Ejercicios resueltos

Temas Avanzados en Energías Renovables

Fotovoltaica, eólica y solar térmica

Máster Universitario en Ingeniería de la Energía

ETSI Minas y Energía

Hugo Torres Orejudo

Noviembre 2026

Elaborado con IA a partir del material de la asignatura. Material no oficial.

Índice general

Problema 1. Dimensionado de strings para un inversor de 320 kW 2
Problema 2. Pérdida por temperatura en verano 3
Problema 3. Parque eólico: tensión, pérdidas y reactiva 3
Problema 4. Rendimiento de un captador frente a la concentración 4
Problema 5. Diseño básico de una central de torre con almacenamiento 4

Tabla de resultados **5**

Resumen

Cinco problemas originales con datos inventados (módulos, inversores y parque genéricos, no de ningún fabricante concreto). Las cifras están calculadas con Python; el flujo de cargas del problema 3 se resuelve por iteración sobre un modelo agregado.

Problema 1. Dimensionado de strings para un inversor de 320 kW

Enunciado

Módulo de 560 Wp: $V_{oc} = 49{,}6\,\text{V}$, $V_{mp} = 41{,}7\,\text{V}$, $I_{sc} = 14{,}0\,\text{A}$, $\beta_{V_{oc}} = -0{,}25\,\%/°\text{C}$, $\beta_{V_{mp}} = -0{,}29\,\%/°\text{C}$, $\alpha_{I_{sc}} = 0{,}048\,\%/°\text{C}$, $NOCT = 43\,°\text{C}$. Inversor de 320 kW AC con 1500 V máximos y ventana MPPT de 880 a 1300 V. Emplazamiento: mínima de $-8\,°\text{C}$ y máxima de $40\,°\text{C}$ con $1000\,\text{W/m}^2$. Elige módulos en serie y ramas para un ratio DC/AC cercano a 1,25 y estima la producción con $H = 2050\,\text{kWh/m}^2$ en el plano y $PR = 0{,}82$.

Temperaturas de célula extremas:

$$T_{c,min} = -8\,°\text{C (amanecer, sin sol)} \qquad T_{c,max} = 40 + \frac{43-20}{800}\,1000 = 68{,}75\,°\text{C}$$

Tensiones corregidas:

$$V_{oc}(-8) = 49{,}6\,[1 - 0{,}0025(-33)] = 53{,}69\,\text{V}$$
$$V_{mp}(68{,}75) = 41{,}7\,[1 - 0{,}0029 \cdot 43{,}75] = 36{,}41\,\text{V}$$
$$V_{mp}(-8) = 45{,}69\,\text{V} \qquad I_{sc}(68{,}75) = 14{,}29\,\text{A}$$

Límites de módulos en serie:

$$N_s \le \frac{1500}{53{,}69} = 27{,}9 \Rightarrow 27 \qquad N_s \ge \frac{880}{36{,}41} = 24{,}2 \Rightarrow 25 \qquad N_s \le \frac{1300}{45{,}69} = 28{,}5$$

Se elige $N_s = 27$: $V_{oc} = 1450\,\text{V} < 1500$, V_{mp} entre 983 y 1234 V, dentro del MPPT.

Ramas:

para $1{,}25 \cdot 320 = 400\,\text{kWp}$ harían falta $400000/(27 \cdot 560) = 26{,}5$ ramas. Con **26 ramas**:

$$P_{dc} = 26 \cdot 27 \cdot 560 = 393{,}1\,\text{kWp}, \qquad DC/AC = 1{,}23, \qquad I_{sc,total} = 26 \cdot 14{,}29 = 372\,\text{A}$$

Producción:

$E = 393{,}1 \cdot 2050 \cdot 0{,}82 =$ **661 MWh/año**, unos 1681 kWh/kWp.

Problema 2. Pérdida por temperatura en verano

Enunciado

El módulo anterior ($\gamma_P = -0{,}34\,\%/°\mathrm{C}$) recibe $850\,\mathrm{W/m^2}$ con $32\,°\mathrm{C}$ de ambiente. Calcula la temperatura de célula y la potencia.

$$T_c = 32 + \frac{23}{800}\,850 = 56{,}4\,°\mathrm{C} \qquad P = 560 \cdot 0{,}85\,[1 - 0{,}0034\,(56{,}4 - 25)] = \boxed{425\,\mathrm{W}}$$

La temperatura le quita un $10{,}7\,\%$ respecto a la potencia proporcional a la irradiancia.

Problema 3. Parque eólico: tensión, pérdidas y reactiva

Enunciado

Parque de 10 aerogeneradores de $2\,\mathrm{MW}$ ($690\,\mathrm{V}$) modelado de forma agregada: transformadores de aerogenerador equivalentes de $22\,\mathrm{MVA}$ y $\varepsilon_{cc} = 6\,\%$, un cable equivalente de $30\,\mathrm{kV}$ y $8\,\mathrm{km}$ con $0{,}13 + j0{,}11\ \Omega/\mathrm{km}$ (sin capacidad) y un transformador de subestación de $25\,\mathrm{MVA}$, $30/132\,\mathrm{kV}$, $\varepsilon_{cc} = 10\,\%$. Red a $1\,\mathrm{pu}$. Base $50\,\mathrm{MVA}$. a) Con factor de potencia unidad en los aerogeneradores, calcula su tensión, las pérdidas y la reactiva en la red. b) ¿Qué reactiva deben absorber para tener $1\,\mathrm{pu}$ en bornes?

Impedancias en por unidad:

$$X_T = 0{,}06 \cdot \tfrac{50}{22} = 0{,}1364 \qquad Z_{b,30} = \tfrac{30^2}{50} = 18\,\Omega \qquad Z_{cable} = \tfrac{(0{,}13 + j0{,}11)\,8}{18} = 0{,}0578 + j0{,}0489$$

$$X_S = 0{,}10 \cdot \tfrac{50}{25} = 0{,}20 \qquad Z_{total} = 0{,}0578 + j0{,}3853\ \mathrm{pu}$$

a) $P = 0{,}4\,\mathrm{pu}$, $Q = 0$.

Se itera $\underline{I} = (\underline{S}/\underline{U}_g)^*$, $\underline{U}_g = 1 + Z\,\underline{I}$ hasta converger:

$$\underline{U}_g = \boxed{1{,}011\angle 8{,}77°\ \mathrm{pu}} \qquad I = 0{,}396\ \mathrm{pu}$$

$$P_{\text{pérd}} = 0{,}45\,\mathrm{MW} \qquad Q_{consumida} = 3{,}01\,\mathrm{Mvar} \qquad Q_{red} = \boxed{-3{,}0\,\mathrm{Mvar}}\ \text{(el parque absorbe)}$$

b)

Buscando Q con $|U_g| = 1$: $Q = -0{,}0283\,\mathrm{pu}$, es decir, los aerogeneradores absorben $\boxed{1{,}42\,\mathrm{Mvar}}$ y el parque toma de la red $4{,}5\,\mathrm{Mvar}$. Absorber más (por ejemplo $4\,\mathrm{Mvar}$, $Q = -0{,}08\,\mathrm{pu}$) baja la tensión a $0{,}979\,\mathrm{pu}$ pero sube las pérdidas a $0{,}50\,\mathrm{MW}$.

Problema 4. Rendimiento de un captador frente a la concentración

Enunciado

Captador con $(\tau\alpha) = 0{,}76$, $\varepsilon = 0{,}08$, $U = 12\,\mathrm{W/(m^2\,K)}$, $G = 850\,\mathrm{W/m^2}$ y ambiente a $25\,^\circ\mathrm{C}$. Calcula el rendimiento a 200 y $400\,^\circ\mathrm{C}$ para $C = 1$, 10 y 80, y la temperatura de equilibrio radiante con $\alpha/\varepsilon = 0{,}95/0{,}08$ para $C = 1$, 80 y 1000.

Con $\eta = (\tau\alpha) - \dfrac{\varepsilon\sigma(T_s^4 - T_a^4) + U(T_s - T_a)}{CG}$:

C	$T_s = 200\,^\circ\mathrm{C}$	$T_s = 400\,^\circ\mathrm{C}$
1	< 0	< 0
10	0,490	0,125
80	0,726	0,681

Equilibrio radiante $T = (\alpha G C/\varepsilon\sigma)^{1/4}$:

$$C = 1:\ 376\,^\circ\mathrm{C} \qquad C = 80:\ 1670\,^\circ\mathrm{C} \qquad C = 1000:\ 3380\,^\circ\mathrm{C}$$

Sin concentrar no se puede trabajar a temperaturas de central térmica; con la concentración de un cilindroparabólico sí.

Problema 5. Diseño básico de una central de torre con almacenamiento

Enunciado

Central de 100 MWe con bloque de potencia de rendimiento 0,40, múltiplo solar 2,2 y 8 horas de almacenamiento. Inversión 600 M€, tasa de cargo fijo 8 %, O&M 15 M€/año y producción 450 GWh/año. Calcula la potencia térmica del bloque y del campo, la capacidad del almacenamiento y el LCOE.

$$\dot{Q}_{bloque} = \frac{100}{0{,}40} = 250\,\mathrm{MWt} \qquad \dot{Q}_{campo} = 2{,}2 \cdot 250 = 550\,\mathrm{MWt}$$

$$E_{TES} = 8 \cdot 250 = 2000\,\mathrm{MWht}$$

$$LCOE = \frac{600 \cdot 0{,}08 + 15}{450} = 140\,\text{€/MWh}$$

A mediodía sobran 300 MWt del campo, que cargan el almacenamiento; el factor de capacidad resultante es $450/(100 \cdot 8{,}76) = 51\,\%$.

Tabla de resultados

Problema	Bloque	Resultado principal
1	FV	27 módulos en serie, 26 ramas, 393 kWp, 661 MWh/año
2	FV	$T_c = 56{,}4\,^{\circ}\mathrm{C}$, $P = 425\,\mathrm{W}$
3	Eólica	$U_g = 1{,}011$ pu; pérdidas 0,45 MW; absorbe 3 Mvar de la red
4	CSP	$\eta = 0{,}681$ a $400\,^{\circ}\mathrm{C}$ con $C = 80$
5	CSP	Campo 550 MWt, TES 2000 MWht, LCOE 140 €/MWh