Ejercicios resueltos

Eficiencia Energética

Temas 1 a 4

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. Energía primaria y emisiones: caldera frente a bomba de calor (T1) 2
Problema 2. Cogeneración con motor de gas en una industria (T3.1) 2
Problema 3. Turbina de gas con secadero: ¿alta eficiencia? (T3.1) 3
Problema 4. Integración de procesos en una línea de zumo (T3.2) 3
Problema 5. Iluminación de un aula: VEEI (T2.3) 4
Problema 6. Compensación de reactiva en una nave (T4) 4

Tabla de resultados **5**

Resumen

Seis problemas originales con datos inventados, del tipo de los que se trabajan en la asignatura. Se usan los factores de paso del documento reconocido del RITE y las definiciones de cogeneración de la normativa. Las cifras están calculadas con Python.

Problema 1. Energía primaria y emisiones: caldera frente a bomba de calor (T1)

Enunciado

Un edificio de oficinas peninsular consume al año 180 000 kWh de electricidad y 95 000 kWh PCI de gas natural en una caldera de rendimiento 0,92. a) Calcula su energía primaria total, no renovable y sus emisiones. b) Repite el cálculo si la caldera se sustituye por una bomba de calor con rendimiento estacional 3,8 que da el mismo calor útil.

a) Factores peninsulares: electricidad 2,368 / 1,954 / 0,331; gas 1,195 / 1,190 / 0,252.

$$EP_{tot} = 180000 \cdot 2{,}368 + 95000 \cdot 1{,}195 = \underline{539\,765\,\text{kWh}}$$

$$EP_{nren} = 180000 \cdot 1{,}954 + 95000 \cdot 1{,}190 = 464\,770\,\text{kWh}$$

$$CO_2 = 180000 \cdot 0{,}331 + 95000 \cdot 0{,}252 = 83{,}5\,\text{t}$$

b) Calor útil $= 95000 \cdot 0{,}92 = 87\,400$ kWh; electricidad de la bomba $= 87400/3{,}8 = 23\,000$ kWh.

$$EP_{tot} = 203000 \cdot 2{,}368 = \underline{480\,704\,\text{kWh}} \qquad EP_{nren} = 396\,662\,\text{kWh} \qquad CO_2 = 67{,}2\,\text{t}$$

Ahorro: un 11 % de energía primaria total, un 15 % de no renovable y 16,3 t de CO_2 al año, aunque el consumo eléctrico sube.

Problema 2. Cogeneración con motor de gas en una industria (T3.1)

Enunciado

Un motor de gas de 1,5 MWe funciona 6500 h/año a plena carga, consume 24 000 MWh PCI de gas y aprovecha 10 200 MWh de calor útil. Rendimientos de referencia: $Ref_E\eta = 52{,}5\,\%$ (ya corregido) y $Ref_H\eta = 90\,\%$. Calcula los rendimientos, el AEP, el PES y el REE. ¿Es de alta eficiencia?

$$E = 1500 \cdot 6500 = 9750\,\text{MWh} \qquad \eta_E = \frac{9750}{24000} = 40{,}6\,\%$$

$$\eta_H = \frac{10200}{24000} = 42{,}5\,\% \qquad \eta_{gl} = 83{,}1\,\%$$

$$AEP = \frac{9750}{0{,}525} + \frac{10200}{0{,}90} - 24000 = \underline{5905\,\text{MWh}}$$

$$PES = 1 - \frac{1}{\frac{0{,}425}{0{,}90} + \frac{0{,}406}{0{,}525}} = \underline{19{,}8\,\%} \qquad REE = \frac{9750}{24000 - \frac{10200}{0{,}90}} = \underline{77{,}0\,\%}$$

Con un PES por encima del 10 % es cogeneración de alta eficiencia.

Problema 3. Turbina de gas con secadero: ¿alta eficiencia? (T3.1)

Enunciado

Una turbina de gas de 3,8 MWe con rendimiento eléctrico del 30 % funciona 7000 h/año. Sus gases, 12 kg/s, entran a un secadero a 480 °C y salen a 120 °C. Entalpía de los gases: $h = (0{,}9952 + 92{,}1 \cdot 10^{-6}\,T)\,T$ (kJ/kg, T en °C). Referencias: $Ref_E\eta = 48{,}6\,\%$, $Ref_H\eta = 82\,\%$.

Calor útil:

$$h(480) = 498{,}92\,\text{kJ/kg} \qquad h(120) = 120{,}75\,\text{kJ/kg} \qquad \dot{H} = 12\,(498{,}92 - 120{,}75) = 4538\,\text{kW}$$

Balance anual:

$$E = 26\,600\,\text{MWh} \qquad H = 31\,766\,\text{MWh} \qquad F = \frac{3800}{0{,}30}\cdot 7000 = 88\,667\,\text{MWh}$$

$$\eta_E = 30{,}0\,\% \qquad \eta_H = 35{,}8\,\% \qquad \eta_{gl} = 65{,}8\,\%$$

Indicadores:

$$PES = 1 - \frac{1}{\frac{0{,}358}{0{,}82} + \frac{0{,}300}{0{,}486}} = \underline{5{,}1\,\%} \qquad REE = \underline{53{,}3\,\%} \qquad AEP = 4805\,\text{MWh}$$

Ahorra energía primaria, pero con un PES por debajo del 10 % *no* es de alta eficiencia. Para mejorarla habría que enfriar más los gases en el secadero o recuperar el calor sobrante con una caldera de recuperación.

Problema 4. Integración de procesos en una línea de zumo (T3.2)

Enunciado

Una línea procesa 20 000 L/h de zumo ($\rho = 1{,}04$ kg/L, $c_p = 3{,}85$ kJ/(kg K)) que llega a 8 °C, se pasteuriza a 85 °C y se enfría a 4 °C. El calor lo da una caldera de gas (rendimiento 0,92) y el frío un equipo eléctrico (COP 3,2). Factores nacionales: gas 1,195 y electricidad 2,403. Compara el consumo de energía primaria sin y con un intercambiador regenerativo con $\Delta T_{min} = 10$ K.

Capacidad calorífica:

$$CP = \frac{20000\cdot 1{,}04}{3600}\cdot 3{,}85 = 22{,}24\,\text{kW/K}.$$

Sin integración:

$$\dot{Q}_{cal} = 22{,}24\,(85-8) = 1713\,\text{kW} \qquad \dot{Q}_{\text{frío}} = 22{,}24\,(85-4) = 1802\,\text{kW}$$

$$EP = \frac{1713}{0{,}92}\,1{,}195 + \frac{1802}{3{,}2}\,2{,}403 = 2225 + 1353 = \underline{3578\,\text{kW}}$$

Con integración.

Las dos corrientes tienen el mismo CP: el zumo frío sale del regenerador a $85-10=75\,^{\circ}\mathrm{C}$ y el caliente a $8+10=18\,^{\circ}\mathrm{C}$.

$$\dot{Q}_{rec}=22{,}24\,(75-8)=1490\,\mathrm{kW} \qquad \dot{Q}_{cal}=22{,}24\cdot 10=222\,\mathrm{kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{frío}}=22{,}24\,(18-4)=311\,\mathrm{kW}$$

$$EP=289+234=\boxed{523\,\mathrm{kW}}$$

Ahorro: 3055 kW de energía primaria, un $\boxed{85{,}4\,\%}$. El pinch está en los extremos del regenerador: la diferencia de 10 K se mantiene a lo largo de todo el equipo porque los CP son iguales.

Problema 5. Iluminación de un aula: VEEI (T2.3)

Enunciado

Un aula de $320\,\mathrm{m^2}$ necesita 500 lux y tiene 40 luminarias de 36 W. Calcula el VEEI y la potencia por superficie. ¿Cuánto se ahorra al año (2500 h) cambiándolas por luminarias LED de 22 W que dan la misma iluminancia?

$$P=40\cdot 36=1440\,\mathrm{W} \qquad \frac{P}{S}=4{,}5\,\mathrm{W/m^2}$$

$$\mathrm{VEEI}=\frac{100\cdot 1440}{320\cdot 500}=\boxed{0{,}90\ \mathrm{W/m^2}\ \text{por}\ 100\ \mathrm{lx}}$$

$$\mathrm{VEEI}_{LED}=\frac{100\cdot 880}{320\cdot 500}=0{,}55 \qquad \Delta E=(1440-880)\cdot 2500=\boxed{1400\,\mathrm{kWh/año}}$$

El VEEI se compara con el límite que fija el DB-HE3 para el uso del recinto; la potencia por superficie, con el máximo del edificio.

Problema 6. Compensación de reactiva en una nave (T4)

Enunciado

Una nave consume 450 kW a 400 V con $\cos\varphi=0{,}78$. Calcula la batería para llegar a 0,97, la capacidad por fase en triángulo y la reducción de corriente y de pérdidas en la acometida.

$$Q_c=450\,(\tan 38{,}74^{\circ}-\tan 14{,}07^{\circ})=\boxed{248{,}3\,\mathrm{kvar}} \qquad C_{\Delta}=\frac{248250}{3\cdot 400^2\cdot 2\pi 50}=1646\,\mu\mathrm{F}$$

$$I_1=\frac{450000}{\sqrt{3}\cdot 400\cdot 0{,}78}=832{,}7\,\mathrm{A} \qquad I_2=669{,}6\,\mathrm{A}$$

$$\Delta P_p=1-\left(\frac{669{,}6}{832{,}7}\right)^2=\boxed{35{,}3\,\%}$$

La potencia aparente baja de 577 a 464 kVA: se libera capacidad del transformador y desaparece la penalización por reactiva.

Tabla de resultados

Problema	Tema	Resultado principal
1	T1	EP total de 539 765 a 480 704 kWh; CO_2 de 83,5 a 67,2 t
2	T3.1	PES 19,8 %, REE 77,0 %: alta eficiencia
3	T3.1	PES 5,1 %: no es de alta eficiencia
4	T3.2	EP de 3578 a 523 kW: ahorro del 85,4 %
5	T2.3	VEEI 0,90 (0,55 con LED); 1400 kWh/año
6	T4	$Q_c = 248$ kvar; pérdidas -35 %