

# 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
- ▶  $\eta_g$ : eficiencia del generador
- ▶  $\eta_{inv}$ : eficiencia del inversor
- ▶  $A_g$ : área del generador

# Potencia y Energía del Generador

- **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

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

# 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.

$$L_C = Y_r - Y_a$$

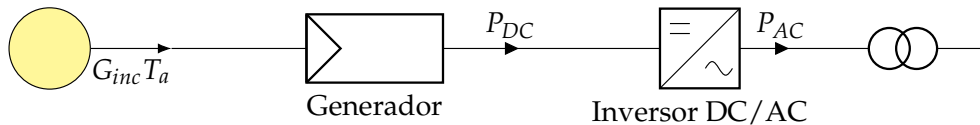
Incluye pérdidas ópticas (suciedad, reflexión, sombreado), y pérdidas del generador (temperatura, cableado, tolerancia de potencia, dispersión de parámetros, LID, envejecimiento).

## 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  $\gamma$  de dependencia de la potencia del módulo con la temperatura.
- ▶  $\Delta t$  es el intervalo temporal de medida.
- ▶ No elimina totalmente la dependencia estacional porque hay otros efectos estacionales (sombras).