

1 Conservación de la masa

- La masa no puede ser creada ni destruida

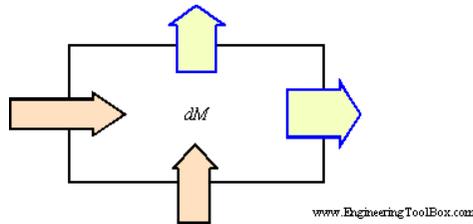


Figura 1.

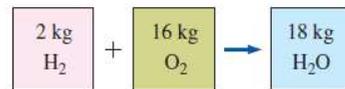


Figura 2. La masa se conserva incluso en reacciones químicas

- Flujo de masa a través de una superficie de control

$$\delta \dot{m} = \rho V_n dA_c$$

- $V_n = \vec{V} \cdot \hat{n}$ es la componente de la velocidad del fluido normal a la superficie
- ρ es la densidad del fluido
- dA_c es el elemento de área de la superficie de control

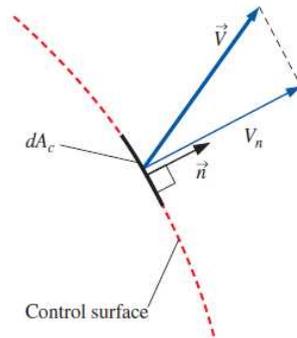


Figura 3.

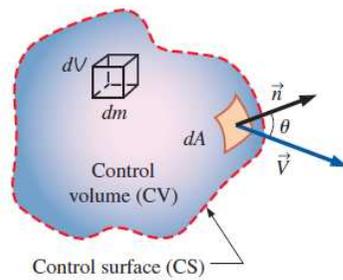


Figura 4.

- Masa total en el volumen de control CV: $m_{CV} = \int_{CV} \rho dV$
- Razón de cambio de la masa CV: $\dot{m}_{CV} = \frac{d}{dt} \int_{CV} \rho dV$

- La razón de cambio de m_{CV} debe igualar a menos el flujo de masa a través de CS (conservación de la masa):

$$\frac{d}{dt} \int_{CV} \rho dV + \oint_{CS} \rho V_n dA_c = 0$$

- \hat{n} es la normal a la superficie apuntando hacia afuera del volumen CV.
- Flujo volumétrico:

$$\dot{V} = \oint_{CS} V_n dA_c$$

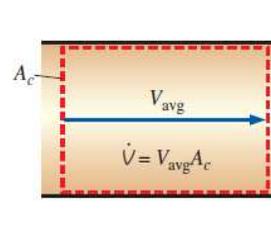


Figura 5. El flujo volumétrico es el volumen de fluido que pasa por una sección transversal por unidad de tiempo.

1.1 Flujo estacionario

- Flujo estacionario: $\dot{m}_{CV} = 0$.

- Flujo estacionario: $\sum_{\text{entrante}} \dot{m} = \sum_{\text{saliente}} \dot{m} \quad \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

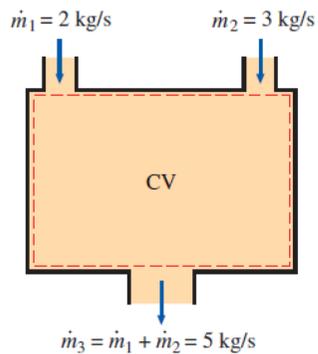


Figura 6.

- Flujo estacionario (una entrada y una salida): $\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$
- Flujo estacionario incompresible: $\rho = \text{constante}$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

1.2 Ejercicios

Ejercicio 1. Agua de densidad 1000 kg/m^3 entra a un estanque a través de una manguera de 50 mm de diametro. La velocidad del agua es 2 m/s . Agua sale del estanque a través de una manguera de diametro 30 mm con una velocidad de 2.5 m/s . Encuentre el cambio en la masa de agua en el estanque después de 20 minutos:

$$\Delta m = \rho(A_1 V_1 - A_2 V_2) \Delta t =$$

$$\begin{aligned}
 & (1000 \text{ kg/m}^3) (2 \text{ m/s}) (3.14 (0.05 \text{ m})^2 / 4) ((20 \text{ min}) (60 \text{ s/min})) \\
 & - (1000 \text{ kg/m}^3) (2.5 \text{ m/s}) (3.14 (0.03 \text{ m})^2 / 4) ((20 \text{ min}) (60 \text{ s/min})) \\
 & = 2590.5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2 Trabajo de flujo y la energía de un fluido

2.1 Trabajo de flujo

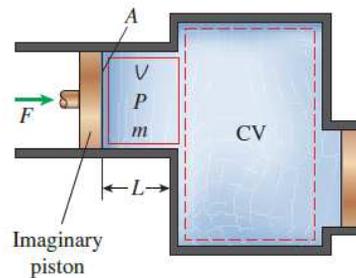


Figura 7.

- Trabajo de flujo: $W = PAL = PV$,
- Trabajo de flujo por unidad de masa: $w = Pv$

- Se llama también energía de flujo.

2.2 Energía total de un fluido que fluye dentro de un volumen de control

La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

- interna: energía de los átomos y moléculas.
- cinética: es la energía debida a la velocidad que posee el fluido;
- potencial o gravitacional: es la energía debida a la altitud que un fluido posee.
- Por unidad de masa se tiene:

$$e = u + \frac{V^2}{2} + gz$$

donde:

- V = velocidad del fluido en la sección considerada.
- g = aceleración gravitatoria

- $z =$ altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

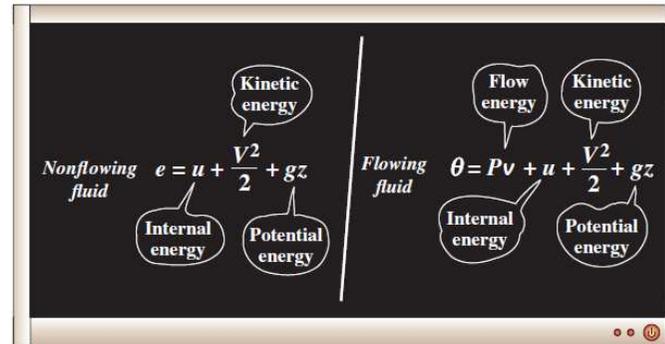


Figura 8.

Energía total del fluido en movimiento:

$$\theta = Pv + u + \frac{V^2}{2} + gz = h + \frac{V^2}{2} + gz$$

2.3 Transporte de energía por la masa

- Energía transportada por una masa m : $E_m = m\theta = m\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)$
- Razón de transporte de energía: $\dot{E}_m = \dot{m}\theta = \dot{m}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)$

- Si la energía potencial y cinética del fluido son despreciables, se tiene:

$$E_m = m h, \dot{E}_m = \dot{m} h$$

Ejercicio 2. Vapor sale de una olla a presión de 4-L con presión interior de 150 kPa (Fig. 8). Se ve que la cantidad de líquido en la olla bajó en 0.6 L en 40 min luego de alcanzar un flujo estacionario. El agujero de salida tiene un área transversal de 8 mm². Determine (a) la razón de flujo de masa del vapor y la velocidad de salida, (b) la energía total y la energía de flujo del vapor por unidad de masa y (c) la potencia que abandona la olla debido al vapor.



Figura 9.

R: En flujo estacionario tenemos líquido saturado y vapor saturado a 150 kPa dentro de la olla. Las propiedades de la mezcla a esta presión son: $v_f = 0.001053 \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 1.1594 \frac{m^3}{kg}$, $u_g = 2519.2 \frac{kJ}{kg}$, $h_g = 2693.1 \frac{kJ}{kg}$.

a) Cantidad de líquido evaporado: $m = \frac{0.6 \times 10^{-3}}{0.001053} \text{kg} = 0.570 \text{kg}$, $\dot{m} = \frac{0.570 \text{ kg}}{40 \times 60 \text{ s}} = 2.37 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$, $\dot{m} = \rho_g V A$, $V = \frac{\dot{m}}{A} v_g = 34.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

(b) $\theta = h + \frac{V^2}{2} + gz = h$, dado que $h \gg \frac{V^2}{2} + gz$, $Pv = h - u = 2693.1 - 2519.2 = 173.9 \text{kJ/kg}$,

$\theta = h = 2693.1 \text{kJ/kg}$, (c) $\dot{E}_m = \dot{m} h_g = 2.37 \times 10^{-4} \times 2693.1 = 0.638 \text{kW}$

Podemos verificar que $h \gg \frac{V^2}{2} + gz$.

2.4 Balance de energía en flujo estacionario

- $\sum_{\text{entrante}} \dot{m} = \sum_{\text{saliente}} \dot{m} \quad \frac{\text{kg}}{\text{s}}$
- $\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$, una entrada y una salida
- En flujo estacionario, la energía total del volumen de control es constante.
 $\Delta E_{CV} = 0$.
- Balance de energía: $E_{\text{entrada}} = E_{\text{salida}}$

$$\dot{Q}_{\text{en}} - \dot{W}_{\text{en}} + \sum_{\text{en}} \dot{m}_{\text{en}} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) = \dot{Q}_{\text{sa}} - \dot{W}_{\text{sa}} + \sum_{\text{sa}} \dot{m}_{\text{sa}} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)$$

- Una entrada y una salida:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left(h_2 - h_1 + \frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g(z_2 - z_1) \right)$$

Dividiendo por \dot{m}

$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g(z_2 - z_1)$$

- $q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = \frac{dQ}{dm}, w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} = \frac{dW}{dm}$

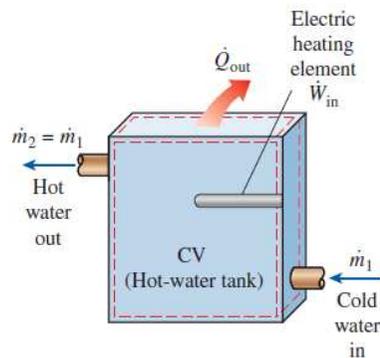


Figura 10.

3 Dispositivos de ingeniería de flujo estacionario

3.1 Toberas y difusores

Una **tobera** es un dispositivo que convierte la energía térmica y de presión de un fluido (conocida como **entalpía**) en energía cinética. Como tal, es utilizado en **turbomáquinas** y otras máquinas, como **inyectores**, surtidores, propulsión a chorro, etc. El fluido sufre un aumento de velocidad a medida que la sección de la tobera va disminuyendo, por lo que sufre también una disminución de presión y temperatura al conservarse la energía.

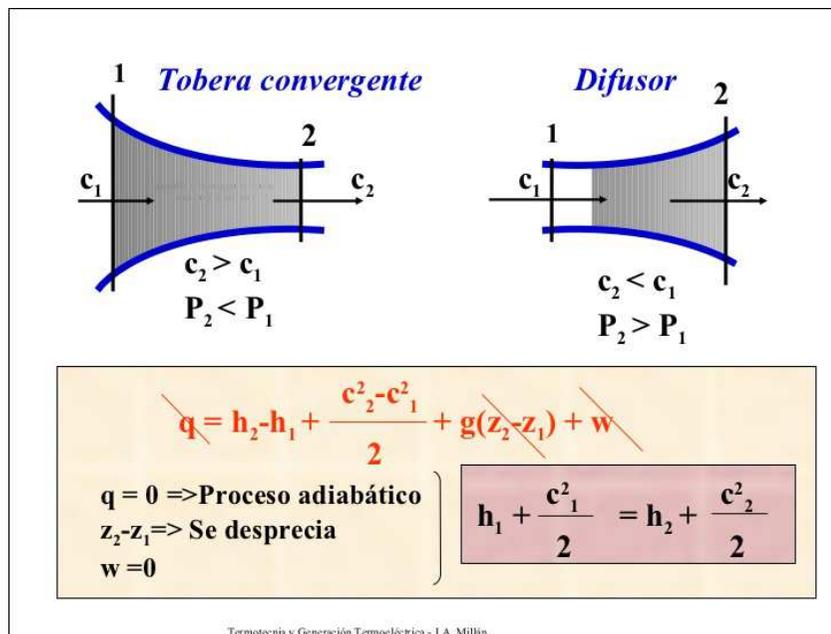
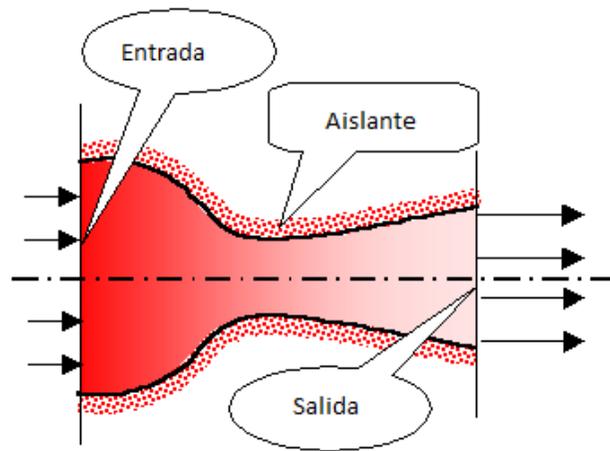


Figura 11.



Una tobera incrementa la velocidad de un fluido a expensas de una caída de presión. El cambio en energía potencial es despreciable.

Figura 12.

dispositivo	función	Q	W	ΔEp	ΔEc
Tobera aceleradora	Incrementar la velocidad de un fluido	≈ 0	$= 0$	≈ 0	$\neq 0$
Difusor	Incrementa la presión de un fluido desacelerado	≈ 0	$= 0$	≈ 0	$\neq 0$
Turbinas	Producen potencia	≈ 0	crea	≈ 0	≈ 0
Compresor	Comprime el gas a presiones altas	≈ 0 excepto enfriamiento	necesita	≈ 0	≈ 0
Bomba	Comprime líquidos a presiones altas	≈ 0	Necesita	≈ 0	≈ 0
Ventilador	Moviliza un gas e incrementa ligeramente su presión	≈ 0	Necesita	≈ 0	≈ 0
Válvula de estrangulamiento	Restringe el flujo. Caída de presión importante en el fluido gran disminución de temperatura coeficiente joule-Thompson	Flujo adiabático $q \approx 0$ conservación de la energía $h_2 \approx h_1$ entalpía entrada \approx entalpía salida $u_1 + p_1 v_1 = u_2 + p_2 v_2$ energía interna + flujo de energía = constante	$= 0$	≈ 0	≈ 0
Cámaras de mezclado	Mesclar dos o mas corrientes de fluidos	≈ 0	$= 0$	≈ 0	≈ 0
Intercambiadores de calor	Dos corrientes de fluido en movimiento intercambian calor sin mezclado	Tasa de transferencia de calor entre los fluidos	$= 0$	≈ 0	≈ 0

Figura 13.

Ejercicio 3. En el difusor de un motor de propulsión entra de forma estacionaria aire a 10°C y 80Kpa , con una velocidad de 200 m/s ; el área de entrada al difusor es de $.4 \text{m}^2$; el aire

sale con una velocidad que es muy pequeña comparada con la velocidad de entrada. determine

a) el flujo másico del aire

b) la temperatura del aire que sale del difusor

$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g(z_2 - z_1)$$

- $q = 0, w = 0, \Delta z = 0, V_1 \gg V_2$
- El aire a esta temperatura y presión es un gas ideal. Como $q = 0, \Delta T = 0$
- Flujo másico: $\dot{m} = \rho_1 V_1 A_1 = \frac{V_1 A_1}{v_1}, v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = 1.015 \text{ m}^3/\text{kg}, \dot{m} = 78.8 \text{ kg/s}$
- $h_2 = h_1 + \frac{1}{2}(V_1^2), h_1 = h(283\text{K}) = 283.14 \text{ kJ/kg}$, de la tabla A.17

$$h_2 = 303.14 \text{ kJ/kg}, T_2 = 303\text{K} \text{ (de la tabla)}$$

3.2 Turbinas y compresores

- Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

- Una turbina de vapor es una turbomáquina motora, que transforma la energía de un flujo de vapor en energía mecánica a través de un intercambio de cantidad de movimiento entre el fluido de trabajo (entiéndase el vapor) y el rodete, órgano principal de la turbina, que cuenta con palas o álabes los cuales tienen una forma particular para poder realizar el intercambio energético.

Ejercicio 4. La salida de potencia de una turbina a vapor adiabática es 5 MW en las condiciones indicadas en la figura. Determine el trabajo hecho por unidad de masa de vapor fluyendo a través de la turbina. Calcule la tasa de variación de masa de vapor.

$$P_1 = 2\text{MPa}, T_1 = 400\text{C}, V_1 = 50\text{m/s}, z_1 = 10\text{m}; P_2 = 15\text{kPa}, x_2 = 0.90, V_2 = 180\text{m/s}, z_2 = 6\text{m}$$

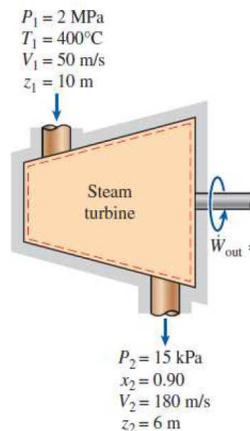


Figura 14.

- 1) Vapor de agua sobrecalentado: 0.15122 2945.9 3248.4 7.1292
- 2) Vapor húmedo
- $q = 0$

$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g(z_2 - z_1)$$

$$h_1 = 3248.4 \text{ kJ/kg}, \quad h_2 = h_f(1 - x_2) + x_2 h_g = 2361.01 \text{ kJ/kg}$$

$$-w = -887.39 + 14.95 - 0.04, \quad w = 872.48 \text{ kJ/kg}$$

$$w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}}, \quad \dot{m} = \frac{5}{872.48} \times 10^3 \text{ kg/s} = 5.73 \text{ kg/s}$$

3.3 Válvulas de estrangulamiento

Una válvula de estrangulamiento es simplemente una restricción al flujo, si bien se reduce la presión, no realiza trabajo y por lo general la transferencia de calor es pequeña. Si se elige el volumen de control lo suficientemente alejado de dicha restricción, el cambio de energía cinética resulta pequeño. Estas válvulas en general son pequeñas, así que podemos suponer que el flujo es adiabático. Luego:

$$h_2 = h_1 \quad \text{Válvula de estrangulamiento}$$

Ejercicio 5. El refrigerante R-134a entra en un tubo capilar del refrigerador como líquido saturado a 0:8 MPa y su flujo es restringido hasta que alcanza una presión de 0:12 MPa. Determinar la calidad del refrigerante en el estado final y la caída de temperatura durante

este proceso.

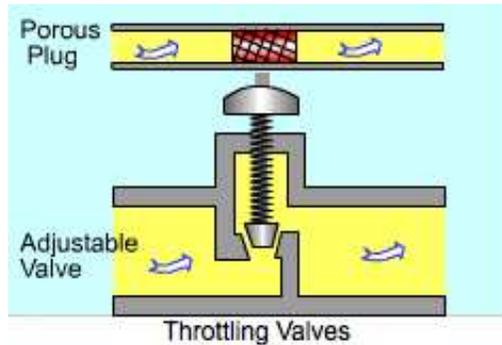


Figura 15.

- $q = 0$
- Cambio de energía cinética despreciable.
- Entrada: líquido saturado $T_{\text{sat}}(0.8\text{MPa}) = 31.31\text{C}$, $h_1 = 95.47\text{kJ/kg}$
- $h_2 = 95.47\text{kJ/kg}$ a 0.12MPa , $h_f = 22.46\text{kJ/kg}$, $h_g = 236.97\text{kJ/kg}$, $T = -22.32\text{C}$
- $h_f < h_2 < h_g$ -> Vapor húmedo, $x_2 = 0.34$

4 Cámaras de mezclado

Es un equipo en el cual ingresan más de una corriente de fluido (gas ideal o vapor), que luego de mezclarse, salen bajo un mismo estado. La condición de funcionamiento para este equipo, es que las presiones de entrada deben ser iguales a la presión de salida. La cámara de mezcla funciona en régimen permanente y es adiabática.

Ejercicio 6. Consideremos una ducha doméstica donde agua caliente a 60C es mezclada con agua fría a 10C . Si se busca tener una corriente estacionaria de agua temperada a 44C, determinar el cociente de las tasas de variación y de los flujos de agua caliente y fría. Asumir que las pérdidas de calor son despreciables en la cámara de mezcla y que la misma tiene lugar a una presión de 138 kPa.

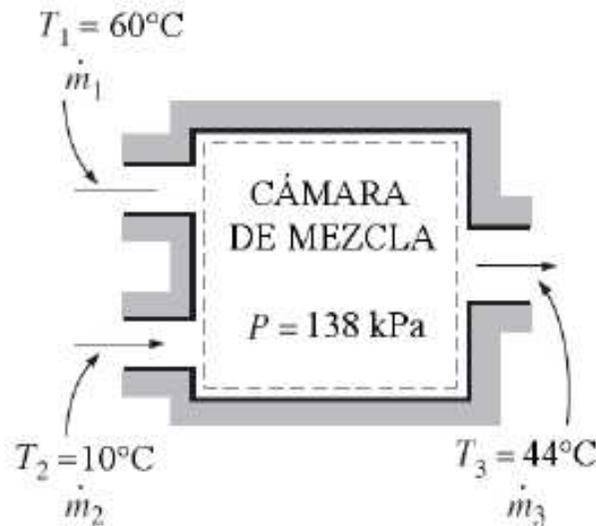


Figura 16.

$$\begin{aligned} \dot{m}_1 + \dot{m}_2 &= \dot{m}_3 \\ \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 &= \dot{m}_3 h_3, \quad \dot{Q} = 0 = \dot{W}, \quad E_{\text{cin}} = E_{\text{pot}} \sim 0 \\ y h_1 + h_2 &= (y + 1) h_3, \quad y = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} \\ y &= \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_3} = \frac{142.24}{66.92} = 2.13 \end{aligned}$$

- La temperatura de saturación del agua a 138kPa es: $T_{\text{sat}} = 105.97 + \frac{5.38}{25} 13 = 108.77C$

- Como $T_i < T_{\text{sat}}$, el agua en las tres corrientes existe como líquido comprimido el cual se puede aproximar como líquido saturado a la temperatura dada (Tabla A-4):

$$h_3 = h_f(44C) = \frac{4}{5}20.91 + 167.53 = 184.26 \text{kJ/kg}$$

$$h_1 = h_f(60C) = 251.18 \text{kJ/kg}$$

$$h_2 = h_f(10C) = 42.02 \text{kJ/kg}$$

Interpolación lineal:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1$$

4.1 Flujo en tuberías y ductos

Ejercicio 7. Un sistema de calefacción usado en muchas casas consiste en un ducto con calentadores a resistencia; el aire es calentado a medida que fluye por la resistencia. Consideremos un sistema de calentamiento eléctrico de 15 kW. El aire entra a la sección de calentamiento a 100 kPa y 17C siendo el flujo de aire 150m³/min. Si el calor es liberado por el aire en el ducto a una tasa de 200 W, determinar la temperatura de salida del aire.

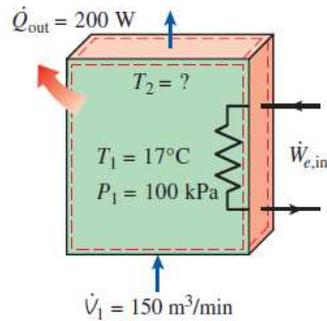


Figura 17.

- Balance energético:

$$-\dot{W}_{\text{entrada}} + \dot{m} h_1 = \dot{Q}_{\text{salida}} + \dot{m} h_2$$

- $h_2 - h_1 = c_P(T_2 - T_1)$, $c_P = 1.005 \text{ kJ}/(\text{kg C})$
- $v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = 0.832 \text{ m}^3/\text{kg}$
- $\dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = 3 \text{ kg/s}$
- $1500 - 200 = 1005(T_2 - 17)3$, $T_2 = 21.9 \text{ C}$

5 Procesos de Flujo No estacionario

- Balance de masa:»Cambio de masa en VC=masa que pasa a través de SC»

$$m_e - m_s = (m_2 - m_1)_{VC}$$

- Balance de energía:»Cambio de energía en VC=energía que pasa a través de SC»

$$E_e - E_s = \Delta E_{\text{sistema}}(\text{interna, cinética, potencial....})$$

5.1 Flujo transitorio o transiente

- El término transiente hidráulico, se refiere a cualquier condición de escurrimiento no permanente en el cual mientras más rápido sea el cambio, mayor será el efecto provocado.
- Dura un lapso finito de tiempo.
- Balance de energía:

$$\frac{dE_{VC}}{dt} = \dot{Q}_{VC} - \dot{W}_{VC} + \sum_e \dot{m}_e \theta_e - \sum_s \dot{m}_s \theta_s$$

5.2 Flujo uniforme

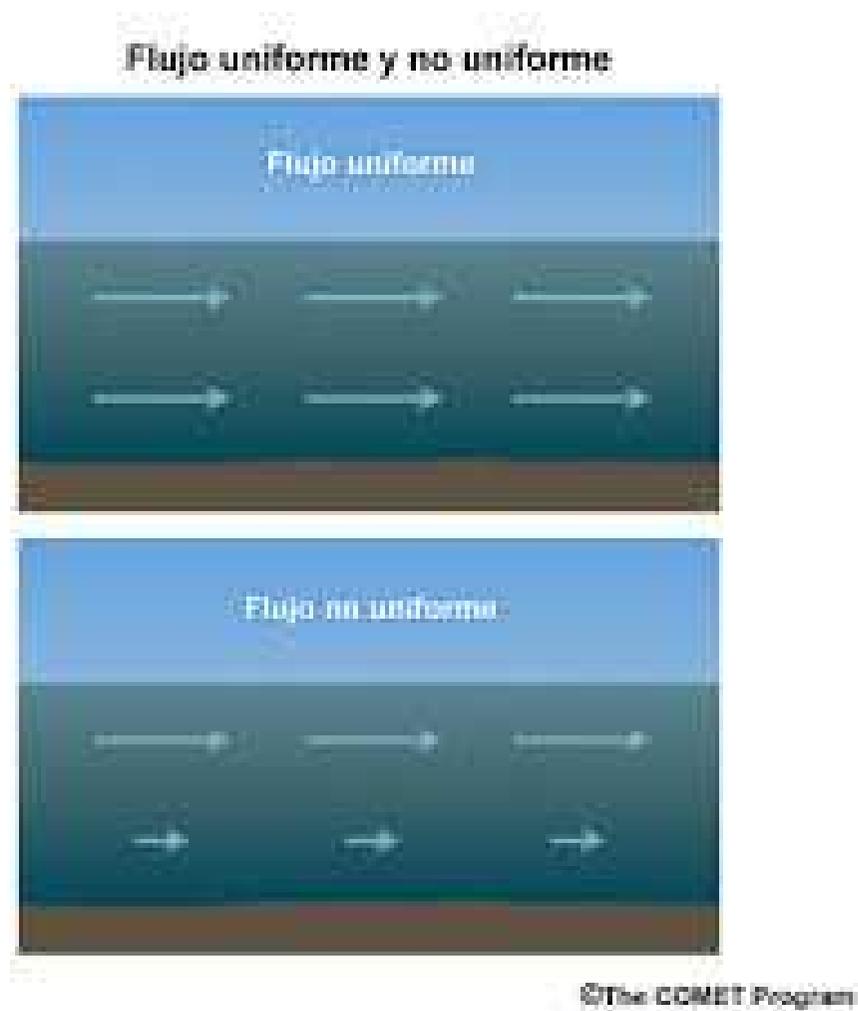


Figura 18.

- El flujo de fluido en cada entrada y salida es uniforme y estacionario.

- Por lo tanto, las propiedades del fluido no cambian con el tiempo o con la posición en cada entrada o salida.
- Si cambian, se promedian y se tratan como constantes en todo el proceso.

Integrando el balance de energía para flujo transiente, notando que el flujo a través de cada entrada y salida es uniforme y estacionario, es decir:

$$\int dt \dot{m} \theta = m \theta$$

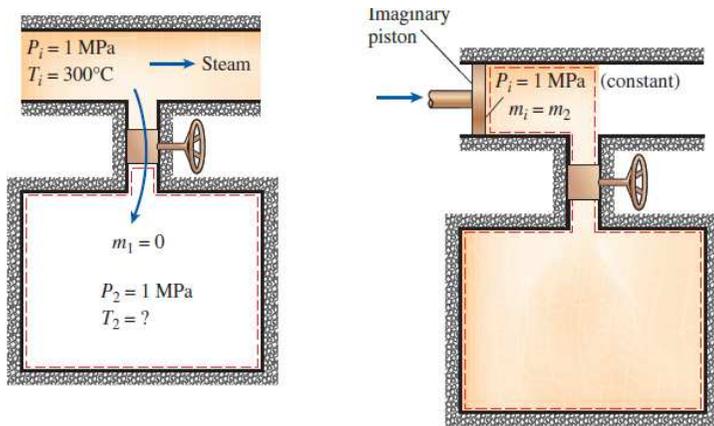
Balance de energía para flujo uniforme:

$$Q_e - W_e + \sum_e m \theta - \left(Q_s - W_s + \sum_s m \theta \right) = (m_2 e_2 - m_1 e_1)_{VC}$$

$$\theta = h + \frac{V^2}{2} + gz, \quad e = u + \frac{V^2}{2} + gz$$

Ejercicio 8. Un tanque rígido y aislado que está inicialmente vacío es conectado, mediante una válvula, a la línea principal que lleva vapor a 1 MPa y 300°C. La válvula es abierta y el vapor empieza a fluir lentamente hacia el tanque hasta que la presión alcanza 1 MPa, momento

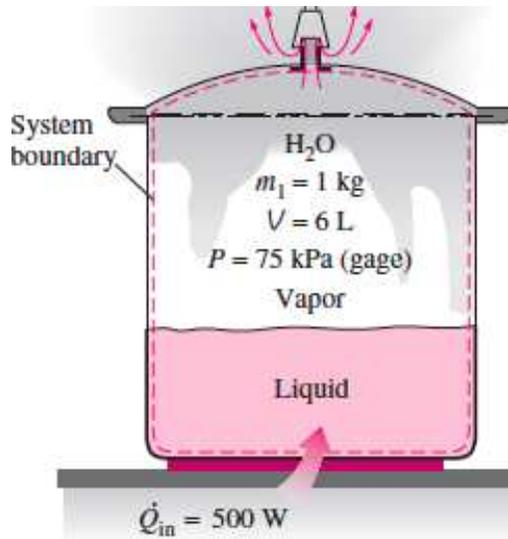
en que la válvula es cerrada. Determine la temperatura del vapor en el tanque.



- Flujo uniforme
- Energía cinética y potencial despreciables. Trabajo y calor=0
- Balance de masa: $m_e = m_2$
- Balance de energía: $m_e \theta_e = m_2 e_2$, $m_e h_e = m_2 u_2$, $h_e = u_2$.
- $P_e = 1 \text{ MPa}$, $T_e = 300 \text{ C}$, $h_e = 3051.6 \text{ kJ/kg}$ (Tabla A-6), $u_2 = 3051.6 \text{ kJ/kg}$, $P_2 = 1 \text{ MPa}$, 400 2957.9; 500 3125.0 $\rightarrow T_2 = 456.1 \text{ C}$

Ejercicio 9. Una olla a presión tiene un volumen de 6 L y opera a 175 kPa. Inicialmente contiene 1 kg de agua. A la olla se le entregan 500 W durante 30 min después de alcanzar su presión de operación. Determine la temperatura de operación y la cantidad de agua que

queda en la olla al final del proceso.



$$-m_s = (m_2 - m_1)$$

$$Q_e - m_s h_s = m_2 u_2 - m_1 u_1$$

$$v_1 = 6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

175 116.04 0.001057 1.0037 (Tabla A-5), $v_f < v_1 < v_g$ vapor húmedo,

Temperatura de saturación: 116.04°C

$h_s = 2700.2 \text{ kJ/kg}$, vapor saturado a 175 kPa

$$\text{Calidad inicial: } x_1 = \frac{v_1 - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.004943}{1.002643} = 0.00493$$

$$Q_e = 500 \times 30 \times 60 J = 9 \times 10^5 J, m_1 = 1 \text{ kg}, u_1 = u_f(1 - x_1) + x_1 u_g = 496.866 \text{ kJ/kg}$$

(Tabla A-5) 486.82 2037.7 2524.5

$$Q_e - m_s h_s = m_2 u_2 - m_1 u_1$$

$$m_2 = \frac{V}{v_2}, \quad u_2 = u_f(1 - x_2) + x_2 u_g, \quad v_2 = v_f(1 - x_2) + x_2 v_g$$

$$-m_s = (m_2 - m_1)$$

$$x_2 = \frac{(-m_1 \cdot u_1 - Q_e + h_s \cdot m_1) \cdot v_f + (u_f - h_s) \cdot V}{(u_g - u_f) \cdot V + (h_s \cdot m_1 - Q_e - m_1 \cdot u_1) \cdot v_g + (-h_s \cdot m_1 + Q_e + m_1 \cdot u_1) \cdot v_f}$$

$$m_s = \frac{(-m_1 \cdot u_g + m_1 \cdot u_1 + Q_e) \cdot v_f + (m_1 \cdot u_f - m_1 \cdot u_1 - Q_e) \cdot v_g + (u_g - u_f) \cdot V}{(u_f - h_s) \cdot v_g + (h_s - u_g) \cdot v_f}$$

$$x_2 = 0.009, m_2 = 0.6 \text{ kg}$$

Ejercicio 10. (c5.162) Determine la tasa de pérdida de calor en una casa debido a infiltración. Considere que el aire exterior se encuentra a -5°C y 90 kPa, el cual entra a la casa a una tasa

de 35L/s y la casa se mantiene a 20C.

Podemos ver la infiltración como un flujo estacionario del aire exterior que es calentado en un tubo imaginario que pasa por la casa. El aire es un gas ideal.

$$Q_s + m_s h_s = m_e h_e, m_e = m_s$$

m_e entra a -5C; m_s sale a 20C, la presión del aire exterior permanece constante a 90 kPa

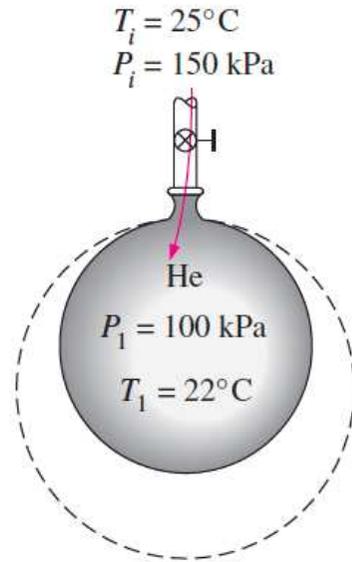
$$\dot{Q}_s = \dot{m}_e (h_e - h_s) = \dot{m}_e c_p (T_e - T_s) = \rho \dot{V} c_p (T_e - T_s) = \frac{P_s}{RT_s} \dot{V} c_p (T_e - T_s)$$

Tabla A-2

$c_p = 1.005 \text{ kJ/kg C}$, $R = 0.287 \text{ kPa m}^3/\text{kg K}$

$$\dot{Q}_s = \frac{90}{0.287 \times 293} 35 \times 10^{-3} \times 1.005 \times 25 \text{ kJ/s} = 941.17 \text{ kJ/s}$$

Ejercicio 11. (c5.141) Un globo contiene inicialmente 65 m^3 de Helio en condiciones atmosféricas, 100 kPa y 22C. El globo se conecta mediante una válvula a un tanque de Helio, cuya presión y temperatura son 150 kPa y 25C, respectivamente. Se abre la válvula y el Helio entra al globo hasta que se logra la presión de equilibrio. El material del globo tiene la propiedad de que su volumen aumenta linealmente con la presión. Si no se transfiere calor durante el proceso, determinar la temperatura final del globo.



Propiedades: La constante de gas del He es $R = 2.0769\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ (Tabla A-1). Los calores específicos del He son: $c_P = 5.1926$ y $c_V = 3.1156\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ (Tabla A-2a).

1. Balance de masa: $m_e - m_s = \Delta m, \rightarrow m_e = m_2 - m_1$
2. Balance de energía: $m_e h_e = W_s + m_2 u_2 - m_1 u_1$
3. $m_1 = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = 10.61\text{ kg},$
4. $V = aP$ del material del globo, $V_2 = V_1 \frac{P_2}{P_1} = 97.5\text{ m}^3$
5. Gas ideal: $m_2 = \frac{P_2 V_2}{RT_2} = \frac{7041.74}{T_2}\text{ kg}$

$$6. \text{ De } 1. m_e = \frac{7041.74}{T_2} - 10.61$$

$$7. W = \int_{V_1}^{V_2} P \, dV = \frac{a}{2}(V_2^2 - V_1^2) = \frac{a}{2}(V_2 + V_1)(V_2 - V_1) = \frac{P_2 + P_1}{2}(V_2 - V_1) = 4062.5 \text{ kJ}$$

8. Usando calores específicos en 2., se tiene:

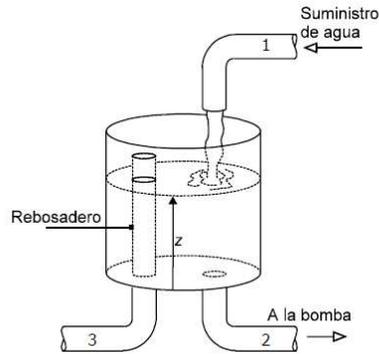
$$W_s = m_e h_e - m_2 u_2 + m_1 u_1 = m_e c_P T_e - m_2 c_V T_2 + m_1 c_V T_1$$

$$T_e = 298 \text{ K}, \quad T_1 = 295 \text{ K}$$

Notar que: $\Delta H = c_P \Delta T$, $\Delta U = c_V \Delta T$, pero para un gas ideal $H(T = 0) = U(T = 0) = 0$.

Se obtiene $T_2 = 333.6 \text{ K}$

Ejercicio 12. Un tanque suministra agua a una bomba, según se muestra en la figura. El agua entra en el tanque a través de una tubería de 2,5 cm de diámetro con un caudal constante de 3,5 kg/s y sale para alimentar la bomba por otra tubería del mismo diámetro. El diámetro del tanque es de 45 cm y el tope de la tubería de 5 cm empleada de rebosadero se sitúa a 0,6 m del fondo del tanque. La velocidad c , en m/s, del agua que sale hacia la bomba varía con la altura z del agua en el tanque, en m, de acuerdo con $c = 4,505 z^{1/2}$. Determinar cuánto tiempo se necesitará para que el tanque inicialmente vacío alcance estado estacionario. En dicho estado, calcular la cantidad de agua, en kg/s, que abandona el tanque por la tubería que hace de rebosadero.



Para este problema pueden establecerse las siguientes hipótesis: la primera es que el desagüe es suficiente para desalojar todo el agua que entra, lo cual puede verse que es falso haciendo los cálculos cuando $z = 0$. La segunda es que el conjunto desagüe+rebosadero no es capaz de desalojar el agua que entra, hipótesis que se rechaza ante la falta de datos para demostrarlo. Se trabajará, pues, con la tercera hipótesis, la de que el desagüe no es capaz por sí solo de desalojar el agua entrante, pero que el conjunto desagüe+rebosadero sí lo es.

1. Balance de masa:

$$\frac{dm_{VC}}{dt} = \dot{m}_1 - (\dot{m}_2 + \dot{m}_3)$$

Inicialmente, al no haber llegado el agua al rebosadero, $\dot{m}_3 = 0$

2. $m_{VC} = \rho V_{VC} = \rho A_t z = \rho \frac{\pi}{4} (D_t^2 - D_3^2) z$, $\dot{m}_{VC} = \rho \frac{\pi}{4} (D_t^2 - D_3^2) \dot{z}$

3. Por flujo unidimensional en el desagüe (2), se tiene que

$$\dot{m}_2 = \rho A_2 c_2 = \rho \frac{\pi}{4} D_2^2 4.505 \sqrt{z}$$

4.

$$\begin{aligned}\rho \frac{\pi}{4} (D_t^2 - D_3^2) \dot{z} &= \dot{m}_1 - \rho \frac{\pi}{4} D_2^2 4.505 \sqrt{z} \\ dt &= \rho \frac{\pi}{4} (D_t^2 - D_3^2) \frac{dz}{\dot{m}_1 - \rho \frac{\pi}{4} D_2^2 4.505 \sqrt{z}} \\ t &= \int_0^{z_3} \frac{a dz}{b - c \sqrt{z}} = \frac{2ab}{c^2} \ln \frac{b}{b - c \sqrt{z_3}} - \frac{2a}{c} \sqrt{z_3} = 41.1 \text{ s}\end{aligned}$$

5. Basándose de nuevo en la ley de la conservación de la masa para un volumen de control, y en la hipótesis con que se trabaja, puede decirse que una vez que el agua sale por el rebosadero nos encontramos ante flujo estacionario, y por tanto:

$$\begin{aligned}\dot{m}_1 - \dot{m}_2 &= \dot{m}_3 \\ \dot{m}_1 &= 3.5 \text{ kg/s}, \quad \dot{m}_2 = 4.505 \rho A_2 \sqrt{z_3} = 1.713 \text{ kg/s} \\ \dot{m}_3 &= 1.787 \text{ kg/s}\end{aligned}$$