

SFCR: Diseño

Oscar Perpiñán Lamigueiro

Universidad Politécnica de Madrid

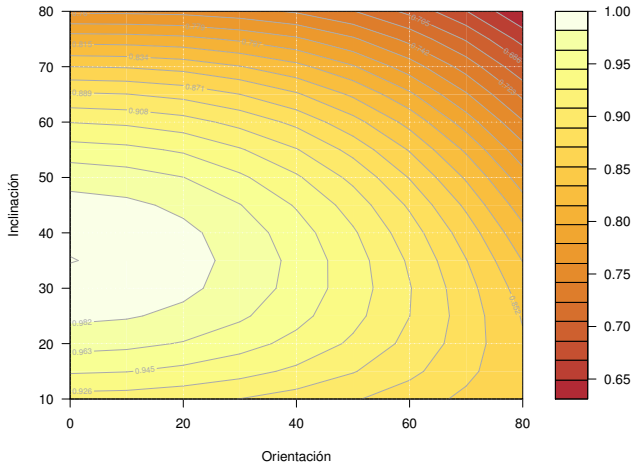
① Generador Fotovoltaico

② Inversor

③ Cableado

Inclinación y Orientación

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 \cdot |\phi|$$



Modulos en serie

- El inversor está diseñado para soportar una **tensión máxima en la entrada**. Superarla puede conllevar la avería del equipo.

$$N_{sMAX} = \frac{V_{max,inv}}{V_{ocM}(G = 200 \text{ W m}^{-2}, T_a = -10^\circ\text{C})}$$

- Por otra parte, el algoritmo de **búsqueda del MPP** se realiza en un rango de tensiones limitado. Para evitar pérdidas por trabajar en un punto alejado del MPP, la tensión del generador debe estar dentro de este rango.

$$N_{sMPP}^{min} = \frac{V_{mppMIN}}{V_{mppM}(G_{stc}, T_a = 25^\circ\text{C})}$$

$$N_{sMPP}^{max} = \frac{V_{mppMAX}}{V_{mppM}(G_{stc}, T_a = 25^\circ\text{C})}$$

Ramas en paralelo

- ▶ El fabricante del inversor elige los componentes para soportar una **corriente máxima admisible**.
- ▶ En general, el inversor es capaz de autoprotegerse ante valores superiores a este umbral desplazando el punto de funcionamiento del generador fuera del MPP.
- ▶ No obstante, el diseñador del sistema debe elegir el número de ramas en paralelo de forma que no se supere este umbral.

$$N_{pMAX} = \frac{I_{max,INV}}{I_{scM}^*}$$

Configuración del generador

De los cálculos anteriores se obtiene un conjunto de configuraciones del generador que permiten un buen acoplamiento entre inversor y generador.

Para elegir una configuración deben tenerse en cuenta diferentes aspectos:

- ▶ Configuración eléctrica y ubicación física de los módulos en la estructura.
- ▶ La curva de eficiencia del inversor depende de la tensión de entrada.
- ▶ Inversión y rendimiento económicos.
- ▶ Espacio disponible.
- ▶ Relación de potencias de generador e inversor.

Configuración eléctrica y estructura

- ▶ Es recomendable elegir **series** compuestas por un número de módulos que puedan ser ubicados en una **única hilera de la estructura**.
 - ▶ **Se facilita el trazado del cableado**: la propia estructura puede servir como fijación auxiliar, se evitan cruzamientos indeseados.
 - ▶ **Se minimiza la influencia de las sombras**: es muy frecuente la aparición de sombras entre partes del generador o entre seguidores, sombras de forma rectangular y que comienzan afectando a las partes bajas de la estructura. Al cablear por hileras, las sombras de las hileras bajas no afectan a las hileras inmediatamente superiores.

Potencia del generador

- ▶ La potencia del generador fotovoltaico está relacionada directamente con la **inversión económica** a realizar.
- ▶ Por otra parte, la relación entre **energía generada** y potencia nominal es aproximadamente lineal, y por tanto, los **ingresos económicos** dependen casi linealmente de la potencia del generador.
- ▶ Por tanto, para decidir la potencia del generador ($P_g^* = N_s \cdot N_p \cdot P_m^*$) debe tenerse en cuenta el capital o financiación disponible, y el rendimiento económico deseado.

Potencia del generador

- ▶ La potencia del generador es proporcional al área del generador y al **terreno ocupado** (que también influye, aunque en menor grado, en el cálculo económico). Por tanto, debe tenerse en cuenta el espacio disponible (o el coste que se pretende asumir por el uso de terreno).
- ▶ Según el **tipo de sistema** (estático, seguimiento) se debe elegir una relación de potencias de generador e inversor.

① Generador Fotovoltaico

② Inversor

③ Cableado

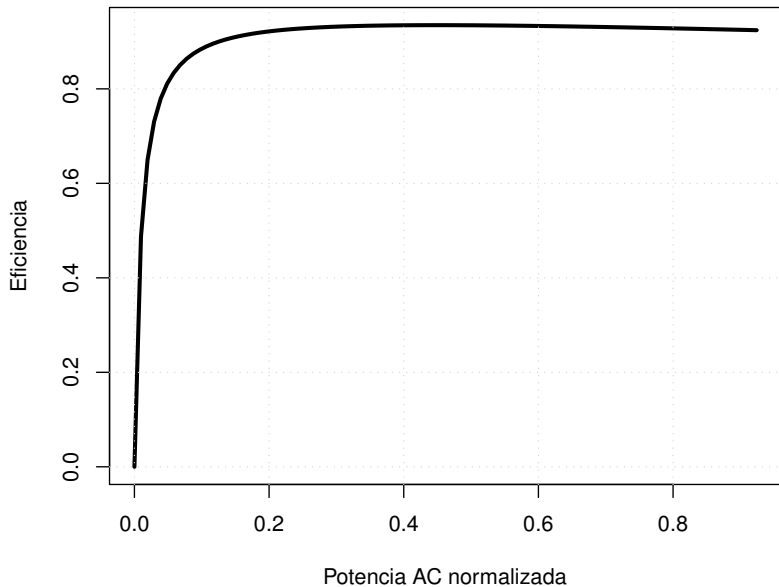
Curva de eficiencia

- ▶ Eficiencia del inversor, $\eta_{inv} = P_{ac}/P_{dc}$
- ▶ Esta relación puede describirse con una función basada en tres coeficientes y la normalización de la potencia de salida, $p_o = P_{ac}/P_{inv}$:

$$\eta_{inv} = \frac{p_o}{p_o + k_0^o + k_1^o p_o + k_2^o p_o^2}$$

Curva de eficiencia

$$\begin{aligned}k_0^o &= 0.01 \\k_1^o &= 0.025 \\k_2^o &= 0.05\end{aligned}$$



Relación de potencias

- ▶ Dado que la potencia entregada por el generador varía con las condiciones meteorológicas, el inversor trabajará en diferentes zonas de su curva de eficiencia.
- ▶ Por tanto, una de las preguntas a responder es **que relación debe existir entre la potencia del generador FV y el inversor.**

$$F_{DI} = P_g^* / P_{inv}$$

- ▶ Si esta relación es alta, el inversor trabajará con frecuencia en la región de alta eficiencia, pero a cambio es posible que deba limitar la potencia del generador para evitar superar su umbral de corriente admisible.

Relación de potencias

- ▶ En **sistemas de integración arquitectónica**, donde la orientación e inclinación no son óptimas, esta probabilidad puede ser baja. Así, puede considerarse necesario sobredimensionar el generador FV respecto al inversor ($P_g^*/P_{inv} \in [1; 1.4]$).
 - ▶ CTE-HE5-3.2.3.2: «la potencia del inversor será como mínimo el 80% de la potencia pico real del generador fotovoltaico»
- ▶ En **sistemas de seguimiento** esta probabilidad suele ser alta. Se recomiendan inversores de potencia similar a la del generador ($P_g^*/P_{inv} \in [1; 1.2]$)

Relación de potencias

No obstante, es posible demostrar que el valor de esta relación no es tan crítico como **elegir un inversor con buena curva de eficiencia.**

① Generador Fotovoltaico

② Inversor

③ Cableado

Características básicas

- ▶ Diseño del cableado
 - ▶ Criterio de caída de tensión
 - ▶ En sistemas de gran tamaño reducir bucles
 - ▶ Diseño de estructura e integración: habilitar un camino para cableado
- ▶ Tipo de cables
 - ▶ Doble aislamiento
 - ▶ Poliolefíneas



Cálculo

- ▶ Habitualmente se descarta el criterio termico y se emplea el criterio de caída de tensión (RBT ITC-BT-07):

$$S_{dc} = \frac{2 \cdot L_{dc} \cdot I_{dc}}{\gamma_{\theta} \cdot \Delta V_{dc}}$$

$$S_{1ac} = \frac{2 \cdot L_{1ac} \cdot I_{1ac}}{\gamma_{\theta} \cdot \Delta V_{1ac}}$$

$$S_{3ac} = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{3ac} \cdot I_{3ac}}{\gamma_{\theta} \cdot \Delta V_{3ac}}$$

- ▶ La conductividad del cable, γ_{θ} , depende del material y de la temperatura de operación. Por ejemplo, el cobre:
 - ▶ $\gamma_{20} = 58 \text{ m}\Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$
 - ▶ $\gamma_{70} = 48 \text{ m}\Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$.

Cálculo

- ▶ En general, se exige una caída máxima de tensión 1,5 % de la tensión nominal.
- ▶ Para aplicar correctamente este porcentaje es importante caer en la cuenta de que **cada zona (DC y AC) tiene su propia tensión nominal.**

Ejemplo

- ▶ En una instalación que conduce 75 A a la salida de un inversor trifásico, situado este a 100 m de la conexión a red, se deberá utilizar un cable de sección (teniendo en cuenta que $\gamma_{70} = 48 \text{ m } \Omega^{-1} \text{ mm}^{-2}$).

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 75}{48 \cdot 1,5 \% \cdot 400} = 45,46 \text{ mm}^2$$

- ▶ Dado que la sección de los cables está normalizada, se deberá optar por la sección inmediatamente superior, y por tanto la conexión del inversor a la red se realizará con tres cables de sección $S = 50 \text{ mm}^2$.

Intensidad máxima admisible

- ▶ Con este resultado, es necesario comprobar que la intensidad de diseño es inferior a la intensidad máxima admisible del cable para sus condiciones de servicio, según las tablas de la ITC-BT-07.
- ▶ No obstante, las secciones que resultan del criterio de caída de tensión aplicado a los sistemas fotovoltaicos habitualmente son sobradamente capaces de conducir la corriente del sistema.

Continua vs. Alterna

Suponiendo que en una planta con varios inversores trifásicos existe la posibilidad de ubicar los inversores debajo del generador FV (*distribución en alterna*) o en un centro específico junto al punto de conexión a red (*distribución en continua*), **¿cuál es la tensión de trabajo en continua que permite optar por una distribución en continua?**

Se puede demostrar que para tensiones de generador $V_{mpp} \geq 473 \text{ V}$, la distribución en continua es preferible a la distribución en alterna desde el punto de vista de masa de conductor necesario.