

Física Térmica - Examen 10/02/2023

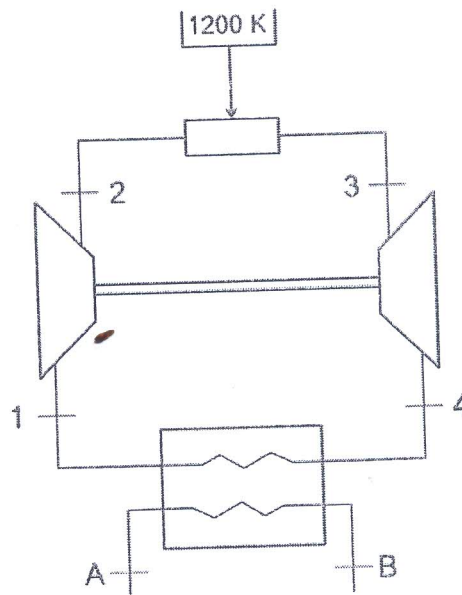
Justifique y explique claramente su trabajo. Indique las unidades de las magnitudes en los resultados intermedios y finales. Identifique y revise su trabajo antes de entregar.
El examen dura 4 horas. **Deben tener un ejercicio entero correcto y la mitad del examen para aprobar.**

1 Primer Problema

Se tiene el ciclo que genera potencia usando aire que se muestra en la figura. El aire entra al compresor a una temperatura de $T_1 = 30^\circ\text{C}$ y presión $P_1 = 200\text{ kPa}$. El compresor tiene una eficiencia isentrópica de $\eta_{isC} = 0.9$ y lleva al aire a una presión de $P_2 = 2000\text{ kPa}$. Luego el aire entra en un calentador, donde percibirá un calor por unidad de flujo másico de aire de $q_c = 300\text{ kJ/kg}$ para llegar al estado 3, entrar a la turbina y generar potencia. La potencia total que sale de este sistema es de $w_t = 100\text{ kJ/kg}$.

A la salida de la turbina se refrigera al aire para llevarlo del estado 4 al estado 1. Para ello usamos un intercambiador de calor y un flujo de refrigerante R-134a. Se sabe que $\dot{m}_{\text{Aire}}/\dot{m}_{\text{R134a}} = 1$ y que el estado de entrada del R134a al intercambiador es líquido saturado a presión atmosférica. Determine:

- Determine todos los estados desconocidos de la figura.
- Calcular la eficiencia de segunda ley de todo el sistema.
- Determine la irreversibilidad en el calentador, en el intercambiador de calor y la irreversibilidad total.



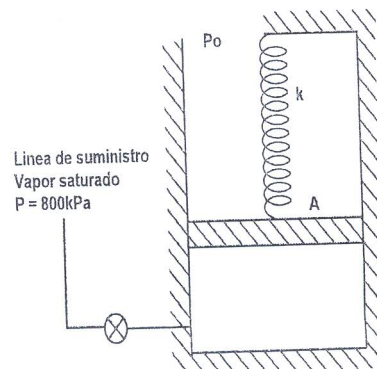
Nota: Las potencias, transferencias de calor e irreversibilidades son pensadas en unidad del flujo másico del aire. La temperatura ambiente es $T_0 = 20^\circ\text{C}$

2 Segundo problema

Se tiene un conjunto pistón-cilindro-resorte con una sección transversal de $S = 0,5 \text{ m}^2$, un constante del resorte $k = 116.7 \text{ kN/m}$ y contruidos de un material adiabático. El cilindro inicialmente se encuentra vacío y se requiere una presión de 100 kPa para levantar el pistón. Al cilindro ingresa agua de una línea de suministro de vapor saturado a 800 kPa, donde una válvula regula la presión de ingreso. La presión y temperatura ambiente son $P_0 = 100 \text{ kPa}$ y $T_0 = 293 \text{ K}$.

El proceso se detiene cuando el pistón no puede elevarse más. Se pide determinar:

- Estado final dentro del cilindro.
- Entropía generada y dónde se generó.
- Trabajo útil y trabajo reversible útil.

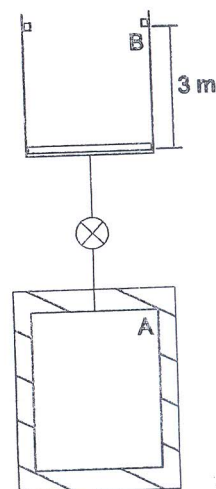


3 Tercer problema

Un tanque adiabático A de $V_A = 2,009 \text{ m}^3$ contiene aire a $P_1 = 300 \text{ kPa}$ y $T_1 = 300 \text{ K}$. El tanque se conecta a cilindro B (a través de una válvula) en donde la tapa es un pistón que se mueve libremente, de área $S = 0,5 \text{ m}^2$ y tiene una masa de unos 2000 kg. A los 3 m de altura existen unos topes que impiden que el pistón siga subiendo. El recinto debajo del pistón está inicialmente vacío y el cilindro es diatermo, en equilibrio térmico con la atmósfera a $T_0 = 300 \text{ K}$. La parte superior del cilindro está abierta a la atmósfera a $P_0 = 100 \text{ kPa}$.

Se abre lentamente la válvula y se permite que el pistón llegue hasta tocar los topes, momento en que se cierra la válvula. Determine:

- Hallar la masa final en el tanque B y el estado final dentro del tanque A.
- Valor medio de la entalpía h a la salida del tanque A.
- Calor Q intercambiado con el ambiente.
- Trabajo reversible útil y entropía generada en este proceso.



Problema 1

a) Modelando al aire como gas ideal y dado que se conocen las presiones $P_1 = P_4 = 0,2 \text{ MPa}$ y $P_2 = P_3 = 2 \text{ MPa}$, solo resta conocer las temperaturas para determinar los estados 2, 3 y 4.

Se tiene que el estado 2s (isentrópico) es de $T_{2s} = T_1(P_2/P_1)^{R/c_P} = 585,7 \text{ K}$. Dada la eficiencia isentrópica del compresor se tiene:

$$\eta_C = \frac{W_{isen}}{W} = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \rightarrow T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_C} = 617 \text{ K}$$

Si se aplica la primera ley al calentador se tiene:

$$q_c = h_3 - h_2 = c_P(T_3 - T_2) \rightarrow T_3 = T_2 + q_c/c_P = 916 \text{ K}$$

Planteando la primera ley al ciclo conociendo su potencia neta por unidad de flujo másico no da:

$$w_{neta} = w_{Comp.} + w_{Turbina} = h_1 - h_2 + h_3 - h_4 \rightarrow T_4 = T_1 - T_2 + T_3 - w_{neta}/c_P = 502,5 \text{ K}$$

El estado A del refrigerante R-134a se obtiene de tablas dado por $P_A = 1 \text{ atm}$ y en vapor saturado. Para el estado B se plantea la primera ley en el intercambiador, y dado que los flujos másicos son idénticos para ambos fluidos se tiene:

$$h_A - h_B + h_4 - h_1 \rightarrow h_B = h_A + c_P(T_4 - T_1) = 365,8 \text{ kJ/kg}$$

Conociendo su entalpía y que su presión es $P_B = P_A$ se obtiene el estado de tablas:

	Estado	T(°C)	P(kPa)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)
A	l. sat	-26,25	101,3	165,802	0,869
B	x = 0,92	-26,25	101,3	365,8	1,679



b) La irreversibilidad por unidad de flujo másico del ciclo obtenida a partir del balance de entropía

$$\frac{q_c}{T_R} + s_A - s_B + \frac{S_{ciclo}^{gen}}{\dot{m}} = 0 \rightarrow i_{ciclo} = T_0 \frac{S_{ciclo}^{gen}}{\dot{m}} = -q_c \frac{T_0}{T_R} + T_0(s_B - s_A) = 164,18 \text{ kJ/kg}$$

Y dado que el ciclo genera potencia su eficiencia de la segunda ley es

$$\eta_{II} = \frac{w}{w_{rev}} = \frac{w_{neta}}{w_{neta} + i_{ciclo}} = 37,85 \%$$

c) Se calculan las irreversibilidades en el calentador y el intercambiador de calor de forma equivalente a i_{ciclo} .

$$i_{cal} = T_0 \frac{S_{cal}^{gen}}{\dot{m}} = -q_c \frac{T_0}{T_R} + T_0(s_3 - s_2) = -q_c \frac{T_0}{T_R} + T_0(c_P \log \frac{T_3}{T_2} - R_g \log \frac{P_3}{P_2}) = 42,93 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{inter} = T_0 \frac{S_{inter}^{gen}}{\dot{m}} = T_0(s_B - s_A + s_1 - s_4) = T_0(c_P \log \frac{T_B}{T_A} - R_g \log \frac{P_B}{P_A} + c_P \log \frac{T_1}{T_4} - R_g \log \frac{P_1}{P_4}) = 88,82 \text{ kJ/kg}$$

Problema 2

a) Dado el resorte lineal se tiene la relación $P(V) = \alpha V + \beta$ con $\alpha = \frac{k}{S^2} = 466,8 \text{ kPa/m}^3$ y $\beta = 100 \text{ kPa}$.

El estado final se da con la presión interior es igual a la de la línea, $P_2 = 800 \text{ kPa}$. Entonces $V_2 = \frac{P_2 - \beta}{\alpha} = 1,5 \text{ m}^3$.

El trabajo es

$${}_1W_2 = \int_2^1 P(V)dV = \int_2^1 (\alpha V + \beta)dV = \frac{\alpha V_2^2}{2} + \beta V_2 = 675 \text{ kJ}$$

Entonces la primera ley (EUFU) en el cilindro es

$${}_1\Delta U_2 = m_2 u_2 = -{}_1W_2 + m_2 h_l \rightarrow \frac{V_2}{v_2}(u_2 - h_l) + {}_1W_2 = 0$$

A partir de esta expresión se iteran u_2 y v_2 a 800 kPa . Obteniendo:

$T_2 = 210,6 \text{ °C}$, $v_2 = 0,29314 \text{ m}^3/\text{kg}$, $u_2 = 2648,6 \text{ kJ/kg}$ y $s_2 = 6,8631 \text{ kJ/kgK}$

Y la masa que entró es $m_2 = V_2/\nu_2 = 5,12 \text{ kg}$.

b) Se genera entropía en la expansión del fluido en la válvula y la mezcla de agua a diferentes temperaturas en el cilindro. La segunda ley en el cilindro es

$${}_1\Delta S_2 = m_2 s_2 = m_2 s_1 + S_{gen} \rightarrow S_{gen} = m_2(s_2 - s_1) = 1,0252 \text{ kJ/kgK}$$

c) El trabajo útil y reversible útil son:

$${}_1W_2^{util} = {}_1W_2 - P_0(V_2 - V_1) = {}_1W_2 - P_0V_2 = 524,85 \text{ kJ}$$

$${}_1W_2^{rev,util} = {}_1W_2^{util} + I = {}_1W_2^{util} + T_0 S_{gen} = 975,20 \text{ kJ}$$

Problema 3

a) La masa inicial en A es $m_{A1} = \frac{P_{A1}V_A}{R_g T_{A1}} = 7 \text{ kg}$.

El volumen final de B es $V_B = h_{cilindro} \times S = 1,5 \text{ m}^3$ y la presión es $P_B = P_0 + \frac{M_{piston}g}{S} = 139 \text{ kPa}$.

Dado que B está en equilibrio con el ambiente $T_B = T_0 = 300 \text{ K}$, entonces $m_B = \frac{P_B V_B}{R_g T_B} = 2,425 \text{ kg}$ y la masa final en A es $m_{A2} = m_{A1} - m_B = 4,575 \text{ kg}$.

Como A es adiabático y se descarga lentamente se puede considerar reversible, por lo cual es isentrópica. Entonces

$$\Delta s_A = 0 \rightarrow T_{A2} = T_{A1} \left(\frac{P_{A2}}{P_{A1}} \right)^{R/c_p}$$

Y aplicando gas ideal se tiene:

$$P_{A2}V_A = m_{A2}RT_{A2} = m_{A2}RT_{A1} \left(\frac{P_{A2}}{P_{A1}} \right)^{R/c_p}$$

$$P_{A2} = \left(\frac{m_{A2}RT_{A1}}{V_A P_{A1}^{R/c_p}} \right)^{1/(1-R/c_p)} = 165,4 \text{ kPa}$$

La temperatura es $T_{A2} = \frac{P_{A2}V_A}{m_{A2}R} = 253 \text{ K}$.

b) Planteando la primera ley (EUFU) en A: $\Delta U_A = c_v(m_{A2}T_{A2} - m_{A1}T_{A1}) = -m_B \bar{h}$ con $\bar{h}$ la entalpía promedio de salida. Despejando se tiene

$$\bar{h} = \frac{c_v(m_{A1}T_{A1} - m_{A2}T_{A2})}{m_B} = 278,78 \text{ kJ/kg}$$

c) Planteando la primera ley a A+B para hallar el calor intercambiado se tiene

$${}_1Q_2 = {}_1W_2 + c_v(m_{A2}T_{A2} - m_{A1}T_{A1} + m_B T_B) = 54,74 \text{ kJ}$$

con ${}_1W_2 = P_B V_B$.

d) Planteando la segunda ley a A+B se tiene:

$${}_1\Delta S_2 = m_{A2}s_{A2} - m_{A1}s_{A1} + m_B s_B = (m_{A2} - m_{A1})s_a + m_B s_B = m_B(s_B - s_A) = m_B(c_p \log \frac{T_B}{T_{A1}} - R \log \frac{P_B}{P_{A1}})$$

$${}_1\Delta S_2 = \frac{{}_1Q_2}{T_0} + S_{gen} \rightarrow S_{gen} = -\frac{{}_1Q_2}{T_0} + m_B(c_p \log \frac{T_B}{T_{A1}} - R \log \frac{P_B}{P_{A1}}) = 352,0 \text{ J/K}$$

Finalmente el trabajo reversible útil es:

$${}_1W_2^{rev,u} = {}_1W_2 - P_0V_B + T_0 S_{gen} = 164,39 \text{ kJ}$$

