Pontificia Universidad Católica de Chile
Instituto de Física
FIS1523 Termodinámica
Interrogación 2
13 de Octubre del 2017

FIS1523 Termodinámica
Interrogación 2

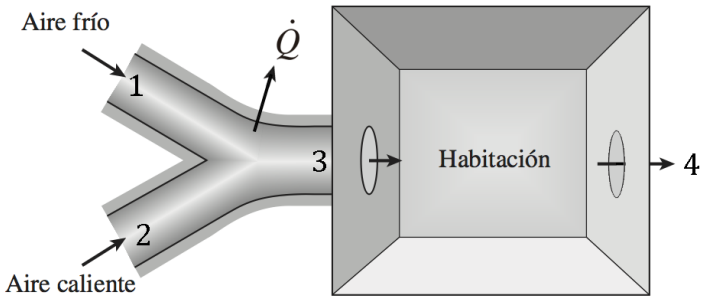
Duración: 120 minutos

Instrucciones:

- Los enunciados de los problemas y las hojas de respuesta vienen separadas.
- Todos los enunciados vienen en un único cuadernillo junto con estas instrucciones.
- Cada pregunta tiene un cuadernillo de respuesta individual.
- Debe entregar sólo los cuadernillos con las respuestas. No es necesario entregar los enunciados.
- Debe poner su nombre y sección en cada cuadernillo de respuestas, además de escribir claramente el número de la pregunta a la que corresponde.
- Cuando el encargado pase la lista, escriba su número de lista en cada cuadernillo de respuestas.
- No separe las hojas de los cuadernillos de respuesta. No se pueden pedir hojas extra.
- Consultas sólo de enunciado y en voz alta.
- Se puede usar calculadora no programable.
- No se puede usar celular. Guarde éste en su mochila.
- No se puede prestar nada.
- Si usa lápiz mina no podrá pedir recorrección.
- El orden y las explicaciones son requisitos para obtener el puntaje máximo en cada problema.

Problema 1

Un sistema de acondicionamiento de aire que funciona de forma estacionaria implica mezclar aire frío del exterior con aire caliente y dicha mezcla se introduce en una habitación acondicionada (ver figura).



a) Demuestre que, si $P_1 = P_2 = P_3 \equiv P$ y suponiendo comportamiento de Gas Ideal, en una cámara de mezclado como la de la figura se cumple que:

$$\dot{V}_3 = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \frac{\mathcal{R}\dot{Q}}{P\ c_p}$$

donde $\dot{V}_i = \dot{m}_i\, v_i$ es el flujo volumétrico en el punto i. (*1 pto.*)

En la cámara mezcladora entra aire frío a 7 ^0C y 105 kPa con un flujo de 0.2 m^3/s y entra aire caliente a 34 ^0C y 105 kPa con un flujo de 0.4 m^3/s. La cámara de mezclado no está bien aislada, perdiendo calor a una tasa de ($\dot{Q}$ en la figura) 0.15 kW.

b) Calcule el flujo másico a la entrada de la habitación. (*1 pto.*)

c) Calcule la temperatura de la mezcla a la entrada de la habitación. (*1.5 ptos.*)

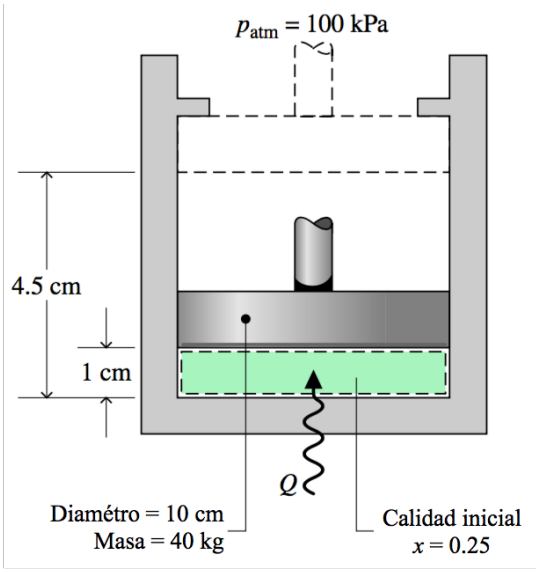
d) Si se sabe que la mezcla sale de la habitación a 20 ^0C y 105 kPa, determine la tasa de transferencia de calor a la pieza. (*1 pto.*)

e) Finalmente argumente, en base a los datos facilitados y a la carta de compresibilidad, si la aproximación de Gas Ideal es adecuada en este caso. Compruébelo determinando el error en el cálculo del volumen específico de aire caliente usando la aproximación de Gas ideal y utilizando la carta de compresibilidad suministrada. (*1.5 ptos.*)

Datos: $\mathcal{R} = 0.2870 \frac{kJ}{kg\ K}$ $P_{cr} = 3.77\ MPa$ $T_{cr} = -140.66\ ^0C$ $c_p = 1.005 \frac{kJ}{kg\ K}$

Problema 2

Una mezcla vapor-líquido de agua con una calidad inicial $x = 0.25$ está contenida en un cilindro con un pistón de masa 40 kg y diámetro 10 cm sometido a una presión de 100 kPa. La posición inicial y final del pistón son mostrados en la figura. A medida que el agua es calentada, la presión dentro del cilindro permanece constante hasta que el pistón golpea los topes. La transferencia de calor continúa hasta que su presión es 300 kPa.



Suponiendo que el proceso es cuasiestático y que el roce entre el pistón y el cilindro es despreciable:

a) Calcule el volumen específico inicial y final (1.5 puntos).

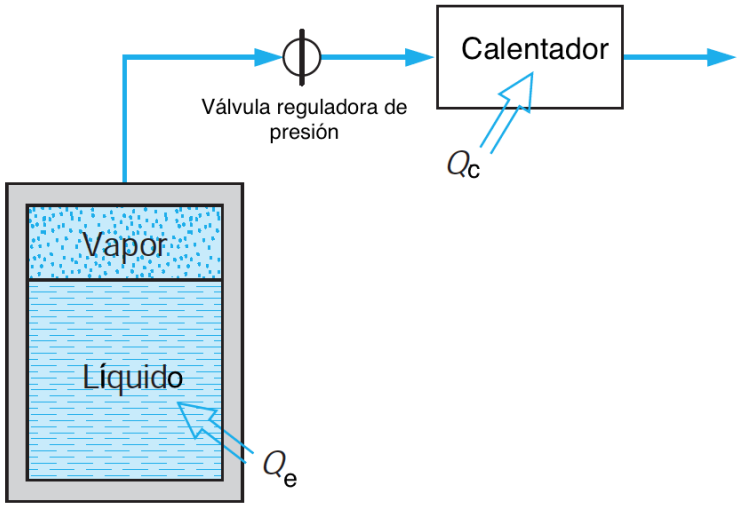
b) Calcule el trabajo realizado por el sistema (1.5 puntos).

c) Determine la cantidad total de calor transferido (2 puntos).

d) Bosqueje el diagrama del proceso con respecto a la campana de saturación (1 punto).

Problema 3

Un estanque de 2 m^3 contiene metano puro a 160 K como se muestra en la figura. Un 95% del **volumen** corresponde a metano líquido y un 5% a vapor. Se transfiere calor Q_e al estanque generando un flujo de vapor que entra a 160 K al calentador. A la salida del calentador la temperatura es de 300 K. El proceso continúa hasta que todo el líquido en el estanque se ha evaporado. Considere que la válvula reguladora mantiene la presión constante en el sistema a lo largo de todo el proceso.



a) Determine la calidad inicial en el estanque y la cantidad de masa que sale del sistema. (*2 ptos.*)

b) Determine el calor Q_e. (*2 ptos.*)

c) Determine el calor Q_c. (*2 ptos.*)

Pontificia Universidad Católica de Chile
Instituto de Física
FIS1523 Termodinámica
Interrogación 2
13 de Octubre del 2017

P1	P2	P3	Nota

Nombre: _____ **Sección:** _____ **Nº:**_____

Solución Problema 1:

a) Para un gas ideal se cumple que $h = c_p\,T$ y $Pv = \mathcal{R}T$.

Balance de masas:

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

Balance de energía:

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 - \dot{Q}$$

La expresión del balance de energía la podemos modificar como sigue:

$$\dot{m}_1 c_p T_1 + \dot{m}_2 c_p T_2 = \dot{m}_3 c_p T_3 - \dot{Q}$$

$$T_3 = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_3} T_1 + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3} T_2 + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_3 c_p}$$

$$\dot{V}_3 = \dot{m}_3\, v_3 = \dot{m}_3\, \frac{\mathcal{R}T_3}{P_3}$$

$$\dot{V}_3 = \dot{m}_3 \frac{\mathcal{R}}{P_3} \left[\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_3} T_1 + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3} T_2 + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_3 c_p} \right]$$

y por lo tanto si $P_1 = P_2 = P_3 \equiv P$:

$$\dot{V}_3 = \frac{\dot{m}_1 \mathcal{R} T_1}{P} + \frac{\dot{m}_2 \mathcal{R}\, T_2}{P} + \frac{\mathcal{R}\dot{Q}}{P\, c_p}$$

$$\dot{V}_3 = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \frac{\mathcal{R}\dot{Q}}{P\, c_p} \qquad \textit{1 pto.}$$

b) Del balance de masas sabemos que:

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

Para conocer $\dot{m}_3$ obtenemos por tanto $\dot{m}_1$ y $\dot{m}_2$:

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{P_1 \dot{V}_1}{\mathcal{R} T_1} = 0.261175 \ \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{V}_2}{v_2} = \frac{P_2 \dot{V}_2}{\mathcal{R} T_2} = 0.47643 \ \frac{kg}{s}$$

Por lo tanto:

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = 0.737605 \ \frac{kg}{s} \qquad \textit{1 pto.}$$

c) La temperatura a la entrada de la habitación se puede obtener de varias formas, por ejemplo, utilizando las ecuaciones del apartado a).

1.- Se puede utilizar directamente la ecuación del apartado a) para T_3:

$$T_3 = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_3} T_1 + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3} T_2 + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_3 c_p} = 297.397 \, K (24.24 \, ^0C)$$

2.- Se puede obtener a partir de $\dot{V}_3$

$$\dot{V}_3 = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 + \frac{\mathcal{R} \dot{Q}}{P \ c_p} = 0.5996 \ \frac{m^3}{s}$$

$$v_3 = \frac{\dot{V}_3}{\dot{m}_3} = \frac{\mathcal{R} T_3}{P_3} \quad \longrightarrow \quad T_3 = \frac{P \dot{V}_3}{\mathcal{R} \dot{m}_3} = 297.399 \, K (24.24 \, ^0C)$$

1.5 ptos. (Ambos procedimientos son correctos)

d) Cálculo de la tasa de transferencia de calor a la pieza.

Balance de masas:

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$$

Balance de energía:

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4 + \dot{Q}_{out}$$

Combinando estas dos expresiones y utilizando que para un gas ideal $h = c_p\,T$:

$$\dot{Q}_{out} = c_p \dot{m}_3 (T_3 - T_4) = 3.1422\ kW \qquad \textit{1 ptos.}$$

(Si se escribe bien la ecuación pero hay error de arrastre por el valor de $\dot{m}_3$, 0.5 pts)

e) Se puede ver en la carta de compresibilidad que si $P_R << 1 \rightarrow Z \approx 1$. *0.5 ptos.*

Nota: Hay varias posibles explicaciones. Por ejemplo, también sería válido que un gas real se comporta como Gas Ideal a bajas presiones ($P_R << 1$) y a altas temperaturas ($T_R > 2$) excepto cuando $P_R >> 1$. Por lo tanto, considerar fracciones del puntaje según la calidad de la explicación

Calculamos el volumen utilizando Gas Ideal:

$$v_1^{GI} = \frac{\mathcal{R} T_1}{P_1} = 0.7657707 \frac{m^3}{kg}$$

Utilizando el coeficiente de compresibilidad Z se puede relacionar:

$$v_1^{real} = Z \cdot v_1^{GI}$$

Para obtener Z debemos calcular la Presión y la Temperatura reducidas:

$$P_{r1} = \frac{P_1}{P_{cr}} = \frac{0.105\,MPa}{3.77\,MPa} = 0.028 \qquad T_{r1} = \frac{T_1}{T_{cr}} = \frac{280.2}{132.5\,K} = 2.115$$

Con los valores de P_{r1} y T_{r1} se obtiene con la carta suministrada un valor aproximado de:

$$Z \approx 0.998$$

0.5 ptos. (Se considera correcto cualquier valor $0.995 < Z < 1$)

Por lo tanto:

$$v_1^{real} = Z \cdot v_1^{GI} = 0.7642391$$

El error cometido será:

$$ERROR(\%) = \frac{|v_1^{real} - v_1^{GI}|}{v_1^{real}} \times 100 = 0.2\%$$

0.5 ptos. (Se considera correcto cualquier valor $< 0.5\%$)

Solución Problema 2:

Supuestos:

- El agua es un sistema cerrado.
- La presión es constante hasta que el pistón golpea los topes.
- El roce entre el pisto y las paredes del cilindro es despreciable.
- La variación de energías cinética y potencial es despreciable.
- El proceso es cuasiestático.
- $g = 9.81$ m/s^2.

a) El estado inicial 1 es una mezcla vapor-líquido con $x_1 = 0.25$ y presión p_1 dada por

$$p_1 A = m_{\text{pist}} g + p_{\text{atm}} A,$$

donde $A = \pi D_{\text{pist}}^2/4$ es el área del pistón.

Entonces,

$$p_1 = \frac{m_{\text{pist}} g}{A} + p_{\text{atm}} = \frac{(40 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)}{\frac{\pi}{4}(0.1 \text{ m})^2} + 100 \text{ kPa} = 149.96 \text{ kPa} \approx 150 \text{ kPa} \quad \textit{0.5 puntos}$$

Usando Tabla A-5, el volumen específico de la mezcla inicial es

$$\begin{aligned} \nu_1 &= \nu_{f@150 \text{ kPa}} + x_1(\nu_{g@150 \text{ kPa}} - \nu_{f@150 \text{ kPa}}) \\ \nu_1 &= 0.001053 + 0.25(1.1594 - 0.001053) \text{ m}^3/\text{kg} = 0.2906 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \textit{0.5 puntos} \end{aligned}$$

El volumen en el estado 2 es $V_2 = 4.5V_1$, entonces el volumen específico es

$$\nu_2 = 4.5\nu_1 = 1.3079 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \textit{0.5 puntos}$$

b) Como $\nu_3 = \nu_2 > \nu_{g@300 \text{ kPa}}$, el estado final 3 es vapor sobresaturado con $p_3 = 300$ kPa.

La masa total de agua está dada por

$$m = \frac{V_1}{\nu_1} = \frac{\frac{\pi}{4}(0.1 \text{ m})^2(0.01 \text{ m})}{0.2906 \text{ m}^3/\text{kg}} = 2.703 \times 10^{-4} \text{ kg} \quad \textit{0.5 puntos}$$

Entonces el trabajo total realizado es

$$\begin{aligned} W &= \int_1^3 p dV = p_1(V_2 - V_1) = m p_1(\nu_2 - \nu_1) = m p_1(3.5\nu_1) \\ W &= (2.703 \times 10^{-4} \text{ kg})(150 \text{ kPa})(3.5)(0.2906 \text{ m}^3/\text{kg}) = 41.24 \text{ J} \quad \textit{1 punto} \end{aligned}$$

c) Por la Primera Ley se tiene $\Delta U = Q - W$, entonces

$$Q = \Delta U + W = m(u_3 - u_1) + W$$

De la Tabla A-5, la energía interna específica para la mezcla inicial está dada por

$$\begin{aligned} u_1 &= u_{f@150\text{ kPa}} + x_1(u_{g@150\text{ kPa}} - u_{f@150\text{ kPa}}) \\ u_1 &= 466.97 + 0.25(2519.2 - 466.97)\text{ kJ/kg} = 980.03\text{ kJ/kg} \quad \textit{0.5 puntos} \end{aligned}$$

De la Tabla A-6, para el estado final con volumen específico $\nu_3 = \nu_2 = 1.3079\text{ m}^3/\text{kg}$ y $p_3 = 300\text{ kPa} = 0.30\text{ MPa}$ interpolamos usando

$$\frac{u_3 - u_a}{\nu_3 - \nu_a} = \frac{u_b - u_a}{\nu_b - \nu_a}$$

con $u_a = 3130.6\text{ kJ/kg}$, $u_b = 3301.6\text{ kJ/kg}$, $\nu_a = 1.18672\text{ m}^3/\text{kg}$ y $\nu_b = 1.34139\text{ m}^3/\text{kg}$.

Entonces

$$\frac{u_3 - u_a}{\nu_3 - \nu_a} = 1105.5796\text{ kJ/m}^3$$

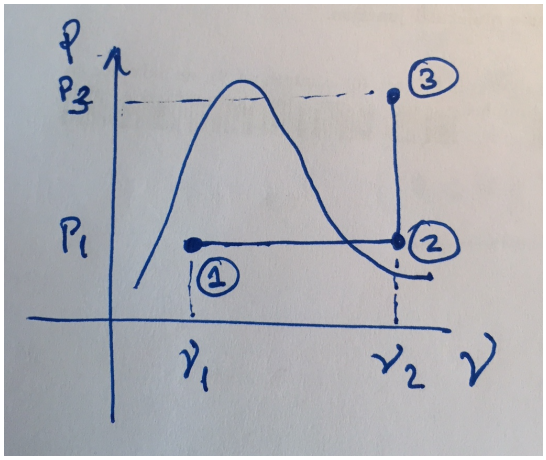
despejando u_3

$$\begin{aligned} u_3 &= (1105.5796\text{ kJ/m}^3)(\nu_3 - \nu_a) + u_a \\ u_3 &= 1105.5796(1.3079 - 1.18672) + 3130.6\text{ kJ/kg} = 3264.57\text{ kJ/kg} \quad \textit{1 punto} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el calor entregado al sistema está dado por

$$Q = (2.703 \times 10^{-4}\text{ kg})(3264.57 - 980.03)\text{ kJ/kg} + 42.23\text{ J} = 658.745\text{ J} \quad \textit{0.5 puntos}$$

d) Bosquejo del diagrama del proceso *1 punto*



Solución Problema 3:

a)

En el estado inicial la masa de vapor $m_g = V_g/v_g$ donde el volumen ocupado por el gas $V_g = 0,05V_{\text{total}} = 0.05 \times 2 = 0,1$ y el volumen específico de vapor saturado a 160 K corresponde a $v_g = 0,03935$, luego $m_g = 2,541$ kg. *0.5 punto*

De manera similar la masa del líquido inicial es $m_f = V_f/v_f$, donde $V_f = 0.95 \times 2$ y $v_f = 0,00297$, luego $m_f = 639,73$ kg. *0.5 punto*

La masa inicial es $m_1 = m_g + m_f = 642,271$kg y la calidad en el estado inicial es $x_1 = m_g/m_1 = 2,541/642,271 = 0,00396$. *0.5 punto*

El proceso termina cuando no queda líquido al interior del estanque, es decir $m_2 = V_{\text{total}}/v_g = 2/0,03935 = 50,826$kg

Por conservación de masa tenemos que

$$m_2 - m_1 = -m_s$$

luego $m_s = m_1 - m_2 = 591,445$ kg *0.5 punto*

b) Usando primera ley para sistemas transientes tenemos

$$m_2u_2 - m_1u_1 = Q_e - m_sh_s. \quad \Leftrightarrow \quad Q_e = m_2u_2 - m_1u_1 + m_sh_s$$

0.5 punto

La entalpía de salida corresponde a la de vapor saturado $h_s = h_g = 270,3$ kJ/kg.

0.4 punto

La energía interna inicial $m_1u_1 = m_gu_g + m_fu_f = 2,541 \times 207,7 - 639,73 \times 106,35 = -67507$kJ.

0.4 punto

La energía interna final $m_2u_2 = m_2u_g = 50,826 \times 207,7$kJ.

0.4 punto

Finalmente encontramos que

$$Q_e = 237931\,\text{kJ}$$

0.3 punto

c) Usando primera ley sobre el calentador tenemos que

$$Q_c = m(h_{\text{salida}} - h_{\text{entrada}})$$

donde m es la masa total que fluye por el calentador que corresponde a m_s del apartado anterior.

0.7 punto

La entalpía de entrada del calentador es igual a $h_g = 270,3$ kJ/kg.

0.3 punto

A la salida del calentador el metano tiene la misma presión que la mezcla a 160 K ya que la presión se mantiene constante i.e. $P = 1593$ kPa y la temperatura corresponde a 300 K. Luego interpolando encontramos que $h_{\text{salida}} = 612,9$kJ/kg.

0.7 punto

Finalmente obtenemos que

$$Q_e = 202629\,\text{kJ}$$

0.3 punto