FísicaUC

EJERCICIOS I2

Lo básico:

Ecuación de estado de gas ideal $\rightarrow$ $Pv = \mathcal{R}T$

Entalpía $\rightarrow$ $h = u + Pv$ $\rightarrow$ $h = u + \mathcal{R}T$ con $c_p = \frac{dh}{dT}$

Gas ideal en proceso adiabático

$\rightarrow$ $PV^{\gamma} = cte$ $\rightarrow$ $T^{\gamma}P^{1-\gamma} = cte$ $\rightarrow$ $TV^{\gamma-1} = cte$

Primera Ley de la Termodinámica $\rightarrow$ $dU = \delta Q - \delta W$

Eficiencia de un ciclo termodinámico $\rightarrow$ $\eta = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|}$

Eficiencia de un ciclo de Carnot $\rightarrow$ $\eta_C = 1 - \frac{T_f}{T_c}$

FísicaUC

Procesos en volumen control

1ª Ley en proceso estacionario

$$\dot{Q}_{v.c.} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{1}{2} v_e^2 + g z_e \right) = \sum \dot{m}_s \left(h_s + \frac{1}{2} v_s^2 + g z_s \right) + \dot{W}_{v.c.}$$

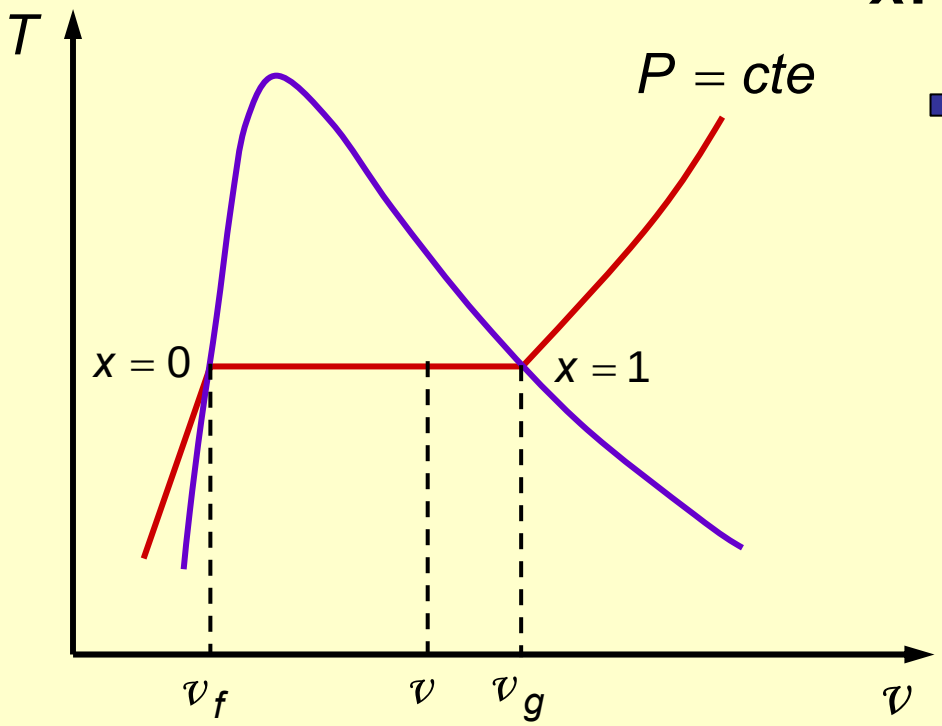
1ª Ley para procesos transiente

$$Q_{v.c.} + \sum m_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} g z_e \right) = \sum m_s \left(h_s + \frac{v_s^2}{2} g z_s \right)$$

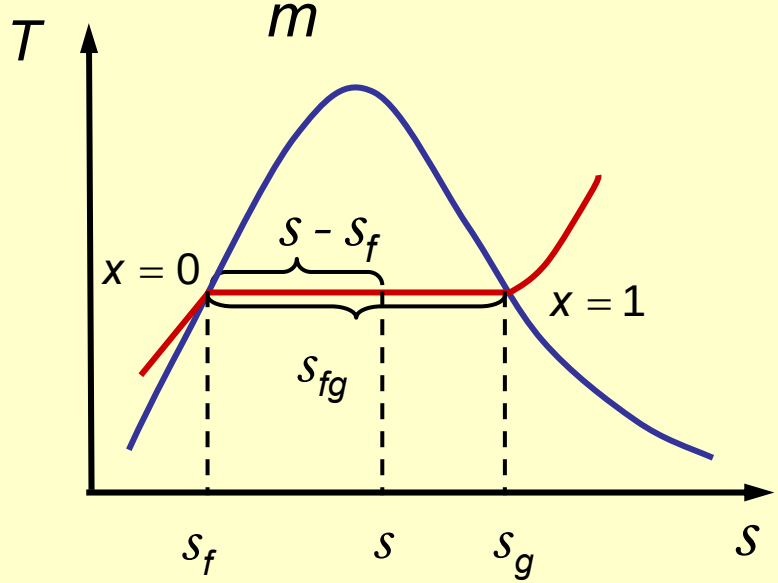
$$+ \left[m_2 \left(u_2 + \frac{v_2^2}{2} + g z_2 \right) - m_1 \left(u_1 + \frac{v_1^2}{2} + g z_1 \right) \right]_{v.c.} + W_{v.c.}$$

FísicaUC

x: calidad



$$x \equiv \frac{m_{vap}}{m} \qquad 0 \le x \le 1$$



$$v = v_f + x v_{fg} \qquad s = s_f + x s_{fg}$$

$$v = \frac{m_{liq}}{m} v_f + \frac{m_{vap}}{m} v_g = (1-x) v_f + x v_g = v_f + x v_{fg} \qquad v_{fg} = v_g - v_f$$

v_f, v_g, v_{fg}, s_f, s_g, s_{fg}

→ se obtienen de tablas termodinámicas

FísicaUC

Entropía $\Rightarrow$ $$dS \equiv \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{int rev}}$$

Cambio de entropía de un Gas Ideal

$$\Rightarrow \Delta S = S_f - S_i = nc_p \ln\left(\frac{T_f}{T_i} \right) - nR \ln\left(\frac{P_f}{P_i} \right)$$

con $$s = \frac{S}{m} \qquad c_p = \frac{c_p}{M_m} \qquad n = \frac{m}{M_m} \qquad \mathcal{R} = \frac{R}{M_m}$$

$$\Rightarrow \Delta s = s_f - s_i = c_p \ln\left(\frac{T_f}{T_i} \right) - \mathcal{R} \ln\left(\frac{P_f}{P_i} \right)$$

FísicaUC

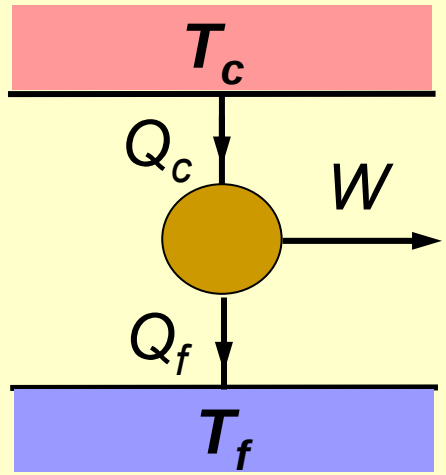
Ejercicio 01-I2

Dos cuerpos idénticos, que están rodeados por aislamiento térmico, se usan como reservorios de energía para una máquina de Carnot. Los cuerpos se encuentran inicialmente a temperaturas T_c y T_f, con $T_c > T_f$. A medida que la máquina funciona, los respectivos flujos de calor hacen que la temperatura de los cuerpos cambie.

a) Encuentre la temperatura a la cual la máquina deja de funcionar.

b) Encuentre el trabajo específico total realizado por la máquina de Carnot.

c) Encuentre el cambio total de entropía específica en el proceso.



FísicaUC

solución

a) Energía transferida a la máquina desde reservorio a T_c

$$\Rightarrow \quad dq_c = c_v dT_c$$

Energía transferida desde la máquina a reservorio a T_f

$$\Rightarrow \quad |dq_f| = -c_v dT_f$$

eficiencia $\Rightarrow$ $\eta = 1 - \dfrac{|dq_f|}{dq_c}$ $\Rightarrow$ $|dq_f| = (1-\eta) dq_c$

Eficiencia de Carnot $\Rightarrow$ $\eta = 1 - \dfrac{T_f}{T_c}$

reemplazando $\Rightarrow$ $|dq_f| = \left[1 - \left(1 - \dfrac{T_f}{T_c}\right)\right] c_v dT_c$

FísicaUC

$$\rightarrow \quad -\cancel{c_v}\,dT_f = \left[1-\left(1-\frac{T_f}{T_c}\right)\right]\cancel{c_v}\,dT_c$$

$$\rightarrow \quad -\frac{dT_f}{T_f} = \frac{dT_c}{T_c}$$

Integrando hasta temperatura de equilibrio

$$\rightarrow \quad -\int_{T_f}^{T_e}\frac{dT_f}{T_f} = \int_{T_c}^{T_e}\frac{dT_c}{T_c} \quad \rightarrow \quad -\ln\frac{T_f}{T_e} = \ln\frac{T_f}{T_c}$$

$$\rightarrow \quad \ln\frac{T_e}{T_f} = \ln\frac{T_f}{T_c} \quad \rightarrow \quad T_e^2 = T_c T_f \quad \rightarrow \quad T_e = \sqrt{T_c T_f}$$

b) Trabajo total realizado por la máquina

$$\rightarrow \quad w = |\Delta q_c| - |\Delta q_f|$$

FísicaUC

$$|\Delta q_c| = c_v (T_c - T_e)$$

con

$$|\Delta q_f| = c_v (T_e - T_f)$$

$$\rightarrow \quad w = c_v (T_c - T_e) - c_v (T_e - T_f)$$

$$\rightarrow \quad w = c_v \left(T_c - \sqrt{T_c T_f} - \sqrt{T_c T_f} + T_f\right) = c_v \left(T_c - 2\sqrt{T_c T_f} + T_f\right)$$

$$\rightarrow \quad w = c_v \left(\sqrt{T_c} - \sqrt{T_f}\right)^2$$

c) Máquina de Carnot es reversible $\rightarrow$ $ds = \dfrac{dq}{T}$

con $ds = ds_c + ds_f$ $\rightarrow$ $\displaystyle\int_1^2 ds = \Delta s = \int_{T_c}^{T_e} c_v \frac{dT}{T} + \int_{T_f}^{T_e} c_v \frac{dT}{T}$

FísicaUC

$$\Delta s = c_v \left[\ln\left(\frac{T_e}{T_c}\right) + \ln\left(\frac{T_e}{T_f}\right) \right] = c_v \ln\left(\frac{T_e^2}{T_c T_f}\right)$$

Reemplazando T_e $$\Delta s = c_v \ln\left(\frac{T_c T_f}{T_c T_f}\right) = 0$$

¿por qué?

FísicaUC

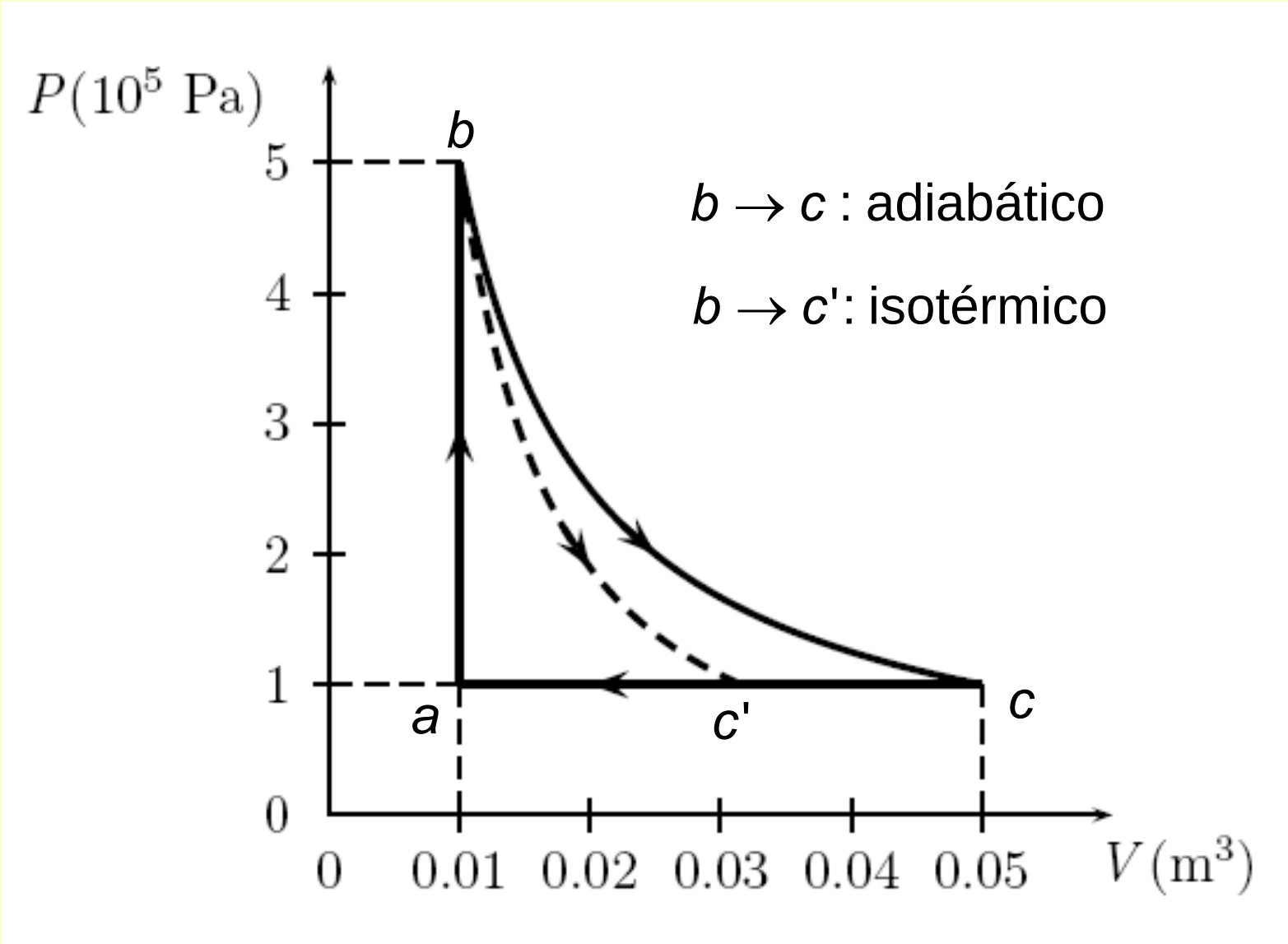
Ejercicio 02-I2

Considere el ciclo termodinámico que realiza un mol de aire, descrito en el gráfico *PvsV* que muestra la figura. Adicionalmente a los tramos a presión y volumen constante, el ciclo puede completarse con la línea curva continua, que corresponde a un proceso isotérmico, o la segmentada, que corresponde a un proceso adiabático.

a) Encuentre el trabajo hecho por el gas en ambos casos.

b) Encuentre la eficiencia del ciclo para ambos casos, línea continua y línea segmentada.

FísicaUC


$P(10^5\ \mathrm{Pa})$
5
4
3
2
1
0
b
a
c'
c
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
$V\,(\mathrm{m}^3)$
$b \rightarrow c$: adiabático
$b \rightarrow c'$: isotérmico

FísicaUC

solución

a) Trabajo hecho por el gas

$a \to b$: isocórico $\Rightarrow$ $dW = PdV$ $\Rightarrow$ $W_{ab} = 0$

$b \to c$: isotérmico $\Rightarrow$ $PV = nRT$ $\qquad P_c = P_a$

$$\Rightarrow T_c = T_b = \frac{P_b V_b}{nR} \Rightarrow V_c = \frac{nRT_c}{P_a} = nR\frac{P_b V_b}{nRP_a} = \frac{P_b}{P_a}V_b$$

$$\Rightarrow W_{bc} = nRT_b \int_{V_b}^{V_c} \frac{dV}{V} \qquad \text{con} \quad T_b = \frac{P_b V_b}{nR}$$

$$\Rightarrow W_{bc} = P_b V_b \ln\left(\frac{V_c}{V_b}\right) \Rightarrow W_{bc} = P_b V_b \ln\left(\frac{P_b V_b}{P_a V_b}\right) = P_b V_b \ln\left(\frac{P_b}{P_a}\right)$$

$$\Rightarrow W_{bc'} = 5\cdot 10^5 \times 0.01 \cdot \ln\left(\frac{5\cdot 10^5}{1\cdot 10^5}\right) = 8.05 \text{ kJ}$$

FísicaUC

$b \to c$: adiabático $\Rightarrow$ $PV^{\gamma} = cte$

aire $\Rightarrow$ $\gamma \approx 1.4$ $\Rightarrow$ $cte = P_b V_b^{\gamma} = 5 \cdot 10^5 \cdot 0.01^{1.4} = 792.45$

$\Rightarrow$ $W_{bc} = cte \int_{V_b}^{V_{c'}} \frac{dV}{V^{1.4}}$ $\Rightarrow$ $W_{bc} = \frac{cte}{1-1.4} V^{1-1.4} \Big|_{V_b}^{V_{c'}}$

$P_{c'} V_{c'}^{\gamma} = cte = 792.45$ $\qquad$ $P_{c'} = P_a = 1 \cdot 10^5$ Pa

$\Rightarrow$ $V_{c'} = \left(\frac{792.45}{10^5} \right)^{1/1.4} = 0.032 \text{ m}^3$

$\Rightarrow$ $W_{bc} = -1981.1 V^{-0.4} \Big|_{0.01}^{0.05} = -1981.1 \left(\frac{1}{0.05^{0.4}} - \frac{1}{0.01^{0.4}} \right)$

$\Rightarrow$ $W_{bc} = 5.75$ kJ

FísicaUC

$b \to c$: adiabático $\Rightarrow$ $PV^{\gamma} = cte$

aire $\Rightarrow$ $\gamma \approx 1.4$ $\Rightarrow$ $cte = P_b V_b^{\gamma} = 5 \cdot 10^5 \cdot 0.01^{1.4} = 792.45$

$\Rightarrow$ $W_{bc} = cte \int_{V_b}^{V_{c'}} \frac{dV}{V^{1.4}}$ $\Rightarrow$ $W_{bc} = \frac{cte}{1-1.4} V^{1-1.4} \Big|_{V_b}^{V_{c'}}$

$P_{c'} V_{c'}^{\gamma} = cte = 792.45$ $\qquad$ $P_{c'} = P_a = 1 \cdot 10^5$ Pa

$\Rightarrow$ $V_{c'} = \left(\frac{792.45}{10^5} \right)^{1/1.4} = 0.032 \text{ m}^3$

$\Rightarrow$ $W_{bc} = -1981.1 V^{-0.4} \Big|_{0.01}^{0.05} = -1981.1 \left(\frac{1}{0.05^{0.4}} - \frac{1}{0.01^{0.4}} \right)$

$\Rightarrow$ $W_{bc} = 5.75$ kJ

FísicaUC

b) La eficiencia $\Rightarrow$ $\eta = 1 - \dfrac{|\Delta Q_{out}|}{|\Delta Q_{in}|}$

Primera Ley $\Rightarrow$ $dU = \delta Q - \delta W$

ciclo : $a \to b \to c \to a$

$\Delta V_{ab} = 0 \Rightarrow \Delta Q_{ab} = \Delta U_{ab} = n c_v \Delta T_{ab}$

$n = 1 \quad c_v \approx \dfrac{5}{2} R \Rightarrow \Delta Q_{ab} = \dfrac{5}{2} R (T_b - T_a)$

$PV = nRT \Rightarrow T_b - T_a = \dfrac{1}{R}(P_b V_b - P_a V_a) = \dfrac{V_a}{R}(P_b - P_a)$

$\Rightarrow \Delta Q_{ab} = \dfrac{5}{2} V_a (P_b - P_a) = \dfrac{5}{2} 0.01 \left(5 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^5\right) = 10 \text{ kJ} > 0$

FísicaUC

$$\Delta T_{bc} = 0 \longrightarrow \Delta U_{bc} = 0 \longrightarrow \Delta Q_{bc} = W_{bc}$$

Gas ideal $\longrightarrow$ $$W_{bc} = nRT_b \int_{V_b}^{V_c} \frac{dV}{V} = nRT_b \ln\left(\frac{V_c}{V_b}\right)$$

$$T_b = \frac{P_b V_b}{nR} \longrightarrow W_{bc} = P_b V_b \ln\left(\frac{V_c}{V_b}\right)$$

$$\longrightarrow W_{bc} = 5 \cdot 10^5 \times 0.01 \ln\left(\frac{0.05}{0.01}\right) = 8.05 \text{ kJ}$$

$$\longrightarrow \Delta Q_{bc} = 8.05 \text{ kJ} > 0$$

$$\Delta Q_{ca} = \Delta U_{ca} + W_{ca}$$

$$\Delta U_{ca} = \frac{5}{2} R(T_c - T_a) = \frac{5}{2} R \frac{P_a}{R}(V_c - V_a)$$

FísicaUC

$$\Delta U_{ca} = \frac{5}{2} 10^5 (0.01 - 0.05) = -10 \text{ kJ}$$

$$W_{ca} = P_a (V_a - V_c)$$

$$W_{ca} = 10^5 (0.01 - 0.05) = -4 \text{ kJ}$$

$$\Delta Q_{ca} = -10 - 4 = -14 \text{ kJ} < 0$$

$$\Delta Q_{in} = \Delta Q_{ab} + \Delta Q_{bc} = 10 + 8.05 = 18.05 \text{ kJ}$$

$$\Delta Q_{out} = \Delta Q_{ca} = -14 \text{ kJ}$$

$$\eta = 1 - \frac{|\Delta Q_{out}|}{|\Delta Q_{in}|} \quad \Rightarrow \quad \eta_{abca} = 1 - \frac{14}{18.05} = 0.224$$

FísicaUC

ciclo : $a \to b \to c' \to a$

$\Delta Q_{ab} = 10 \text{ kJ}$

$\Delta Q_{bc'} = 0 \quad \Rightarrow$ adiabático

$\Delta Q_{c'a} = \Delta U_{c'a} + W_{c'a}$

$$\Delta U_{c'a} = \frac{5}{2} R (T_{c'} - T_a) = \frac{5}{2} R \frac{P_a}{R} (V_{c'} - V_a)$$

$$\Rightarrow \quad \Delta U_{c'a} = \frac{5}{2} 10^5 (0.01 - 0.032) = -5.5 \text{ kJ}$$

$$\Rightarrow \quad W_{c'a} = P_a (V_a - V_{c'})$$

$$\Rightarrow \quad W_{c'a} = 10^5 (0.01 - 0.032) = -2.2 \text{ kJ}$$

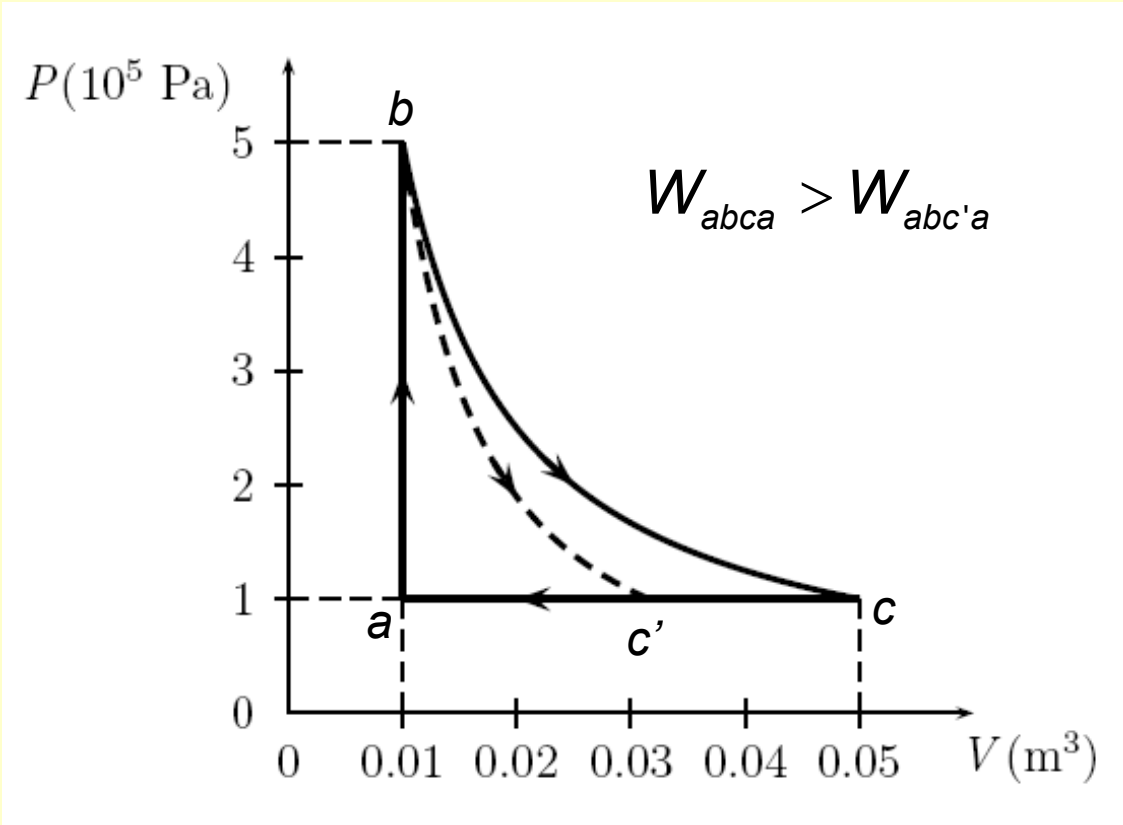
$$\Rightarrow \quad \Delta Q_{ca} = -5.5 - 2.2 = -7.7 \text{ kJ} < 0$$

FísicaUC

$\Delta Q_{in} = \Delta Q_{ab} = 10\ \text{kJ}$ $\Delta Q_{out} = \Delta Q_{c'a} = -7.7\ \text{kJ}$

$$\eta = 1 - \frac{|\Delta Q_{out}|}{|\Delta Q_{in}|} \quad \rightarrow \quad \eta_{abc'a} = 1 - \frac{7.7}{10} = 0.23$$

$$\rightarrow \quad \eta_{abca} = 0.224 < \eta_{abc'a}$$

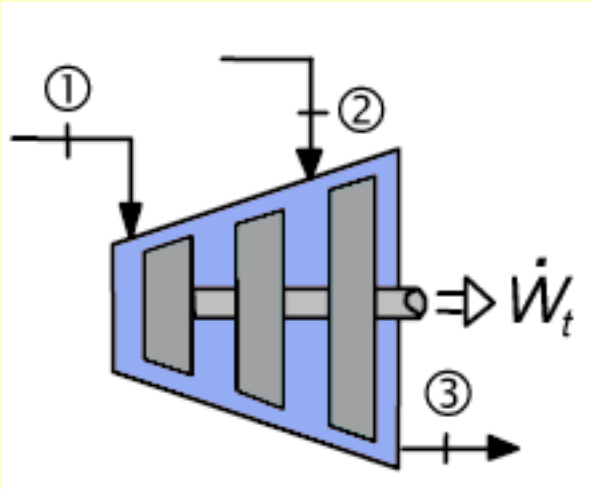


FísicaUC

Ejercicio 03-I2

Una turbina adiabática a vapor recibe vapor de dos calderas. Una entrega un flujo de 5 kg/s a 3 MPa y 700ºC, y la otra 15 kg/s a 800 kPa y 500ºC. La presión de salida es 10 kPa, con una calidad del 96%. Encontrar la potencia total que entrega la turbina.

solución



Proceso estacionario

Continuidad de masa

$$\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

$$\dot{m}_3 = 5 + 15 = 20 \text{ kg/s}$$

FísicaUC

Primera Ley

$$\dot{Q}_{v.c.} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{1}{2} v_e^2 + g z_e \right) = \sum \dot{m}_s \left(h_s + \frac{1}{2} v_s^2 + g z_s \right) + \dot{W}_{v.c.}$$

No hay flujo de calor

$$\dot{Q} = 0 \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 + \dot{W}_t$$

$P_1 = 3.0$ MPa

$T_1 = 700°C$

T	p = 3.00 MPa (233.90 C)			
	v	u	h	s
600	0.13243	3285.0	3682.3	7.5085
700	0.14838	3466.5	3911.7	7.7571
800	0.16414	3653.5	4145.9	7.9862

$h_1 = 3911.7$ kJ/kg

$P_2 = 800$ kPa

$T_2 = 500°C$

T	p = 0.80 MPa (170.43 C)			
	v	u	h	s
400	0.3843	2959.7	3267.1	7.5716
500	0.4433	3126.0	3480.6	7.8673
600	0.5018	3297.9	3699.4	8.1333

$h_2 = 3480.6$ kJ/kg

FísicaUC

$P_3 = 10$ kPa

$x_3 = 0.96$

$\Rightarrow \quad h = h_f + x \cdot h_{fg} \qquad h_{fg} = h_g - h_f$

	Enthalpy	
kPa	kJ/kg	
Press.	Sat. liquid	Sat. vapor
p kPa	h_f	h_g
7.5	168.79	2574.8
10	191.83	2584.7
15	225.94	2599.1

$h_3 = 191.83 + 0.96 \cdot (2584.7 - 191.83)$

$\Rightarrow \quad h_3 = 2488.9$ kJ/kg

reemplazando

$\Rightarrow \quad \dot{W}_t = 5 \cdot 3911.7 + 15 \cdot 3480.6 - 20 \cdot 2488.9 = 21900$ kW

FísicaUC

Ejercicio 04-I2

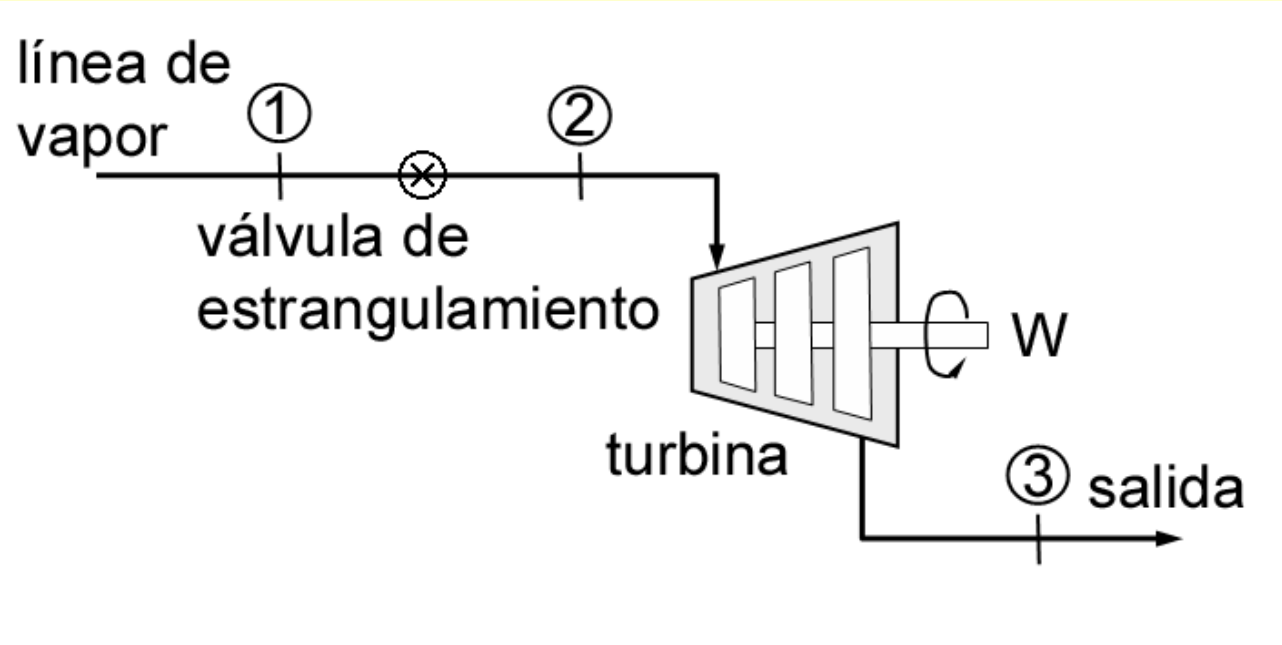
Una técnica usada para bajar la potencia de una turbina a vapor es estrangular **(**disminuir el diámetro**)** del paso de vapor, bajando la presión antes que este entre a la turbina. Las condiciones en la línea de vapor son 2 MPa y 400ºC, y la presión de salida de la turbina está fija en 10 kPa. Suponiendo que la expansión en el interior de la turbina es adiabática,

a) El trabajo específico específico máximo de salida de la turbina, que corresponde a no aplicar el estrangulamiento.

b) La presión a la cual debe bajar el vapor en el estrangulamiento, para que el trabajo sea el 80**%** del máximo posible.

c) Muestre ambos procesos en un diagrama *T*-*s*

FísicaUC



solución

a) 1ª Ley ⟹ $q + h_e = h_s + w$

Sin válvula ⟹ condición 2 = condición 1

Turbina isentrópica ⟹ 2→3 ⟹ $s_3 = s_2 = s_1$

⟹ $w_{ta} = h_1 - h_{3a}$

FísicaUC

$P_1 = 2$ MPa
$T_1 = 400°C$ tabla → $s_3 = s_1 = 7.1271\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$
$h_1 = 3247.6\ \text{kJ/kg}$

$P_3 = 10$ kPa tabla → $s_f = 0.6493\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$
$s_{fg} = 7.5009\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$

→ $s_3 = 7.1271\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K} = 0.6493 + x_{3a}\cdot 7.5009$

→ $x_{3a} = 0.8636$ tabla → $h_f = 191.83\ \text{kJ/kg}$
$h_{fg} = 2395.57\ \text{kJ/kg}$

→ $h_{3a} = h_f + x_{3a}\cdot h_{fg}$

→ $h_{3a} = 191.83 + 0.8636\cdot 2395.57 = 2258.3\ \text{kJ/kg}$

→ $w_{ta} = 3247.6 - 2258.3 = 989.3\ \text{kJ/kg}$

FísicaUC

b) $w_{tb} = 0.8\, w_{ta} = 0.8 \cdot 989.3 = 791.4 \text{ kJ/kg}$

válvula de expansión $\rightarrow$ $h = cte$ $\rightarrow$ $h_{2b} = h_1$

$\rightarrow$ $w_{tb} = h_{2b} - h_{3b}$ $\rightarrow$ $h_{3b} = 3247.6 - 791.4 = 2456.2 \text{ kJ/kg}$

$\rightarrow$ $h_{3b} = h_f + x_{3b} \cdot h_{fg}$ tabla $\rightarrow$ $h_f = 191.83 \text{ kJ/kg}$, $h_{fg} = 2395.57 \text{ kJ/kg}$

$\rightarrow$ $h_{3a} = 191.83 + x_{3b} \cdot 2395.57 = 2456.2 \text{ kJ/kg}$

$\rightarrow$ $x_{3b} = 0.9452$

$\rightarrow$ $s_{3b} = s_f + x_{3b} \cdot s_{fg}$

$P_3 = 10 \text{ kPa}$ tabla $\rightarrow$ $s_f = 0.6493 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, $s_{fg} = 7.5009 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

FísicaUC

$$\Rightarrow \quad s_{3b} = 0.6493 + 0.9452 \cdot 7.5009 = 7.739 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Turbina isentrópica $\Rightarrow$ $2 \rightarrow 3$

$$h_{2b} = h_1 = 3247.6 \text{ kJ/kg} \quad \Rightarrow \text{ vapor supercalentado}$$

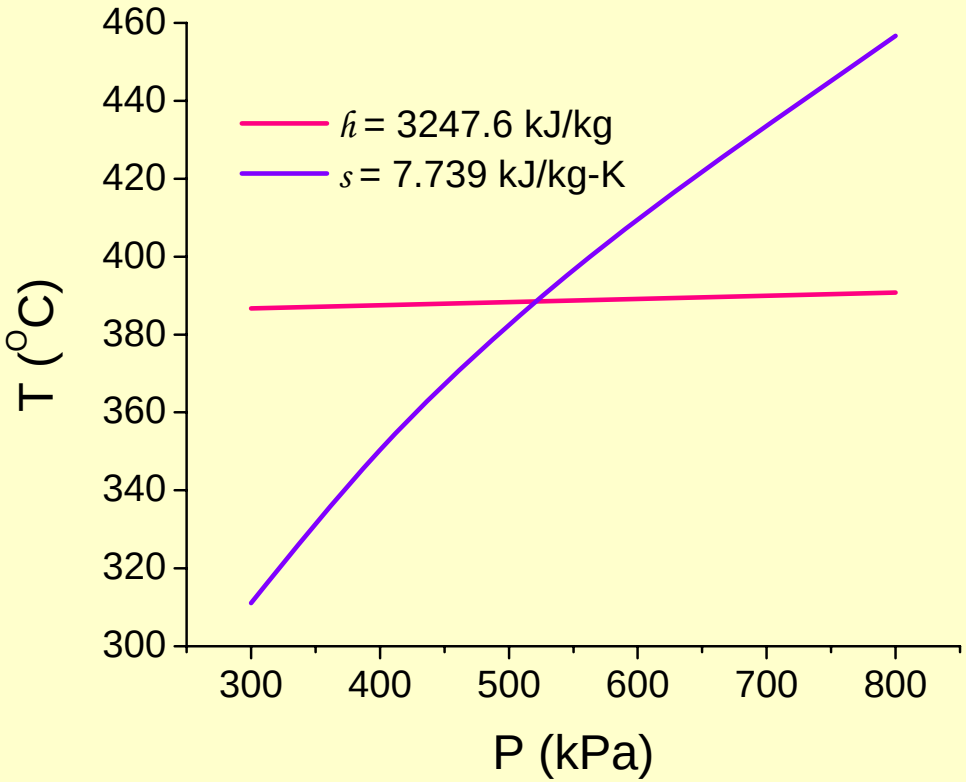
$$s_{2b} = s_{3b} = 7.739 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

T	p = 0.50 MPa (151.86 C)				p = 0.60 MPa (158.85 C)			
	v	u	h	s	v	u	h	s
Sat.	0.3749	2561.2	2748.7	6.8213	0.3175	2567.4	2756.8	6.7600
200	0.4249	2642.9	2855.4	7.0592	0.352	2638.9	2850.1	6.9665
250	0.4744	2723.5	2960.7	7.2709	0.3938	2720.9	2957.2	7.1816
300	0.5226	2802.9	3064.2	7.4599	0.4344	2801.0	3061.6	7.3724
350	0.5701	2882.6	3167.7	7.6329	0.4742	2881.2	3165.7	7.5464
400	0.6173	2963.2	3271.9	7.7938	0.5137	2962.1	3270.3	7.7079
500	0.7109	3128.4	3483.9	8.0873	0.592	3127.6	3482.8	8.0021
600	0.8041	3299.6	3701.7	8.3522	0.6697	3299.1	3700.9	8.2674
700	0.8969	3477.5	3925.9	8.5952	0.7472	3477.0	3925.3	8.5107

FísicaUC

interpolando →

P (kPa)	T (ºC) ($\hbar$=*cte*)	T (ºC) (s=*cte*)
300	386.7	311.1
400	387.5	352.0
500	388.3	383.0
600	389.2	410.6
800	390.8	456.6

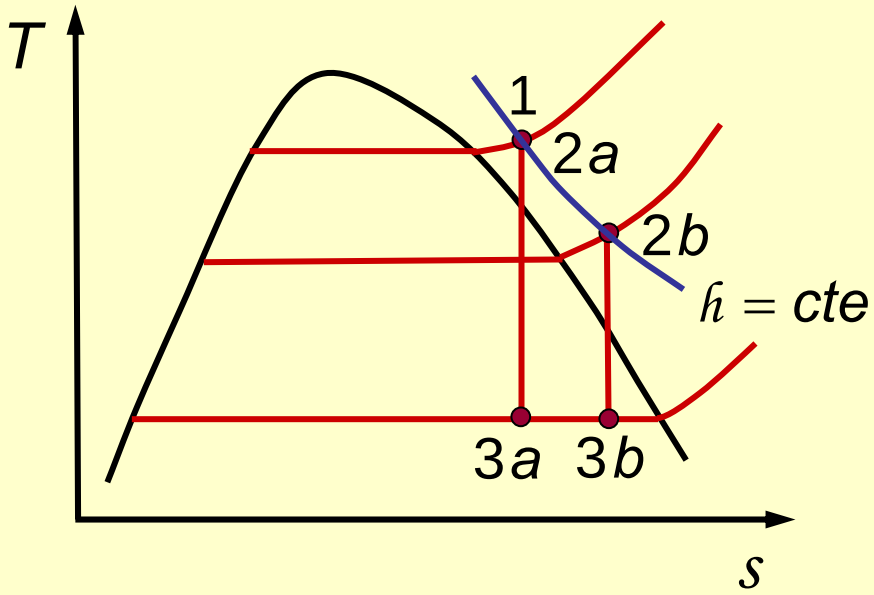


→ $P_{2B} \approx 520$ kPa

→ $T_{2b} \approx 388°C$

FísicaUC

c)



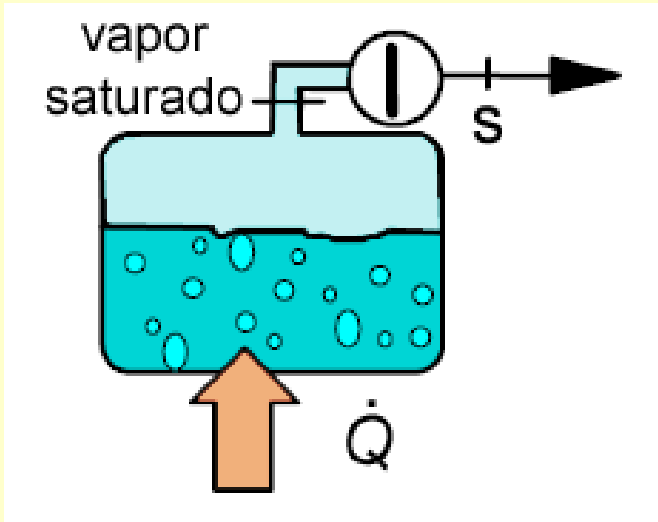
FísicaUC

Ejercicio 05-I2

Un tanque de 200 l contiene inicialmente agua a 100 kPa, con una calidad 1%. Se transfiere calor al agua, por lo que su presión y temperatura aumentan. Cuando la presión alcanza 2 MPa, se abre una válvula de seguridad y sale vapor saturado a 2 MPa. El proceso continúa a una presión constante de 2 MPa, hasta que la calidad en el tanque llega al 90% y luego se detiene. Encontrar

a) La masa total de agua transferida.

b) El calor total transferido.



solución

Proceso transiente

Estado 1: estado inicial

Estado 2: apertura de válvula

Estado 3: estado final

FísicaUC

a) v.c. alrededor del tanque

Ecuación de continuidad para proceso transiente

$$\rightarrow \left(m_2 - m_1\right)_{v.c.} - \sum m_e + \sum m_s = 0$$

En este caso $\rightarrow$ $m_3 - m_1 = -m_s$

Primera Ley en proceso transiente $\rightarrow$

$$Q_{v.c.} + \sum m_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) = \sum m_s \left(h_s + \frac{v_s^2}{2} + gz_s \right)$$

$$+ \left[m_2 \left(u_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right) - m_1 \left(u_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right) \right]_{v.c.} + W_{v.c.}$$

En este caso $\rightarrow$ $m_3 u_3 - m_1 u_1 = Q_{v.c.} - m_s h_s$

$P_1 = 100$ kPa

$x_1 = 0.01$

$$m = \frac{V}{v} \rightarrow v = v_f + x \cdot v_{fg} = v_f + x \cdot \left(v_g - v_f\right)$$

p MPa	Tsat@p	v_f	v_g	u_f	u_g
0.1	99.63	0.001043	1.694	417.36	2506.1

$$\rightarrow v_1 = 0.001043 + 0.01\left(1.694 - 0.001043\right) = 0.01797 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rightarrow m_1 = \frac{V}{v_1} = \frac{0.2}{0.1797} = 11.13 \text{ kg}$$

$$u = u_f + x \cdot u_{fg} = u_f + x \cdot \left(u_g - u_f\right)$$

$$\rightarrow u_1 = 417.36 + 0.01 \cdot \left(2506.1 - 417.36\right) = 438.22 \text{ kJ/kg}$$

$P_3 = 2$ MPa

$x_3 = 0.9$

p MPa	Tsat@p	v_f	v_g	u_f	u_g
2.00	212.42	0.001177	0.09963	906.44	2600.3

FísicaUC

$$\rightarrow \quad v_3 = 0.0017 + 0.9 \cdot (0.009963 - 0.0017) = 0.8978\ \mathrm{m^3/kg}$$

$$\rightarrow \quad m_3 = \frac{V}{v_3} = \frac{0.2}{0.8978} = 2.23\ \mathrm{kg}$$

$$\rightarrow \quad u_3 = 906.44 + 0.9 \cdot (2600.3 - 906.44) = 2430.88\ \mathrm{kJ/kg}$$

$$m_s = m_1 - m_3 \quad \rightarrow \quad m_s = 11.13 - 2.23 = 8.9\ \mathrm{kg}$$

b) Estado de salida $\rightarrow$ vapor saturado a 2 MPa

$\rightarrow$

p MPa	Tsat@p	h_f	h_g
2.00	212.42	908.79	2799.5

$\rightarrow \quad h_s = h_g = 2799.5\ \mathrm{kJ/kg}$

$$Q_{v.c.} = m_3 u_3 - m_1 u_1 + m_s h_s$$

$$\rightarrow \quad Q_{v.c.} = 2.23 \cdot 2430.88 - 11.13 \cdot 438.22 + 8.90 \cdot 2799.51$$

$$\rightarrow \quad Q_{v.c.} = 25\,459\ \mathrm{kJ}$$

FísicaUC

Ejercicio 06-I2 (P2-I2, 2º Sem. 2010)

Un sistema formado por un cilindro y pistón ideal, sin roce, se mantiene a presión constante. En su interior hay 1.0 kg de agua con una calidad del 5%, a 150◦C. Se transfiere calor de modo tal que agua líquida se transforma en vapor, a una tasa de 1.0 g/s. Encuentre:

a) La tasa de variación de la energía interna en el interior del cilindro.

b) La tasa de variación del volumen del cilindro.

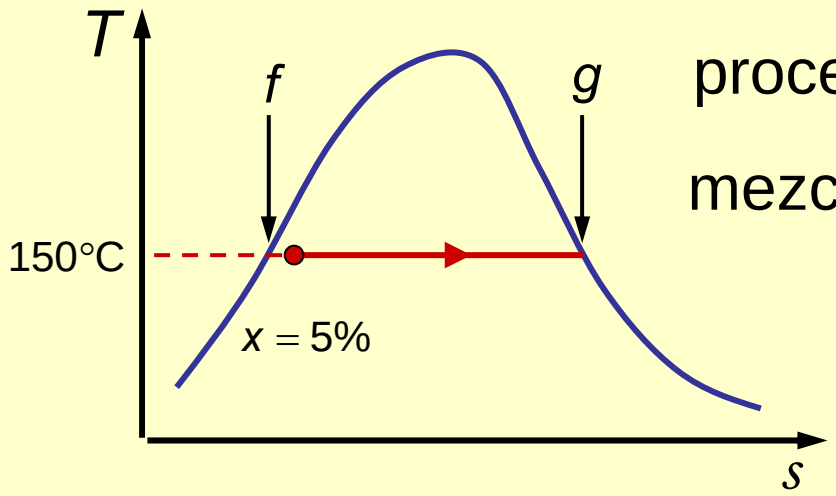
c) La tasa de transferencia de calor.

solución

proceso estacionario ⟹ Primera Ley

$$\Longrightarrow dU = \delta Q - \delta W \Longrightarrow \dot{U} = \dot{Q} - \dot{W}$$

FísicaUC



proceso ➡

mezcla líquido-vapor saturados

continuidad de masa ➡ $m_T = m_{vap} + m_{liq} = cte$

derivando ➡ $\dot{m}_T = \dot{m}_{vap} + \dot{m}_{liq} = 0$ ➡ $\dot{m}_{liq} = -\dot{m}_{vap}$

datos ➡ $\dot{m}_{vap} = 1\,\mathrm{g/s} = 0.001\,\mathrm{kg/s}$

dos componentes en la energía interna

➡ $U = U_{liq} + U_{vap} = m_{liq}u_f + m_{vap}u_g$

FísicaUC

u_f y u_g son constantes ➡ condiciones de saturación

➡ $\dot{U} = \dot{m}_{liq} u_f + \dot{m}_{vap} u_g = \dot{m}_{vap} \left(u_g - u_f \right) = \dot{m}_{vap} u_{fg}$

$T = 150 \circ C$

➡ tabla

		Spec. Volume m^3/kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg	
		Sat. liquid	Sat. vapor	Sat. liquid	Sat. vapor	Sat. liquid	Sat. vapor
T °C	p_sat@T MPa	v_f	v_g	u_f	u_g	h_f	h_g
140	0.3613	0.001080	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2733.9
145	0.4154	0.001085	0.4463	610.18	2554.9	610.63	2740.3
150	0.4758	0.001091	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2746.5
155	0.5431	0.001096	0.3468	653.24	2564.1	653.84	2752.4
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.87	2568.4	675.55	2758.1

➡ $u_f = 631.68$ kJ/kg

$u_g = 2559.5$ kJ/kg

➡ $u_{fg} = 1927.92$ kJ/kg

FísicaUC

Reemplazando → $\dot{U} = 0.001 \cdot 1927.92 \approx 1.93 \text{ kJ/s}$

b) volumen total → $V = V_{liq} + V_{vap}$

Derivando y con el razonamiento anterior

→ $\dot{V} = \dot{m}_{liq} v_f + \dot{m}_{vap} v_g = \dot{m}_{vap} \left(v_g - v_f \right) = \dot{m}_{vap} v_{fg}$

$T = 150 \circ C$ → tabla → $v_f = 0.00109 \text{ m}^3/\text{kg}$, $v_g = 0.3928 \text{ m}^3/\text{kg}$

→ $v_{fg} = 0.30171 \text{ m}^3/\text{kg}$

Reemplazando → $\dot{V} = 0.001 \cdot 0.30171 \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$

FísicaUC

c) Primera Ley → $\dot{U} = \dot{Q} - \dot{W}$

$\delta W = PdV$ Integrando con P = *cte* → $\dot{W} = P\dot{V}$

→ $\dot{W} = \dot{m}_{vap} P v_{fg}$

→ $\dot{Q} = \dot{m}_{vap} u_{fg} + \dot{m}_{vap} P v_{fg} = \dot{m}_{vap}\left(u_{fg} + P v_{fg}\right)$

La entalpía → $h = u + Pv$ → $\dot{Q} = \dot{m}_{vap} h_{fg}$

T = 150◦C → tabla →

$h_f = 632.2$ kJ/kg

$h_g = 2746.5$ kJ/kg

→ $h_{fg} = 2114.3$ kJ/kg

Reemplazando → $\dot{Q} = 0.001 \cdot 2114.2 \approx 2.1$ kJ/s

FísicaUC

Ejercicio 07-I2

Un cilindro contiene refrigerante R-134a, a 10ºC y 150 kPa, con un volumen inicial 20 l. Un pistón comprime el R-134a en un proceso reversible e isotermal, hasta que alcanza el estado de vapor saturado. Encontrar

a) El calor transferido en el proceso.

b) El trabajo realizado en el proceso.

solución

a) Primera Ley $\Rightarrow$ $dU = \delta Q - \delta W$

Continuidad de masa $\Rightarrow$ $m_2 = m_1 = m$

$U = mu$ $\Rightarrow$ $m(u_2 - u_1) = Q_{12} - W_{12}$

Entropía en proceso reversible $\Rightarrow$ $dS = \dfrac{dQ}{T}$

FísicaUC

Temperatura constante $\Rightarrow$ $S_2 - S_1 = \frac{1}{T}\int_1^2 dQ = \frac{Q_{12}}{T}$

$S = ms$ $\Rightarrow$ $m(s_2 - s_1) = \frac{Q_{12}}{T}$

tabla

deg-C	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg.K
	P = 0.14 MPa (T_{sat} = -18.80°C)			
	v	u	h	s
Sat.	0.13945	216.52	236.04	0.9322
-20				
-10	0.14549	223.03	243.40	0.9606
0	0.15219	230.55	251.86	0.9922
10	0.15875	238.21	260.43	1.0230
20	0.16520	246.01	269.13	1.0532
30	0.17155	253.96	277.97	1.0828

	P = 0.18 MPa (T_{sat} = -12.73°C)			
	v	u	h	s
Sat.	0.10983	219.94	239.71	0.9273
-10	0.11135	222.02	242.06	0.9362
0	0.11678	229.67	250.69	0.9684
10	0.12207	237.44	259.41	0.9998
20	0.12723	245.33	268.23	1.0304
30	0.13230	253.36	277.17	1.0604

$u_1 = 238.017$ kJ/kg

interpolando $\Rightarrow$ $s_1 = 1.0172$ kJ/kg·K

$v_1 = 0.14958$ m^3/kg

FísicaUC

$$\rightarrow \quad m = \frac{V}{v_1} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{0.14958} = 0.1337\,\text{kg}$$

Estado 2 → Vapor saturado a 10ºC

tabla

		Internal Energy		Entropy	
deg-C	MPa	kJ/kg		kJ/kg*K	
Temp.	Sat. press.	Sat. liquid	Sat. vapor	Sat. liquid	Sat. vapor
$T\ ^0C$	p_sat@T	u_f	u_g	s_f	s_g
8	0.38756	60.43	231.46	0.2354	0.9150
12	0.44294	65.83	233.63	0.2545	0.9132
16	0.50416	71.29	235.78	0.2735	0.9116
20	0.57160	76.80	237.91	0.2924	0.9102
24	0.64566	82.37	240.01	0.3113	0.9089

interpolando →

$$u_2 = 232.545\ \text{kJ/kg}$$

$$s_2 = 0.9141\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$$

FísicaUC

$$Q_{12} = m(s_2 - s_1)T$$

$$\Rightarrow \quad Q_{12} = 0.1337(0.9141 - 1.0172)273 = -3.763 \text{ kJ}$$

b) $$W_{12} = Q_{12} - m(u_2 - u_1)$$

$$\Rightarrow \quad W_{12} = -3.763 - 0.1337(232.454 - 238.017) = -3.019 \text{ kJ}$$