Pontificia Universidad Católica de Chile
FIS1523 - Termodinámica

Ayudantía Termodinámica n.11

Profesor: Francisco Castillo
Ayudante: Alessandro Santoni - asantoni@uc.cl
Viernes 17 de Junio de 2022

Problema 1

Un pistón cilindrico contiene $1.2\,kg$ de vapor saturado a la temperatura de $200°C$. Se transfiere calor al vapor que se expande reversibilmente a temperatura constante hasta llegar a una presión de $800\,kPa$. Determinar

A) El calor transferido en el proceso (ocupar una temperatura promedio en el proceso de $450\,K$)

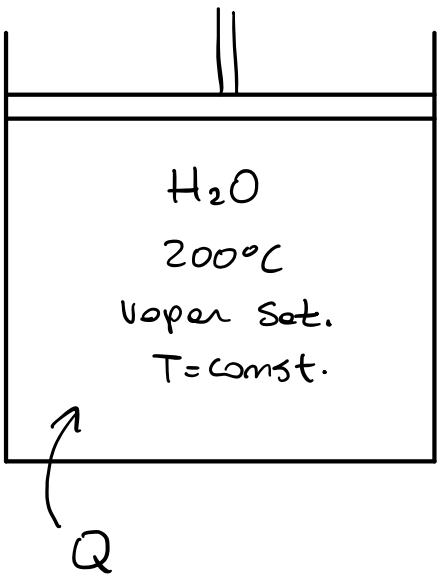
B) El trabajo hecho por el vapor

Problema 2

Un pistón cilindrico adiabatico contiene inicialmente $300\,L$ de aire a la presión de $120\,kPa$ y temperatura de $17°C$. El aire se calienta ahora por $15\,min$ gracias a un calentador (tipo resistencia) de $200\,W$ puesto en el interior del cilindro. La presión del gas es mantenida constante en este proceso. Determinar:

1. La variación de entropia del aire asumiendo calor especifico constante
2. La misma variación de entropia pero asumiendo calor especifico variable

P1) En este problema vemos a asumir que los cambios de energía cinética y potencial sean trascurables. Ademas consideramos el sistema suficientemente aislado como para no desperder calor y que la energía termica del cilindro mismo es despreciable.



De las tablas de vapor
(A-4 hasta A-6)

$T_1 = 200°C$, vap. Sat. $\Rightarrow u_1 = u_g^{200°C} = 2594.2\ kJ/kg$

$\Rightarrow s_1 = s_g^{200°C} = 6.4302\ kJ/kg \cdot K$

$P_2 = 800\ kPa$, $T_2 = T_1 \Rightarrow u_2 = 2631.1\ kJ/kg$

$\Rightarrow s_2 = 6.8177\ kJ/kg \cdot K$

a) El calor transferido en el proceso, siendo de temperatura constante, se puede calcular como:

$$Q = T\Delta S = T \cdot m(s_2 - s_1) =$$

$$= (473K)(1.2kg)(6.8177 - 6.4302)\ kJ/kg \cdot K = 219.9\ K$$

b) El sistema del cilindro es un sistema cerrado siendo que no hay masa que ingrese o sale. El balance energetico será entonces:

$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sys}$ donde $E_{in} = Q_{in}$

$E_{out} = W_{out}$

$\Delta E_{sys} = \Delta U$

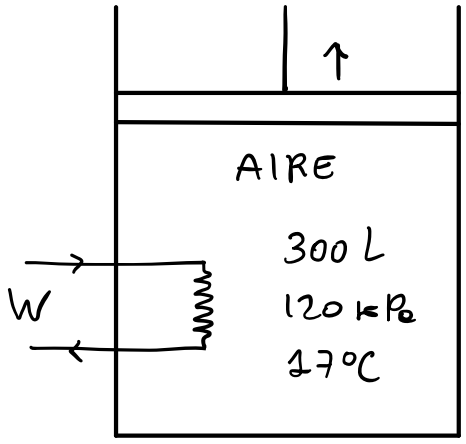
De lo cual: $W_{out} = Q_{in} - \Delta U = Q_{in} - m(u_2 - u_1)$

$= 219.9\,kJ - (1.2\,kg)(2631.1 - 2594.2)\,kJ/kg =$

$= 175.6\,kJ$

(P2) Notamos como primer cosa que la constante R del aire es $R = 0.287\ kJ/kg \cdot K$ (TABLA A-1 LENGEL).

El volumen del cilindro inicialmente es:



$$V_1 = 300\ L = 300(dm^3) = 0.3\ m^3$$

y gracias a la ley de los gases ideales podemos encontrar la masa de aire

$$m = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{(120\ kPa)(0.3\ m^3)}{(0.827\ kPa \cdot m^3/kg \cdot K)(290\ K)} = 0.4325\ kg$$

Mientras que la cantidad de energía ingresada en el sistema por la resistencia es de:

$$W = \dot{W} \Delta t = (200\ J/s)(15 \times 60\ s) = 180\ kJ$$

Considerando el proceso como casi-estatico, en cada instante el balance energetico neto del sistema será igual a la energía que ingresa el sistema

$$\Rightarrow W_{in} - W_{out} = \Delta U \;;$$

$$W_{in} = W = \Delta U + W_{out} = Q \simeq m c_p (T_2 - T_1)$$

↓ siendo un proceso a presión constante

a) Ocupando un calor específico c_p constante a la temperatura promedio de 450 K

$$T_2 = T_1 + \frac{W_{in}}{m c_p} = (17+273)\,K + \frac{180\,kJ}{(0.4325\,kg)(1.02\,kJ/kg\cdot K)} =$$

$$= 698\,K$$

NOTA: de la cual vemos que la temperatura promedio ocupada por c_p esta bien

Entonces, podemos escribir el cambio de entropía como

$$\Delta S_{sys} = m(s_2 - s_1) = m\left(c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \cancel{\ln \frac{P_2}{P_1}}^{\,0\ P=cost}\right) =$$

$$= (0.4325\,kg)(1.020\,kJ/kg\cdot K)\ln\left(\frac{698\,K}{290\,K}\right) = 0.387\,kJ/K$$

b) Asumiendo un calor especifico cp no constante, recordamos que el calor transferido se puede en función de la entalpia:

$$W_{in} = \Delta U - W_{out} = Q = m(h_2 - h_1)$$

$$\downarrow$$

$$h_2 = h_1 - \frac{W_{in}}{m} =$$

Ocupando la tabla (A-17) por la h_1

$$= 290.16\ kJ/kg + \frac{180\ kJ}{0.4325\ kg} =$$

$$= 706.34\ kJ/kg$$

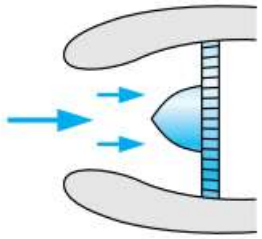
Entonces, encontrando en la misma tabla (A-17) s_1° a temperatura 290 K y s_2° correspondiente a h_2:

$$\Delta S_{sys} = m\left(s_2^\circ - s_1^\circ + R \cancel{\ln}^{\,0} \frac{P_2}{P_1}\right) = m(s_2^\circ - s_1^\circ) =$$

$$= (0.4325\ kg)(2.5628 - 1.66802)\ kJ/kg \cdot K = 0.387\ kJ/K$$

que como vemos nos da el mismo resultado.

Problema 1 (VC estacionario): El frente de un motor a reacción actúa como un difusor, recibe aire a 900 km/h, −5 °C y 50 kPa, llevándolo a 80 m/s en relación con el motor antes de ingresar al compresor. Si el área del flujo se reduce al 80% del área de entrada, encuentre la temperatura y la presión en la entrada del compresor. Considere al aire como gas ideal. (Considere $c_p = 1{,}004\ \frac{kJ}{kg \cdot K}$)



✱ PUNTAJE ASOCIADO A VALOR NUMÉRICO INCLUYE CORRECTAS UNIDADES DE MEDIDA
[0,5 PUNTOS = 0,3 (VALOR NUMÉRICO) + 0,2 (UNIDADES)]

Solución:

Es un volumen de control estacionario con 1 entrada y 1 salida. No hay Trabajo ni transferencia de calor.

Por continuidad:

$$\dot{m} = \frac{A_1 \cdot vel_1}{v_1} = \frac{A_2 \cdot vel_2}{v_2}$$

+ 0,5 ptos

Buscamos el volumen específico del aire:

$$Pv_1 = R_{aire}T$$

+ 0,5 ptos

$$v_1 = \frac{R_{aire}T}{P} = \frac{0{,}287\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (273-5)K}{50\ kPa} = 1{,}5383\ \frac{m^3}{kg}$$

+ 0,5 ptos

Podemos encontrar el volumen específico en la salida:

$$\frac{A \cdot 900 \cdot \frac{1000m}{3600\ s}}{1{,}5383\ \frac{m^3}{kg}} = \frac{0{,}8A \cdot 80\ \frac{m}{s}}{v_2}$$

$$v_2 = 0{,}3938\ \frac{m^3}{kg}$$

+ 0,5 ptos

Ahora vemos la ecuación de la energía:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}\left(h_2 - h_1 + \frac{{v_2}^2 - {v_1}^2}{2} + g(z_2 - z_1)\right)$$

+1,0 pto

↑

Con estados bien definidos

El trabajo y el calor es cero, no hay cambio en la energía potencial, entonces:

+ 0,5 ptos

$$-\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{{v_2}^2 - {v_1}^2}{2} = \frac{80^2 - 250^2}{2}\frac{m^2}{s^2} = -28050\ \frac{m^2}{s^2} = -28{,}05\ \frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta h = 28{,}05\ \frac{kJ}{kg}$$

+ 0,5 ptos

Por definición:

$$\Delta h = c_p \Delta T$$

+ 0,5 ptos

$$28{,}05\ \frac{kJ}{kg} = 1{,}004 \frac{kJ}{kg \cdot K}(T_2 - 268)$$

$$T_2 = 22{,}9°C = 295{,}9K$$

+ 0,5 ptos

Usamos gases ideales para encontrar la presión en la salida:

$$Pv_2 = R_{aire}T$$

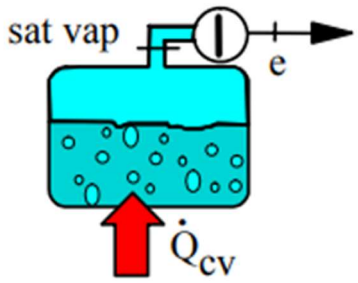
+ 0,5 ptos

$$P_2 = \frac{R_{aire}T}{v_2} = \frac{0{,}287\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 295{,}9K}{0{,}3938\ \frac{m^3}{kg}} = 215{,}65\ kPa$$

+ 0,5 ptos

PUNTAJE ASOCIADO A VALOR NUMÉRICO INCLUYE CORRECTAS UNIDADES DE MEDIDA
[0,3 PUNTOS = 0,2 (VALOR NUMÉRICO) + 0,1 (UNIDADES)]

Problema 2 (VC transiente): Un tanque de 200 litros contiene inicialmente agua a 100 kPa y una calidad del 1%. El calor se transfiere al agua elevando así su presión y temperatura. A una presión de 2 MPa se abre una válvula de seguridad y sale vapor saturado a 2 MPa. El proceso continúa manteniendo 2 MPa en el interior hasta que la calidad en el tanque es del 90%, luego se detiene. Determine la masa total de agua que salió del tanque y la transferencia de calor total.



Solución:

Proceso VC transiente.

Conservación de masa, no hay entrada:

$$-m_s = (m_2 - m_1)_{VC}$$

+ 0,7 ptos

Conservación de energía:

$$Q_{v.c.} - W_{v.c.} = \sum m_s h_s - \sum m_e h_e + [m_2 u_2 - m_1 u_1]_{v.c.}$$

No hay trabajo realizado, hay una sola salida:

$$Q_{v.c.} = m_s h_s + [m_2 u_2 - m_1 u_1]_{v.c.}$$

+ 0,7 ptos

Tenemos la presión inicial, así podemos encontrar el estado inicial:

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m^3/kg: Líq. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Energía interna, kJ/kg: Líq. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Entalpía, kJ/kg: Líq. sat, h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Entropía, $kJ/kg \cdot K$: Líq. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231

+ 0,5 ptos

El volumen y la energía específico:

$$v_1 = 0{,}001043 + 0.01 \cdot (1{,}6941 - 0.001043) = 0{,}0179 \frac{m^3}{kg}$$

+ 0,3 ptos

$$u_1 = 417{,}4 + 0.01 \cdot (2088{,}2) = 438{,}282 \frac{kJ}{kg}$$

+ 0,3 ptos

Con esto encontramos la masa inicial:

+ 0,5 ptos $\boxed{m_1 = \frac{V}{v_1}} = \frac{200 \cdot 10^{-3} m^3}{0{,}018 \frac{m^3}{kg}} = 11{,}17\ kg$

+ 0,3 ptos

Ahora buscamos la entalpía de salida:

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones (*conclusión*)

Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m^3/kg: Líq. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Energía interna, kJ/kg: Líq. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Entalpía, kJ/kg: Líq. sat, h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Entropía, $kJ/kg \cdot K$: Líq. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856

+ 0,5 ptos

$$h_s = h_g = 2798{,}3\ \frac{kJ}{kg}$$

Y el estado final, usamos la misma tabla:

$$v_2 = 0{,}001177 + 0.9 \cdot (0{,}09958 - 0.001177) = 0{,}08974 \frac{m^3}{kg}$$

+ 0,3 ptos

$$u_2 = 906{,}12 + 0.9 \cdot (1693) = 2429{,}82 \frac{kJ}{kg}$$

+ 0,3 ptos

Ahora obtenemos la masa final:

+ 0,5 ptos

$$\boxed{m_2 = \frac{V}{v_2}} = \frac{200 \cdot 10^{-3} m^3}{0{,}08974 \frac{m^3}{kg}} = 2{,}23\ kg$$

+ 0,3 ptos

La masa de salida es:

+ 0,3 ptos

$$m_s = m_1 - m_2 = 11{,}17 - 2{,}23 = 8{,}94\ kg$$

Y la transferencia de calor:

$$Q_{v.c.} = m_s h_s + [m_2 u_2 - m_1 u_1]_{v.c.}$$

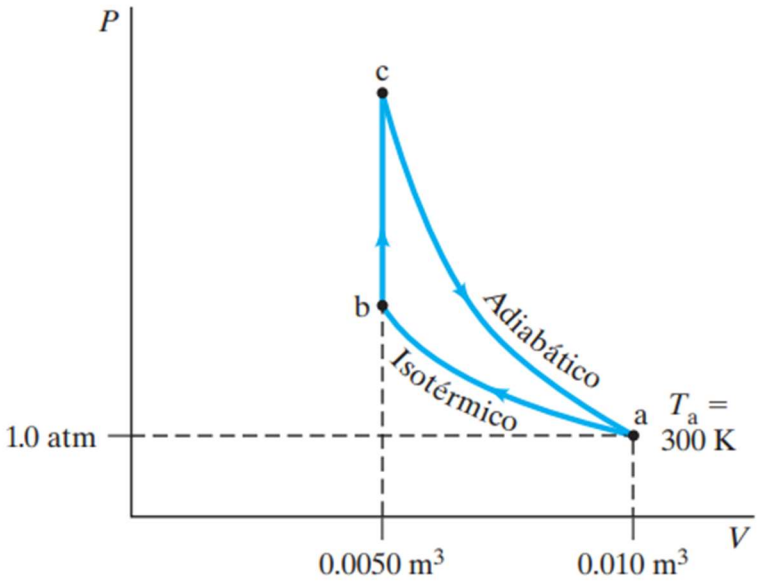
$$Q_{v.c.} = 8{,}94 \cdot 2798{,}3\ \frac{kJ}{kg} + \left[2{,}23\ kg \cdot 2429{,}82\ \frac{kJ}{kg} - 11{,}17\ kg \cdot 438{,}282\ \frac{kJ}{kg}\right]_{v.c.}$$

$$Q_{v.c.} = 25539{,}7\ kJ$$

+ 0,5 ptos

Problema 3 (Maquina térmica/Carnot): Una máquina térmica lleva un gas diatómico alrededor del ciclo que se muestra en la figura. (γ=1,4 ; c_v=5R/2)

a) Con la ley del gas ideal, determine cuántos moles de gas hay en esta máquina.
b) Determine la temperatura en el punto c.
c) Calcule la entrada de calor al gas durante el proceso a volumen constante del punto b al punto c.
d) Calcule el trabajo realizado por el gas durante el proceso isotérmico del punto a al punto b.
e) Calcule el trabajo realizado por el gas durante el proceso adiabático del punto c al punto a.
f) Determine la eficiencia de la máquina.
g) ¿Cuál es la máxima eficiencia posible para una máquina que opera entre Ta y Tc?



a)

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{10^5 \cdot 0{,}01}{8{,}314 \cdot 300} = 0{,}4\ moles$$

+ 0,5 ptos

b) Proceso AC es adiabático:

$$P_a V_a^{\gamma} = P_c V_c^{\gamma}$$

$$10^5 \cdot 0{,}01^{1{,}4} = P_c \cdot 0{,}005^{1{,}4}$$
$$P_c = 2{,}64 \cdot 10^5\ Pa$$

+ 0,5 ptos

$$P_c V_c = nRT_c$$

$$T_c = \frac{P_c V_c}{nR} = \frac{2{,}64 \cdot 10^5\ Pa \cdot 0{,}005\ m^3}{0{,}4\ \cdot 8{,}314} = 397\ K$$

+ 0,5 ptos

+ 0,5 ptos

c)

+ 0,5 ptos $\boxed{Q = \Delta U = nc_v \Delta T} = 0{,}4\ \cdot \frac{5}{2} R \cdot (397 - 300) = 806{,}5\ J$

+ 0,5 ptos

d)

+ 0,5 ptos $\boxed{W = nRTln\left(\frac{V_b}{V_a}\right)} = 0{,}4 \cdot 8{,}314 \cdot 300 \ln\left(\frac{0{,}005}{0{,}01}\right) = -691{,}54\ J$

+ 0,5 ptos

e) Se cumple que:

$$\Delta U = Q - W = -W = nc_v \Delta T$$

+ 0,5 ptos

$$W = -nc_v(T_a - T_c) = -0{,}4 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8{,}314 \cdot (300 - 397) = 806{,}5\ J$$

+ 0,5 ptos

f) La eficiencia es por definición:

$$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_H} = \frac{806{,}5\ J - 691{,}54\ J}{806{,}5\ J} = 0{,}142$$

+ 0,5 ptos

g) La eficiencia máxima es la eficiencia de Carnot:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300}{396} = 0{,}24$$

+ 0,5 ptos