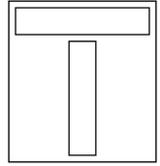


**Johan Heinrich Lambert (1728-1777)**

Instrucciones: lea cuidadosamente los problemas que se ofrecen. Resuelva cualesquiera cuatro en dos horas y en el orden que usted desee. Se permite la consulta de cualquier documento propio.

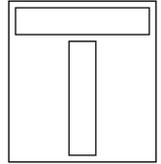
1. En un ensamble cilindro-pistón está contenido amoníaco, inicialmente a 5 (m<sup>3</sup>), 7 (bar) y 50 (°C). La sustancia sufre un proceso isobárico en el que pierde calor hacia los alrededores, empezando a condensar el vapor a una temperatura determinada. Calcule el volumen en (m<sup>3</sup>) que ocupa el líquido cuando se ha condensado la mitad de la masa de vapor.
2. Una embotelladora utiliza un tanque de agua caliente para lavar las botellas de vidrio que entran a una rapidez de 800 por minuto, a 20 (°C), y salen a la temperatura del agua del tanque. Cada botella tiene una masa de 50 (g) y arrastra 2 (g) de agua al salir del tanque. El agua de reposición se suministra a 15 (°C). Se estima que el tanque pierde, hacia los alrededores, 0.2 (kW) de calor por cada (°C) de diferencia entre la temperatura del tanque y la temperatura de los alrededores. Calcule la potencia calorífica total, en (kW), necesaria para mantener en operación el lavado de las botellas. La temperatura es de 20 (°C) en los alrededores.  
Tome para el agua  $c_p = 4.1868$  (kJ/kgΔ°C) y para el vidrio  $c_p = 0.8$  (kJ/kgΔ°C).
3. Se calienta un gas ideal [ $k = 1.36$ ,  $R_p = 0.445$  (kJ/kgK)] que fluye de manera estable en un tubo de 2.5 (cm) de diámetro interno. Las condiciones a la entrada son 2 (bar), 300 (K) y 100 (m/s) y a la salida son 400 (m/s) y 0.94 (bar). Calcule la potencia calorífica, en (kW), y su dirección.
4. 0.9 (kg) de oxígeno sufren un proceso politrópico ( $n = 1.3$ ) en el cual son comprimidos desde 27.57 (kPa) y 21.1 (°C) hasta 675.5 (kPa). Calcule el calor transferido en (kJ), y su dirección. Para el oxígeno considere  $R_p = 0.2598$  (kJ/kgK) y  $c_p = 0.184$  (kJ/kgK).
5. Una cámara contiene 2.27 (kg) de un gas ideal [ $R_p = 0.2684$  (kJ/kgK),  $k = 1.147$ ] inicialmente a 37.7 (°C). El gas sufre un proceso isobárico casiestático durante el cual son añadidos al gas 527.4 (kJ) de calor. Determine la temperatura final del gas en (°C).
6. Vapor de agua a 1000 (kPa) y 350 (°C) es estrangulado lentamente hasta 300 (kPa). Calcule el coeficiente de Joule-Thomson promedio para este proceso, en (K/kPa).
7. Una máquina térmica que trabaja según el ciclo Otto tiene, al inicio de los procesos de compresión, aire [ $R_p = 0.287$  (kJ/kgK),  $k = 1.4$ ] a 101.325 (kPa) y 15.5 (°C). Al final de la compresión se le suministran 1742.5 (kJ) de calor por cada kilogramo de aire. La relación de compresión es 7. Encuentre la presión en (kPa) al final de la adición de calor isométrica. Asuma condiciones ideales.
8. Calcule el cambio de entropía en (J/K) para el proceso de la pregunta 4.



**Lev Davidovic Landau (1908-1968)**

Instrucciones: lea cuidadosamente los problemas que se ofrecen. Resuelva cualesquiera cuatro en dos horas y en el orden que usted desee. Se permite la consulta de cualquier documento propio.

9. En un ensamble cilindro-pistón está contenido amoníaco, inicialmente a  $5.0 \times 10^6 \text{ cm}^3$ , 7 (bar) y 323.15 (K). La sustancia sufre un proceso isobárico en el que pierde calor hacia los alrededores, empezando a condensar el vapor a una temperatura determinada. Calcule el volumen en ( $\text{m}^3$ ) que ocupa el líquido cuando se ha condensado la mitad de la masa de vapor.
10. Una embotelladora utiliza un tanque de agua caliente para lavar las botellas de vidrio que entran a una rapidez de 48000 por hora, a 20 ( $^{\circ}\text{C}$ ), y salen a la temperatura del agua del tanque. Cada botella tiene una masa de 50 (g) y arrastra 2 (g) de agua al salir del tanque. El agua de reposición se suministra a 15 ( $^{\circ}\text{C}$ ). Se estima que el tanque pierde, hacia los alrededores, 0.2 (kW) de calor por cada ( $^{\circ}\text{C}$ ) de diferencia entre la temperatura del tanque y la temperatura de los alrededores. Calcule la potencia calorífica total, en (kW), necesaria para mantener en operación el lavado de las botellas. La temperatura es de 20 ( $^{\circ}\text{C}$ ) en los alrededores. Tome para el agua  $c_p = 4.1868 \text{ (kJ/kg}\Delta^{\circ}\text{C)}$  y para el vidrio  $c_p = 0.8 \text{ (kJ/kg}\Delta^{\circ}\text{C)}$ .
11. Se calienta un gas ideal [ $k = 1.36$ ,  $R_p = 0.445 \text{ (kJ/kgK)}$ ] que fluye de manera estable en un tubo de 2.5 (cm) de diámetro interno. Las condiciones a la entrada son 2 (bar), 26.8 ( $^{\circ}\text{C}$ ) y 100 (m/s) y a la salida son 400 (m/s) y 0.94 (bar). Calcule la potencia calorífica, en (kW), y su dirección.
12. 900 (g) de oxígeno sufren un proceso politrópico ( $n = 1.3$ ) en el cual son comprimidos desde 27.57 (kPa) y 294.25 (K) hasta 675.5 (kPa). Calcule el calor transferido en (kJ), y su dirección. Para el oxígeno considere  $R_p = 0.2598 \text{ (kJ/kgK)}$  y  $c_p = 0.184 \text{ (kJ/kgK)}$ .
13. Una cámara contiene 2270 (g) de un gas ideal [ $R_p = 0.2684 \text{ (kJ/kgK)}$ ,  $k = 1.147$ ] inicialmente a 37.7 ( $^{\circ}\text{C}$ ). El gas sufre un proceso isobárico casiestático durante el cual son añadidos al gas 527.4 (kJ) de calor. Determine la temperatura final del gas en ( $^{\circ}\text{C}$ ).
14. Vapor de agua a 1 (MPa) y 350 ( $^{\circ}\text{C}$ ) es estrangulado lentamente hasta 300 (kPa). Calcule el coeficiente de Joule-Thomson promedio para este proceso, en (K/kPa).
15. Una máquina térmica que trabaja según el ciclo Otto tiene, al inicio de los procesos de compresión, aire [ $R_p = 0.287 \text{ (kJ/kgK)}$ ,  $k = 1.4$ ] a 101.325 (kPa) y 15.5 ( $^{\circ}\text{C}$ ). Al final de la compresión se le suministran 1742.5 (kJ) de calor por cada kilogramo de aire. La relación de compresión es 7. Encuentre la presión en (kPa) al final de la adición de calor isométrica. Asuma condiciones ideales.
16. Calcule el cambio de entropía en (J/K) para el proceso de la pregunta 4.



Johan Heinrich Lambert (1728-1777)

## RESPUESTAS

1. Sustancia: Amoníaco,  
 $V_i = 5 \text{ (m}^3\text{)}, P_i = 7 \text{ (bar)}, T_i = 50 \text{ (}^\circ\text{C)}, m_{\text{liq}} = m_{\text{vap}},$

- Estado inicial:

$$P_i = 7 \text{ (bar)}$$

$$T_i = 50 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

De tablas:

el estado es: vapor sobrecalentado

Y el volumen es:

$$v_i = 0.2129 \text{ (m}^3\text{/kg)}$$

La masa de amoníaco es:

$$m = V/v_i$$

Si el proceso es isobárico,

$$P_i = P_f = 7 \text{ (bar)},$$

De tablas:

$$P_i = 7 \text{ (bar)},$$

$$T_{\text{sat}} = 13.8 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

A esta temperatura comienza la condensación.

- Estado final:

$$P_f = 7 \text{ (bar)}$$

$$T_f = 13.8 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$m_{\text{liq}} = m_{\text{vap}} = m/2$$

$$x_f = 0.5$$

De tablas:

$$V_f = 0.001615 \text{ (m}^3\text{/kg)}$$

El volumen de líquido es:

$$V_{\text{liq}} = v_f/m_{\text{liq}}$$

$$\underline{V_{\text{liq}} = 0.00569 \text{ (m}^3\text{)}}$$

2. Sustancias: Agua y vidrio,  
 $\dot{u}_{\text{bot}} = 800 \text{ (botellas/min)}, T_{\text{ent}} = 20 \text{ (}^\circ\text{C)}, T_{\text{sal}} = T_{\text{tanque}} = 55 \text{ (}^\circ\text{C)},$   
 $m_{\text{bot}} = 50 \text{ (g)}, m_{\text{agua}} = 2 \text{ (g/botella)}, T_{\text{repos}} = 15 \text{ (}^\circ\text{C)},$   
 $\{\dot{O}\}_{\text{tanque}} = -0.2 \text{ (kW/}^\circ\text{C)}, T_{\text{alred}} = 20 \text{ (}^\circ\text{C)}, C_p \text{ agua} = 4.1868 \text{ (kJ/kg}\Delta^\circ\text{C)}, C_p \text{ vidrio} = 0.8 \text{ (kJ/kg}\Delta^\circ\text{C)},$

Calculando las potencias caloríficas:

- Para las botellas:

$$\{\dot{O}\}_{\text{bot}} = \dot{m}_{\text{bot}} C_p \text{ vidrio} (T_{\text{sal}} - T_{\text{ent}})$$

$$\{\dot{O}\}_{\text{bot}} = \dot{u}_{\text{bot}} m_{\text{bot}} C_p \text{ vidrio} (T_{\text{sal}} - T_{\text{ent}})$$

$$\{\dot{O}\}_{\text{bot}} = 56 \text{ (kW)}$$

- Para el agua de reposición:

$$\{\dot{O}\}_{\text{agua}} = \dot{m}_{\text{agua}} (T_{\text{tanque}} - T_{\text{repos}})$$

$$\{\dot{O}\}_{\text{agua}} = \dot{u}_{\text{bot}} m_{\text{agua}} (T_{\text{tanque}} - T_{\text{repos}})$$

$$\{\dot{O}\}_{\text{agua}} = 4.46 \text{ (kW)}$$

- Para los alrededores:

$$\{\dot{O}\}_{\text{perdido}} = \{\dot{O}\}_{\text{tanque}} (T_{\text{tanque}} - T_{\text{alred}})$$

$$\{\dot{O}\}_{\text{perdido}} = 7 \text{ (kW)}$$

- Potencia calorífica total:

$$\{\dot{O}\}_{\text{Total}} = \{\dot{O}\}_{\text{bot}} + \{\dot{O}\}_{\text{agua}} + \{\dot{O}\}_{\text{perdido}}$$

$$\underline{\{\dot{O}\}_{\text{Total}} = 67.46 \text{ (kW)}}$$

3. Sustancia: Gas ideal,  $k = 1.36$ ,  $R_p = 0.445$  (kJ/kgK)  
 $D_i = 2.5$  (cm),  $P_e = 2$  (bar),  $T_e = 300$  (K),  $v_e = 100$  (m/s),  
 $v_s = 400$  (m/s),  $P_s = 0.94$  (bar),

De la ecuación de continuidad:

$$\begin{aligned} \dot{m}_e &= \dot{m}_s \\ A_e v_e \rho_e &= A_s v_s \rho_s \\ A_e v_e / B v_e &= A_s v_s / B v_s \dots \dots (1) \end{aligned}$$

De la ecuación de gas ideal:

$$\begin{aligned} PV &= m R_p T \\ P v &= R_p T \\ v &= R_p T / P \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

Sustituyendo (2) en (1):  
 $A_e v_e P_e / R_p T_e = A_s v_s P_s / R_p T_s$

Despejando:  
 $T_s = T_e v_s P_s / v_e P_e$

De la ecuación de la primera ley de la termodinámica para sistemas abiertos en condiciones de régimen estacionario:

$$\begin{aligned} \{\dot{Q}\} + \{\dot{W}_{eje}\} &= \dot{m}[(h_s - h_e) + (v_s^2 - v_e^2)/2 + g(z_s - z_e)] \\ \{\dot{Q}\} &= \dot{m}[(h_s - h_e) + (v_s^2 - v_e^2)/2] \end{aligned}$$

Recordando que:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= A_e v_e P_e / R_p T_e \\ \Delta h &= m c_p \Delta T \\ h_s - h_e &= m c_p (T_s - T_e) \end{aligned}$$

Además, de la ecuación de Mayer:

$$\begin{aligned} R_p &= c_p - c_v \\ \text{Y de la definición del cociente de calores específicos:} \\ k &= c_p / c_v \\ \text{se tiene que:} \\ c_p &= k \cdot R_p / (k - 1) \end{aligned}$$

Así:

$$h_s - h_e = m c_p (T_s - T_e) = (A_e v_e P_e / R_p T_e) [k \cdot R_p / (k - 1)] [(T_e v_s P_s / v_e P_e) - T_e]$$

Finalmente:

$$\begin{aligned} \{\dot{Q}\} &= (A_e v_e P_e / R_p T_e) \cdot \{ [k \cdot R_p / (k - 1)] \cdot [(T_e v_s P_s / v_e P_e) - T_e] + (v_s^2 - v_e^2) / 2 \} \\ \text{Simplificando:} \\ \{\dot{Q}\} &= [A_e v_e P_e k / (k - 1)] \cdot [(v_s P_s / v_e P_e) - 1] + (A_e P_e / 2 R_p T_e) (v_e v_s^2 - v_e^3) \end{aligned}$$

Y como  $A = (\pi/4) D^2$

**$\{\dot{Q}\} = 38.15$  (kW) entra**

4. Sustancia: Oxígeno,  
Proceso politrópico,  $n = 1.3$   
 $R_{pOx} = 0.2598$  (kJ/kgK),  $c_{pOx} = 0.184$  (kJ/kgK),  $m_{ox} = 0.9$  (kg),  
 $P_i = 27.57$  (kPa),  $T_i = 21.1$  (°C),  $P_f = 675.5$  (kPa),

Para el proceso politrópico:

$$\begin{aligned} \{Q_{i \rightarrow f}\} &= m_{ox} c_n (T_f - T_i) \\ c_n &= c_v [(k - n) / (1 - n)] \\ c_v &\text{ se obtiene de la ecuación de Mayer:} \\ R_p &= c_p - c_v \\ c_v &= c_p - R_p \\ \text{Además se sabe que:} \\ k &= c_p / c_v \end{aligned}$$

Para obtener  $T_f$ :

$$T_f = T_i (P_f / P_i)^{(n-1)/n}$$

Así:

$$\begin{aligned} \{Q_{i \rightarrow f}\} &= m_{ox} c_v [(k - n) / (1 - n)] (T_f - T_i) \\ \{Q_{i \rightarrow f}\} &= m_{ox} (c_p - R_p) \cdot \{ [(c_p / (c_p - R_p) - n) / (1 - n)] \} \cdot [(T_i (P_f / P_i)^{(n-1)/n} - T_i)] \\ \{Q_{i \rightarrow f}\} &= - 32.909 \text{ (kJ), sale} \end{aligned}$$

5. Sustancia: Gas ideal,  
 Proceso: isobárico casiestático  
 $m = 2.27$  (kg),  $R_p = 0.2684$  (kJ/kgK),  $k = 1.147$ ,  $T_i = 37.7$  (°C),  $\{Q\} = 527.4$  (kJ),

La primera ley de la termodinámica para sistemas cerrados aplicado a un gas que sufre un proceso isobárico casiestático es:

$$\{Q\} = mc_p(T_f - T_i)$$

De donde:

$$T_f = \{Q\}/mc_p + T_i$$

De la ecuación de Mayer:

$$R_p = c_p - c_v$$

$$c_p = R_p + c_v$$

Así:

$$T_f = \{Q\}/m(R_p + c_v) + T_i$$

$$\underline{T_f = 149.1 \text{ (°C)}}$$

6. Sustancia: Agua  
 Proceso: Estrangulamiento  
 $P_e = 1000$  (kPa),  $T_e = 350$  (°C),  $P_s = 300$  (kPa)

El coeficiente de Joule-Thomson se define como:

$$\mu_{J-T} = (\partial T / \partial P)_h$$

El coeficiente de Joule-Thomson promedio se puede calcular como:

$$\mu_{J-T} = (\Delta T / \Delta P)_h$$

En el estrangulamiento se cumple que:

$$h_e = h_s$$

- Para la entrada:

De tablas de vapor sobrecalentado:

$$P_e = 1000 \text{ (kPa)}, T_e = 350 \text{ (°C)},$$

$$h_e = 3157.7 \text{ (kJ/kg)}$$

- Para la salida:

De tablas de vapor sobrecalentado:

$$P_s = 300 \text{ (kPa)}, h_e = h_s = 3157.7 \text{ (kJ/kg)},$$

$$T_s = 338.7 \text{ (°C)}$$

Así:

$$\mu_{J-T} = (\Delta T / \Delta P)_h$$

$$\mu_{J-T} = [(T_s - T_e) / (P_s - P_e)]_h$$

$$\underline{\mu_{J-T} = 0.0161 \text{ (K/kPa)}}$$

7. Ciclo: Otto  
 Sustancia: Aire, [ $k = 1.4$ ,  $R_p = 0.287$  (kJ/kgK)]  
 $P_4 = 101.325$  (kPa),  $T_4 = 15.5$  (°C),  $\{Q_{sum}\} = 1742.5$  (kJ/kg),  $Rc = 7$ ,

Proceso 4-1:

$$T_1/T_4 = (V_4/V_1)^{k-1}$$

$$T_1/T_4 = (Rc)^{k-1}$$

$$T_1 = T_4 (Rc)^{k-1} = 356.1 \text{ (°C)}$$

$$P_1 = P_4 (Rc)^k = 1544 \text{ (kPa)}$$

Proceso 1-2:

$$\{Q_{sum}\} = c_v(T_2 - T_1)$$

$$c_v = R_p / (k-1)$$

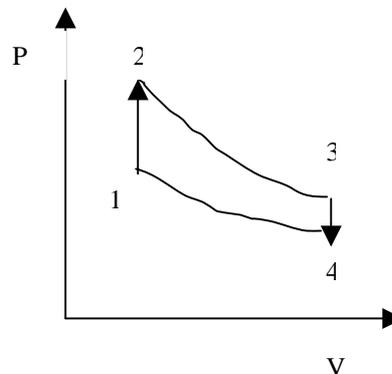
$$\{Q_{sum}\} = [R_p / (k-1)] c_v(T_2 - T_1)$$

$$T_2 = \{Q_{sum}\} [(k-1) / c_v R_p] + T_1 = 2792.7 \text{ (°C)}$$

$$P_2/T_2 = P_1/T_1$$

$$P_2 = P_1 T_2 / T_1$$

$$\underline{P_2 = 7520.1 \text{ (kPa)}}$$



8.  $\Delta S = S_f - S_i$   
 $\Delta S = mc_n \ln(T_f/T_i)$

$$\underline{\Delta S = -88.47 \text{ (J/K)}}$$

## RESPUESTAS

8. Sustancia: Amoníaco,  
 $V_i = 5.0 \times 10^6 \text{ (cm}^3\text{)}, P_i = 7 \text{ (bar)}, T_i = 323.15 \text{ (K)}, m_{\text{liq}} = m_{\text{vap}},$   
 **$V_{\text{liq}} = 0.00569 \text{ (m}^3\text{)}$**
10. Sustancias: Agua y vidrio,  
 $\dot{U}_{\text{bot}} = 48000 \text{ (botellas/h)}, T_{\text{ent}} = 20 \text{ (}^\circ\text{C)}, T_{\text{sal}} = T_{\text{tanque}} = 55 \text{ (}^\circ\text{C)},$   
 $m_{\text{bot}} = 50 \text{ (g)}, m_{\text{agua}} = 2 \text{ (g/botella)}, T_{\text{repos}} = 15 \text{ (}^\circ\text{C)},$   
 $\{\dot{O}\}_{\text{tanque}} = -0.2 \text{ (kW/}^\circ\text{C)}, T_{\text{alred}} = 20 \text{ (}^\circ\text{C)}, c_{p \text{ agua}} = 4.1868 \text{ (kJ/kg}\Delta^\circ\text{C)}, c_{p \text{ vidrio}} = 0.8 \text{ kJ/kg}\Delta^\circ\text{C)},$   
 **$\{\dot{O}\}_{\text{Total}} = 67.46 \text{ (kW)}$**
11. Sustancia: Gas ideal,  $k = 1.36, R_p = 0.445 \text{ (kJ/kgK)}$   
 $D_i = 2.5 \text{ (cm)}, P_e = 2 \text{ (bar)}, T_e = 26.8 \text{ (}^\circ\text{C)}, v_e = 100 \text{ (m/s)},$   
 $v_s = 400 \text{ (m/s)}, P_s = 0.94 \text{ (bar)},$   
 **$\{\dot{O}\} = 38.15 \text{ (kW) entra}$**
12. Sustancia: Oxígeno,  
Proceso politrópico,  $n = 1.3$   
 $R_{pO_x} = 0.2598 \text{ (kJ/kgK)}, c_{pO_x} = 0.184 \text{ (kJ/kgK)}, m_{O_x} = 900 \text{ (g)},$   
 $P_i = 27.57 \text{ (kPa)}, T_i = 21.1 \text{ (}^\circ\text{C)}, P_f = 675.5 \text{ (kPa)},$   
 **$\{Q_{i-f}\} = -32.909 \text{ (kJ), sale}$**
13. Sustancia: Gas ideal,  
Proceso: isobárico casiestático  
 $m = 2270 \text{ (g)}, R_p = 0.2684 \text{ (kJ/kgK)}, k = 1.147, T_i = 37.7 \text{ (}^\circ\text{C)}, \{Q\} = 527.4 \text{ (kJ)},$   
 **$T_f = 149.1 \text{ (}^\circ\text{C)}$**
14. Sustancia: Agua  
Proceso: Estrangulamiento  
 $P_e = 1000 \text{ (kPa)}, T_e = 350 \text{ (}^\circ\text{C)}, P_s = 300 \text{ (kPa)}$   
 **$\mu_{J-T} = 0.0161 \text{ (K/kPa)}$**
15. Ciclo: Otto  
Sustancia: Aire,  $[k = 1.4, R_p = 0.287 \text{ (kJ/kgK)}]$   
 $P_4 = 101.325 \text{ (kPa)}, T_4 = 15.5 \text{ (}^\circ\text{C)}, \{Q_{\text{sum}}\} = 1742.5 \text{ (kJ/kg)}, R_c = 7,$   
 **$P_2 = 7520.1 \text{ (kPa)}$**
16.  **$\Delta S = -88.47 \text{ (J/K)}$**