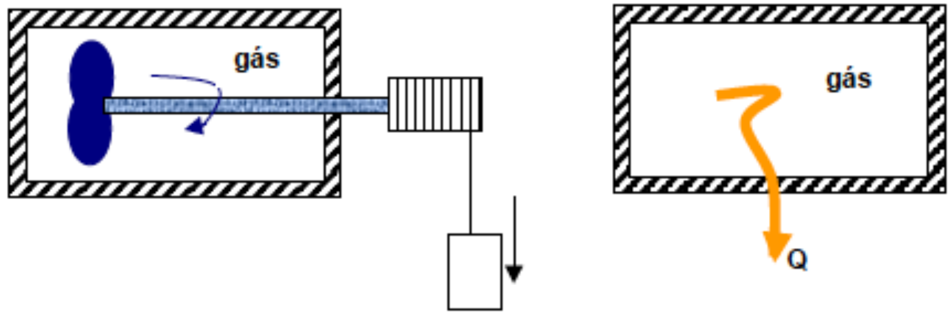
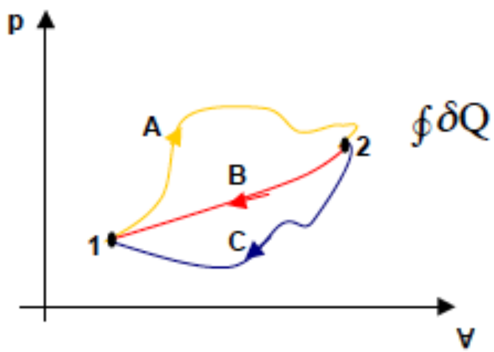
PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

a) Primeira Lei para um Sistema percorrendo um ciclo



$$\oint \delta Q = \oint \delta W$$

b) Primeira Lei para Mudança de Estado de um Sistema



$$\oint \delta Q = \oint \delta W$$

$$\int_{1A}^{2A} \delta Q + \int_{2B}^{1B} \delta Q = \int_{1A}^{2A} \delta W + \int_{2B}^{1B} \delta W$$

$$\int_{1A}^{2A} \delta Q + \int_{2C}^{1C} \delta Q = \int_{1A}^{2A} \delta W + \int_{2C}^{1C} \delta W$$

$$\int_{2B}^{1B} \delta Q - \int_{2C}^{1C} \delta Q = \int_{2B}^{1B} \delta W - \int_{2C}^{1C} \delta W \quad \Rightarrow \quad \int_{2B}^{1B} (\delta Q - \delta W) =$$

$$= \int_{2C}^{1C} (\delta Q - \delta W)$$

$\therefore (\delta Q - \delta W)$ **independe do caminho**

função de ponto

$$\delta Q - \delta W = dE$$

$$\delta Q = dE + \delta W$$

$${}_1Q_2 = E_2 - E_1 + {}_1W_2$$

$E =$ *energia total do sistema*

$$\mathbf{E = E_c + E_p + U}$$

energia interna (estado termodinâmico do sistema

1ª Lei:

$$\delta Q = dE_c + dE_p + dU + \delta W$$

c) Energia Interna = Propriedade Termodinâmica

U = propriedade extensiva

$u = \dfrac{U}{m} =$ propriedade intensiva

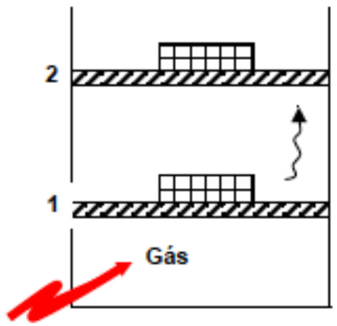
S.P.S.C $\rightarrow$ **u pode ser considerada uma das propriedades independentes para definir um estado termodinâmico**

<u>**Na saturação**</u>**:**

$$u = u_\ell + x(u_V - u_\ell)$$
$$u = u_\ell + x u_{lV}$$

d) **Entalpia**

J. Gibbs (séc. 19)



Processo Quase-estático isobárico

$$ {}_1Q_2 = \Delta E + {}_1W_2 $$

$$ {}_1Q_2 = \Delta E + \int_1^2 p\,d\forall $$

Fazendo $\Delta E = U_2 - U_1$, isto é, $\Delta E_p = \Delta E_c = 0$

$$ {}_1Q_2 = U_2 - U_1 + p\left(\forall_2 - \forall_1\right) $$

$$ {}_1Q_2 = U_2 - U_1 + p\forall_2 - p\forall_1 $$

$$ {}_1Q_2 = \left(U_2 + p_2\forall_2\right) - \left(U_1 + p_1\forall_1\right) $$

$H = U + p\forall$ **entalpia (propriedade termodinâmica)**

$$ {}_1Q_2 = H_2 - H_1 \left(processo\ quase\ estático\ e\ p = cte\right) $$

Na região de saturação

$$h = h_\ell + x h_{\ell v}$$

com

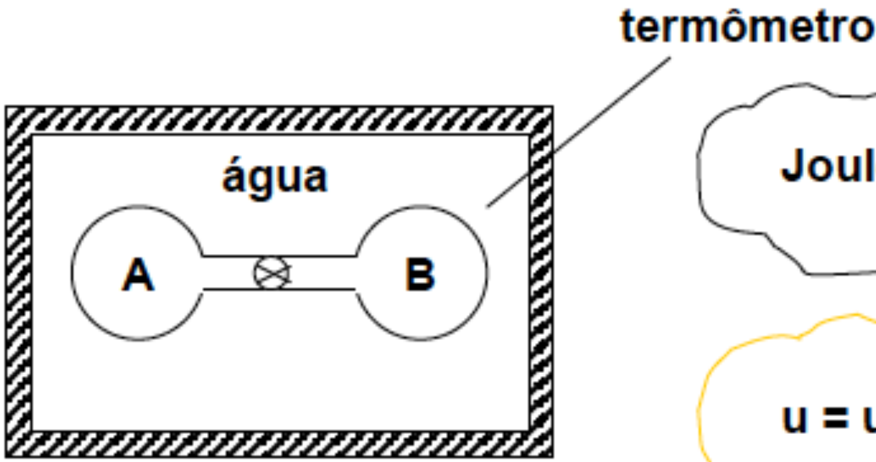
$$h_{\ell v} = h_v - h_\ell$$

e)Calores Específicos(uma fase e composição fixa)

$$C_p \equiv calor \;\; específico \;\; à \; pressão \;\; cte$$

$$C_v \equiv calor \;\; específico \;\; a \;\; volume \;\; cte$$

$$\begin{array}{l} C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v \\ \\ C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \delta Q = du + \delta W \\ \delta Q = du + p d\forall \\ c_v = \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{\delta T}\right)_v = \frac{1}{m}\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v \\ c_p = \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{\delta T}\right)_p = \frac{1}{m}\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p \end{array} \right.$$



Joule 1843

$u = u(T)$

Relação entre C_{po} e C_{vo}

$$h = u + pv = u + RT$$

$$dh = du + RdT$$

$$C_{po}dT = C_{vo}dT + RdT$$

$$C_{po} - C_{vo} = R$$

C_p/C_v para Substância Incompressível

$$c_v = f(T) = \frac{du}{dt}$$

Como $h(T,p) = u(T) + p v$

$$dh = du + p\,\cancel{dv}^{\,0} + v\,dp$$

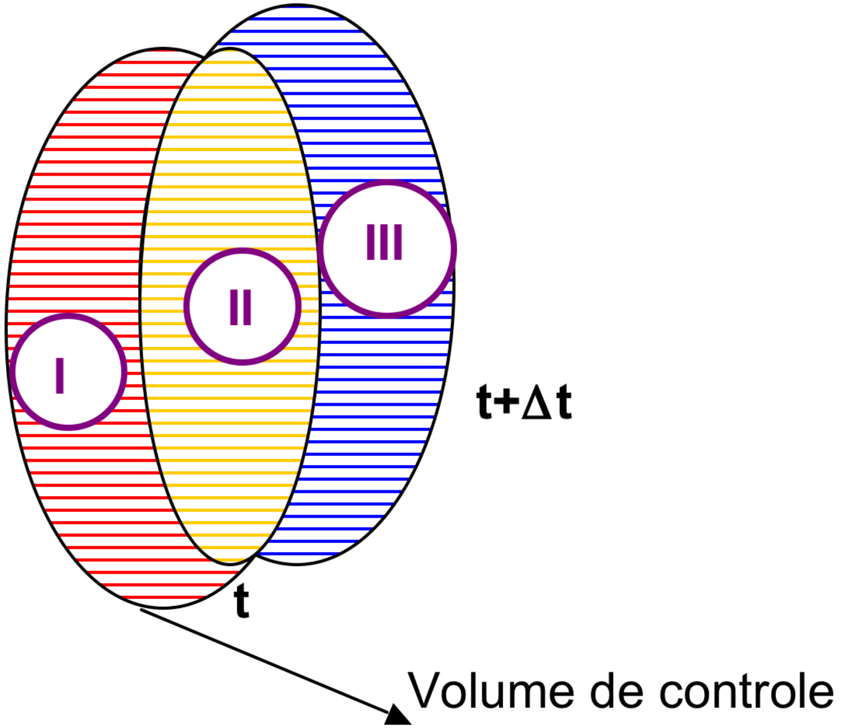
$$\left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p = c_p = c_v = c$$

Assim:

$$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} c\,dT + v(p_2 - p_1)$$

Teorema do Transporte de Reynolds (relação entre sistema e V.C.)

seja $\eta = \dfrac{N}{m} \quad \rightarrow \quad N = \int_{\forall} \eta \rho \, d\forall$



$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_{Sist.} = \lim_{\Delta t \to 0}\left[\frac{\left(\int_{\forall\, III}\eta\rho\, d\forall + \int_{\forall\, II}\eta\rho\, d\forall\right)_{t+\Delta t} - \left(\int_{\forall\, I}\eta\rho\, d\forall + \int_{\forall\, II}\eta\rho\, d\forall\right)_{t}}{\Delta t}\right]$$

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_{Sist.} = \lim_{\Delta t \to 0}\left[\frac{\left(\int_{\forall\, II}\eta\rho\, d\forall\right)_{t+\Delta t} - \left(\int_{\forall\, II}\eta\rho\, d\forall\right)_{t}}{\Delta t}\right] +$$

$$+ \lim_{\Delta t \to 0}\left[\frac{\left(\int_{\forall\, III}\eta\rho\, d\forall\right)_{t+\Delta t}}{\Delta t}\right] - \lim_{\Delta t \to 0}\left[\frac{\left(\int_{\forall\, I}\eta\rho\, d\forall\right)_{t}}{\Delta t}\right]$$

$$+\lim_{\Delta t\to 0}\left[\frac{\left(\int_{\forall III}\eta\rho\, d\forall\right)_{t+\Delta t}}{\Delta t}\right] - \lim_{\Delta t\to 0}\left[\frac{\left(\int_{\forall I}\eta\rho\, d\forall\right)_{t}}{\Delta t}\right]$$

A $\rightarrow$ $\dfrac{d}{dt}\displaystyle\int_{\forall .C}\eta\rho\, d\forall$

B $\rightarrow$ $\displaystyle\int_{S.C.S.}\eta\rho\vec{v}.\vec{n}\, dS$ (saída)

C $\rightarrow$ $\displaystyle\int_{S.C.E}\eta\rho\vec{v}.\vec{n}\, dS$ (entrada)

$$\therefore\left(\frac{dN}{dt}\right)_{sist.} = \frac{d}{dt}\int_{\forall .C.}\eta\rho\, d\forall + \int_{S.C.}\eta\rho\vec{v}.\vec{n}\, dS$$

.

$$\frac{dN_{V.C.}}{dt} = \int_{V.C.} \frac{\partial}{\partial t}(\eta\rho)\,dV + \int_{S.C.} \eta\rho\,\vec{v}_f\cdot\vec{n}\,dS$$

velocidade da fronteira

para V.C. I

$$\frac{dN_{V.C.}}{dt} = \int_{V.C.} \frac{\partial}{\partial t}(\eta\rho)\,dV = \frac{\partial}{\partial t}\int_{V.C.} \eta\rho\,dV$$

Sendo $\vec{v}_r = \vec{v} - \vec{v}_f$ velocidade relativa

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_{SIST} = \frac{d}{dt}\int_{V.C.} \eta\rho\,dV + \int_{S.C.} \eta\rho\,\vec{v}_r\cdot\vec{n}\,dS$$

***para N = m ⇒ η = 1   e**

$$\therefore \left(\frac{dm}{dt}\right)_{sist.} = 0 = \frac{d}{dt}\int_{\forall.C.} \rho\, d\forall + \int_{S.C.} \rho \vec{v}.\vec{n}\, dS$$

***para N =E ⇒** $\eta = e = u + gz + \dfrac{v^2}{2}$

$$\dot{Q}_{v.c.} = \frac{d}{dt}\int_{v.c.} e\rho\, d\forall + \int_{s.c.} \left(u + gz + \frac{v^2}{2}\right)\rho \vec{v}.\vec{n}\, dS + \dot{W}$$

$$\dot{W} \rightarrow \dot{W}_{v.c.} \qquad \dot{W} \rightarrow \dot{W}_p$$

$$\dot{W}_p = -\int_{s.c.} \sigma_n \vec{v}_r.\vec{n}\, dS$$ com $\sigma_n = -p$

$$\dot{W}_p = \int_{s.c.} p\left(\vec{v}_r.\vec{n}\, dS\right)$$

$$\dot{Q}_{\text{v.c.}} = \frac{d}{dt}\int_{\text{v.c.}} e\rho d\forall + \int_{s.c.}\left(u + gz + \frac{v^2}{2}\right)\rho\vec{v}_r.\vec{n}dS + \dot{W}_{r.c.} + \int_{s.c.} p\left(\vec{v}_i.\vec{n}dS\right)$$

$$\dot{Q}_{\text{v.c.}} = \frac{d}{dt}\int_{\text{v.c.}} e\rho d\forall + \int_{s.c.}\left[\left(u + gz + \frac{v^2}{2}\right) + pv\right] \rho\vec{v}_r.\vec{n}dS + \dot{W}_{\text{v.c.}}$$

lembrando que $h = u + pv$:

$$\dot{Q}_{v.c.} = \frac{d}{dt}\int_{v.c.} e\rho\, dV + \int_{s.c.}\left(h + gz + \frac{V^2}{2}\right)\rho\vec{V}_r.\vec{n}dS + \dot{W}_{v.c.}$$

Para condições em que as propriedades são uniformes nas seções onde há fluxos:

$$\dot{Q}_{V.c.} = \frac{d}{dt}\int_{V.c.} e\rho d\forall + \sum \dot{m}_s \left(h_s + gz_s + \frac{v_s^2}{2}\right) - \sum \dot{m}_e \left(h_e + gz_e + \frac{v_e^2}{2}\right) + \dot{W}_{V.c.}$$

Processo em Regime Uniforme com Escoamento Uniforme

Hipóteses

- V.C. fixo em relação ao sistema de referência
- estado da massa dentro do V.C. é uniforme para cada "t"
- estado da massa que cruza as S.C. é cte com "t", embora os "$\dot{m}_i$" possam variar com "t".

Balanço de Massa:

$$\frac{d}{dt}\left(m_{v.c.}\right) + \sum \dot{m}_s - \sum \dot{m}_e = 0$$

$$\left(m_2 - m_1\right)_{v.c.} + \sum m_s - \sum m_e = 0$$

1ª Lei:

$$\dot{Q}_{v.c.} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + Z_e g \right) = \frac{d}{dt}\left(E_{v.c.}\right) + \sum \dot{m}_s \left(h_s + \frac{v_s^2}{2} + z_s g \right) + \dot{W}_{v.c.}$$

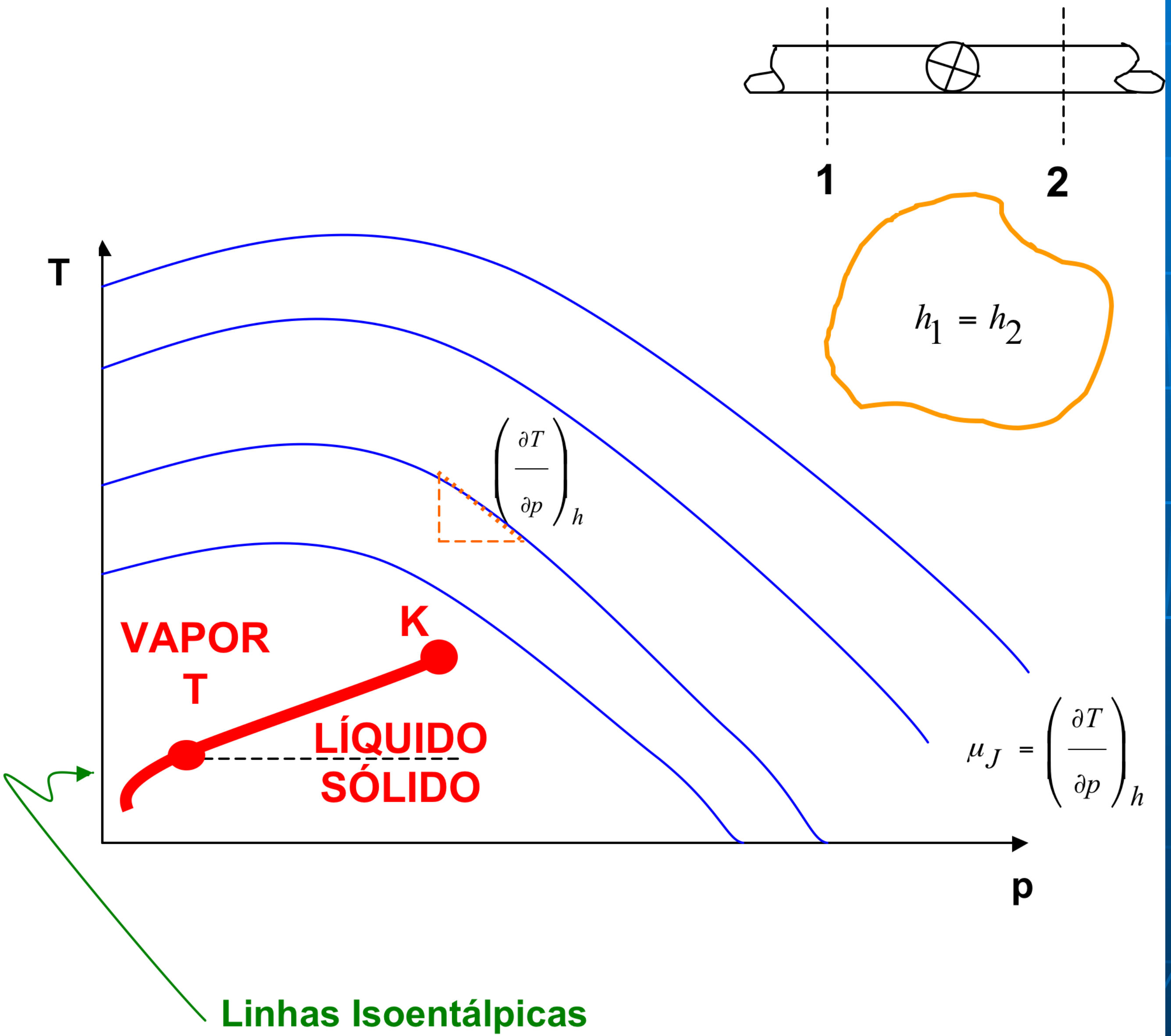
$$\frac{d}{dt} E_{v.c.} = \frac{d}{dt}\left[m\left(u + \frac{v^2}{2} + gz \right)\right]_{v.c.}$$

integrando entre os instantes 1 e 2:

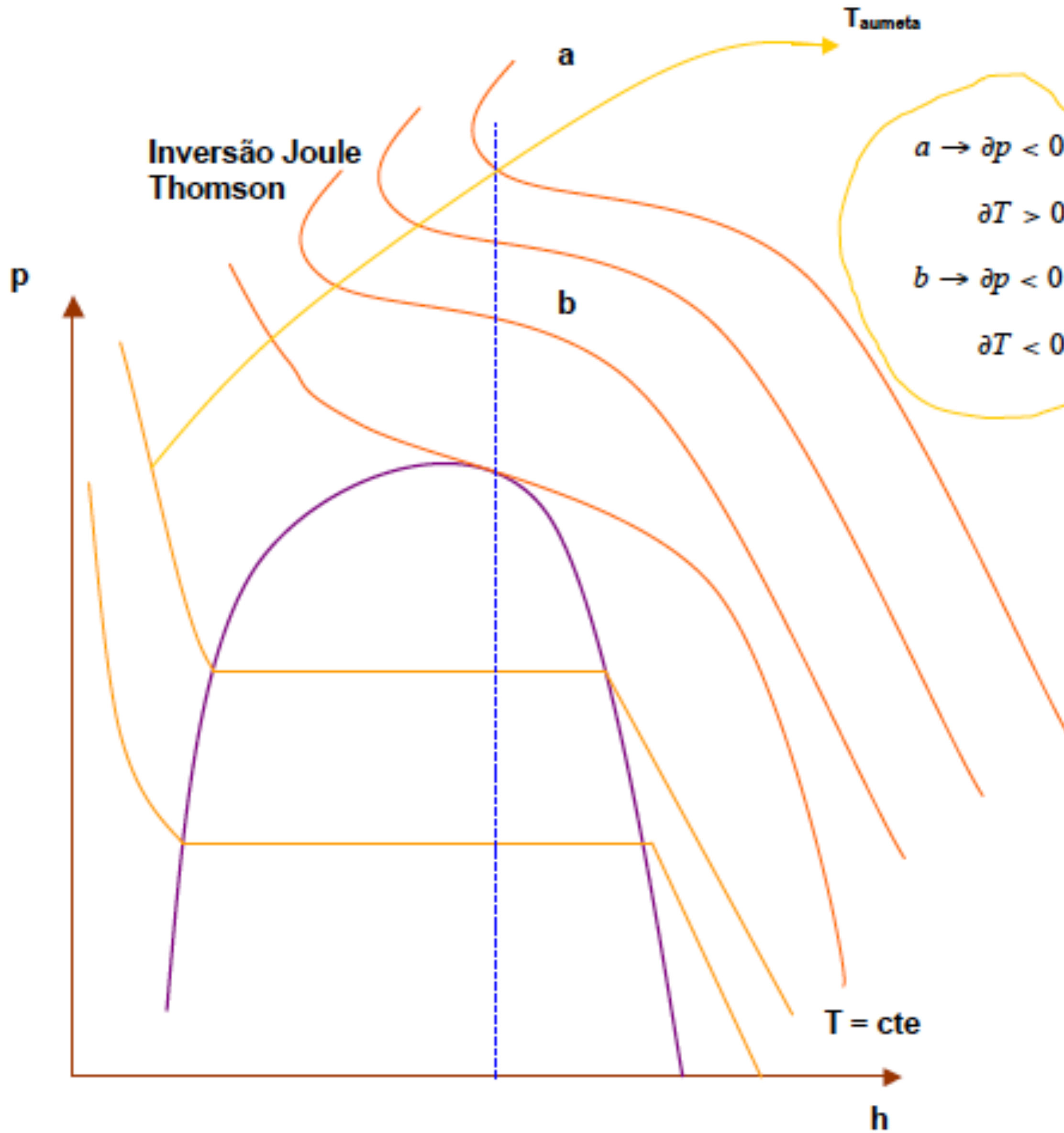
$$Q_{v.c.} = m_2\left(u_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2\right) - m_1\left(u_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1\right) + \sum m_s\left(h_s + \frac{v_s^2}{2} + gz_s\right)$$

$$-\sum m_e\left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e\right) + W_{v.c.}$$

Coeficiente de Joule-Thomson

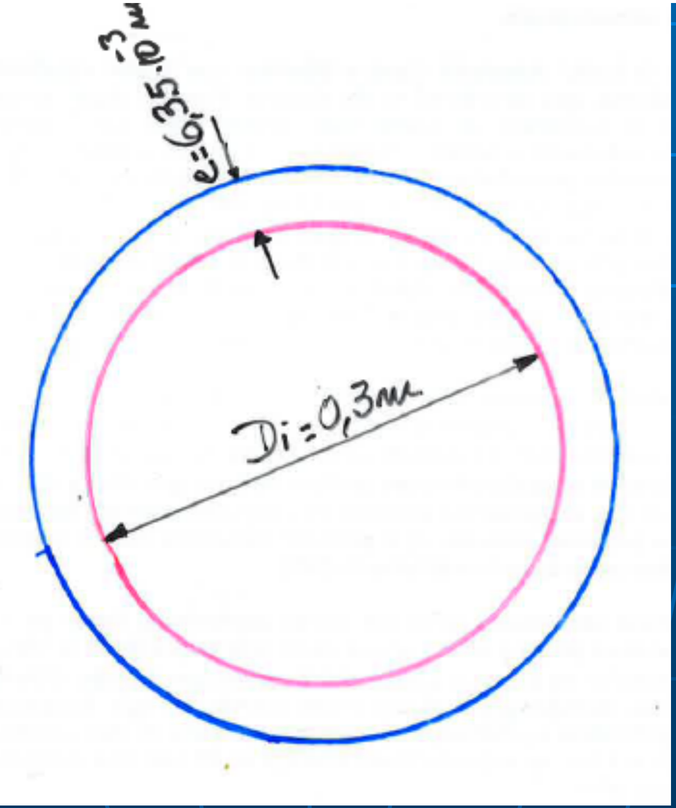


$\mu_J \rightarrow$ importante na análise de sistemas destinados à liquefação de gases



Exercícios: Lista 1

9) Um recipiente esférico de alumínio tem um diâmetro interno de 30 cm e uma parede de 6,35 mm de espessura, e contém água a 27°C e título de 1%. O recipiente é então aquecido até que a água se torne vapor saturado seco. Considerando o recipiente e a água como sistema, determine o calor transferido no processo, admitindo que não haja deformação do recipiente. Utilize para o alumínio: $\rho=2{,}7\ g/cm^3$ e $c=0{,}896\ kJ/kgK$.

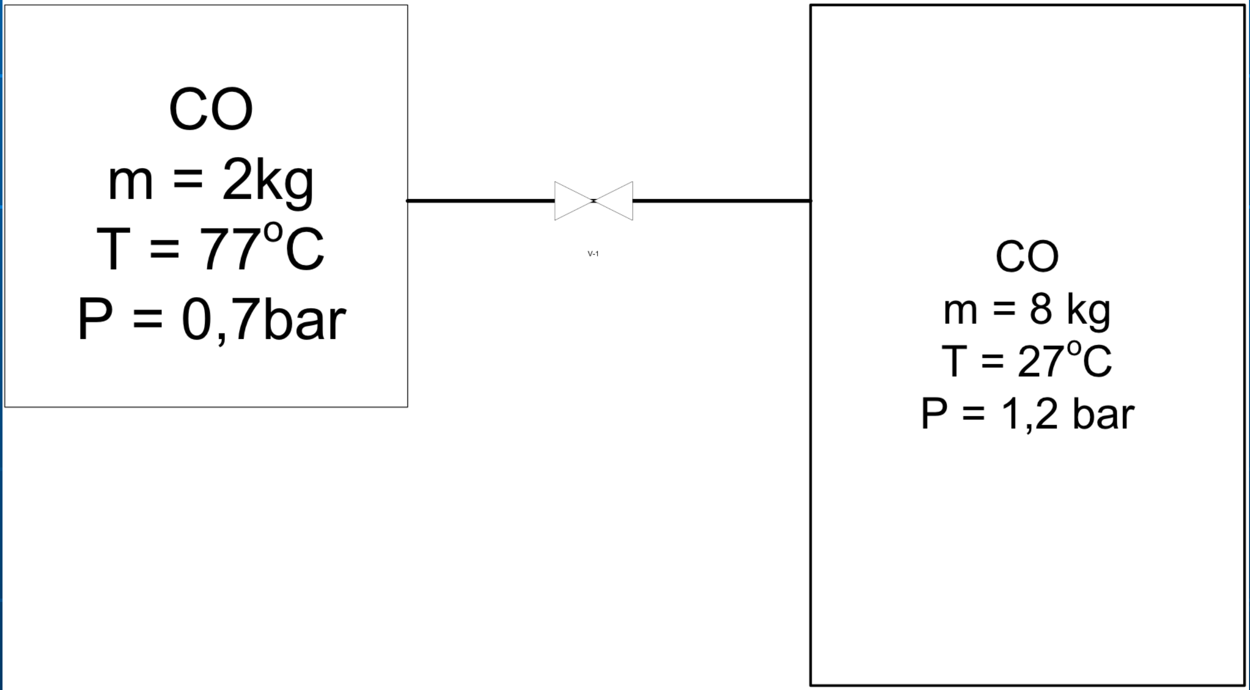


Exercício Extra

Dois tanques conectados por uma válvula contêm CO, como mostrado abaixo. A válvula é aberta permitindo que os gases se misturem. Durante esse processo há transferência de calor do meio ambiente, sendo a temperatura final 42°C. Considerando que o CO possa ser tratado como gás perfeito, determine:

a) A pressão final de equilíbrio (bar);

b) O calor transferido (kJ)



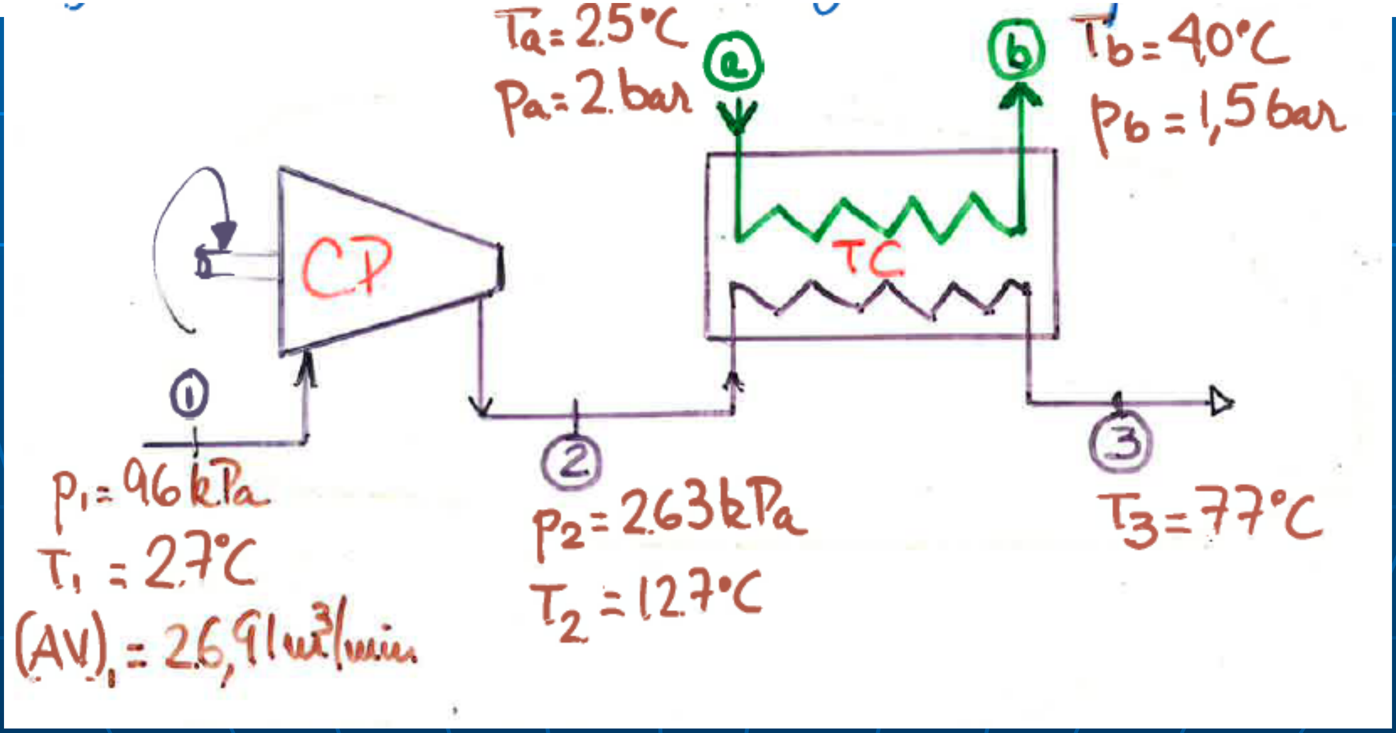
Exercícios: Lista 1

10) Um recipiente isolado é composto por dois compartimentos: A (volume= 30 l) e B (volume=14 l), separados por uma membrana. No compartimento B há um misturador e contém, inicialmente, 1 kg de R-12 a 27°C. O compartimento A está inicialmente vazio (p=0 bar). O R-12 é agitado pelo misturador até que a membrana se rompa. A membrana é projetada para romper a 20 bar. Pede-se: a) a temperatura do R-12 quando a membrana se rompe; b) o trabalho realizado pelo misturador; c) a pressão e temperatura do R-12 após o rompimento da membrana e o R-12 tiverem entrado em equilíbrio termodinâmico.

11) Domingo à noite, Joãozinho disse a Rosinha que ficaria estudando o livro de Termodinâmica, pois teria prova no dia seguinte. Passado algum tempo, Rosinha foi perguntar a Joãozinho se queria fazer lanche. Para sua surpresa, encontrou Joãozinho estudando o ensaio fotográfico de J. Duran, publicado na Playboy, que trata da metodologia de estudo praticada pela Sheila Mello. Rosinha não hesitou e deu um vigoroso tapa na bochecha esquerda de seu namorado, o que provocou um aumento da temperatura da região atingida de 1,8°C. Considerando que a massa da mão de Rosinha seja de 1,2 kg e que 0,15 kg do tecido da face de Joãozinho e da mão de Rosinha tenham sido afetados pelo impacto, estime a velocidade da mão de Rosinha, em km/h, imediatamente antes do impacto com o rosto de Joãozinho. O calor específico do tecido (face e mão) é 3,8 kJ/kgK.

Exercícios: Lista 1

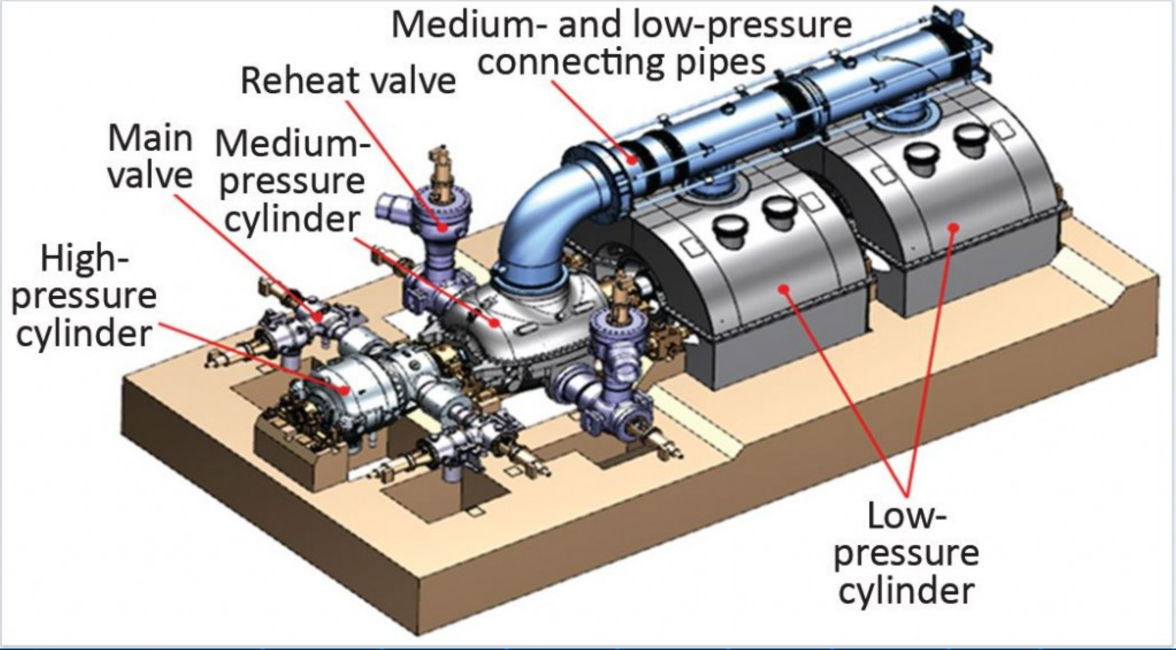
12) Ar (gás ideal) é comprimido em um compressor e depois resfriado em um trocador de calor. O ar entra no compressor a 27°C, 96 kPa e 26,91 m^3/min, saindo a 127 °C e 263 kPa. A temperatura de saída do ar do trocador de calor é de 77°C. No trocador de calor, o fluxo de ar rejeita calor para um fluxo de água que entra a 25°C e 2 bar e sai a 40°C e 1,5 bar. Desprezando as trocas de calor com o meio e os efeitos de energia cinética e potencial, pede-se: a) a potência consumida pelo compressor (kW); b) a vazão mássica de água de resfriamento (kW).



Exercícios: Lista 1

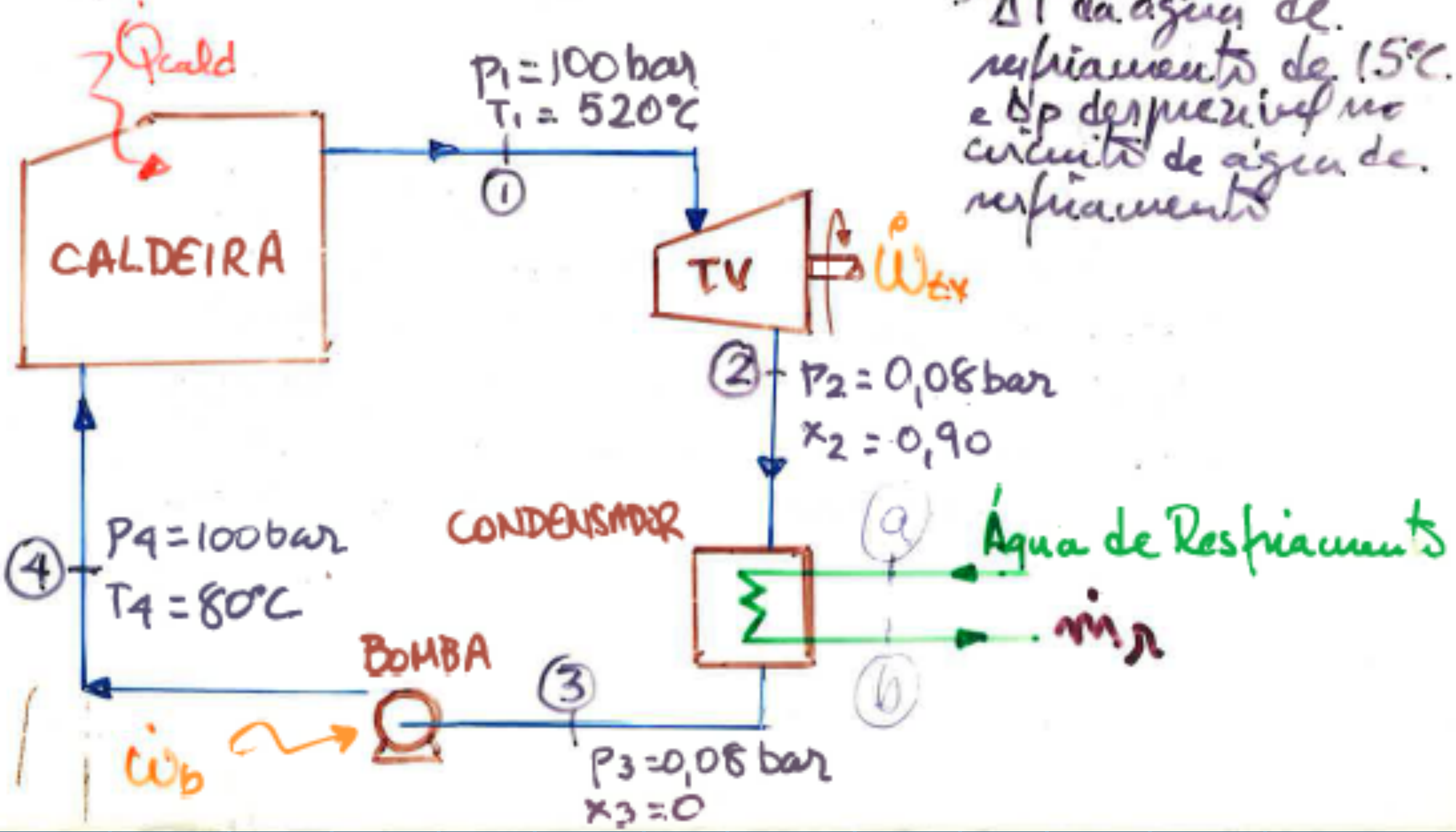
13) Uma turbina bem isolada opera em regime permanente. Vapor de água é enviado para a turbina a 30 bar e 400°C, a uma vazão volumétrica de 85 m^3/min. Uma parte do vapor é extraída da turbina a 5 bar e 180°C, sendo que a vazão restante é expandida

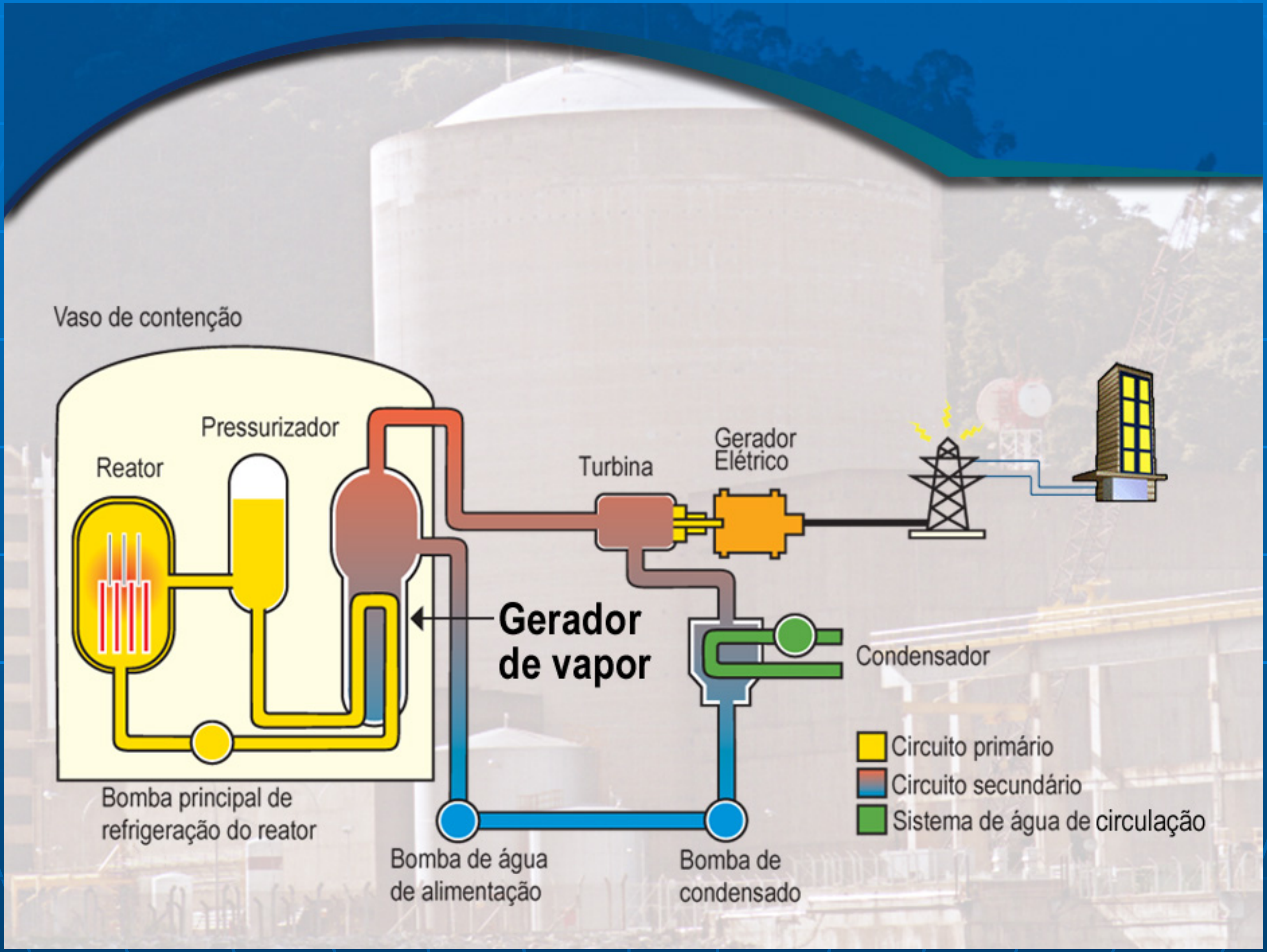
até 0,06 bar, deixando a turbina com x=0,90 e m=40.000 kg/h. Desprezando os efeitos de energia cinética e potencial, determine: a) o diâmetro do duto através do qual vapor é extraído a 5 bar, se sua velocidade média é de 20 m/s; b) a potência desenvolvida pela turbina (kW).




(II) Na planta de potência a vapor mostrada abaixo, que opera em regime permanente, a vazão mássica de água é 130 kg/s. Efeitos devidos à energia potencial e cinética são desprezíveis. Determine:

a) $\dot{Q}_{cald}$ (kW); b) $\dot{W}_{tv}$ e $\dot{W}_b$ c) $\dot{m}_R$ para um ΔT da água de resfriamento de 15°C e Δp desprezível no circuito de água de resfriamento.

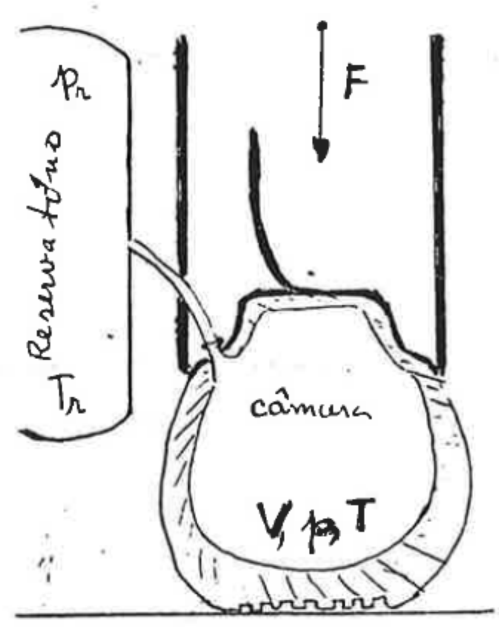



Vaso de contenção
Pressurizador
Reator
Turbina
Gerador
Elétrico
Gerador
de vapor
Condensador
Circuito primário
Circuito secundário
Sistema de água de circulação
Bomba principal de
refrigeração do reator
Bomba de água
de alimentação
Bomba de
condensado

Exercícios: Lista 1

14) Considere o processo de enchimento de um pneu que suporta uma carga de 3000 N. O estado termodinâmico do ar no reservatório de ar é caracterizado por p_r=5 bar e T_r= 20°C. A operação de enchimento faz o ar no interior do pneu passar do estado 1 (p_1 = 1,5 bar; T_1= 20°C e V_1 = 0,02 m^3) para o estado 2 (p_2= 3,0 bar; V_2 = 0,03 m^3). Durante essa operação o centro da roda sobe 0,2 m. Admitindo que:

- p_{atm}= 1 bar;
- a energia de deformação do pneu é desprezível;
- o processo é adiabático;
- as variações de energia cinética e potencial do ar são des
- o ar pode ser tratado como gás perfeito;
- R_{ar} = 0,2882 kJ/kg K;
- c_v = 0,7205 kJ/kg K.



Pede-se: a massa de ar enviada para o pneu.

Exercícios: Lista 1

15) Um tanque rígido, de volume igual a 0,5 m^3, está inicialmente vazio. Um pequeno furo desenvolve-se na parede do tanque permitindo que ar ambiente (p=1 bar e T = 21 ºC) penetre no tanque. Considere que a pressão no interior atinja 1 bar e que o processo de enchimento seja suficientemente lento para que haja transferência de calor entre o tanque eo ambiente, de forma a manter a temperatura do ar no interior do tanque constante e igual a T = 21 ºC. Determine a quantidade de calor transferido em kJ.

16) Refrigerante 12 (vazão mássica de 482 kg/h, pressão de 10 bar e temperatura de 36 ºC) é enviado para uma câmara de expansão. Líquido e vapor saturado a 4 bar deixam esta câmara. Considerando que a câmara seja adiabática, que o processo ocorre em regime permanente e desprezando os termos de energia cinética e potencial, determine as vazões mássicas de líquido e vapor, em kg/h.

17) Um balão é preenchido com hélio. O reservatório de hélio é suficientemente grande para manter a pressão de alimentação constante durante processo de enchimento (a temperatura do hélio na entrada do balão é 20 ºC). Uma válvula entre o tanque e o balão mantém a vazão de alimentação constante e igual a 0,05 kg/s. Considerando o processo adiabático, pede-se:

a) o trabalho realizado pelo hélio se a pressão final no interior do balão é 500 kPa, o raio final é 2 m e o enchimento é feito em 8 minutos;
b) a temperatura final do hélio no balão.