

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 [m²] 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 CO₂ a 1.5 [bar] y 200[°C], y sale a 18 [bar]. Calcule la potencia recibida por el CO₂ 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 CO₂ 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 [m³], 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 [m³] hasta 0.64[m³]; posteriormente, se realiza otra expansión de forma isotérmica hasta alcanzar un volumen de 1.2 [m³]. 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 [bar] y $1010 \text{ [}^\circ\text{C]}$ hasta 0.7 [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 [kPa] y $25 \text{ [}^\circ\text{C]}$, se comprimen según $PV^n = c$, hasta 1 [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 [kPa] y $27 \text{ [}^\circ\text{C]}$. En el interior del cilindro hay un calentador eléctrico por el que circulan 2 [A] a 120 [V] durante 5 [min] . Durante el proceso se liberan 2.8 [kJ] de energía en forma de calor hacia el entorno (a $22 \text{ [}^\circ\text{C]}$ y 77.8 [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 [kPa] .

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

22. Una masa de 15 [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 [kPa] durante el proceso y el aire pierde 60 [kJ] de calor durante el mismo. Calcule la energía eléctrica consumida en [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 [kPa] a $20 \text{ [}^\circ\text{C]}$, con rapidez despreciable. En la descarga del compresor, el aire sale a 2 [MPa] y $110 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$. Si la entrada de potencia al compresor es de 50 [kW] , determine el flujo másico del compresor en $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$. Considere para el aire $R = 288.62 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$ y $k = 1.39$.

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

24. Entra CO_2 a un compresor, a 1 [bar] , 450 [K] y $220 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$. En la salida, se tienen 6 [bar] , 740 [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 [cm] , calcule la potencia de flecha requerida por el compresor. Considere para el 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.

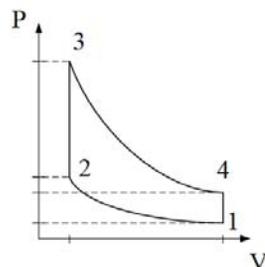
$$\text{b) } W = -3.4578 \text{ [kJ]}$$

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. $c_{p\text{aire}} = 1.005 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$.

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

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], $g = 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$, $R_{\text{aire}} = 0.287 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$ y $P_{\text{atm nivel del mar}} = 100 [kPa]$.

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

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 [m³], calcule el trabajo realizado por la hélice, en [kJ].

$$W = 54.46 [kJ]$$