

2.6 Ejercicios prácticos

Ok, ahora vamos a comprobar **estos conceptos** que hemos visto hasta ahora con **tres ejercicios cortos y muy prácticos**.

En estos ejercicios vamos a calcular:

1. El **máximo número de módulos por serie** usando el **Voc en frío**.
2. Verificar si el diseño **arranca correctamente en temperatura caliente** usando el **Vmp real**.
3. Determinar cuántos **strings en paralelo** puede soportar el MPPT **sin exceder la corriente máxima**.

Voy a guiarte **paso a paso**, pero la idea es que **vayas calculando conmigo**, tal como lo harías en un proyecto real. Si quieres repasar las fórmulas y procedimiento revisa el módulo “2.1 Cálculo bajo condiciones reales”.

Ejercicio 1 — Calcular el máximo número de módulos por serie (*Voc en frío*)

Planteamiento

Queremos saber **cuántos módulos como máximo** podemos poner en **serie** sin exceder el **voltaje máximo del inversor** en un **día frío**.

Datos

- $V_{oc_{STC}} = 50 \text{ V}$
- $\beta_{V_{oc}} = -0.29\%/^{\circ}\text{C}$
- Temperatura más baja de la celda = 3°C
- $V_{oc_{max_inversor}} = 600 \text{ V}$

1 Paso 1 — Calcular ΔT (Diferencia de temperatura)

STC usa 25°C como referencia.

$$\Delta T = T_{min} - 25^{\circ}\text{C} = 3^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = -22^{\circ}\text{C}$$

Pregunta **¿El Voc va a subir o bajar con esta ΔT negativa?**

2 Paso 2 — Valor relativo del Voc

Tomamos el valor absoluto del coeficiente:

$$|\beta_{Voc}| = \frac{-0.29\%}{^{\circ}C} = -0.0029/^{\circ}C$$
$$\text{Incremento} = -0.0029/^{\circ}C \times (-22^{\circ}C) \approx 0.0638$$

Es decir, el Voc **augmenta 6.38 %**.

3 Paso 3 — Voc real de un solo módulo

$$V_{OC_{real}} = 50V \times (1 + 0.0638) \approx 53.2 V$$

El Voltaje máximo de circuito abierto es de **53.2 V por módulo** en invierno.

4 Paso 4 — Máximo número de módulos por serie

$$N_{max} = \frac{600V}{53.2V} \approx 11.28$$

No podemos tener fracción de panel, así que:

👉 Máximo 11 módulos por serie.

Si pongo 12 módulos en serie, me paso del límite de 600 V del inversor en la mañana más fría del año. Por eso, el Voc en invierno define el máximo número de módulos por string.

Ejercicio 2 — Verificar que el diseño arranca en temperatura caliente (V_{mp} real y V_{min} de Inversor)

Ahora vamos al **caso contrario**: un **día caluroso**.

Queremos verificar si el sistema **sigue dentro del rango de Voltaje del inversor y puede arrancar**.

Datos

- $V_{mp_{STC}} = 41 V$
- $\beta_{P_{max}} = -0.34\%/^{\circ}C$
- Temperatura más alta del módulo = **55 °C**
- V_{min} de Inversor = 150 V

1 Paso 1 — Calcular ΔT

$$\Delta T = T_{\text{módulo}} - 25 = 55 - 25 = 30^{\circ}C$$

Con temperatura más alta → **el Vmp baja.**

2 Paso 2 — Factor térmico sobre Vmp

$$\beta_{Pmax} = \frac{-0.34\%}{^{\circ}C} = -0.0034/^{\circ}C$$
$$1 + \beta\Delta T = 1 + \left(-\frac{0.0034}{^{\circ}C} \times 30^{\circ}C\right) = 1 - 0.102 = 0.898$$

El Vmp se queda en **89.8 % del valor STC.**

3 Paso 3 — Vmp más bajo de un módulo

$$V_{mp_{real}} = 41 \times 0.898 \approx 36.8 V$$

El Voltaje de operación más bajo del panel es de **36.8 V por módulo** en el día más caliente del año.

4 Paso 4 — Verificar si el inversor arranca

Pregunta clave:

“Si el inversor necesita mínimo 150 V para que su MPPT funcione, ¿cuántos módulos necesito como mínimo?”

$$N_{min} = \frac{150V}{36.8V} \approx 4.08$$

- Con **4 módulos:**

$$4 \times 36.8 \approx 147 V < 150 V$$

✗ No es suficiente.

- Con **5 módulos:**

$$5 \times 36.8 \approx 184 V$$

✓ Ahora sí estamos por encima del Voltaje mínimo de los paneles.

Con estos parámetros, el mínimo aceptable son 5 módulos en serie si queremos asegurar que el inversor pueda trabajar en un día caluroso.

El Voc en frío define el **máximo** de módulos por string.

El Vmp en caliente define el **mínimo** de módulos por string.

Ejercicio 3 — Corriente en paralelo (límite del MPPT)

Último ejercicio: ahora nos vamos al **paralelo**.

Queremos saber **cuántos strings** podemos conectar a un mismo MPPT **sin rebasar su límite de corriente**.

Datos

- $I_{mp} = 10.5 \text{ A}$
- $I_{max_MPPT} = 15 \text{ A}$

1 Idea base

En paralelo:

- El **voltaje es común**.
- La **corriente se suma**.

La corriente total es:

$$I_{total} = N_{strings} \times I_{mp}$$

Debe cumplirse:

$$I_{total} \leq I_{max_MPPT}$$

2 Cálculo directo

$$N_{max} = \frac{15}{10.5} \approx 1.43$$

No puedes tener **1.43 strings**, así que redondeas hacia abajo:

👉 **Solo 1 string máximo por MPPT** con estos datos.

Si intentaras poner **2 strings**:

$$I_{total} = 2 \times 10.5 = 21 \text{ A} > 15 \text{ A}$$

✗ Excede la corriente máxima permitida.

Este MPPT, con estos módulos, solo permite 1 string en paralelo. Si quiero 2 strings, necesito un inversor con mayor capacidad de corriente o distribuir los strings en otro MPPT.

Cierre de la sección

Con estos **tres ejercicios** cerramos el ciclo completo del diseño del arreglo FV:

1. **Voc en frío** → máximo número de módulos por serie.
2. **Vmp en caliente** → mínimo número de módulos por serie.
3. **Imp y corriente del MPPT** → máximo número de strings en paralelo.

Si **cada vez que diseñen un arreglo FV** pasan por estos tres chequeos, estarán diseñando a **nivel profesional**.

