Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos
IIQ1003 - Termodinámica 2022-2

Pauta Tarea 2

Fecha de entrega: 06 de noviembre a través de CANVAS.

La tarea debe ser trabajada en grupos de a 2 o 3 personas. Tiene que ser entregada con una portada la cual indique el nombre de los integrantes del grupo, el número de grupo, el curso y la fecha de entrega. **Se descontaran 2 décimas si no se cumple con el formato pedido.**

Pregunta 1 (1.5 pts)

Un gas dentro de un conjunto cilindro pistón, se encuentra a 1 bar y ocupa un volumen de 2 m^3 se somete a un ciclo termodinámico que consta de cinco procesos:

- Proceso 1-2: Un calentamiento isocórico, con $Q_{1-2} = 250$ kJ.
- Proceso 2-3: Proceso adiabático alcanzando un volumen de 4 m^3.
- Proceso 3-4: Expansión isobárica tal que $\frac{V_4}{V_3} = 1,1$ y $T_4 = 375,14$ K.
- Proceso 4-5: Enfriamiento adiabático reversible.
- Proceso 5-1: Compresión a temperatura constate.

Suponiendo que el gas es un gas ideal, considere $Cp = 29,099 \frac{J}{mol \cdot K}$ y $\gamma = 1,4$. Se le pide:

a) Determinar la temperatura, presión y volumen de cada estado.

b) Determinar la cantidad de trabajo y calor de cada proceso y todo el proceso.

c) Realice un diagrama cualitativo P-V que muestre los estados y los procesos que ocurren

d) Determine la eficiencia térmica del ciclo.

Solución

Descontar un poco de puntaje en caso de que no se pongan las unidades en la respuesta final

Puntos por item:

a) 0.65 puntos

b) 0.55 puntos

c) 0.2 puntos

d) 0.1 puntos

a)

Para determinar la temperatura, la presión y el volumen de cada estado se plantean las siguientes ecuaciones para cada estado:

Estado 1:
De la ecuación de gas ideal para el estado 1:

$$P_1 V_1 = R T_1 n \quad (0.05\ pts)$$

Como es un gas ideal se tiene que Cv es constante,

$$C_v = C_p - R = 20.785$$

Por otra parte, se tiene que para el calor:

$$Q_{12} = n \int_{T_1}^{T_2} C_v dT = C_v n (T_2 - T_1) \quad (0.05\ pts)$$

Estado 2:

De la ecuación de gas ideal para el estado 2,

$$P_2 V_2 = R T_2 n \quad (0.05\ pts)$$

Por otro lado se sabe que del estado 2 al estado 3 ocurre un proceso adiabático, donde se cumple que:

$$\left(\frac{T_3}{T_2}\right) = \left(\frac{V_2}{V_3}\right)^{\gamma - 1} \quad (0.05\ pts)$$

Estado 3:

De la ecuación de gas ideal para el estado 3,

$$P_3 V_3 = R T_3 n \quad (0.05\ pts)$$

Por otro lado, se tiene que del estado 3 al estado 4 ocurre un proceso isobárico, por lo tanto:

$$P_3 = P_4$$

También se tiene que:

$$\frac{V_4}{V_3} = 1.1$$

Estado 4:

De la ecuación de gas ideal para el estado 4,

$$P_4 V_4 = R T_4 n \quad (0.05\ pts)$$

Por otro lado se sabe que del estado 4 al estado 5 ocurre un proceso adiabático, donde se cumple que:

$$\left(\frac{T_5}{T_4}\right) = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{\gamma - 1} \quad (0.05\ pts)$$

Estado 5:

De la ecuación de gas ideal para el estado 4,

$$P_5 V_5 = R T_5 n \quad (0.05\ pts)$$

Finalmente, del estado 5 al estado 1 ocurre un proceso isotérmico, por lo tanto,

$$T_5 = T_1$$

Resolviendo las ecuaciones y con los datos obtenidos por enunciado, se tiene mediante

Mathematica Wolfram, que n = 80.1839 mol

Estado	Temperatura (K)	Presión (bar)	Volumen (m^3)
1	300	1	2
2	450	1.5	2
3	341	0.568	4
4	375.14	0.568	4.4
5	300	0.26	7.69

Cuadro 1: Tabla estados P1

0.25 pts por resultados con sus unidades correctas

b)

Proceso 1-2:

$$Q_{1-2} = 250 \text{ kJ}$$

Por ser un proceso isocórico, se tiene:

$$W_{1-2} = 0 \text{ kJ} \quad (0.05\ pts)$$

Proceso 2-3:

Al ser un proceso adiabático:

$$Q_{2-3} = 0 \text{ kJ} \quad (0.05\ pts)$$

Por otro lado se cumple que:

$$W_{2-3} = n \int_{T2}^{T3} C_v dT = nC_v(T_3 - T_2)$$
$$W_{2-3} = -181.607 \text{ kJ} \quad (0.05\ pts)$$

Proceso 3-4:

$$Q_{3-4} = nC_p(T_4 - T_3) = 79.576 \text{ kJ} \quad (0.05\ pts)$$

Por otro lado se cumple que:

$$W_{3-4} = -P_3(V_4 - V_3) = -22.7358 \text{ kJ} \quad (0.05\ pts)$$

Proceso 4-5:

Al ser un proceso adiabático:

$$Q_{4-5} = 0 \text{ kJ} \quad (0.05\ pts)$$

Por otro lado se cumple que:

$$W_{4-5} = n \int_{T4}^{T5} C_v dT = nC_v(T_5 - T_4)$$

$$W_{4-5} = -125.247 \text{ kJ} \quad (0.05\ pts)$$

Proceso 5-1:

Al ser un proceso isotérmico, se tiene:

$$Q_{5-1} = nRT \cdot \ln\left(\frac{V_1}{V_5}\right) = nRT \cdot \ln\left(\frac{P_1}{P_5}\right)$$

$$Q_{5-1} = -269.442\text{kJ} \quad (0.05\ pts)$$

Por otro lado se cumple que:

$$W_{5-1} = -Q_{5-1} = 269.442 \text{ kJ} \quad (0.05\ pts)$$

Para todo el ciclo:

$$Q_N = Q_{1-2} + Q_{2-3} + Q_{3-4} + Q_{4-5} + Q_{5-1}$$

$$Q_N = 60.1338 \text{ kJ} \quad (0.05\ pts)$$

$$W_N = W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} + W_{4-5} + W_{5-1}$$

$$W_N = -60.1338 \text{ kJ} \quad (0.05\ pts)$$

c)

Realizando el gráfico P-V, se tiene:

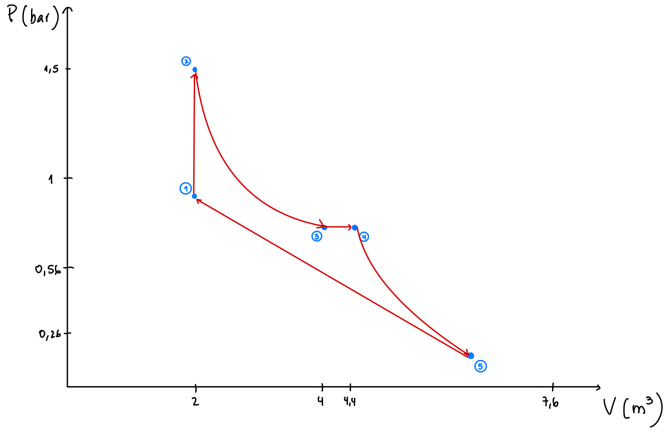


Figura 1: Gráfico P-V P1

0.2 pts por el gráfico. Debe tener: Los estados identificados, los procesos con las flechas y los ejes con sus respectivas unidades de medida.

d)

Para la eficiencia del ciclo, se tiene que:

$$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_{add}} = \frac{60.1338}{329.576}$$

$$\eta = 0.18 = 18\,\% \quad (0.1\ pts)$$

Pregunta 2 (1.5 pts)

Un proyecto de ingeniería cuenta con un estanque que tiene un volumen de 50 L. Las especificaciones del tanque indican que estallará a 30 bar. La política de la compañía es nunca exceder la mitad de la presión de ruptura de cualquier tanque. Le gustaría usar el tanque como un tanque de compensación que contenga propano. La cantidad máxima de material que se almacenará será de 975 gramos y la temperatura máxima será de 425 K. ¿Violará la política de la empresa si utiliza este tanque? Realice los cálculos usando cada uno de los siguientes métodos y discuta los resultados.

a) La ecuación de gas ideal.

b) El método de Lee Kesler.

c) La ecuación virial truncada al segundo coeficiente.

d) La ecuación de Van der Waals.

e) La ecuación de Soave-Redlich-Kwong.

f) La ecuación de Peng Robinson.

Si se viola la política de la empresa, proponga el volumen mínimo de un nuevo estanque, que tiene las mismas especificaciones que el tanque que el proyecto cuenta, para cumplir el criterio de la empresa.

Solución

Descontar un poco de puntaje en caso de que no se pongan las unidades en la respuesta final

Puntos por item:

a) 0.25 puntos

b) 0.25 puntos

c) 0.25 puntos

d) 0.25 puntos

e) 0.25 puntos

f) 0.25 puntos

Para el propano se tiene:

$$PM = 44.097 \text{ g/mol}$$

$$T_c = 231.02 \text{ K}$$

$$P_c = 42.48 \text{ bar}$$

$$\omega = 0.152$$

$$n = \frac{m}{PM} = \frac{957}{44.097} = 22.11 \text{ mol}$$

a)

Para gas ideal se tiene:

$$PV = RTn$$

$$P = \frac{RTn}{V} = 15.62 \text{ bar}$$

Por lo tanto, viola la política de la empresa. (0.2 pts) El volúmen mínimo para que la esté dentro de la política que busqua la empresa es:

$$V = \frac{RTn}{P} = 52.08 \text{ L} \quad (0.05\ pts)$$

b)

Para Lee Kesler se calcula la presión y temperatura reducida:

$$T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{425}{231.02} \approx 1.8$$
$$P_r = \frac{P}{P_c} = \frac{30}{42.48} \approx 0.7$$

De los gráficos, se tiene:

$$Z^{(0)} \approx 0.96$$
$$Z^{(1)} \approx 0.05$$

Luego, el factor de compresibilidad:

$$Z = Z^{(0)} + Z^{(1)}\omega = 0.9676 \quad (0.05\ pts)$$

Finalmente,

$$Z = \frac{PV}{RTn}$$
$$P = \frac{ZRTn}{V} = 15.118 \text{ bar}$$

Por lo tanto, viola la política de la empresa. (0.15 pts)

El volúmen mínimo para que la esté dentro de la política que busqua la empresa es:

$$V = \frac{ZRTn}{P} = 50.4 \text{ L} \quad (0.05\ pts)$$

c)

Para la ecuación virial, se tiene:

$$B^0 = 0.083 - \frac{0.422}{T_r^{1.6}} = -0.08177$$

$$B^1 = 0.139 - \frac{0.172}{T_r^{4.2}} = 0.12443$$

0.1 pts por los parámetros correctos

Luego, se tiene que con P_c en Pascales y T_c en K, se tiene:

$$B = \frac{RT_c}{P_c}\left(B^0 + \omega B^1\right)$$

$$Z = 1 + \frac{B}{V_m}$$

$$\frac{PV}{RTn} = 1 + \frac{B}{V_m}$$

$$P = \frac{RTn}{V}\left(1 + \frac{B}{V_m}\right) = 15.429 \text{ bar}$$

Por lo tanto, viola la política de la empresa. (0.1 pts)

El volúmen mínimo para que la esté dentro de la política que busqua la empresa es:

$$V = 52.08 \text{ L} \quad (0.05\ pts)$$

d)

Para Van der Waals, se tiene:

$$a = \frac{27}{64} \cdot \frac{(RT_c)^2}{P_c} = 0.366$$

$$b = \frac{1}{8} \cdot \frac{RT_c}{P_c} = 5.652 \cdot 10^{-5}$$

0.1 pts por los parámetros correctos

Luego,

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2} = 15.015 \text{ bar}$$

Por lo tanto, viola la política de la empresa. (0.1 pts)

El volúmen mínimo para que la esté dentro de la política que busqua la empresa es:

$$V = 52.08 \text{ L} \quad (0.05\ pts)$$

e)

Para SRK, se tiene:

$$\Omega = 0.480 + 1.574\omega - 0.176\omega^2 = 0.715$$

$$a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \left(1 + \Omega \left(1 - \sqrt{T_r}\right)\right)^2 = 0.206$$

$$b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c} = 3.91736 \cdot 10^{-5}$$

0.1 pts por los parámetros correctos

Con esto, se tiene que la presión es:

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m(V_m + b)} = 15.5044 \text{ bar}$$

Por lo tanto, viola la política de la empresa. (0.1 pts)

El volúmen mínimo para que la esté dentro de la política que busqua la empresa es:

$$V = 52.08 \text{ L} \quad (0.05\ pts)$$

f)

Para Peng Robinson, se tiene:

$$\Omega = 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2 = 0.602$$

$$a = 0.42724\frac{R^2T_c^2}{P_c}\left(1 + \Omega\left(1 - \sqrt{T_r}\right)\right)^2 = 0.2448$$

$$b = 0.07780\frac{RT_c}{P_c} = 3.51767 \cdot 10^{-5}$$

0.1 pts por los parámetros correctos

Con esto, se tiene que la presión es:

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2 + 2bV_m - b^2} = 15.4077 \text{ bar}$$

Por lo tanto, viola la política de la empresa. (0.1 pts)

El volúmen mínimo para que la esté dentro de la política que busqua la empresa es:

$$V = 52.08 \text{ L} \quad (0.05\ pts)$$

Pregunta 3 (1.5 pts)

Usted es está trabajando como analista de inversión para una empresa. Una nueva tecnología a llegado al mercado para poder calentar amoniaco. Se le pide determinar la factibilidad de esta nueva tecnología para poder invertir en esta o no. Para esto se entregan los siguientes datos del proceso:

- Entra 5 kg/min de una corriente de agua a P = 3 bar y T = 400 °C
- Una corriente de 5 kg/min de agua como líquido saturado sale a 53 °C
- Una cantidad de amoniaco entra a 280 K y P = 1 bar y sale a 368 K y la misma presión.
- El proceso opera de manera estacionaria, adiabática y genera, 75000 W de trabajo de eje.

Asumiendo que el amoniaco se comporta como un gas ideal. Se le pide:

a) Evaluar la factibilidad del proceso propuesto y determinar si vale la pena invertir o no

b) En el caso de que no sea factible, determine la cantidad de calor que se debe retirar o agregar del proceso desde un reservorio de 25 °C, para que se vuelva factible.

Solución

Descontar un poco de puntaje en caso de que no se pongan las unidades en la respuesta final

Puntos por item:

a) 1.2 punto

b) 0.3 puntos

a)

Para que el proceso sea factible se debe tener que $\dot{S}_{\text{gen}} \geq 0$. Primero se caracterizan las corrientes, sacando su entalpía y entropía.

Para la corriente de agua se tiene mediante tablas:

$$h_{Ag,in} = 3275 \text{ kJ/kg}$$
$$s_{Ag,in} = 8.0330 \text{ kJ/kg K}$$

0.1 pts. Por encontrar la entalpía y entropía de las tablas

Para la corriente de salida, se realiza una interpolación simple donde,

$$h_{Ag,out} = 221.87 \text{ kJ/kg}$$
$$s_{Ag,out} = 0.74226 \text{ kJ/kg K}$$

0.1 pts. Por encontrar la entalpía y entropía de las tablas

Ahora, para la corriente de amoniaco, como es un gas ideal y es un proceso a presión constante:

$$h_{Am,out} - h_{Am,in} = \int_{T_in}^{T_out} C_p(T)dT$$

0.1 pts. Por la expresión de entalpía de la corriente de amoniaco

Del docupento Çapacidades Caloríficas para Gases Ideales y Líquidos"se tiene:

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4$$

Donde T está en Kelvin, C_p en J/molK y $a = 27.55$, $b = 0.25628 \cdot 10^{-1}$, $c = 0.099 \cdot 10^{-4}$, $d = -0.00669 \cdot 10^{-6}$ y $e = 0$.

Se tiene que:

$$h_{Am,out} - h_{Am,in} = \int_{280}^{368} C_p(T)dT = 3226.73 \text{ kJ/kmol}$$

Luego, pasar la entalpía a kJ/kg

$$h_{Am,out} - h_{Am,in} = \frac{3226.73 \frac{kJ}{kmol}}{17 \frac{kg}{kmol}} = 189.808 \text{ kJ/kg}$$

0.1 pts. Por el calculo de la entalpía para el amoniaco.

Luego, para calcular F_{Am}:

$$F_{Am} = \frac{F_{Ag} \cdot (h_{Ag,in} - h_{Ag,out}) + \dot{W}_s}{h_{Am,out} - h_{Am,in}} = \frac{\frac{5}{60} \cdot (3275 - 221.87) - 75}{189.808} = 0.945312 \text{ kg/s}$$

Ahora que se cumple la primera ley, se debe ver si se cumple la segunda ley. 0.2 pts. Por primera ley y obtener el flujo.

Haciendo un balance de entropía:

$$F_{Ag} \cdot (s_{Ag,out} - s_{Ag,in}) + F_{Am} \cdot (s_{Am,out} - s_{Am,in}) = \dot{S}_{gen}$$

0.2 pts. Por balance de entropía.

Las entropías de la corriente de agua se obtuvieron de la tablas antes, por lo que solo falta la del amoniaco. Como es un gas ideal a presión constante:

$$s_{Am,out} - s_{Am,in} = \int_{T_in}^{T_o out} \frac{C_p(T)}{T} dT = 10.0046 \text{ kJ / kmol K}$$

Luego, pasar la entalpía a kJ/kgK

$$s_{Am,out} - s_{Am,in} = \frac{10.0046 \frac{kJ}{kmolK}}{17 \frac{kg}{kmolK}} = 0.588505 \text{ kJ/kg K}$$

0.2 pts. Por entropía del amoniaco.

Finalmente:

$$\dot{S}_{gen} = -0.0512408 \frac{kJ}{K} \leq 0$$

Por que se puede decir que el proceso rompe la segunda ley de la termodinámica, por lo que el proceso no es factible y no se recomienda invertir en el 0.2 pts. Por conclusión y el cálculo de la entropía..

b)

Para que se cumpla el balance manteniendo los flujos constantes y removiendo calor a 25 ºC se tiene que:

$$\cancelto{0}{\frac{dS}{dt}} = \sum_i \frac{Q_i}{T_i} + \sum_{in} \dot{m}_{in} s_{in} - \sum_{out} \dot{m}_{out} s_{out} + \cancelto{0}{\dot{S}_{gen}}$$

$$\dot{Q} = T(F_{Ag} \cdot (s_{Ag,out} - s_{Ag,in}) + F_{Am} \cdot (s_{Am,out} - s_{Am,in}))$$

0.2 pts. Por balance de entropía y expreión del calor.

$$\dot{Q} = -15.2774 \text{ kW}$$

0.1 pts. Por resultado.

Pregunta 4 (1.5 pts)

Se utiliza un depósito de alta temperatura a T = 375 °C como fuente de calor para una máquina térmica que opera en estado estacionario, y se utiliza como disipador de calor un depósito de baja temperatura a T = 25 °C. Una caldera toma agua líquida a P = 8 bar y T = 42 °C y expulsa vapor a P = 8 bar y T = 350 °C. Por otro lado, un condensador toma vapor a T = 100 °C y P = 0,1 bar y expulsa agua líquida saturada a P = 0,1 bar. El caudal

másico del vapor durante todo el proceso es de 5 kg/s. Encuentre la tasa a la cual la entropía del universo aumenta para el proceso de la caldera y del condensador.

Solución

Descontar un poco de puntaje en caso de que no se pongan las unidades en la respuesta final

Comenzando con la caldera, se tiene que planteando el balance de energía y cancelando los términos:

$$\cancelto{0}{\frac{dU}{dT}} = \dot{Q} + \cancelto{0}{\dot{W}_s} + \cancelto{0}{\dot{W}} + \sum_{in} \dot{m}_{in} h_{in} - \sum_{out} \dot{m}_{out} h_{out}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_{out} - h_{in})$$

0.1 pts. Por balance de energía.

Para buscar las entalpías, se realiza una extrapolación e interpolación de los datos de tablas y se tiene que:

$$h_{in} = 176.635 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{out} = 3161.717 \text{ kJ/kg}$$

0.1 pts. Por entalpías.

Volviendo al balance se tiene que:

$$Q = 14925.4 \text{ kW}$$

0.05 pts. Por calor.

Este calor es positivo para la caldera, por que se le agrega calor, sin embargo, es negativo para el reservorio caliente. Para obtener la entropía del universo, se plantea el balance de entropía para el reservorio, donde:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}}{T} = \frac{-14925.4}{648.15} = -23.0277 \text{ kJ/ K s}$$

0.1 pts. Por diferencial de entropía.

Por otra parte, se plantea el balance de entropía de todo el sistema (caldera y reservorio):

$$\frac{dS}{dt} = \dot{m}(s_{in} - sout) + \dot{S}_{gen}$$

0.1 pts. Por balance de entropía.

De las tablas se tiene:

$$s_{in} = 0.597 \text{ kJ/kg K}$$
$$s_{out} = 7.381 \text{ kJ/kg K}$$

0.1 pts. Por entropías.

Finalmente,

$$\dot{S}_{gen} = \frac{dS}{dt} + \dot{m}(sout - s_{in}) = 10.8923 \text{ kJ/K s}$$

0.2 pts. Por entropía de la caldera.

Por otra parte, realizando el mismo procedimiento, pero para el reservorio frio y condensador, se tiene:

$$h_{in} = 2687.539 \text{ kJ/kg}$$
$$h_{out} = 191.83 \text{ kJ/kg}$$

0.1 pts. Por entalpías.

Luego, del balance de energía,

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_{out} - h_{in}) = -12478.5\text{kW}$$

0.15 pts. Por balance de energía y cálculo del calor.

Este calor es negativo para el condensador, ya que se va quitando calor, sin embargo, es positivo para el reservorio frio. Para obtener la entropía del universo, se plantea el balance de entropía para el reservorio, donde:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}}{T} = \frac{-12478.5}{298.15} = 41.8532 \text{ kJ/ K s}$$

0.1 pts. Por diferencial de entropía.

Por otra parte, se plantea el balance de entropía de todo el sistema (condensador y reservorio):

$$\frac{dS}{dt} = \dot{m}(s_{in} - sout) + \dot{S}_{gen}$$

0.1 pts. Por balance de entropía.

De las tablas se tiene:

$$s_{in} = 8.5688 \text{ kJ/kg K}$$
$$s_{out} = 0.6493 \text{ kJ/kg K}$$

0.1 pts. Por entropías.

Finalmente,

$$\dot{S}_{gen} = \frac{dS}{dt} + \dot{m}(sout - s_{in}) = 2.25575 \text{ kJ/K s}$$

0.2 pts. Por entropía del condensador.