Primeira Lei da Termodinâmica para Volumes de Controle

PME3398

Prof. Antonio Luiz Pacífico

1° Semestre de 2019

Conteúdo da Aula

Teorema do Transporte de Reynolds

O **Teorema do Transporte de Reynolds** (TTR) estabelece que a variação de qualquer propriedade extensiva arbitrária, N, de um sistema pode ser relacionada (calculada) às variações dessa propriedade associada a um volume de controle. Matematicamente é escrito como:

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_{sistema} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{VC} \eta.\rho.dV + \int_{SC} \eta.\rho.\vec{V} \bullet d\vec{A}$$

onde η é a propriedade intensiva associada à propriedade extensiva N.

Interpretando cada termo do TTR, teremos:

Teorema do Transporte de Reynolds

- ▷ $(dN/dt)_{sistema}$ é a taxa de variação total de qualquer propriedade extensiva arbitrária do sistema.
- ▷ $\partial\left(\int_{VC}\eta.\rho.dV\right)/\partial t$ é a taxa de variação da propriedade extensiva arbitrária, N, *dentro do VC*. A parcela $\rho.dV$ dá a massa de um elemento diferencial contido no VC. A parcela $\int_{VC}\eta.\rho.dV$ é a quantidade total da propriedade extensiva, N, no VC.
- ▷ $\int_{SC}\eta.\rho.\vec{V}\bullet d\vec{A}$ é a taxa líquida da propriedade extensiva, N, através da SC. A parcela $\rho.\vec{V}\bullet d\vec{A}$ é a taxa de massa (vazão mássica) através do elemento de área $d\vec{A}$. A parcela $\eta.\rho.\vec{V}\bullet d\vec{A}$ é a taxa da propriedade extensiva, N, através da área $d\vec{A}$.
- ▷ $\vec{V}$ é medida em relação à SC do VC.

Conservação da Massa

Aplicando o TTR com $N = m \Rightarrow \eta = 1$:

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{sistema} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{VC} \rho . dV + \int_{SC} \rho . \vec{V} \bullet d\vec{A}$$

A massa de um sistema permanece constante sempre, então $(dm/dt)_{sistema} = 0$.

O primeiro termo do lado direto representa a variação no tempo (taxa) da massa dentro do VC: $(dm/dt)_{VC} = dm_{VC}/dt$

O segundo termo representa a soma de todas os fluxos através da SC. Estes podem ser subdivididos em entradas (subscrito *e*) e saídas (subscrito *s*).

Conservação da Massa

$$\int_{SC} \rho.\vec{V} \bullet d\vec{A} = \sum_{i=0}^{n_e} \rho_i.|\vec{V}_i|.|\vec{A}_i|.\cos\alpha_i + \sum_{j=0}^{n_s} \rho_j.|\vec{V}_j|.|\vec{A}_j|.\cos\alpha_j$$

onde n é o número de entradas (n_e) ou saídas (n_s); e α é o ângulo entre os vetores velocidade e área. Tomando sempre o cuidado de traçar superfícies de controle que sejam ortogonais às seções de entradas e saídas, então, $\cos\alpha = \pm 1$, sendo positivo para saídas e negatico para entradas. Deste modo, a equação da conservação da massa fica:

$$\frac{dm_{VC}}{dt} = \sum_{i=0}^{n_e} \rho_i.|\vec{V}_i|.|\vec{A}_i| - \sum_{j=0}^{n_s} \rho_j.|\vec{V}_j|.|\vec{A}_j|$$

Conservação da Massa

Lembrando que a vazão mássica, $\dot{m}$, é dada por $\dot{m} = \rho.|\vec{V}|.|\vec{A}|$ e deixando de lado o uso do módulo para velocidade e área (esta notação estará sempre implícita a partir deste ponto do curso), chega-se finalmente à:

$$\frac{dm_{VC}}{dt} = \sum_{i=0}^{n_e} \dot{m}_i - \sum_{j=0}^{n_s} \dot{m}_j$$

Para processos em **regime permanente** $dm_{VC}/dt = 0$. Neste caso tanto i como j nos termos dos somatórios acima devem iniciar em 1.

Finalmente, recorda-se aqui que a relação entre vazão mássica, $\dot{m}$, e vazão volumétrica, $\dot{V}$, é dada por $\dot{m} = \rho.\dot{V}$

1^a Lei da Termodinâmica para Volumes de Controle

A equação da energia para Volumes de Controle (VC) é a 1^a Lei da Termodinâmica aplicada para formulação de VC.

$$\text{TTR: } \left(\frac{dN}{dt}\right)_{sistema} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{VC} \eta.\rho.dV + \int_{SC} \eta.\rho.\vec{V} \bullet d\vec{A}$$

sendo $N = E$ a energia total do sistema; $\eta = e$ a energia total específica, tal que:

$$E = U + E_C + E_P \therefore e = u + e_C + e_p = u + \frac{v^2}{2} + g.z$$

1^a Lei da Termodinâmica para Volumes de Controle

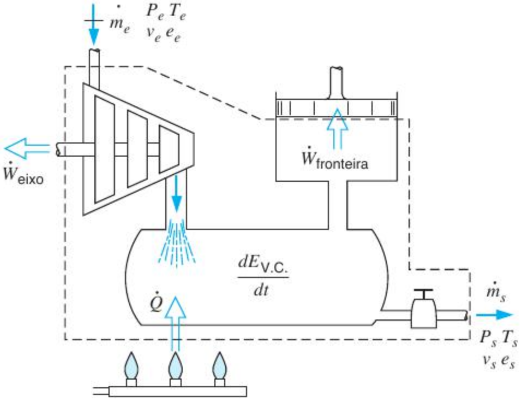


Figura: Diagrama esquemático. Principais termos envolvidos num VC.

1^a Lei da Termodinâmica para Volumes de Controle

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_{sistema} = \left(\frac{dE}{dt}\right)_{sistema} = \dot{Q}_{sistema} - \dot{W}_{sistema}$$

$$\dot{Q}_{sistema} - \dot{W}_{sistema} = \frac{d}{dt}\int_{VC} e.\rho.dV + \int_{SC} e.\rho.\vec{V} \bullet d\vec{A}$$

$$\dot{Q}_{sistema} = \frac{d}{dt}\int_{VC} e.\rho.dV + \int_{SC} e.\rho.\vec{V} \bullet d\vec{A} + \dot{W}_{sistema}$$

Quando sistema e VC coincidem (hipótese para uso do TTR), $\dot{Q}_{sistema} = \dot{Q}_{VC}$, mas $\dot{W}_{sistema} = \dot{W}_p + \dot{W}_\tau + \dot{W}_o$

1ª Lei da Termodinâmica para Volumes de Controle

$$\dot{W}_p = \dot{W}_{pressão} \text{ ou } \dot{W}_{fluxo} = -\int_{SC} \sigma_n . \vec{V} \bullet d\vec{A} \text{ ; com } \sigma_n = -p$$

$\dot{W}_p$ é a soma de todos os trabalhos que atuam no VC devido à pressão. Como todo trabalho está associado ao movimento de uma fronteira, esta parcela de trabalho diz respeito somente ao trabalho dos fluxos de entrada e saída do VC.

$$\dot{W}_p = \sum_{j=0}^{n_s} p_j . V_j . A_j - \sum_{i=0}^{n_e} p_i . V_i . A_i$$

$$\dot{m} = \rho . V . A \Rightarrow V . A = \frac{\dot{m}}{\rho} = \dot{m} . v$$

$$\dot{W}_p = \sum_{j=0}^{n_s} p_j . v_j . \dot{m}_j - \sum_{i=0}^{n_e} p_i . v_i . \dot{m}_i$$

1^a Lei da Termodinâmica para Volumes de Controle

$$\dot{W}_\tau = \dot{W}_{tensão\ de\ cisalhamento} \approx 0$$

$$\dot{W}_o = \dot{W}_{outros} = \dot{W}_{eixos\ de\ máquinas}$$

Substituindo as expressões para $\dot{Q}_{sistema}$, $\dot{W}_p$, $\dot{W}_\tau$, $\dot{W}_o$ na equação da energia:

$$\dot{Q}_{VC} = \frac{d}{dt}\int_{VC} e.\rho.dV + \int_{SC} e.\rho.\vec{V} \bullet d\vec{A} + \sum_{j=0}^{n_s} p_j.v_j.\dot{m}_j - \sum_{i=0}^{n_e} p_i.v_i.\dot{m}_i + \dot{W}_o$$

1ª Lei da Termodinâmica para Volumes de Controle

$$\int_{SC} e.\rho.\vec{V} \bullet d\vec{A} = \sum_{j=0}^{n_s} \left(u_j + \frac{V_j^2}{2} + g.z_j \right) \cdot \dot{m}_j - \sum_{i=0}^{n_e} \left(u_i + \frac{V_i^2}{2} + g.z_i \right) \cdot \dot{m}_i$$

Atenção:

$$\sum_{j=0}^{n_s} \left(u_j + \frac{V_j^2}{2} + g.z_j \right) \cdot \dot{m}_j - \sum_{i=0}^{n_e} \left(u_i + \frac{V_i^2}{2} + g.z_i \right) \cdot \dot{m}_i + \sum_{j=0}^{n_s} p_j.v_j.\dot{m}_j - \sum_{i=0}^{n_e} p_i.v_i.\dot{m}_i =$$

$$\sum_{j=0}^{n_s} \left(h_j + \frac{V_j^2}{2} + g.z_j \right) \cdot \dot{m}_j - \sum_{i=0}^{n_e} \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g.z_i \right) \cdot \dot{m}_i$$

1^a Lei da Termodinâmica para Volumes de Controle

Assim, chegamos à formulação genérica da 1^a Lei da Termodinâmica para VC:

$$\dot{Q}_{VC} = \frac{d}{dt}\int_{VC} e.\rho.dV + \sum_{j=0}^{n_s}\left(h_j + \frac{V_j^2}{2} + g.z_j\right)\cdot \dot{m}_j - \sum_{i=0}^{n_e}\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g.z_i\right)\cdot \dot{m}_i + \dot{W}_o$$

1^a Lei da Termodinâmica para Volumes de Controle

Define-se entalpia total, h_{tot}, como:

$$h_{tot} = h + \frac{V^2}{2} + g.z$$

e entalpia de estagnação, h_{stag}, como:

$$h_{stag} = h + \frac{V^2}{2}$$

Assim, $h_{tot} = h_{stag} + g.z$. Portanto:

$$\dot{Q}_{VC} = \frac{d}{dt}\int_{VC} e.\rho.dV + \sum_{j=0}^{n_s} h_{tot,j}.\dot{m}_j - \sum_{i=0}^{n_e} h_{tot,i}.\dot{m}_i + \dot{W}_o$$

Processo em Regime Permanente

Para estabelecimento de um processo em regime permanente, as principais hipóteses são:

1. O VC não se move em relação ao sistema de coordenadas (inercial);
2. O estado da substância, em cada ponto do VC, não varia com o tempo. O fluxo de massa e o estado dessa massa em cada área discreta de escoamento na superfície de controle não varia com o tempo;
3. As taxas com as quais o calor e o trabalho cruzam a SC permanecem constantes.

Processo em Regime Permanente

Se o VC não se move relativamente ao sistema de coordenadas, todas as velocidades medidas em relação àquele sistema são também velocidades relativas à SC e não há trabalho associado com a aceleração do volume de controle.

Se o estado da massa em cada ponto do VC não varia ao longo do tempo, temos:

$$\frac{dm_{VC}}{dt} = 0 \text{ ; e } \frac{d}{dt}\int_{VC} e.\rho.dV = \frac{dE_{VC}}{dt} = 0$$

Processo em Regime Permanente: Resumo

Como conclusão final, as equações de conservação da massa e energia ficam da seguinte forma:

$$\text{Massa: } \sum_{i=1}^{n_e} \dot{m}_i = \sum_{j=1}^{n_s} \dot{m}_j$$

$$\text{Energia: } \dot{Q}_{VC} + \sum_{i=1}^{n_e} \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g.z_i \right) \cdot \dot{m}_i = \sum_{j=1}^{n_s} \left(h_j + \frac{V_j^2}{2} + g.z_j \right) \cdot \dot{m}_j + \dot{W}_o$$

Energia por unidade de massa (para uma entrada, estado 1, e uma saída, estado 2):

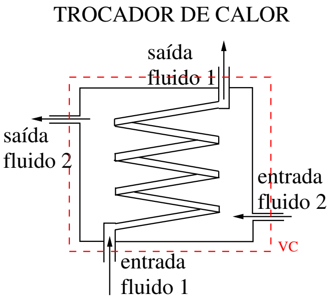
$${}_1q_2 + h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g.z_1 = h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g.z_2 + {}_1w_2$$

Processo em Regime Permanente

A hipótese de que as várias vazões, estados e taxas, com as quais calor e trabalho atravessam a SC, permanecem constantes, requer que cada quantidade presente nas equações de conservação seja constante com o tempo.

O processo em regime permamente é muito utilizado em máquinas de fluxo e trocadores de calor. A seguir são apresentados os equipamentos mais comuns nos quais se empregam esta formulação.

Processo em Regime Permanente: Trocadores de Calor



Geralmente são tratados como VC's isolados $\Rightarrow \dot{Q}_{VC} = 0$. Além disso, $\Delta E_C = \Delta E_P \approx 0$ e $\dot{W}_o = 0$:

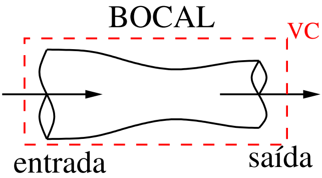
Conservação da massa:

$$\dot{m}_{1,e} = \dot{m}_{1,s} \; ; \; \dot{m}_{2,e} = \dot{m}_{2,s}$$

Conservação da Energia:

$$\dot{m}_{1,e}.h_{1,e} + \dot{m}_{2,e}.h_{2,e} = \dot{m}_{1,s}.h_{1,s} + \dot{m}_{2,s}.h_{2,s}$$

Processo em Regime Permanente: Bocais



Geralmente são tratados como VC's isolados $\Rightarrow \dot{Q}_{VC} = 0$. Além disso, $\Delta E_P \approx 0$ e $\dot{W}_o = 0$:

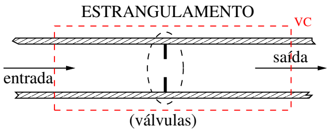
Conservação da massa:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

Conservação da Energia:

$$h_e + \frac{V_e^2}{2} = h_s + \frac{V_s^2}{2}$$

Processo em Regime Permanente: Estrangulamentos



Geralmente são tratados como VC's isolados $\Rightarrow \dot{Q}_{VC} = 0$. Além disso, $\Delta E_C = \Delta E_P \approx 0$ e $\dot{W}_o = 0$:

Conservação da massa:

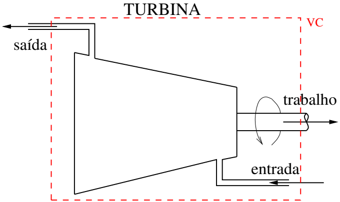
$$\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

Conservação da Energia:

$$h_e = h_s \text{ : processo isoentálpico}$$

Principal aplicação: válvulas.

Processo em Regime Permanente: Turbinas



Geralmente são tratados como VC's isolados $\Rightarrow \dot{Q}_{VC} = 0$. Além disso, $\Delta E_P \approx 0$:

Conservação da massa:

$$\dot{m}_e = \sum_{j=1}^{n_s} \dot{m}_j \text{ ; geralmente: } \dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

Conservação da Energia:

$$\left(h_e + \frac{V_e^2}{2}\right) \cdot \dot{m}_e = \sum_{j=1}^{n_s} \left(h_j + \frac{V_j^2}{2}\right) \cdot \dot{m}_j + \dot{W}_o$$

Processo em Regime Permanente: Turbinas

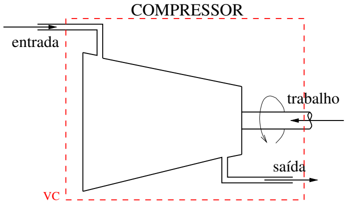
Para turbinas hidráulicas: $\dot{Q}_{VC} = 0$, $\Delta u \approx 0$ e a variação de energia potencial passa a ser importante ($\Delta E_P \neq 0$). Como $h = u + p.v$, segue-se que a conservação da energia fica (para uma entrada e uma saída):

$$\left(p_e.v_e + \frac{V_e^2}{2} + g.z_e\right) \cdot \dot{m} = \left(p_s.v_s + \frac{V_s^2}{2} + g.z_s\right) \cdot \dot{m} + \dot{W}_o$$

Para líquidos pode-se adotar que $v_e \cong v_s = v$ (fluido incompressível), logo:

$$\left(\frac{V_e^2}{2} + g.z_e\right) \cdot \dot{m} = v.\dot{m}.(p_s - p_e) + \left(\frac{V_s^2}{2} + g.z_s\right) \cdot \dot{m} + \dot{W}_o$$

Processo em Regime Permanente: Compressores



Geralmente são tratados como VC's isolados $\Rightarrow \dot{Q}_{VC} = 0$. Além disso, $\Delta E_C = \Delta E_P \approx 0$:

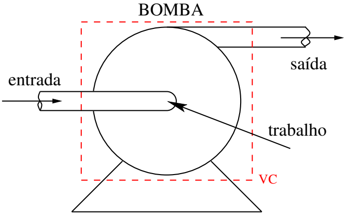
Conservação da massa:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

Conservação da Energia:

$$\dot{m}.h_e = \dot{m}.h_s + \dot{W}_o$$

Processo em Regime Permanente: Bombas



Geralmente são tratados como VC's isolados $\Rightarrow \dot{Q}_{VC} = 0$. Além disso, $\Delta E_C = \Delta E_P = \Delta u \approx 0$:

Conservação da massa:

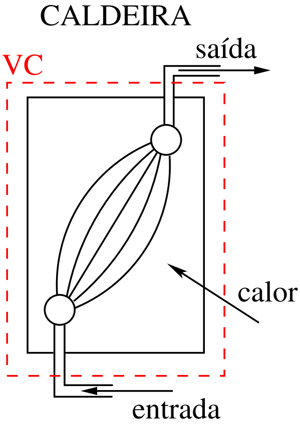
$$\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

Conservação da Energia:

$$0 = v.\dot{m}.(p_s - p_e) + \dot{W}_o$$

(dedução a partir da equação da energia para turbinas hidráulicas)

Processo em Regime Permanente: Caldeiras



$\dot{W}_o = 0$; $\Delta E_C = \Delta E_P \approx 0$:

Conservação da massa:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

Conservação da Energia:

$$\dot{Q}_{VC} + \dot{m}.h_e = \dot{m}.h_s$$

Processo em Regime Permanente: Exemplos de Ciclos

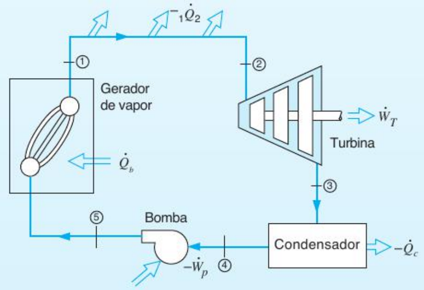


Figura: Ciclo de potência a vapor

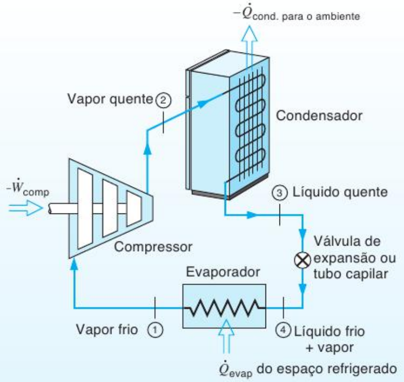


Figura: Ciclo de Refrigeração

Processo em Regime Transitório

Hipóteses:

1. O VC permanece fixo em relação ao sistema de coordenadas;
2. O estado da massa contida no VC pode variar com o tempo. Porém, em qualquer instante, o estado é uniforme em todo o VC;
3. O estado da massa que atravessa cada uma das áreas de fluxo na SC é constante com o tempo, embora as vazões possam variar com o tempo.

O processo em regime transiente que obedece as hipóteses acima listadas também é conhecido como **processo em regime uniforme**.

Processo em Regime Transitório: Conservação da Massa

A equação da conservação da massa, forma geral, é:

$$\frac{dm_{VC}}{dt} = \sum_{i=0}^{n_e} \dot{m}_i - \sum_{j=0}^{n_s} \dot{m}_j$$

Considere um processo que ocorra num período de tempo onde $t_{inicial} = t_1 = 0$ e $t_{final} = t_2 = t$. Integrando a equação diferencial acima neste período, obtém-se:

$$\int_0^t \left(\frac{dm_{VC}}{dt}\right).dt = \int_0^t \left(\sum_{i=0}^{n_e} \dot{m}_i\right).dt - \int_0^t \left(\sum_{j=0}^{n_s} \dot{m}_j\right).dt$$

$$(m_2 - m_1)_{VC} = \sum_{i=0}^{n_e} m_i - \sum_{j=0}^{n_s} m_j$$

Processo em Regime Transitório: Conservação da Energia

Tomando a equação da conservação da energia (1^a Lei da Termodinâmica para VC) na forma geral:

$$\dot{Q}_{VC} = \frac{d}{dt}\int_{VC} e.\rho.dV + \sum_{j=0}^{n_s}\left(h_j + \frac{V_j^2}{2} + g.z_j\right)\cdot \dot{m}_j - \sum_{i=0}^{n_e}\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g.z_i\right)\cdot \dot{m}_i + \dot{W}_o$$

onde,

$$\frac{d}{dt}\int_{VC} e.\rho.dV = \frac{dE_{VC}}{dt} = \frac{d}{dt}\left[m\cdot\left(u + \frac{V^2}{2} + g.z\right)\right]_{VC}$$

assim,

Processo em Regime Transitório: Conservação da Energia

$$\dot{Q}_{VC} = \frac{d}{dt}\left[m\cdot\left(u+\frac{V^2}{2}+g.z\right)\right]_{VC} +$$

$$\sum_{j=0}^{n_s}\left(h_j+\frac{V_j^2}{2}+g.z_j\right)\cdot\dot{m}_j-\sum_{i=0}^{n_e}\left(h_i+\frac{V_i^2}{2}+g.z_i\right)\cdot\dot{m}_i+\dot{W}_o$$

Integrando cada termo da equação acima no período de tempo: $t_{inicial} = t_1 = 0$ e $t_{final} = t_2 = t$, temos,

$$\int_0^t \dot{Q}_{VC}.dt = Q_{VC}$$

Processo em Regime Transitório: Conservação da Energia

$$\int_0^t \left\{ \frac{d}{dt}\left[m\cdot\left(u+\frac{V^2}{2}+g.z\right)\right]_{VC}\right\}\cdot dt =$$

$$\left[m_2\cdot\left(u_2+\frac{V_2^2}{2}+g.z_2\right)-m_1\cdot\left(u_1+\frac{V_1^2}{2}+g.z_1\right)\right]_{VC}$$

$$\int_0^t \left[\sum_{j=0}^{n_s}\left(h_j+\frac{V_j^2}{2}+g.z_j\right)\cdot\dot{m}_j\right]\cdot dt = \sum_{j=0}^{n_s}\left(h_j+\frac{V_j^2}{2}+g.z_j\right)\cdot m_j$$

$$\int_0^t \left[\sum_{i=0}^{n_e}\left(h_i+\frac{V_i^2}{2}+g.z_i\right)\cdot\dot{m}_i\right]\cdot dt = \sum_{i=0}^{n_e}\left(h_i+\frac{V_i^2}{2}+g.z_i\right)\cdot m_i$$

Processo em Regime Transitório: Conservação da Energia

$$\int_0^t \dot{W}_o.dt = W_o$$

Assim, a 1^a Lei da Termodinâmica para VC em regime transitório (uniforme), fica com a seguinte forma final:

$$Q_{VC} = \left[m_2 \cdot \left(u_2 + \frac{V_2^2}{2} + g.z_2 \right) - m_1 \cdot \left(u_1 + \frac{V_1^2}{2} + g.z_1 \right) \right]_{VC} + \sum_{j=0}^{n_s} \left(h_j + \frac{V_j^2}{2} + g.z_j \right) \cdot m_j - \sum_{i=0}^{n_e} \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g.z_i \right) \cdot m_i + W_o$$

Processo em Regime Transitório: Resumo

Conservação da massa:

$$(m_2 - m_1)_{VC} = \sum_{i=0}^{n_e} m_i - \sum_{j=0}^{n_s} m_j$$

Conservação da energia:

$$Q_{VC} = \left[m_2 \cdot \left(u_2 + \frac{V_2^2}{2} + g.z_2 \right) - m_1 \cdot \left(u_1 + \frac{V_1^2}{2} + g.z_1 \right) \right]_{VC} + \sum_{j=0}^{n_s} \left(h_j + \frac{V_j^2}{2} + g.z_j \right) \cdot m_j - \sum_{i=0}^{n_e} \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g.z_i \right) \cdot m_i + W_o$$

Exercício de Aula 1

Enunciado: R-134a entra em uma válvula a 800 kPa e 30 °C. A pressão medida a jusante da válvula é 60 kPa. Estime a energia interna do fluido a jusante da válvula.

Exercício de Aula 2

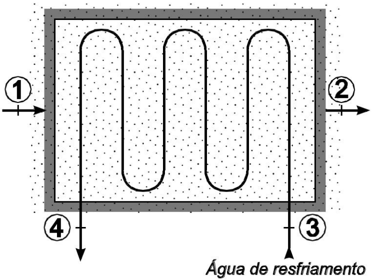
Enunciado: Vapor superaquecido entra em uma turbina isolada a 4000 kPa e 500 °C e sai a 20 kPa com $x = 0,9$. Se a vazão mássica for 6 kg/s, determine $\dot{W}$ e a velocidade média na saída, cujo duto tem diâmetro igual a 800 mm.

Exercício de Aula 3

Enunciado: Um difusor isolado é alimentado com um escoamento de ar que apresenta velocidade de 200 m/s, $T = 300$ K e $p = 100$ kPa. As áreas das seções transversais de alimentação e descarga são, respectivamente, iguais a 100 e 860 mm^2. Sabendo que o ar deixa o difusor com uma velocidade de 20 m/s, determine a pressão e a temperatura do ar na seção de descarga do equipamento.

Exercício de Aula 4

Enunciado: A figura mostra um trocador de calor que é alimentado com 1 kg/s de água a 300 °C e 10 kPa e descarrega líquido saturado a 10 kPa. O fluido de resfriamento é água obtida num lago a 20 °C e que retorna ao mesmo a 30 °C. Sabendo que a superfície externa do condensador é isolada, calcule a vazão da água de resfriamento.



Exercício de Aula 5

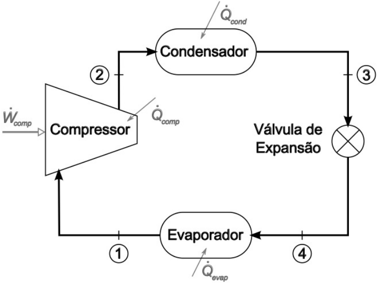
Enunciado: O sistema de refrigeração mostrado na figura utiliza R-134a como fluido de trabalho. A vazão em massa de refrigerante no ciclo é 0,1 kg/s e a potência consumida no compressor 5 kW. As características operacionais do ciclo são: $p_1 = 100$ kPa; $T_1 = -20$ °C; $p_2 = 800$ kPa; $T_2 = 50$ °C; $T_3 = 30$ °C; $x_3 = 0$; e $T_4 = -25$ °C. Determine:

a) o calor transferido ao compressor;

b) o calor transferido ao condensador;

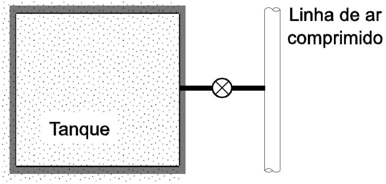
c) o calor transferido ao evaporador;

d) o título na seção 4.



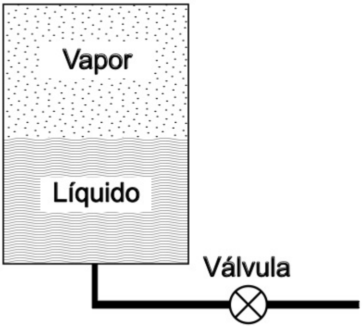
Exercício de Aula 6

Enunciado: Ar a 800 kPa e 20 °C escoa numa tubulação principal e pode alimentar um tanque isolado através de uma tubulação secundária com válvula. O volume do tanque é igual a 25 L e inicialmente está evacuado. A válvula é, então, aberta e o ar escoa para o tanque. Determine a temperatura e a massa finais no tanque se a válvula é deixada aberta.



Exercício de Aula 7

Enunciado: A figura mostra um tanque rígido com volume de 750 L que contém, inicialmente, água saturada a 250 °C. O volume inicial de líquido é 50% do total. Uma válvula colocada no fundo do tanque é aberta e o líquido é retirado vagarosamente. Durante esse processo, calor é transferido, de modo que a temperatura interna permanece constante. Calcule a quantidade de calor transferido até o instante em que metade da massa inicial foi retirada.



Exercício de Aula 8

Enunciado: O conjunto cilindro-pistão mostrado na figura inicialmente apresenta volume de câmara igual a 0,25 m^3 e contém neônio a 300 kPa e 17 °C. O volume da câmara, quando o pistão está encostado nos esbarros, é igual a 1 m^3. A pressão e a temperatura do neônio na linha de gás comprimido são respectivamente iguais a 500 kPa e 600 K. A válvula é, então, aberta e mantida nesta posição até que a pressão do neônio na câmara atinja 400 kPa. Neste estado, a temperatura do gás na câmara é 350 K. Determine o aumento da massa de neônio na câmara, o trabalho realizado e a transferência de calor no processo.