Volumen de control

Extenderemos el análisis de energía a sistemas en los que existe flujo de masa a través de sus bordes.

volumen de control

- Masa, calor y trabajo pueden atravesar la superficie de control.
- La masa y sus propiedades dentro del volumen de control puede variar en el tiempo debido a la entrada y salida de masa del mismo.

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \dot{m}_{vc} = \sum_{entradas} \dot{m} - \sum_{salidas} \dot{m}$$

Volumen de control

Considerando que ρ es constante, la tasa de variación de masa y volumen están relacionadas por

$$\dot{m} = \rho\, \dot{V} = \frac{\dot{V}}{\nu} = \frac{v\, A}{\nu}$$

siendo ν el volumen específico de la masa, v la velocidad del flujo y A el área de la sección transversal.

La masa que atraviesa la superficie de control agrega o retira cierta cantidad de energía por unidad de masa

$$e = u + v^2/2 + g\, z$$

donde v es la velocidad de la masa y z es la altura respecto de algún punto de referencia externo.

Además es necesario realizar trabajo para empujar esa masa hacia dentro o hacia afuera del volumen de control.

trabajo del flujo

Volumen de control

$$W_{flujo} = F\,L = P\,A\,L = P\,V \quad \longrightarrow \quad w_{flujo} = P\,\nu$$

El trabajo de flujo es el mismo si el fluido está entrando o saliendo del volumen de control.

La **energía total del flujo por unidad de masa** será

$$\theta = P\,\nu + e = P\,\nu + u + v^2/2 + g\,z = h + v^2/2 + g\,z$$

La entalpía h toma en cuenta implícitamente la energía necesaria para mantener el flujo.

La **tasa de variación energía total del volumen de control**, debido al ingreso o salida de cierta cantidad de masa, es

$$\dot{E}_{vc} = \dot{m}\,\theta = \dot{m}\,\left(h + v^2/2 + g\,z\right)$$

Volumen de control

La extensión de la Primera Ley para un volumen de control, en forma de tasa de variación, será

$$\dot{E}_{vc} = \frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum_{entradas} \dot{m}\,\theta - \sum_{salidas} \dot{m}\,\theta$$

Análisis de energía en procesos que ocurren en sistemas

- con flujo estacionario,

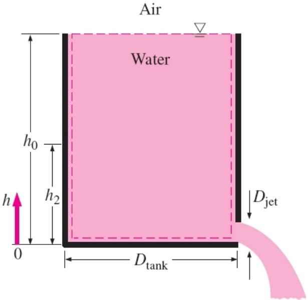
$$\dot{m}_{vc} = 0 \qquad \dot{E}_{vc} = 0$$

- con flujo transiente,

$$\Delta m_{vc} \neq 0 \qquad \Delta E_{vc} \neq 0$$

Ejemplo I - Descarga de un tanque de agua - 1

Un tanque cilíndrico de 91.4 cm de diámetro y 122 cm de altura sin tapa está inicialmente lleno con agua. Se abre la llave de descarga ubicada cerca del fondo y se genera un chorro de agua de 13 mm de diámetro. La velocidad promedio del chorro está dada por $\sqrt{2\,g\,h}$, donde h es la altura del agua medida desde el centro del orificio (es variable) y g es la aceleración de la gravedad. Determinar cuanto tiempo pasa hasta que el nivel de agua en el tanque es 61 cm desde el fondo.



Volumen de control = volumen ocupado por el agua

$$m_{vc} = \rho\, V_{vc} = \rho A_{tanque}\, h$$

$$\dot{m}_{entrada} = 0$$

$$\dot{m}_{salida} = \rho\, v_{salida}\, A_{chorro} = \rho\, \sqrt{2\,g\,h}\, A_{chorro}$$

Ejemplo I - Descarga de un tanque de agua - 2

$$\dot{m}_{vc} = \frac{d(\rho A_{tanque}\, h)}{dt} = \sum \dot{m}_{entra} - \sum \dot{m}_{sale} = 0 - \rho \sqrt{2\, g\, h}\, A_{chorro}$$

$$A_{tanque} = \pi\, D_{tanque}^2/4 \qquad\qquad A_{chorro} = \pi\, D_{chorro}^2/4$$

$$dt = \frac{D_{tanque}^2}{D_{chorro}^2} \frac{dh}{\sqrt{2\, g\, h}}$$

$$\int_0^t dt = \frac{D_{tanque}^2}{D_{chorro}^2 \sqrt{2\, g}} \int_{h_o}^{h_2} \frac{dh}{\sqrt{h}} = \frac{\sqrt{h_o} - \sqrt{h_2}}{\sqrt{g/2}} \left(\frac{D_{tanque}}{D_{chorro}}\right)^2$$

$$t_{descarga} = 12.6 \text{ minutos}$$

Ejemplo II - Olla a presión - 1

Vapor está saliendo de una olla a presión de 4 lt operando a 150 kPa. Se observa que la cantidad de líquido en la olla ha disminuído 0.6 lt en 40 min desde que las condiciones estacionarias se establecieron. La sección transversal de la válvula es 8 mm^2. Determinar el flujo de masa de vapor por la salida, la energía total y el flujo de energía del vapor por unidad de masa y la tasa de variación a de la energí que sale de la olla.

Las energías cinética y potencial no serán consideradas.

El sistema está en condiciones de saturación, es decir el vapor deja la olla como vapor saturado a la presión de la olla.

Presión	Temp.	Volumen Específico		Energía Interna			Entalpía			Entropía		
P	T	Liq Sat. vf	Vap. Sat. vg	Liq Sat. uf	Evap. ufg	Vap. Sat. ug	Liq Sat. hf	Evap. hfg	Vap. Sat. hg	Liq Sat. sf	Evap. sfg	Vap. Sat. sg
KPa	ºC	m^3/kg	m^3/kg	KJ/Kg	KJ/Kg	KJ/Kg	KJ/Kg	KJ/Kg	KJ/Kg	KJ/(Kg ºK)	KJ/(Kg ºK)	KJ/(Kg ºK)
150	111.37	0.001053	1.1593	466.94	2052.7	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	5.7897	7.2233

Ejemplo II - Olla a presión - 2

La cantidad de líquido que se evaporó es $m = V_{evap}/\nu_f = 0.570$ kg.

La tasa de variación de masa es $\dot{m} = m/\Delta t = 2.37 \times 10^{-4}$ kg/s.

La velocidad de salida es $v = \dot{m}/(\rho_v A_{out}) = \dot{m}\nu_v/A_{out} = 34.2$ m/s.

La energía total por unidad de masa es $\theta = h + v^2/2 + gz$, en este caso $\theta \approx h = 2693.6$ kJ/kg.

El término de energía cinética sería ke = $v^2/2$ = 0.588 kJ/kg $\ll h$

El trabajo del flujo es $P\nu = h - u$ = 173.9 kJ/kg.

La tasa de variación de la energía que está dejando la olla es $\dot{E} = \dot{m}\theta$ = 0.638 kW.

Análisis de energía en sistemas de flujo estacionario

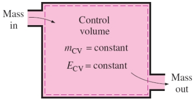
Muchos sistemas de la Ingeniería operan esencialmente bajo las mismas condiciones durante períodos de tiempo largo.

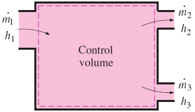
Los componentes de una planta de potencia a vapor (turbinas, compresores, intercambiadores de calor y las bombas) operan sin parar durante muchos meses entre dos paradas de mantención.

procesos de flujo estacionario

Dentro del volumen de control, las propiedades del flujo pueden cambiar de un punto a otro pero en cada punto permanecen constantes.

El volumen, la masa y la energía total dentro del volumen de control permanecen constantes, al igual que las propiedades del fluido en las entradas y en las salidas.





Análisis de energía en sistemas de flujo estacionario

El balance de masa en el volumen de control resulta ser

$$\sum_{entradas} \dot{m} = \sum_{salidas} \dot{m}$$

Si sólo existe una entrada y una salida,

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{salida} \quad \longrightarrow \quad \rho_1\, v_1\, A_1 = \rho_2\, v_2\, A_2$$

El balance de energía total del volumen de control resulta ser

$$\frac{dE_{sistema}}{dt} = \dot{E}_{entradas} - \dot{E}_{salidas} = 0 \quad \longrightarrow \quad \dot{E}_{entradas} = \dot{E}_{salidas}$$

Las cantidades de energía que entran en forma de calor, trabajo y/o masa debe ser igual a las que salen del volumen de control.

Análisis de energía en sistemas de flujo estacionario

Entonces,

$$\dot{Q}_{entra} + \dot{W}_{entra} + \sum_{entradas} \dot{m}\,\theta = \dot{Q}_{sale} + \dot{W}_{sale} + \sum_{salidas} \dot{m}\,\theta$$

donde $\theta = h + v^2/2 + gz$ es la energía por unidad de masa.

Para un sistema con sólo una entrada (1) y una salida (2),

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \dot{m}\left[h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g\,(z_2 - z_1)\right]$$

$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g\,(z_2 - z_1)$$

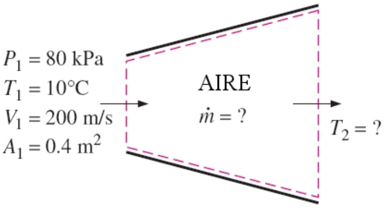
donde $q = \dot{Q}_{vc}/\dot{m}$ y $w = \dot{W}_{vc}/\dot{m}$ son el calor transferido al sistema y el trabajo hecho por el sistema por unidad de masa.

Sistemas que operan con flujo estacionario

- boquillas y difusores (producen cambios de velocidad del flujo a expensas de la presión)
- turbinas, compresores y bombas (la primera produce trabajo, el segundo es capaz de comprimir un gas a muy altas presiones y las últimas funcionan parecido a un compresor pero trabajan con líquidos)
- válvulas reguladoras (restringen el flujo provocando caídas de presión grandes y, en consecuencia, generan grandes caídas de temperatura)
- intercambiadores de calor (dos flujos intercambian calor sin mezclarse)
- cámaras de mezcla (lugar donde se mezclan dos flujos de fluídos)
- flujo a través de tubos y ductos

Ejemplo III - Desaceleración de aire en un difusor - 1

Aire a 10^{o}C y 80 kPa entra al difusor de un motor de inyección estacionariamente con una velocidad de 200 m/s. El área de la entrada es 0.4 m^2. El aire deja el difusor con una velocidad que es muy pequeña comparada con la velocidad de entrada. Determinar la tasa de variación de masa de aire y la temperatura del aire que deja el difusor.



$$\Delta m_{vc} = 0 \text{ y } \Delta E_{vc} = 0$$

$$\Delta ep = g\,\Delta z = 0$$

$$q = 0 \qquad w = 0$$

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{salida} = \dot{m}$$

$$T_{cr} = -140.7^o\text{C y } P_{cr} = 37.2 \text{ atm} \rightarrow \text{gas ideal}$$

Ejemplo III - Desaceleración de aire en un difusor - 2

El volumen de aire que entra es

$$\nu_e = R_{aire}\, T_e / P_e = 1.015 \text{ m}^3/\text{kg} \qquad R_{aire} = \frac{R}{M_{aire}} \quad \textbf{[tabla A-1]}$$

La tasa de variación de masa en la entrada es

$$\dot{m}_e = \rho\, v_e\, A_e = v_e\, A_e / \nu_e \quad \longrightarrow \quad \dot{m}_e = 78.8 \text{ kg/s}$$

El balance de energía ($\dot{E}_{sistema} = 0 = \dot{E}_e - \dot{E}_s = 0$) queda

$$\dot{m}\left(h_e + \frac{v_e^2}{2}\right) = \dot{m}\left(h_s + \frac{v_s^2}{2}\right) \quad \longrightarrow \quad h_s = h_e - \frac{v_s^2 - v_e^2}{2}$$

$v_s << v_e$ tal que la energía cinética a la salida puede despreciarse

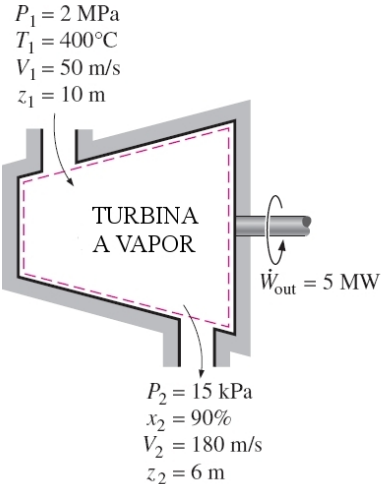
$h_e = h_{@283K} = 283.14$ kJ/kg **[tabla A-17]**

$h_s = 303.14$ kJ/kg $\longrightarrow$ $T_s = 303$ K

La temperatura del aire aumenta al bajar su velocidad debido a la conversión de energía cinética en energía interna.

Ejemplo IV - Potencia generada por turbina a vapor - 1

La salida de potencia de una turbina a vapor adiabática es 5 MW en las condiciones indicadas en la figura.



Compare las magnitudes de Δh, Δec y Δep.

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.

$$\Delta m_{vc} = 0 \text{ y } \Delta E_{vc} = 0$$

$$\text{sistema adiabático} \longrightarrow q = 0$$

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{salida} = \dot{m}$$

El trabajo es hecho por el sistema

Ejemplo IV - Potencia generada por turbina a vapor - 2

El vapor entra en estado de vapor sobrecalentado y su entalpía es
$h_e = h_{2MPa,\,400^oC} = 3248.4$ kJ/kh. **[tabla A-6]**

A la salida, tenemos una mezcla saturada de líquido y vapor a una presión de 15 kPa. La entalpía en este estado es
$h_s = h_f + x_2\, h_{fg} = 2361.01$ kJ/kg. **[tabla A-5]**

$$\Delta h = h_s - h_e = \text{-887.39 kJ/kg}$$

$$\Delta ec = (v_s^2 - v_e^2)/2 = 14.95 \text{ kJ/kg} \qquad \Delta ep = g\,(z_s - z_e) = \text{-0.04 kJ/kg}$$

$$\dot{E}_e = \dot{E}_s \quad \longrightarrow \quad \dot{m}\,\left(h_e + v_e^2/2 + g\,z_e\right) = \dot{W}_s + \dot{m}\,\left(h_s + v_s^2/2 + g\,z_s\right)$$

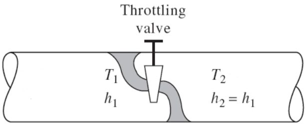
$$w_s = -(\Delta h + \Delta ec + \Delta ep) = 872.48 \text{ kJ/kg}$$

Para que $\dot{W}_s = 5$ MW $\quad \longrightarrow \quad \dot{m} = \dot{W}_s / w_s = 5.73$ kg/s

Ejemplo V - Expansión de R-134a en un refrigerador - 1

El refrigerante R-134a entra en un tubo capilar del refrigerandor 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.

La particularidad de este dispositivo (throttling valves) es que se conserva la entalpía, $h_e = h_s$, dado que q = 0, w = 0, Δec = 0 y Δep = 0. Sirve para generar caídas grandes de presión.



Entra líquido saturado a

$$P_e = 0.8 \text{ MPa} = 800 \text{ kPa}$$

$$T_e = T_{sat\,@\,0{,}8MPa} = 31.31\ ^oC$$

$$h_e = h_{f\,@\,0{,}8MPa} = 95.47 \text{ kJ/kg}$$

En la salida,

$$P_s = 0.12 \text{ MPa} = 120 \text{ kPa} \qquad T_s = T_{sat\,@\,0{,}12MPa} = -22.32^oC$$

$$h_f = 22.49 \text{ kJ/kg} \qquad h_g = 236.97 \text{ kJ/kg}$$

[**tabla A-12**]

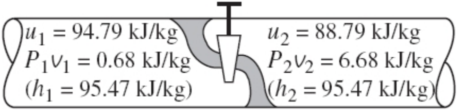
De los datos anteriores, $h_f < h_e < h_g$; así el refrigerante sale como una mezcla saturada.

La calidad en este estado es $x = (h_e - h_f)/h_{fg}$ = 0.34

El estado de salida es una mezcla saturada a 0.12 MPa
así $T_s = T_{sat\,@\,0{,}12MPa}$ = -22.32 ^{o}C,

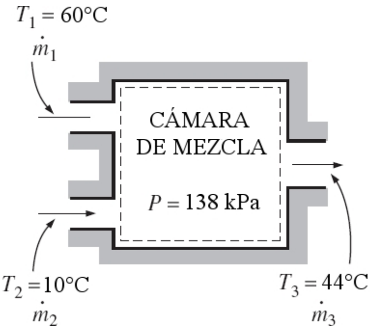
$$\Delta T = T_s - T_e = \text{-53.63}^o\text{C}$$

La temperatura disminuye durante el proceso a consecuencia de que el 34% del refrigerante se vaporiza y la energía necesaria para hacerlo la absorbe del mismo refrigerante.



Ejemplo VI - Mezcla de agua en la ducha - 1

Consideremos una ducha doméstica donde agua caliente a 60^{o}C es mezclada con agua fría a 10^{o}C. Si se busca tener una corriente estacionaria de agua temperada a 44^{o}C, determinar el cociente de las tasas de variación 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.



$$\Delta m_{vc} = 0 \text{ y } \Delta E_{vc} = 0$$

$$q \approx 0 \quad w \approx 0 \quad \Delta ec \approx 0 \quad \Delta ep \approx 0$$

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{salida}$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

$$\dot{E}_{entrada} = \dot{E}_{salida}$$

$$\dot{m}_1\, h_1 + \dot{m}_2\, h_2 = \dot{m}_3\, h_3$$

Ejemplo VI - Mezcla de agua en la ducha - 2

Combinando los balances de energía y masa,

$$\dot{m}_1\, h_1 + \dot{m}_2\, h_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)\, h_3$$

$$y\, h_1 + h_2 = (1 + y)\, h_3 \qquad\qquad y = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2}$$

Para el H_2O, $T_{sat\,@\,138kPs}$ = 108.79^{o}C [**tabla A-5**] $\rightarrow$ las tres corrientes son de agua en estado líquido comprimido y puede ser aproximado como líquido saturado a esa misma temperatura, entonces

$$\begin{aligned} h_1 &\approx h_{f@60^oC} = 251.18 \text{ kJ/kg} \\ h_2 &\approx h_{f@10^oC} = 42.02 \text{ kJ/kg} \\ h_3 &\approx h_{f@44^oC} = 184.27 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

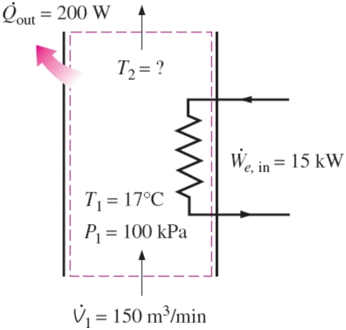
[**tabla A-5**]

La relación entre los flujos de agua caliente y fría es

$$y = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_3} = 2.0$$

Ejemplo VII - Calefacción eléctrica de una casa - 1

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 17^{o}C siendo el flujo de aire 150 m^3/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.



$$\Delta m_{vc} = 0 \text{ y } \Delta E_{vc} = 0$$

$$T_e >> T_{cr}^{aire} \text{ y } P_e << P_{cr}^{aire} \rightarrow \text{ gas ideal}$$

$$\Delta ec \approx 0 \qquad \Delta ep \approx 0$$

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{salida} = \dot{m}$$

$$c_p^{aire} = c_{p,T_{amb}}^{aire} = constante$$

Ejemplo VII - Calefacción eléctrica de una casa - 2

$$\dot{E}_{entrada} = \dot{E}_{salida} \quad \longrightarrow \quad \dot{W}_e + \dot{m}\, h_e = \dot{Q}_s + \dot{m}\, h_s$$

Q_s es la cantidad de calor que se pierde desde el VC

W_e es el trabajo eléctrico suminstrado al VC

$\Delta h = h_s - h_e = c_p\, \Delta T$ y $c_p = c_{p,T_{amb}}^{aire}$ = 1.005 kJ/(kg ^{o}C) [**tabla A-2**]

$$\dot{W}_e - \dot{Q}_s = \dot{m}\, c_p\, (T_s - T_e)$$

El volumen del aire a la entrada es $\nu_e = R_{aire}\, T_e / P_e$ = 0.832 m^3/kg, donde R_{aire} = 0.287 kPa m^3/kg. [**tabla A-1**]

La tasa de variación de masa resulta ser $\dot{m} = \dot{V}_e / \nu_e$ = 3.0 kg/s.

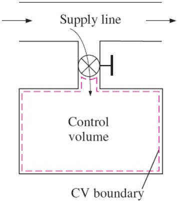
La temperatura del aire al entrar al ducto es T_e = 17^{o}C y al salir es

$$T_s = T_e + \frac{\dot{W}_e - \dot{Q}_s}{\dot{m}\, c_p} \quad \longrightarrow \quad T_s = 21.9^o\mathrm{C}$$

Análisis de energía en sistemas de flujo transiente

Muchos procesos de interés involucran cambios en el tiempo dentro del volumen de control.

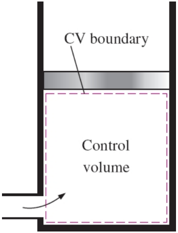
- Llenar un recipiente desde una corriente principal
- descargar un recipiente presurizado
- inflar globos o neumáticos
- cocinar en una olla a presión



este tipo de procesos tiene duración finita

La masa dentro del VC, en un proceso transiente, no es constante en el tiempo.

El volumen del sistema no es fijo en forma ni en tamaño pero, está fijo en el espacio.



Análisis de energía en sistemas de flujo transiente

El balance de masa para un volumen de control cualquiera en un proceso transiente es

$$m_{entra} - m_{sale} = \Delta m_{sistema} = (m_{final} - m_{inicial})_{VC}$$

El contenido de energía del volumen de control cambia con el tiempo durante un proceso transiente,

$$E_{entra} - E_{sale} = \Delta E_{sistema}$$

En general podremos suponer un **proceso de flujo uniforme.**
(en cualquier entrada o salida no hay cambios en el tiempo ni con la posición a lo largo de la sección eficaz de las propiedades del fluido)

Análisis de energía en sistemas de flujo transiente

El balance de energía para un sistema con flujo uniforme quedará

$$\left(Q_{entra} + W_{entra} + \sum_{entradas} m\,\theta\right) - \left(Q_{sale} + W_{sale} + \sum_{salidas} m\,\theta\right) = \Delta E_{sistema}$$

$\theta = h + ec + ep$ es la energía por unidad de masa del fluido en las entradas o salidas

$$\Delta E_{sistema} = \left[m_{final}\, e_{final} - m_{inicial}\, e_{inicial}\right]_{sistema}$$

$e = u + ec + ep$ es la energía por unidad de masa del fluido que se está dentro del volumen de control

Si las variaciones de *ec* y *ep* son despreciables,

$$Q_{neto} - W_{neto} = \sum_{salidas} m\,\theta - \sum_{entradas} m\,\theta + \left[m_{final}\, u_{final} - m_{inicial}\, u_{inicial}\right]_{sistema}$$

Ejemplo VIII - Llenando un tanque con vapor - 1

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^{o}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.

Para el vapor,

$$ec \approx 0 \text{ y } ep \approx 0$$

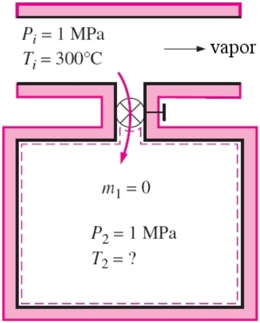
El tanque está estacionario,

$$\Delta EC = 0 \text{ y } \Delta EP = 0$$

$$\Delta E_{sistema} = \Delta U_{sistema} \qquad W = 0 \text{ y } Q = 0$$

El tanque es el volumen de control, $m_{inicial} = 0$.

Una entrada de masa y no hay salida de masa.



Ejemplo VIII - Llenando un tanque con vapor - 2

Balance de masa,

$$\Delta m_{sistema} = m_{entra} - m_{sale} \quad \longrightarrow \quad m_{entra} = m_{final}$$

Balance de energía,

$$\Delta E_{sistema} = E_{entra} - E_{sale} \quad \longrightarrow \quad m_{entra}\, h_{entrada} = m_{final}\, u_{final}$$

Entonces,

$$u_{final} = h_{entrada}$$

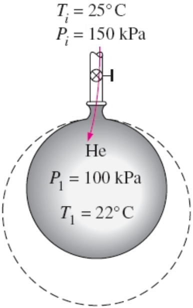
La energía interna del vapor en el tanque es igual a la entalpía del vapor que está entrando al tanque

Las propiedades del vapor [**Tabla A-6**] a la entrada son
$P_{entrada}$ = 1 MPa y $T_{entrada}$ = 300^{o}C $\quad \longrightarrow \quad$ $h_{entrada}$ = 3051.6 kJ/kg

Las propiedades del vapor en el estado final son
$P_{entrada}$ = 1 MPa y u_{final} = 3051.6 kJ/kg $\quad \longrightarrow \quad$ T_{final} = 456.1^{o}C

Ejemplo IX - Inflar un globo - 1

Un globo contiene inicialmente 65 m^3 de Helio en condiciones atmosféricas, 100 kPa and 22^{o}C. El globo se conecta mediante una vávula a un tanque de Helio, cuya presión y temperatura son 150 kPa y 25^{o}C, 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.



Helio es un gas ideal
R_{He} = 2.0769 kJ/kg K [**Tabla A-1**]
c_p = 5.1926 kJ/kg K y c_v = 3.1156 kJ/kg K [**Tabla A-2**]

$ec \approx 0$ y $ep \approx 0$ $\qquad$ $W = W_{exp}$ y $Q = 0$

Ejemplo IX - Inflar un globo - 2

Balance de masa,

$$m_{entra} - m_{sale} = \Delta m_{sistema} \quad \longrightarrow \quad m_{entra} = m_{final} - m_{inicial}$$

Balance de energía,

$$\Delta E_{sistema} = E_{entra} - E_{sale}$$

$$W_{exp} + m_{final}\, u_{final} - m_{inicial}\, u_{inicial} = m_{entra}\, h_{entra}$$

$$m_{inicial} = \frac{P_{inicial}\, V_{inicial}}{R_{He}\, T_{inicial}} = 10.61^{o}C \qquad V_{final} = \frac{P_{final}}{P_{inicial}}\, V_{inicial} = 97.5 \text{ m}^3$$

$$m_{final} = \frac{P_{final}\, V_{final}}{R_{He}\, T_{final}} = \frac{7041.74}{T_{final}} \text{kg}$$

$$m_{entra} = \frac{7041.74}{T_{final}} - 10.61 \text{ kg}$$

Ejemplo IX - Inflar un globo - 3

El trabajo de expansión hecho por el Helio es

$$W_{exp} = \left(\frac{P_{final} + P_{inicial}}{2} \right) (V_{final} - V_{inicial}) = 4062{,}5kJ$$

Del balance de energía teníamos

$$W_{exp} = m_{entra}\, c_p\, T_{entrada} - m_{final}\, c_v\, T_{final} + m_{inicial}\, c_v\, T_{inicial}$$

Sustituyendo y resolviendo,

$$T_{final} = 333.\text{k K}$$

Resumen

Procesos de flujo estacionario

$$\Delta m_{vc} = 0 \qquad \Delta E_{vc} = 0$$

$$\sum_{entradas} \dot{m} = \sum_{salidas} \dot{m} \qquad \dot{E}_{entradas} = \dot{E}_{salidas}$$

$$\dot{Q}_{neto} - \dot{W}_{neto} = \sum_{salidas} \dot{m}\,\theta - \sum_{entradas} \dot{m}\,\theta$$

Procesos de flujo uniforme

$$\Delta m_{vc} = m_{entra} - m_{sale} \qquad \Delta E_{vc} = E_{entra} - E_{sale}$$

Si las variaciones de *ec* y *ep* son despreciables,

$$Q_{neto} - W_{neto} = \sum_{salidas} m\,\theta - \sum_{entradas} m\,\theta + [m_{final}\,u_{final} - m_{inicial}\,u_{inicial}]_{vc}$$