

Energía Producida por un SFCR

Energía Solar Fotovoltaica

Oscar Perpiñán Lamigueiro

Universidad Politécnica de Madrid

① Energía Producida por un SFCR

② Productividades y Pérdidas

③ Métricas de Rendimiento

Nomenclatura

- ▶ E_{ac} : energía producida en un periodo.
- ▶ G_{stc}, G^* : irradiancia en condiciones estándar de medida (STC, $G_{stc} = 1 \text{ kW/m}^2$, $T_c^* = 25 \text{ °C}$)
- ▶ P_g^* : potencia nominal del generador FV (kWp) en STC
- ▶ G_{inc} : irradiación incidente en el plano del generador (no incluye suciedad, pérdidas de reflexión ni sombreado)
- ▶ G_{ef} : irradiación efectiva incidente en el plano del generador
- ▶ η_g : eficiencia del generador
- ▶ η_{inv} : eficiencia del inversor
- ▶ A_g : área del generador

Potencia y Energía del Generador

- ▶ **Eficiencia** del generador FV

$$\eta_g^* = \frac{P_g^*}{A_g \cdot G^*}$$

- ▶ **Potencia** a la Salida del Generador FV

$$P_{dc} = A_g \cdot \eta_g(G_{ef}, T_a) \cdot G_{ef} = \frac{\eta_g(G_{ef}, T_a)}{\eta_g^*} \cdot \frac{G_{ef}}{G^*} \cdot P_g^*$$

- ▶ **Energía** a la Salida del Generador FV

$$E_{dc} = \int_T \frac{\eta_g(G_{ef}, T_a)}{\eta_g^*} \cdot \frac{G_{ef}}{G^*} \cdot P_g^* \quad dt$$

Potencia y Energía del Sistema

- ▶ **Potencia** a la Salida del Inversor

$$P_{ac} = P_{dc} \cdot \eta_{inv}(P_{dc}, V_{dc}) = P_{dc} \cdot \eta_{inv}(G_{ef}, T_a)$$

- ▶ **Energía** Producida por un SFCR

$$E_{ac} = \int_T \frac{\eta_g(G_{ef}, T_a)}{\eta_g^*} \cdot \frac{G_{ef}}{G^*} \cdot \eta_{inv}(G_{ef}, T_a) \cdot P_g^* \quad dt$$

① Energía Producida por un SFCR

② Productividades y Pérdidas

③ Métricas de Rendimiento

Planteamiento

- ▶ Las **productividades** son relaciones entre una cantidad de energía y la potencia nominal P_g^* .
 - ▶ Indican el funcionamiento real del SFCR en relación con su capacidad asignada.
- ▶ Las **pérdidas** se calculan restando las productividades.
 - ▶ Representan la cantidad de tiempo que el SFCR necesitaría para funcionar a P_g^* para compensar las pérdidas respectivas durante el periodo correspondiente.

Productividades

- ▶ Productividad del Generador

$$Y_a = \frac{E_{dc}}{P_g^*} \quad [\text{kWh/kWp}]$$

- ▶ Productividad del Sistema

$$Y_f = \frac{E_{ac}}{P_g^*} \quad [\text{kWh/kWp}]$$

- ▶ Productividad de Referencia*

$$E_{ref} = P_g^* \cdot \frac{G_{inc}}{G_{stc}}$$
$$Y_r = \frac{E_{ref}}{P_g^*} = \frac{G_{inc}}{G_{stc}} \quad [\text{kWh/kW}]$$

*Atención: se define con la radiación incidente, y no con la efectiva.

Pérdidas de Rendimiento

Pérdidas de captación del campo fotovoltaico.

$$L_C = Y_r - Y_a$$

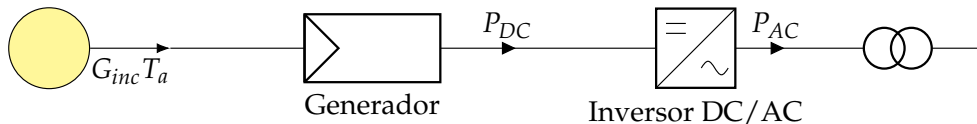
Incluye pérdidas ópticas (suciedad, reflexión, sombreado), y pérdidas del generador (temperatura, cableado, tolerancia de potencia, dispersión de parámetros, LID, envejecimiento).

Pérdidas en el balance del sistema

$$L_S = Y_a - Y_f$$

Incluye pérdidas por eficiencia e interrupciones del inversor, cableado, y transformador.

Resumen



$$Y_r = \frac{G_{inc}}{G_{stc}}$$

$$Y_a = \frac{E_{dc}}{P_g^*}$$

$$Y_f = \frac{E_{ac}}{P_g^*}$$

$$L_c = Y_r - Y_a$$

$$L_s = Y_a - Y_f$$

① Energía Producida por un SFCR

② Productividades y Pérdidas

③ Métricas de Rendimiento

Performance Ratio o rendimiento global

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} = \frac{E_{ac}}{P_g^* \cdot \frac{G_{inc}}{G_{stc}}}$$

- ▶ Está concebido para incluir todas las **pérdidas que no tienen dependencia con las condiciones meteorológicas**.
- ▶ Este factor *puede* caracterizar el funcionamiento de un sistema **independientemente de la localidad**.
- ▶ En sentido estricto no es cierto porque sí hay **relación con la temperatura**.
 - ▶ Un mismo sistema tendrá un PR más alto en un lugar de clima frío que en un lugar de clima cálido.
 - ▶ El PR de un sistema es estacional (más alto en invierno que en verano).

Valores del PR

- ▶ El análisis de funcionamiento de diversos sistemas FV europeos ha mostrado que el rango de valores que toma el *performance ratio* es bastante amplio, con mínimos de 0,4 y máximos de 0,85.
- ▶ Para sistemas instalados entre 1980 a 1990, **el valor promedio ha sido de 0,7.**
- ▶ Para sistemas instalados entre 2005 a 2012, **el valor promedio ha sido de 0,8.**

Rendimiento Global 25 °C

$$PR_{25} = \frac{E_{ac}}{\sum_i \left\{ P_g^* \cdot [1 + \gamma_P \cdot (T_{c,i} - 25)] \cdot G_{ef,i} / G_{stc} \cdot \Delta t \right\}}$$

- ▶ Se introduce una corrección con la temperatura utilizando el coeficiente γ de dependencia de la potencia del módulo con la temperatura.
- ▶ Δt es el intervalo temporal de medida.
- ▶ No elimina totalmente la dependencia estacional porque hay otros efectos estacionales (sombras).