **potencia AC** es el límite físico y legal del inversor.
- La **potencia DC no es un límite físico**, porque el inversor puede rechazar el exceso.
- El inversor se diseña de una manera que permite un sobredimensionamiento de potencia en el lado de Corriente Directa: para que el inversor pueda aprovechar lo mejor que se pueda la energía producida por los paneles.

2.4.4 Determinación del número de paneles por serie

Ejemplo:

Datos de panel

- $V_{oc} = 48V$
- $V_{MP} = 40V$
- $\beta V_{oc} = -0.28\%/^{\circ}C$
- $NOCT = 45^{\circ}C$

Datos de Inversor

- V_{max} de entrada = 550V
- Voltaje mínimo de operación = 120V
- Voltaje máximo de operación = 480V

Datos climatológicos

- Temperatura ambiente más alta en el año = **30°C**
 - En el día más caluroso del año con **850 W/m²**
- Temperatura más baja de celda \approx **5°C (En el día más frío del año)**

PASO 1 — Calcular el Voc a temperatura mínima

Usamos la expresión:

$$V_{oc_{real}} = V_{oc_{STC}} \times [1 + (\Delta T \times \beta_{V_{oc}})]$$

1.1 Cálculo de factor de temperatura

$$\Delta T = T_{cell} - 25 = 5^{\circ}C - 25 = -20^{\circ}C$$

$$f_T = 1 + (-0.28\%/^{\circ}C * (-20^{\circ}C)) = \mathbf{1.056}$$

1.2 Cálculo de Voc real

$$V_{oc_{real}} = 48V * 1.056$$

$$V_{oc_{real}} = \mathbf{50.7V}$$

PASO 2 — Calcular el V_{MP} en operación**2.1 Cálculo de temperatura de la celda en el día más caluroso del año**

$$T_{cell} = T_{amb} + \frac{G}{800W/m^2} * (NOCT - 20^{\circ}C)$$

$$T_{cell} = 30^{\circ}C + \frac{850W/m^2}{800W/m^2} * (45^{\circ}C - 20^{\circ}C)$$

$$T_{cell} = 30^{\circ}C + 1.0625 * 25^{\circ}C$$

$$T_{cell} = 56.56^{\circ}C$$

2.2 Cálculo de factor de temperatura

$$\Delta T = T_{cell} - 25 = 56.56^{\circ}C - 25 = 31.56^{\circ}C$$

$$f_T = 1 + (-0.28\%/^{\circ}C * (31.56^{\circ}C)) = 0.911$$

2.3 Cálculo de V_{mp} real

$$V_{MPreal} = 40V * 0.911$$

$$V_{MPreal} = 36.5V$$

PASO 3 — Calcular el límite máximo

$$L_{m\acute{a}x} = \frac{V_{OCm\acute{a}x}}{V_{OCreal}}$$

$$L_{m\acute{a}x} = \frac{550V}{50.7V} = 10.84 \text{ paneles}$$

$$L_{m\acute{a}x} \approx 10 \text{ paneles (Redondeamos hacia abajo)}$$

PASO 4 — Calcular el límite mínimo

$$L_{m\acute{a}x} = \frac{V_{MPmin}}{V_{MPreal}}$$

$$L_{m\acute{a}x} = \frac{120V}{36.5V} = 3.28$$

$$L_{min} \approx 4 \text{ paneles (Redondeamos hacia arriba)}$$

¿Por qué usamos V_{mp} y no V_{oc} para el límite mínimo?

Porque:

- El inversor **NO opera en Voc**.
- El inversor opera cerca del **Vmp**, cuando el MPPT está activo.

⚠ Los paneles **no operan a Vmp por sí solos**.

El **MPPT fuerza** al panel a trabajar cerca de Vmp para extraer máxima potencia.

Frases clave:

- Usamos **Voc** para el máximo porque es el voltaje más alto que verá el inversor.
- Usamos **Vmp** para el mínimo porque es el voltaje real de operación.
- Los paneles no operan nunca a Voc, excepto en circuito abierto.

Cierre

Ahora que ya sabemos:

- Cómo leer los parámetros del inversor y sus límites
- Cómo calcular Voc y Vmp reales
- Calcular la cantidad mínima y máxima de paneles por string

Estamos listos para el siguiente paso:

👉 **Determinar el número óptimo de paneles por serie.**

Checklist de 3 pasos

1. Calculamos el **Voc real en frío** → para no pasar el límite del inversor.
2. Calculamos el **Vmp real en caliente** → para asegurar operación del MPPT.
3. Calculamos la cantidad máxima y mínima de paneles por string que cumpla **todo al mismo tiempo**:

✓ $V_{Ocreal} < V_{max}$

✓ Voltaje mínimo de operación > Voltaje mínimo de Inversor

✓ $i_{SCtotal} < \text{Corriente máxima de MPPT}$

Si el diseño **no cumple las tres condiciones**, comenzará a dar problemas poco después de su instalación.

