

**DEPARTAMENTO DE TERMODINÁMICA****SERIE 4 DE EJERCICIOS**

(Basada en reactivos de exámenes colegiados)

**Gas Ideal y Balances de Masa y Energía****Semestre 2024-1**

1. Un recipiente de  $1 [m^3]$  con aire ( $R = 286.7 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$ ) a  $25 [^{\circ}C]$  y  $500 [kPa]$ , se conecta con otro recipiente que contiene  $5 [kg]$  de aire a  $35 [^{\circ}C]$  y  $200 [kPa]$ , a través de una válvula. La válvula se abre y se deja que todo el sistema llegue al equilibrio térmico con los alrededores que están a  $20 [^{\circ}C]$ . Determine el volumen del segundo recipiente y la presión de equilibrio del agua al final del proceso.

$$V_B = 2.2087 [m^3]$$

$$P_2 = 284.18 [kPa]$$

2. A un compresor ingresan  $0.43 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$  de metano a  $110 [kPa]$  y  $15 [^{\circ}C]$ , los cuales se comprimen en régimen estacionario hasta  $85 [^{\circ}C]$ ; durante el proceso se presenta una pérdida de calor de  $20 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$ . Despreciando la variación de la energía cinética y de la energía potencial gravitatoria, calcule la potencia del compresor. Considere:  $R = 0.5182 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$  y  $c_v = 1.7354 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$ .

$$\dot{W} = 56.88 [kW]$$

3. Se desea incrementar la temperatura del aire de un recinto con dimensiones ( $5 [m] \times 4 [m] \times 2.5 [m]$ ) de  $2 [^{\circ}C]$  a  $27 [^{\circ}C]$  utilizando un calentador eléctrico durante  $10 [min]$ . Considerando que no hay pérdida de calor del recinto al ambiente ni salida de aire que al inicio estaba a  $100 [kPa]$ , calcule la potencia del calentador. Considere para el aire:  $R = 0.287 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$  y  $c_p = 1.005 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$

$$\dot{W} = 1.89 [kW]$$

4. Un recipiente rígido de  $0.6 [m^3]$  contiene nitrógeno ( $c_v = 0.744 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$ ) y  $c_p = 1.041 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$  a  $67 [^{\circ}C]$  y  $425 [kPa]$  se conecta con una válvula a otro recipiente de  $0.6 [m^3]$  que contiene nitrógeno a  $94 [^{\circ}C]$  y  $232 [kPa]$ . Se abre la válvula y se observa que después de cierto tiempo se alcanza el equilibrio térmico, el cual ocurre a los  $298 [K]$ . Calcule, en  $[kPa]$ , la presión final del recipiente.

$$P_F = 280.27 [kPa]$$

5. En una turbina cuya área de entrada es  $4.91 [cm^2]$ , ingresa aire a  $6 [bar]$ . A la salida de ésta se tienen  $1 [bar]$ ,  $450 [K]$  y  $220 \left[ \frac{m}{s} \right]$ . Si durante el proceso ocurre una pérdida de calor de  $15 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$ , calcule la potencia de salida de la turbina.

$${}_1\dot{W}_2 = -271.025 [W]$$

6. En un sistema cilindro-émbolo se tienen  $0.2 [kg]$  de gas " $CO_2$ " que se comprime politrópicamente de  $150 [kPa]$  y  $2 [^{\circ}C]$ , hasta  $1050 [kPa]$  y  $431.11 [K]$ . Calcule en  $[kJ]$ , el calor asociado al proceso. Considere  $c_p = 0.895 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$  y  $c_v = 0.706 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$ .

$$Q = 2.37 [kJ]$$

7. En un recipiente que se encuentra en la Ciudad de México, se tiene confinada una cierta cantidad de  $CO_2$  a  $223 [kPa]$  manométricos y  $-50 [^{\circ}C]$ . Posteriormente, se dejan salir  $5 [m^3]$  del gas a  $25 [^{\circ}C]$  y  $77 [kPa]$ . Sabiendo que  $R_{CO_2} = 0.18892 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$ , determine el volumen específico del gas cuando éste se encuentra en el recipiente, y la masa de gas que se dejó salir del mismo.

$$v = 0.140528 \left[ \frac{m^3}{kg} \right]$$

$$m = 6.835 [kg]$$

8. En un sistema cilindro-émbolo se tiene  $1 [kg]$  de un gas ideal a  $10 [^{\circ}C]$  y  $120 [kPa]$ , se comprime según  $PV^n = cte.$ , con  $n = 1.2$  hasta  $800 [kPa]$ . Calcule en  $[kJ]$  el calor del proceso y su dirección. Considere para el gas:  $R = 0.2881 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$  y  $c_p = 0.5203 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$ .

$$Q = -127.146 [kJ]$$

El calor sale

9. En un compresor operando en estado estacionario se comprimen adiabáticamente  $0.35 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$  de argón (*gas ideal*,  $k = 1.666$ ,  $R = 0.2081 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$ ) desde  $101 [kPa]$  y  $25 [^{\circ}C]$ , hasta  $600 [kPa]$ . Despreciando los cambios de energía cinética y potencial, calcule la potencia del compresor en  $[kW]$ .

$$\dot{W}_f = 91.855 [kW]$$

**10.** Un sistema cerrado conteniendo 2 [kg] de un gas ideal cuyas capacidades térmicas específicas son constantes, desarrolla la siguiente serie de procesos: primero, el gas es calentado a volumen constante desde 40 [°C] hasta 200 [°C]. Posteriormente, es enfriado a presión constante hasta que su temperatura vuelve a estar a 40 [°C]. Durante el primer proceso, 220 [kJ] de calor son transferidos al gas, y durante el segundo proceso, 340 [kJ] de calor son transferidos desde el gas hacia los alrededores.

a) Dibuje el proceso en un diagrama  $P - v$ .

Determine para el gas:

b) Los valores de  $c_p$  y  $c_v$ .

c) La masa molar.

d) Indique cuál es la magnitud y la dirección del trabajo para cada proceso.

$$\text{b) } c_p = 1.0625 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$$

$$c_v = 0.6875 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$$

$$\text{c) } M = 22.17 \left[ \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]$$

$$\text{d) } W_{23} = 120 \text{ [kJ]}$$

**11.** En una instalación industrial se tiene un difusor en el cual entra aire a 10 [°C] y 80 [kPa] con una rapidez de 250  $\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ . El área de entrada del difusor es 0.38 [m<sup>2</sup>] y el aire sale del difusor con una rapidez despreciable frente a la rapidez de entrada.

Determine a la salida del dispositivo:

a) El flujo másico del aire.

b) La temperatura del fluido.

Considere para el aire los valores indicados en el ejercicio anterior.

$$\text{a) } \dot{m} = 93.6202 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{b) } T_2 = 41.13 \text{ [°C]}$$

**12.** En un compresor que opera en condiciones de flujo estacionario y régimen permanente entra  $\text{CO}_2$  a 1.5 [bar] y 200[°C], y sale a 18 [bar]. Calcule la potencia recibida por el  $\text{CO}_2$  en [kW], si el gasto másico del mismo es 1.2  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$ . Considere  $c_p = 0.846 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$  y  $c_v = 0.657 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$ , además, el proceso sigue la relación  $PV^k = c$ , donde  $c$  es una constante.

$$\dot{W} = 356.537 \text{ [kW]}$$

**13.** Un dispositivo cilindro-émbolo, a una presión de 0.1 [MPa], contiene nitrógeno gaseoso que se enfría isobáricamente desde 150 [°C] hasta 40 [°C]. Considerando que

$$c_p = 1.0421 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right] \text{ y } R = 296.82 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right], \text{ calcule:}$$

a) El calor cedido en  $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

b) El trabajo realizado en  $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

$$\text{a) } {}_1q_2 = -114.63 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$\text{b) } {}_1w_2 = 32.65 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

**14.** Suponiendo que la atmósfera se comporta como gas ideal e isotérmica a 25 [°C], determine la presión en [bar] a 800 [m] sobre el nivel del mar. Considere que a nivel del mar se tiene una presión de 1 [bar], una densidad de 1.19  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$  y que la aceleración gravitatoria es constante ( $g = 9.81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$ ). Recuerde que para el aire:  $R = 286.7 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$  y 1 [bar] = 105 [Pa].

$$P_1 = 0.9123 \text{ [bar]}$$

**15.** Si ingresan 0.85  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$  de  $\text{CO}_2$  a un compresor a 100 [kPa] y 22 [°C], comprimiéndose adiabáticamente hasta 800 [kPa], calcule la potencia del compresor. Considere que

$$c_p = 0.846 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right] \text{ y } k = 1.289.$$

$$\dot{W} = 126.1 \text{ [kW]}$$

**16.** En un tanque rígido de 3.2 [m<sup>3</sup>], hay un gas ideal que se encuentra originalmente a 1 [bar] y 27 [°C]. Se transfiere calor al gas, hasta que alcanza 400 [°C]. Determine el calor transferido, en [kJ]. Considere para el gas:  $R = 296.9 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$  y  $k = 1.4$ .

$$Q = 994.173 \text{ [kJ]}$$

**17.** Un gas ideal experimenta dos procesos: en el primero se expande isobáricamente a 400 [kPa] de 0.3 [m<sup>3</sup>] hasta 0.64[m<sup>3</sup>]; posteriormente, se realiza otra expansión de forma isotérmica hasta alcanzar un volumen de 1.2 [m<sup>3</sup>]. Calcule el trabajo total en [kJ].

$$W_T = -296.92 \text{ [kJ]}$$

18. Se expande aire mediante un proceso politrópico con  $n = 1.4$ , desde  $10 \text{ [bar]}$  y  $1010 \text{ [}^\circ\text{C]}$  hasta  $0.7 \text{ [bar]}$ . Determine el trabajo en cada unidad de masa realizado.

$$w_{12} = -489.93 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

19. A un compresor ingresan  $60 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right]$  de nitrógeno a  $150 \text{ [kPa]}$  y  $25 \text{ [}^\circ\text{C]}$ , se comprimen según  $PV^n = c$ , hasta  $1 \text{ [MPa]}$  con  $n = 1.23$ . Calcule en  $\left[ \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$ , el calor y la dirección del proceso.

Considere:  $c_p = 1.0421 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$ ,  $R = 296.82 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$  y  $\Delta e_c = 0$

$$\dot{Q} = -53.478 \text{ [kW]}$$

El calor fluye hacia afuera

20. En un tanque cilíndrico, vertical, cerrado con un émbolo que se mueve sin fricción, hay inicialmente  $500 \text{ [dm}^3\text{]}$  de nitrógeno a  $400 \text{ [kPa]}$  y  $27 \text{ [}^\circ\text{C]}$ . En el interior del cilindro hay un calentador eléctrico por el que circulan  $2 \text{ [A]}$  a  $120 \text{ [V]}$  durante  $5 \text{ [min]}$ . Durante el proceso se liberan  $2.8 \text{ [kJ]}$  de energía en forma de calor hacia el entorno (a  $22 \text{ [}^\circ\text{C]}$  y  $77.8 \text{ [kPa]}$ ). Calcule la temperatura final en el interior del tanque.

$$T_2 = 56.7 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

21. En un proceso industrial se mezclan dos corrientes de un mismo gas (considerado como gas ideal) para formar una tercera corriente. Una de las corrientes de entrada está a  $10 \text{ [}^\circ\text{C]}$  y  $1.5 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$  y la otra está a  $40 \text{ [}^\circ\text{C]}$  y  $3 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$ . Determine la temperatura, en  $\text{[}^\circ\text{C]}$ , de la corriente de salida. Considere que el mezclado es adiabático e isobárico a  $100 \text{ [kPa]}$ .

$$T = 302.46 \text{ [K]}$$

22. Una masa de  $15 \text{ [kg]}$  de aire en un dispositivo cilindro-émbolo se calienta de  $25$  a  $77 \text{ [}^\circ\text{C]}$  mediante un resistor eléctrico colocado en el interior del cilindro. La presión dentro del cilindro se mantiene constante a  $500 \text{ [kPa]}$  durante el proceso y el aire pierde  $60 \text{ [kJ]}$  de calor durante el mismo. Calcule la energía eléctrica consumida en  $\text{[kWh]}$ . Considere el  $c_p$  del aire de  $1.005 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$ .

$$\dot{W}_{elec} = 0.2344 \text{ [kWh]}$$

23. El compresor adiabático de una turbina de gas recibe aire del ambiente a  $100 \text{ [kPa]}$  a  $20 \text{ [}^\circ\text{C]}$ , con rapidez despreciable. En la descarga del compresor, el aire sale a  $2 \text{ [MPa]}$  y  $110 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ . Si la entrada de potencia al compresor es de  $50 \text{ [kW]}$ , determine el flujo másico del compresor en  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$ . Considere para el aire  $R = 288.62 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$  y  $k = 1.39$ .

$$\dot{m} = 446.04 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

24. Entra  $\text{CO}_2$  a un compresor, a  $1 \text{ [bar]}$ ,  $450 \text{ [K]}$  y  $220 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ . En la salida, se tienen  $6 \text{ [bar]}$ ,  $740 \text{ [K]}$  y  $120 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ . Durante el proceso, ocurre una pérdida de calor de  $25 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$ . Si el diámetro del conducto de salida es de  $2.5 \text{ [cm]}$ , calcule la potencia de flecha requerida por el compresor. Considere para el  $\text{CO}_2$ :  $R = 0.1889 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$  y  $c_p = 0.846 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$ .

$$\dot{W}_{fl} = 70.021 \text{ [kW]}$$

25. Tres kilogramos de oxígeno se comprimen politrópicamente según la relación  $PV^n = \text{constante}$ , donde  $n = 1.3$ . Se sabe que la presión inicial es  $P_1 = 250 \text{ [bar]}$ , la temperatura inicial es  $T_1 = 315 \text{ [K]}$ , y la presión final es  $P_2 = 1450 \text{ [bar]}$  además  $c_p = 0.918 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$ ,  $c_v = 0.658 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$  y  $R = 0.26 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$

Determine:

- El volumen inicial y final del oxígeno.
- El cambio de energía interna durante el proceso.

$$\text{a) } V_1 = 9.828 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_2 = 2.5422 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\text{b) } \Delta U = 311.0807 \text{ [kJ]}$$

26. Dos moles de un gas ideal se expanden isotérmicamente desde un estado de equilibrio uno  $(P_1, V_1, T_1)$ , hasta un estado de equilibrio dos  $(P_2, V_2, T_2)$ . Considerando que  $P_1 = 8 \text{ [atm]}$ ,  $P_2 = 4 \text{ [atm]}$ ,  $T = 26.85 \text{ [}^\circ\text{C]}$  y  $R_u = 8.3144 \left[ \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \right]$

- Muestre el proceso en un diagrama  $V - P$ .
- Determine el trabajo involucrado en el proceso.

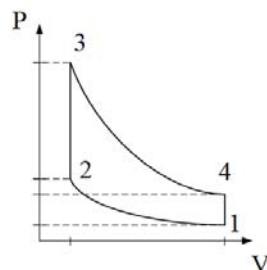
$$\text{b) } W = -3.4578 \text{ [kJ]}$$

27. Un dispositivo cilindro-émbolo contiene 25 [g] de nitrógeno al que se le extrae energía en forma de calor a presión constante de 1 [bar], disminuyendo su temperatura desde 423 [K] hasta 313 [K]. Considere para el nitrógeno que  $c_p = 1.042 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$  y  $R = 296.82 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$ , calcule en [J] el trabajo realizado.

$${}_1W_2 = 818.71 [J]$$

28. En un ciclo, como el que se muestra en la figura, se tienen dos procesos isométricos y dos adiabáticos. Se sabe para el ciclo, que utiliza aire y que en el estado 1, éste se encuentra a 101.365 [kPa] y 294 [K]. Durante el proceso isométrico, que ocurre entre el estado 2 y el 3, el fluido recibe en forma de calor 800 [kJ] por cada kilogramo y se sabe que la relación de compresión, es decir  $\frac{V_1}{V_2} = 8$ . Determine las propiedades en cada estado mostradas en la tabla.

| Estado | P [kPa] | v $\left[ \frac{m^3}{kg} \right]$ | T [K] |
|--------|---------|-----------------------------------|-------|
| 1      | 101.35  |                                   | 294   |
| 2      |         |                                   |       |
| 3      |         |                                   |       |
| 4      |         |                                   |       |



Considere para el aire:

Aire:  $\left\{ R = 286.7 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right], c_v = 717 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right], c_p = 1003.7 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right], k = 1.4, M = 29 \left[ \frac{g}{mol} \right] \right\}$

| Estado | P [kPa] | v $\left[ \frac{m^3}{kg} \right]$ | T [K]   |
|--------|---------|-----------------------------------|---------|
| 1      | 101.35  | 0.8317                            | 294     |
| 2      | 1862.73 | 0.104                             | 675.7   |
| 3      | 4938.57 | 0.104                             | 1791.46 |
| 4      | 268.705 | 0.8317                            | 779.5   |

29. Se enfría R134a de 110 [°C] y entalpía de 343.41  $\left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  a 50 [°C] y una entalpía de 278.28  $\left[ \frac{kJ}{kg} \right]$  mediante aire en un condensador. Al condensador ingresan 10  $\left[ \frac{kg}{s} \right]$  de aire a 20 [°C] y sale de él a 64 [°C]. Calcule el flujo másico del refrigerante.  $c_{paire} = 1.005 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$ .

$$\dot{m} = 6.78 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

30. En un proceso se requiere comprimir 0.7  $\left[ \frac{kg}{s} \right]$  de aire desde 100 [kPa] y 291 [K] hasta 600 [kPa] y 410 [K]. Durante el proceso se presenta una pérdida de calor al ambiente de 18  $\left[ \frac{kJ}{kg} \right]$ . Despreciando los cambios en la variación de la energía cinética y de la energía potencial gravitatoria, calcule en [kW], la potencia consumida por el compresor.

$$\dot{W}_{12} = 96.6 [kW]$$

31. Estando a nivel del mar y mediante la ecuación fundamental de la hidrostática  $dP = -\rho g dz$ , calcule la presión atmosférica a una altura de 1500 [m] considerando la atmósfera isotérmica, y como gas ideal, a 260 [K],  $g = 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ ,  $R_{aire} = 0.287 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$  y  $P_{atm \text{ nivel del mar}} = 100 [kPa]$ .

$$P_{atm} = 82.1 [kPa]$$

32. Un gas ideal ( $R = 296.9 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$ ,  $k = 1.4$ ) encerrado en un tanque rígido adiabático que se encuentra originalmente a 100 [kPa] y 20 [°C], es agitado con una hélice hasta alcanzar 130 [kPa]. Sabiendo que el tanque tiene un volumen de 2.8 [m<sup>3</sup>], calcule el trabajo realizado por la hélice, en [kJ].

$$W = 54.46 [kJ]$$