

Ejercicio 1.

Se comprimen 0,5 kg/s de nitrógeno en un compresor adiabático que opera con una relación de compresión de 7. Las condiciones del nitrógeno a la entrada del compresor son 1 bar y 20 °C y a la salida la temperatura es de 280 °C. Tómesese como temperatura de referencia 18 °C. Calcúlese:

- a. La potencia del compresor
- b. La entropía generada
- c. El rendimiento isentrópico del compresor
- d. La exergía destruida
- e. El rendimiento exergético

Se recuerda la importancia de representar los procesos en los diagrama más adecuados.

Ejercicio 2.

Se expanden 0,25 kg de aire contenidos en un cilindro-pistón, pasando de 0,9 m³/kg a 1,5 m³/kg según un proceso ideal. Inicialmente, el aire se encuentra a 1 bar y al final del proceso la temperatura es de 5 °C. Calcúlese:

- a. El exponente politrópico del proceso
- b. El calor intercambiado
- c. El trabajo realizado
- d. La variación de entropía del aire
- e. Todos los apartados anteriores si el proceso se realiza de forma adiabática, desde el mismo estado inicial hasta el mismo volumen final que en el caso anterior.

Se recuerda la importancia de representar los procesos en los diagrama más adecuados.

Ejercicio 3.

Se pretende reducir a un tercio el intercambio directo de calor por radiación entre las dos paredes enfrentadas de un pasillo de 4 m de largo y 2 m de alto formado por una pared a 200 °C y emisividad 0,8 y otra pared de emisividad 0,4 situada a 1 m frente a ella y a 20 °C. Calcúlese la emisividad de la pantalla de radiación que se debe colocar en el medio del pasillo en paralelo a ambas paredes y su temperatura.

Tiempo: 3 horas.

Cada ejercicio vale un tercio del valor total del examen.

Las hojas de examen que no estén identificadas con nombre y apellidos, DNI, número de grupo y titulación, no serán corregidas.

Ariketa 1.

7 konpresio-erlazioaz jarduten den konpresore adiabatiko batean 0,5 kg/s nitrogeno konprimatzen da. Nitrogenoaren sarrerako egoera 1 bar eta 20 °C da, eta irteerako tenperatura 280 °C da. Erreferentzia tenperatura gisa 18 °C hartuta, kalkula bitez:

- f. Konpresorearen potentzia
- g. Garatutako entropía
- h. Konpresorearen etekin isentropikoa
- i. Suntsitutako exergia
- j. Konpresorearen etekin exergetiko

Irudika itzazu komenigarri diren prozesu diagramak.

Ariketa 2.

Zilindro-pistoi gailu batean 0,25 kg aire zabaltzen da, hasierako 0,9 m³/kg-etatik amaierako 1,5 m³/kg-etara, prozesu ideal batean zehar. Prozesuaren hasieran airearen presioa 1 bar da; prozesuaren amaieran, airearen tenperatura 5 °C da. Kalkula bitez:

- a. Prozesuaren berretzaile politropikoa
- b. Bero-trukea
- c. Trukaturiko lana
- d. Airearen entropía-aldaketa
- e. Aurreko atal guztiak, baldin eta prozesua adiabatiko bada, hasierako egoera berdinetik amaierako bolumen berdineraino.

Irudika itzazu komenigarri diren prozesu diagramak.

Ariketa 3.

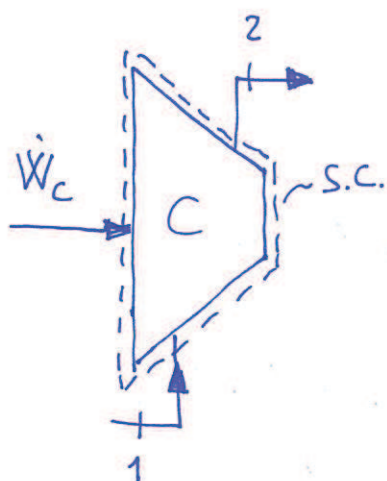
Pasabide bateko bi paretan arteko erradiazio bidezko bero-truke zuzena, hiruren batera murriztu nahi da. Pareta bakoitzak 2 m altuera du eta bien arteko distantzia 1 m da, pasabidearen luzera 4 m izanik. Pareta batek 200 °C tenperatura eta 0,8 emisibitatea du eta beste paretak 20 °C-ko tenperatura eta 0,4 emisibitatea du. Kalkula bedi bien artean jarri beharko den erradiazio pantailaren emisibitatea eta bere tenperatura.

Denbora : 3 ordu.

Ariketa bakoitzak azterketa osoak balio duenaren herena balio du.

Hurrengo datuak idatzi behar dira entregatutako orri guztietan, bestela orri horiek ez dira zuzenduko: Izena eta abizenak, NAN zenbakia, espezialitatea eta taldea.

EJERCICIO 1



Datos:

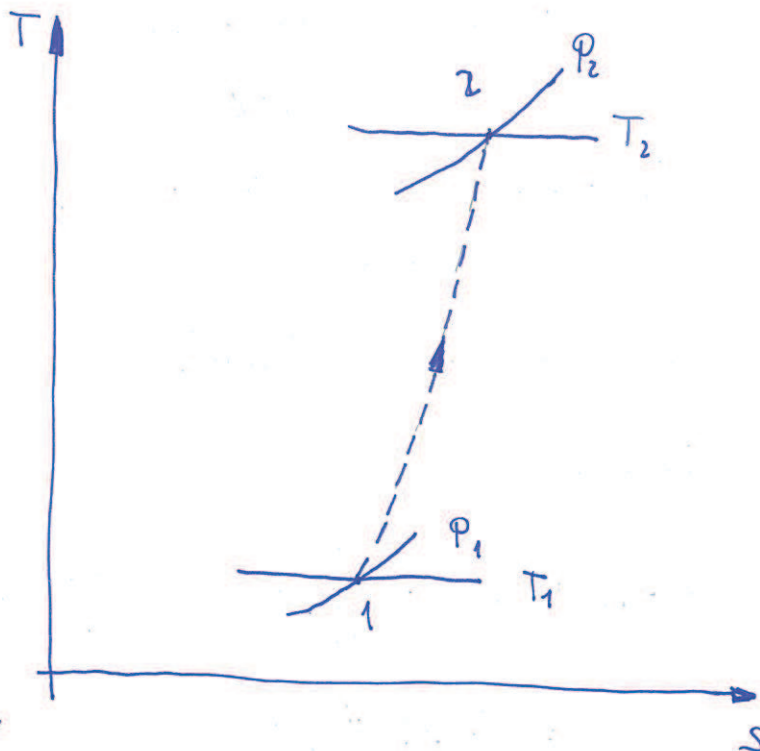
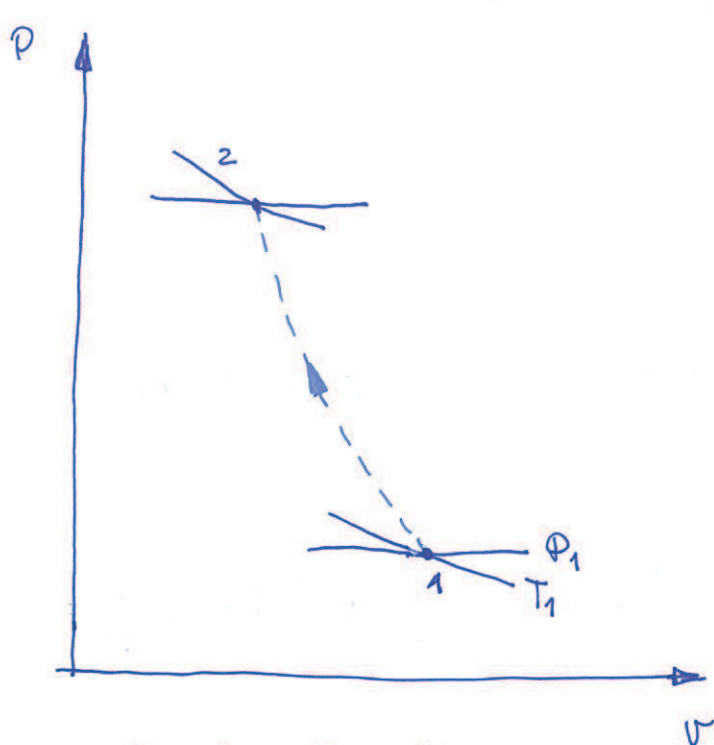
$$P_1 = 1 \text{ bar} ; \theta_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 7 ; \theta_2 = 280^\circ\text{C}$$

$$\theta_0 = 18^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{N_2} = 0.5 \text{ kg/s}$$

- Se trata de un sistema abierto en régimen permanente
- Se trata de un proceso adiabático irreversible



a) Considerando el N_2 como gas ideal se tomarán los siguientes valores :

$$c_p = 1.034 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$R' = 0.297 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\gamma = 1.4$$

El compresor es un sistema abierto trabajando en régimen permanente. Aplicando la ecuación de la energía:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_{N_2} \cdot \left[(h_2 - h_1) + \frac{(C_2^2 - C_1^2)}{2} + g(z_2 - z_1) \right] + \dot{W}_c$$

$$\boxed{\dot{W}_c = \dot{m}_{N_2} \cdot (h_1 - h_2) = \dot{m}_{N_2} \cdot c_p (T_1 - T_2) =}$$

$$= 0.5 \cdot 1.034 (293 - 553) = \boxed{-134.42 \text{ kW}}$$

b) Para calcular la entropía generada, aplicamos un balance de entropía al compresor:

$$\dot{m}_{N_2} \cdot \Delta s_{12} = \int \frac{\delta \dot{Q}}{T} + \dot{S}_G$$

La variación de entropía considerando el nitrógeno como gas ideal:

$$\Delta s_{12} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} + R' \ln \frac{P_1}{P_2} = 1.034 \ln \frac{553}{293} + 0.297 \ln \frac{1}{7} =$$

$$= 0.079 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Por lo que la entropía generada será:

$$\boxed{\dot{S}_G = \dot{m}_{N_2} \cdot \Delta s_{12} = 0.5 \cdot 0.079 = \boxed{0.039 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}}}$$

c) El rendimiento isentrópico del compresor

$$\eta_{sc} = \frac{h_{2'} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{T_{2'} - T_1}{T_2 - T_1} \quad (*)$$

Suponiendo que el compresor es isentrópico y aplicando las relaciones de gases ideales:

$$\frac{T_{2'}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$T_{2'} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 293 \left(\frac{7}{1} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 510.89 \text{ K}$$

Sustituyendo en (*)

$$\eta_{sc} = \frac{510.89 - 293}{553 - 293} = 0.838 \rightarrow 83.8\%$$

d) La exergía destruida en el compresor

$$\dot{E}_{x_D} = T_0 \cdot \dot{S}_G = 291 \cdot 0.039 = 11.35 \text{ kW}$$

e) El rendimiento exergético del compresor

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{m}_{N_2} (a_{f2} - a_{f1})}{|\dot{W}_c|} \quad (**)$$

El cálculo de la variación de exergía de flujo:

$$a_{f2} - a_{f1} = (h_2 - h_1) - T_0 (s_2 - s_1)$$

Considerando el nitrógeno como gas ideal

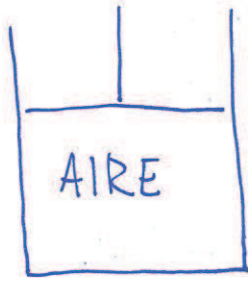
$$a_{f2} - a_{f1} = c_p (T_2 - T_1) - T_0 \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} + R' \ln \frac{P_1}{P_2} \right) =$$

$$= 268'84 - 291 \cdot 0'079 = 245'85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Sustituyendo en $(**)$

$$\left[\eta_{\text{ex}} = \frac{0'5 \cdot 245'85}{134'42} = 0'914 \rightarrow 91'4\% \right]$$

EJERCICIO 2



Datos:

$$m = 0.25 \text{ kg de aire}$$

$$v_1 = 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} ; P_1 = 1 \text{ bar}$$

$$v_2 = 1.5 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} ; T_2 = 5^\circ\text{C}$$

- Se trata de un sistema cerrado

- Se considera el aire como gas ideal

$$\begin{cases} C_p = 1.0045 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \\ C_v = 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \\ R' = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \end{cases}$$

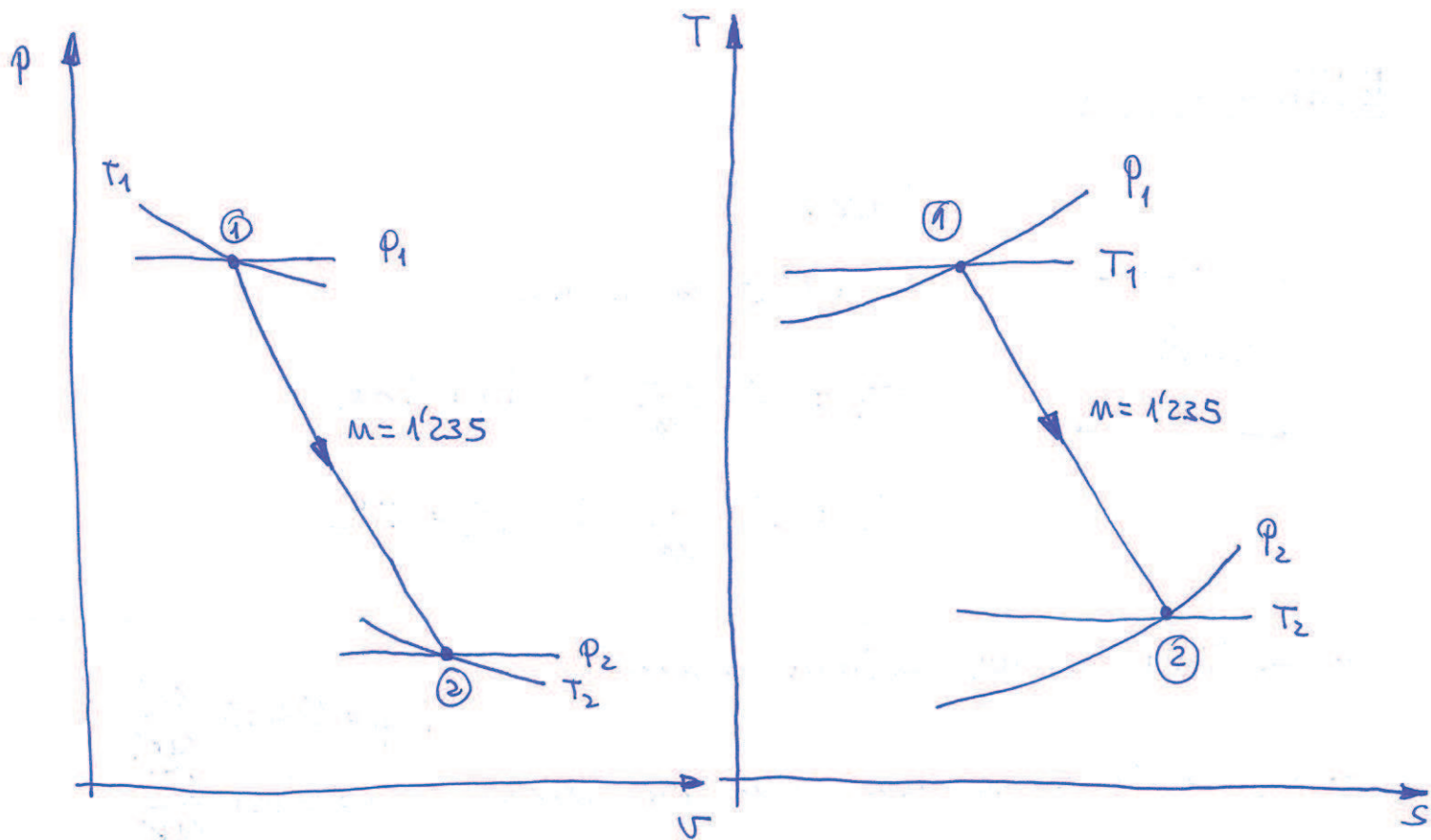
a) Proceso politrópico

$$P_1 \cdot v_1^n = P_2 \cdot v_2^n$$

Por considerarlo gas ideal $\rightarrow P_2 \cdot v_2 = R' \cdot T_2$

$$P_2 = \frac{R' \cdot T_2}{v_2} = \frac{287 \cdot 278}{1.5} = 53200 \text{ Pa} = 0.532 \text{ bar}$$

$$n = \frac{\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)}{\ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{1}{0.532}\right)}{\ln\left(\frac{1.5}{0.9}\right)} = 1.235$$



b) Al tratarse de un proceso politrópico:

$$Q_{12} = \dot{m} \cdot c_m (T_2 - T_1)$$

donde $c_m = c_v \cdot \frac{\gamma - n}{1 - n} = 0.718 \cdot \frac{1.4 - 1.235}{1 - 1.235} = -0.50 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Gas ideal $\rightarrow T_1 = \frac{p_1 \cdot v_1}{R'} = \frac{100000 \cdot 0.9}{287} = 313.6 \text{ K}$

por lo que $\boxed{Q_{12} = \dot{m} \cdot c_m (T_2 - T_1) = 0.25 \cdot (-0.504) (278 - 313.6)}$
 $\boxed{= 4.45 \text{ kJ}}$

También es posible calcular el calor intercambiado utilizando el Primer Principio.

$$\Delta U_{12} = Q_{12} - W_{12} \rightarrow Q_{12} = \Delta U_{12} + W_{12}$$

Considerando gas ideal

$$\Delta U_{12} = m \cdot c_v (T_2 - T_1) = 0.25 \cdot 0.718 (278 - 313.6) = -6.39 \text{ kJ}$$

Trabajo por desplazamiento de frontera:

$$W = \int p dV$$

Se trata de un proceso politrópico:

$$p \cdot V^m = \text{cte} \rightarrow p = \frac{\text{cte}}{V^m}$$

$$\text{por lo que } \boxed{W_{12} = \int \frac{\text{cte}}{V^m} dV = \frac{p_1 \cdot V_1 - p_2 \cdot V_2}{m-1} = m \cdot \frac{(p_1 \cdot v_1 - p_2 \cdot v_2)}{m-1}}$$

$$= m \frac{R'}{m-1} (T_1 - T_2) = 0.25 \cdot \frac{0.287}{1.235-1} (313.6 - 278)$$

$$= \boxed{10.83 \text{ kJ}}$$

$$\boxed{Q_{12} = \Delta U_{12} + W_{12} = -6.39 + 10.83 = 4.44 \text{ kJ}}$$

La diferencia se debe al redondeo.

c) El trabajo realizado ya se ha calculado

$$\boxed{W_{12} = 10'83 \text{ kJ}}$$

d) Variación de entropía del aire

Considerando el aire como gas ideal

$$\begin{aligned} \boxed{\Delta S_{12}} &= m \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} + R' \ln \frac{P_1}{P_2} \right) = \\ &= 0'25 \left(1'0045 \ln \frac{278}{313'6} + 0'287 \ln \frac{1}{0'532} \right) = \boxed{0'015 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}} \end{aligned}$$

e) Si el proceso es adiabático y con los siguientes datos:

$$\begin{aligned} v_1 &= 0'9 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} ; P_1 = 1 \text{ bar} \\ v_3 &= 1'5 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{aligned}$$

El exponente politrópico será $\boxed{n = \gamma = 1'4}$

Siendo el proceso adiabático $\rightarrow \boxed{Q_{13} = 0}$

El trabajo en el caso de un proceso adiabático aplicando el Primer Principio:

$$W_{13} = \Delta U_{13} = m \cdot c_v (T_3 - T_1)$$

Calculamos T_3 suponiendo que el aire es un gas ideal y utilizando las relaciones de gases ideales

$$T_1 = \frac{P_1 \cdot V_1}{R'} = 313'6 \text{ K}$$

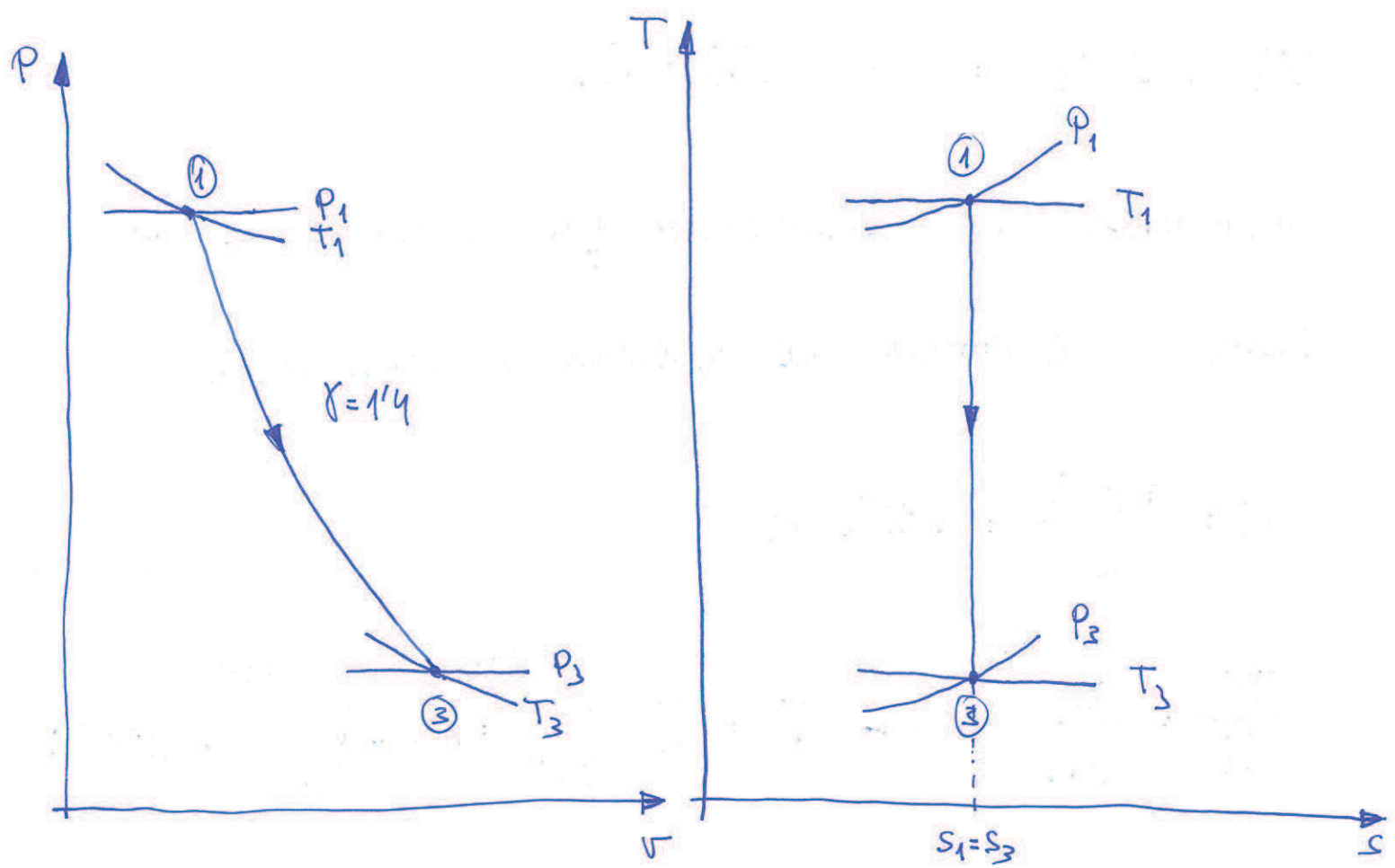
$$\frac{T_3}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_3} \right)^{\gamma-1} \rightarrow T_3 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_3} \right)^{\gamma-1} = 313'6 \left(\frac{0'9}{1'5} \right)^{1'4-1} = 255'6 \text{ K}$$

Por lo que

$$\boxed{W_{13} = -\Delta U_{13} = -0'25 \cdot 0'718 (255'6 - 313'6) = \underline{\underline{10'4 \text{ kJ}}}}$$

La variación de entropía del aire en el proceso adiabático y reversible (por ser politrópico) será nula.

$$\boxed{\Delta S_{13} = 0}$$



EJERCICIO 3

Datos:

Pared 1

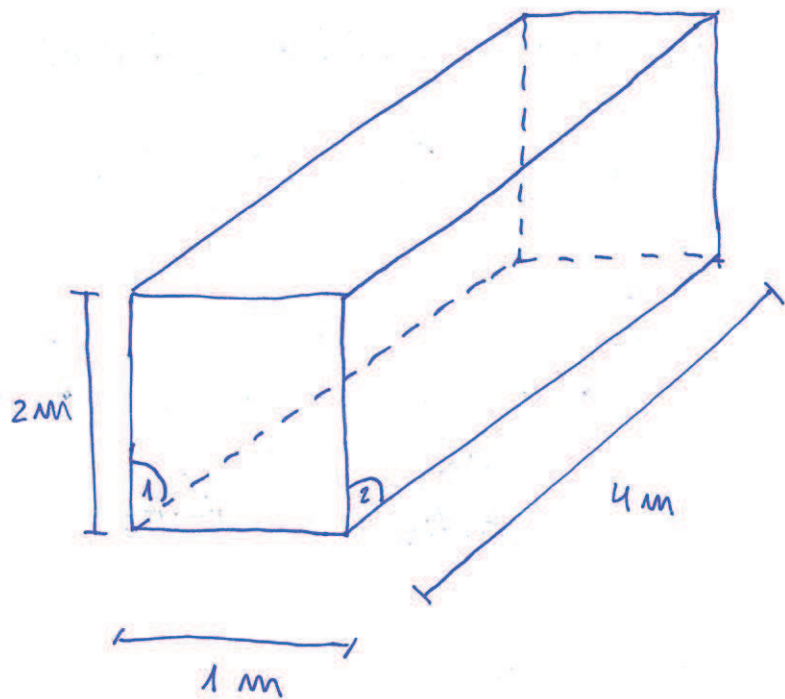
$$\theta_1 = 200^\circ\text{C}$$

$$\epsilon_1 = 0.8$$

Pared 2

$$\theta_2 = 20^\circ\text{C}$$

$$\epsilon_2 = 0.4$$



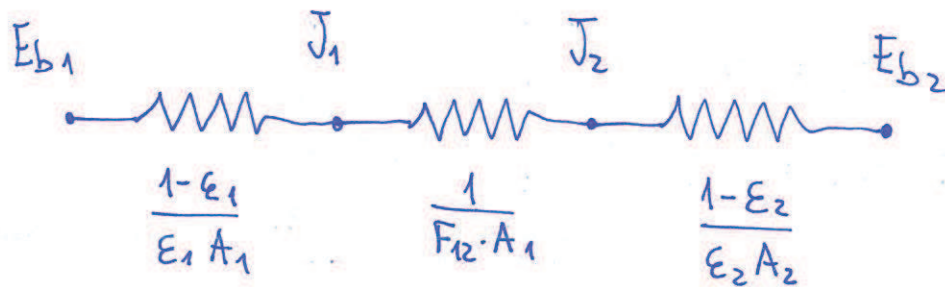
La pared ① emite calor por radiación hacia la pared ②, y recibe calor por radiación desde la pared ②. Siendo la temperatura de la pared ① superior a la temperatura de la pared ②, el flujo de calor neto por radiación es desde ① a ②.

El objetivo de la pantalla de radiación es reducir hasta un tercio el calor intercambiado por radiación entre ambas paredes, por lo que primero es necesario determinar cuánto calor se intercambia sin pantalla.

- Se considera régimen permanente y sin generación de calor
- Se considera que el resto de las paredes no participan

en el intercambio de calor por radiación.

El circuito eléctrico equivalente al intercambio de calor por radiación sería el siguiente:



El calor neto intercambiado por radiación entre ambas paredes:

$$\dot{Q}_{12} = \frac{E_{b1} - E_{b2}}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1}{F_{12} A_1} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2}} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1}{F_{12} A_1} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2}} \quad (*)$$

$$A_1 = A_2 = 8 \text{ m}^2$$

$F_{12} \rightarrow$ Factor de visión entre dos rectángulos paralelos alineados de igual tamaño

$$\left. \begin{array}{l} L_1/D = 2 \\ L_2/D = 4 \end{array} \right\} F_{12} = 0.52$$

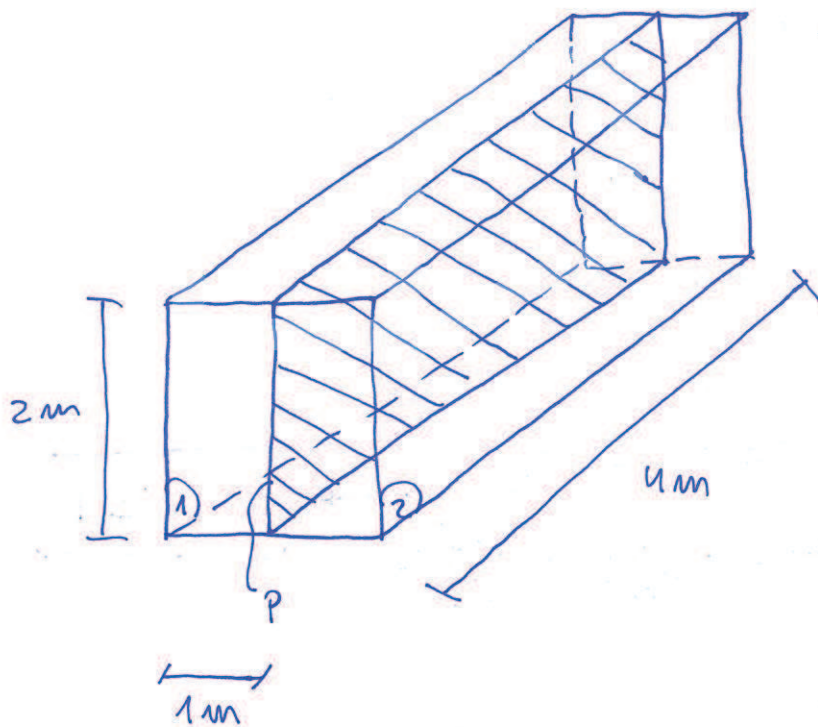
Sustituyendo todos los valores en (*)

$$\dot{Q}_{12} = \frac{5.67 \cdot 10^{-8} (473^4 - 293^4)}{\frac{1-0.8}{0.8 \cdot 8} + \frac{1}{0.52 \cdot 8} + \frac{1-0.4}{0.4 \cdot 8}} = 5271.26 \text{ W}$$

Por lo tanto, con la pantalla se pretende que el calor intercambiado sea igual a $\frac{\dot{Q}_{12}}{3} = 1757.1 \text{ W}$

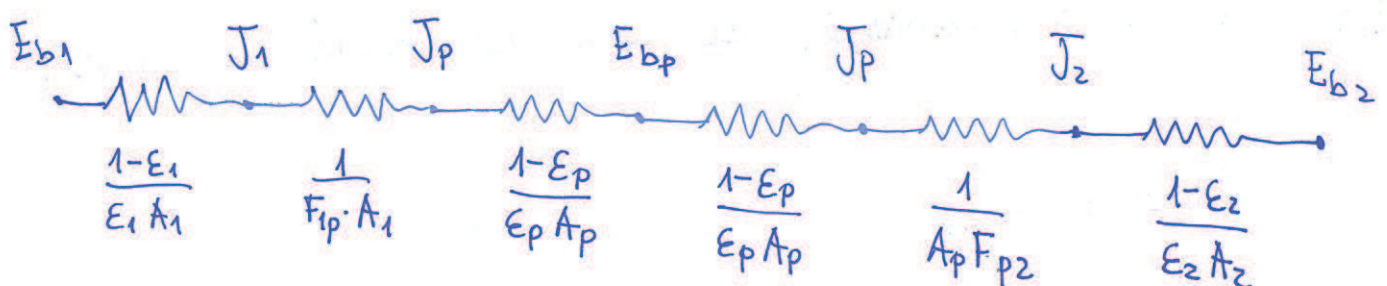
Incluyendo la pantalla el problema es el siguiente:

<u>Pared 1</u>	<u>Pared 2</u>	<u>Pantalla</u>
$\Theta_1 = 200^\circ\text{C}$	$\Theta_2 = 20^\circ\text{C}$	$\Theta_p = ?$
$\epsilon_1 = 0.8$	$\epsilon_2 = 0.4$	$\epsilon_p = ?$



Se considera que a ambos lados de la pantalla la temperatura de la superficie es la misma (régimen permanente y sin generación de calor).

El circuito eléctrico equivalente incluyendo la pantalla:



El calor neto intercambiado entre ambas paredes:

$$\frac{\dot{Q}_{12}}{3} = \frac{E_{b1} - E_{b2}}{\frac{1-E_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1}{F_{1p} A_1} + \frac{1-E_p}{\epsilon_p A_p} + \frac{1-E_p}{\epsilon_p A_p} + \frac{1}{F_{p2} A_p} + \frac{1-E_2}{\epsilon_2 A_2}} \quad (**)$$

$$A_1 = A_2 = A_p = 8 \text{ m}^2$$

$F_{1p} = F_{p2} \Rightarrow$ Factor de visión entre dos rectángulos paralelos alineados igual tamaño. Por simetría, son iguales.

$$\left. \begin{array}{l} L_1/D = 4 \\ L_2/D = 8 \end{array} \right\} F_{1p} = F_{p2} = 0.71$$

Sustituyendo los valores en (**)

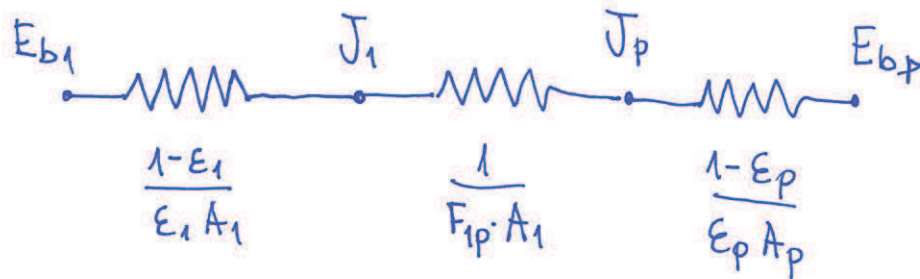
$$\frac{\dot{Q}_{12}}{3} = \frac{5.67 \cdot 10^{-8} (473^4 - 293^4)}{\frac{1-0.8}{0.8 \cdot 8} + \frac{1}{0.71 \cdot 8} + \frac{1-E_p}{\epsilon_p \cdot 8} \cdot 2 + \frac{1}{0.71 \cdot 8} + \frac{1-0.4}{0.4 \cdot 8}} \rightarrow \boxed{\epsilon_p = 0.237}$$

Para calcular la temperatura de la pantalla se considera el intercambio de calor entre la pantalla y la pared ①.

En régimen permanente y sin generación de calor:

$$\frac{\dot{Q}_{12}}{3} = \dot{Q}_{1p}$$

El circuito eléctrico equivalente para el intercambio de calor por radiación entre la pared ① y la pantalla:



El calor intercambiado entre ambas superficies:

$$\dot{Q}_{1p} = \frac{E_{b1} - E_{bp}}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1}{F_{1p} A_1} + \frac{1-\epsilon_p}{\epsilon_p A_p}} = \frac{5.67 \cdot 10^{-8} (473^4 - T_p^4)}{\frac{1-0.8}{0.8 \cdot 8} + \frac{1}{0.71 \cdot 8} + \frac{1-0.237}{0.237 \cdot 8}} = 1757 \text{ W}$$

$T_p = 420.2 \text{ K}$

