

## 2.3 Cálculo de Voc real y Vmp real

### Introducción

En esta sección vamos a **aplicar todo lo que hemos visto hasta ahora**, pero aumentando un poco el nivel de complejidad para entrar al **diseño fotovoltaico profesional**.

Vamos a calcular dos valores **críticos**:

1. **El Voc real en invierno**, para **evitar dañar el inversor por sobrevoltaje**.
2. **El Vmp real en operación**, para **asegurar que el arreglo funcione dentro del rango MPPT** del inversor.

Estos dos cálculos **no son opcionales**.

Son absolutamente esenciales para que un sistema fotovoltaico:

- Arranque correctamente.
- No se desconecte en horas críticas.
- No dañe el equipo por errores de diseño.

---

### 2.3.1 Voc real en invierno (para evitar sobrevoltaje)

Vamos a comenzar con el **escenario más peligroso para el inversor: el invierno**, cuando el panel está frío.

Recuerda esta **regla fundamental del diseño FV: Cuando baja la temperatura, el Voc sube**.

Si este aumento no se calcula correctamente, el **voltaje del string puede exceder el Voltaje máximo de entrada del inversor**, provocando daños.

#### Datos del ejemplo

Supongamos un módulo con los siguientes parámetros (obtenidos del datasheet):

- Voc = **47.43 V**
- Vmp = **39.82 V**
- Treal = **2°C** (Temperatura más baja de la celda)

- Recuerda que este parámetro se refiere a la temperatura de la celda NO a la temperatura ambiente. Hago énfasis en esto porque causa muchas confusiones.
- Coeficiente térmico de Voc: **-0.26%/K**
- Número de paneles en serie: **12**

### **Paso 1 – Diferencia de temperatura respecto a STC**

STC utiliza una temperatura de celda de **25°C**.

$$\Delta T = T_{real} - T_{STC} = 2 - 25 = -23^{\circ}C$$

Es decir, el panel está **23°C más fríos que STC**.

### **Paso 2 – Incremento relativo del Voc**

Convertimos el coeficiente térmico:

$$-0.26\%/^{\circ}C = -0.0026/^{\circ}C$$

Calculamos el incremento relativo:

$$\text{Incremento } (V_{oc}) = |\beta_{Voc}| \times |\Delta T| = \frac{0.0026}{^{\circ}C} * 23^{\circ}C = 0.0598$$

👉 **Esto equivale a un aumento del 5.98% en el Voc.**

Como hace frío, el **Voc aumenta**.

### **Paso 3 – Voc real del módulo en invierno**

$$V_{oc_{invierno}} = 47.43 V * (1 + 0.0598)$$

$$V_{oc_{invierno}} \approx 50.25 V$$

### Voc del string completo

Ahora hacemos una pausa clave:

**Imaginen que tienen 12 paneles en serie.**

$$V_{OC_{string}} = 50.25 * 12 \approx 603 \text{ V}$$

Este es el **voltaje máximo real** que puede llegar al inversor en una mañana fría. Son exactamente los valores que usamos para verificar si el inversor **sobrevive o no** al invierno.

*(Veremos cómo se comparan contra los límites del inversor en el módulo de inversores.)*

### Cierre de esta parte

Con esto ya vimos **cómo calcular el voltaje máximo de circuito abierto en una mañana fría.**

Ahora vamos a analizar el **problema opuesto**: Evitar que el inversor **se desconecte en la tarde caliente.**

---

### 2.3.2 Vmp real en operación (para asegurar funcionamiento dentro del rango MPPT)

Ahora vamos a calcular el **Vmp real del arreglo de paneles cuando está operando con calor.**

Este es el **voltaje real de trabajo del MPPT** del inversor.

Regla fundamental:

👉 **Con calor, el Vmp baja.**

Y baja tanto que:

- Algunos sistemas **salen del rango MPPT.**
- El inversor deja de producir en las horas más importantes del día.

Esto ocurre muy frecuentemente cuando:

- El instalador solo prueba el sistema en la mañana.
- Se usan únicamente los valores STC del datasheet.

👉 **Muchos sistemas arrancan en la mañana fría, pero se apagan en la tarde calurosa.**

---

**Datos del ejemplo**

Usaremos los siguientes valores:

- $V_{oc} = 47.43 \text{ V}$
- $V_{mp} = 39.82 \text{ V}$
- Irradiancia =  $600 \text{ W/m}^2$
- $NOCT = 45^\circ\text{C}$
- Coeficiente térmico:  $-0.26\%/K$
- Temperatura ambiente máxima:  $36.25^\circ\text{C}$

**Paso 1 – Cálculo de la temperatura de la celda**

Usamos la expresión estándar:

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

Sustituyendo:

$$T_{cell} = 36.25^\circ\text{C} + \frac{600 \text{ W/m}^2}{800 \text{ W/m}^2} * (45^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$T_{cell} = 36.25^\circ\text{C} + 0.75 \times 25^\circ\text{C}$$

$$T_{cell} = 36.25^\circ\text{C} + 18.75^\circ\text{C} = 55^\circ\text{C}$$

**Paso 2 – Diferencia de temperatura respecto a STC**

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

**Paso 3 – Disminución relativa del  $V_{mp}$** 

Coeficiente de temperatura:

$$\beta = -0.26\%/^\circ\text{C} = -0.0026/^\circ\text{C}$$

Factor térmico:

$$1 + \beta\Delta T = 1 + \left(-\frac{0.0026}{^{\circ}\text{C}} \times 30^{\circ}\text{C}\right)$$

$$1 - 0.078 = \mathbf{0.922}$$

#### Paso 4 - $V_{mp}$ real del módulo

$$V_{mp_{real}} = 39.82 \times 0.922 \approx \mathbf{36.7 \text{ V}}$$

Este es el **voltaje real** que verá el MPPT **en una tarde calurosa**, no el valor del datasheet.

---

#### ¿Para qué sirven realmente estos cálculos?

A simple vista puede parecer que solo hemos estado haciendo números, pero en realidad:

- Estos cálculos definen **si el inversor sobrevive**.
- Definen **si el sistema arranca todos los días**.
- Definen **si el sistema produce energía justo cuando más se necesita**.

