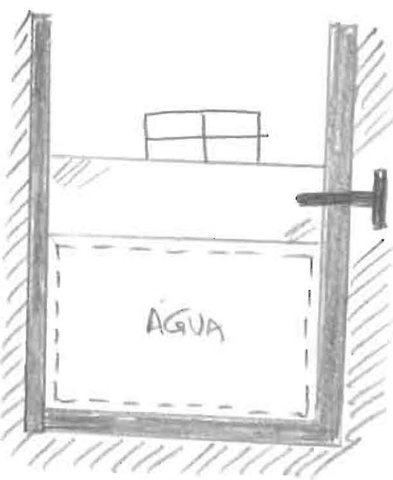
3. A figura mostra um cilindro isolado que contém 2 kg de água e apresenta um pistão travado por um pino. Neste estado, a temperatura da água é de 100°C e o título de 98%. A área da seção transversal é de 100 cm^2 e o pistão e os pesos têm uma massa total de 102 kg. O pino é removido permitindo que o pistão se mova. Admitindo que o processo seja adiabático, determine o estado final da água.



$m = 2\,kg$ $\qquad$ $A = 100 \times 10^{-4}\,m^2$

$m_e = 102\,kg$

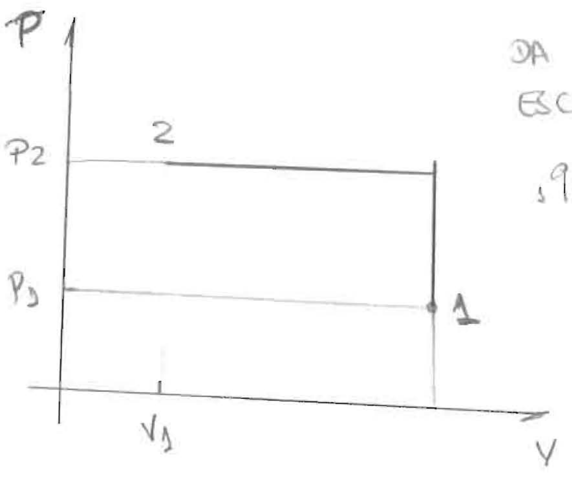
INÍCIO $T_1 = 100\,°C$

$x_1 = 0,98$

$u_1 = 2465\,kJ/kg$

$v_1 = 1,639\,m^3/kg$

FINAL - $P_2 = 101,35 + \dfrac{102 \cdot 9,81}{100 \times 10^{-4}} = \underline{201,41\,kPa}$



DA 1ª DA TERMODINÂMICA PODEMOS ESCREVER QUE:

$${}_1q_2 = u_2 - u_1 + {}_1W_2$$

PROCESSO ADIABÁTICO $\Rightarrow {}_1q_2 = 0$

$\therefore u_1 = u_2 + {}_1W_2$

onde $W = \int p\,dv = P\,\Delta v$

COMO A PRESSÃO É CONSTANTE,

$u_1 = u_2 + P_2(v_2 - v_1) \Rightarrow u_1 + P_2 v_1 = u_2 + P_2 v_2$

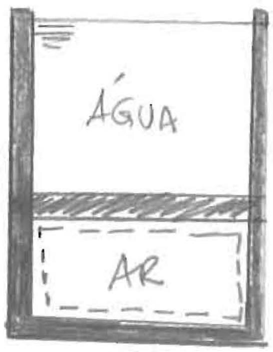
$h_2 = u_1 + P_2 v_1 \Rightarrow h_2 = 2465 + 201,41 \times 1,639 \Rightarrow h_2 = 2795,1\,kJ/kg$

Da tab TERMODINÂMICA, OBTEMOS com $P = 201,42\,kPa$

$h = 2795,1\,kJ/kg$

OBTEMOS $T = 262,9\,°C$ (VAPOR SUPERAQUECIDO)

4. A figura mostra um conjunto cilindro-pistão com área de seção transversal igual a 0,1 m^2 e altura de 10 m. O pistão é muito fino e tem massa desprezível e separa a câmara em duas regiões. Inicialmente a seção superior contém água a 20°C e a inferior contém 0,3 m^3 de ara a 300 K. Transfere-se calor à região inferior de modo que o pistão inicia o movimento e provoca o transbordamento na região superior. Este processo continua até que o pistão alcança o topo do cilindro. Admitindo os valores normais de g e pressão atmosférica, determine o calor transferido para o ar no processo.



$\downarrow g$

ÁREA $= 0,1\ m^2$

$H = 10\ m$

INICIAL: $V_{AR} = 0,3\ m^3$ $T_{H_2O} = 20°C$

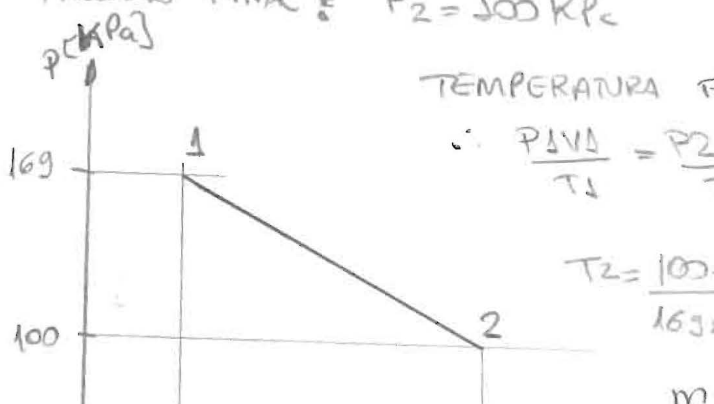
$T_{ar} = 300\ K$ $H_{H_2O} = 7\ m$

$H_{ar} = \frac{V}{A} = \frac{0,3}{0,1} = 3$

PRESSÃO INICIAL: $P_1 = P_{atm} + \rho_{H_2O}\, g\, H_{H_2O}$

$P_1 = 100 \times 10^3 + 1.10^3 \times 9,81 \times 7 = 169\ kPa$

PRESSÃO FINAL: $P_2 = 100\ kPa$



TEMPERATURA FINAL: GÁS PERFEITO

$\therefore \frac{P1V1}{T1} = \frac{P2V2}{T2} \Rightarrow T_2 = \frac{P2V2}{P1V1} T_1$

$T2 = \frac{100 \times 1}{169 \times 0,3} \times 300 \rightarrow T2 = 592K$

$m = \frac{P1V1}{RT1} \Rightarrow m = \frac{169 \times 0,3}{0,2870 \cdot 300}$

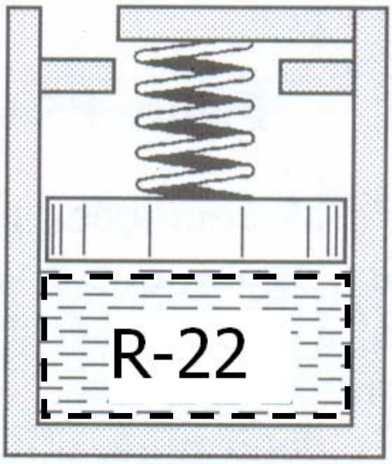
$m = 0,59\ Kg$

${}_1Q_2 = \Delta U + {}_1W_2 \rightarrow {}_1Q_2 = m[C_v \cdot \Delta T + \frac{1}{2}(P1+P2) \cdot \Delta V]$

${}_1Q_2 = 0,59\,[0,7165 \cdot (592-300) + \frac{1}{2}(169+100)\, 0,7]$

${}_1Q_2 = 179\ kJ$

A figura mostra um conjunto cilindro pistão que contém R-22. Inicialmente o volume do cilindro é de 0,2 m^3, a temperatura de -30C e o título de 20%. Sabe-se que o volume da câmara é de 0,4 m^3 quando o pistão encosta nos esbarros e quando o pistão esta localizado no fundo, a força da mola equilibra todas as outras forças que atuam no pistão. Transfere-se calor para o conjunto até que a temperatura atinja 20C. Pergunta-se: A massa de R-22 no cilindro; O trabalho realizado; O calor trocado pelo sistema.



Dados:

Início do processo (1):

- T = - 30C
- x = 20%
- V = 0,2 m^3

Final do Processo (2)

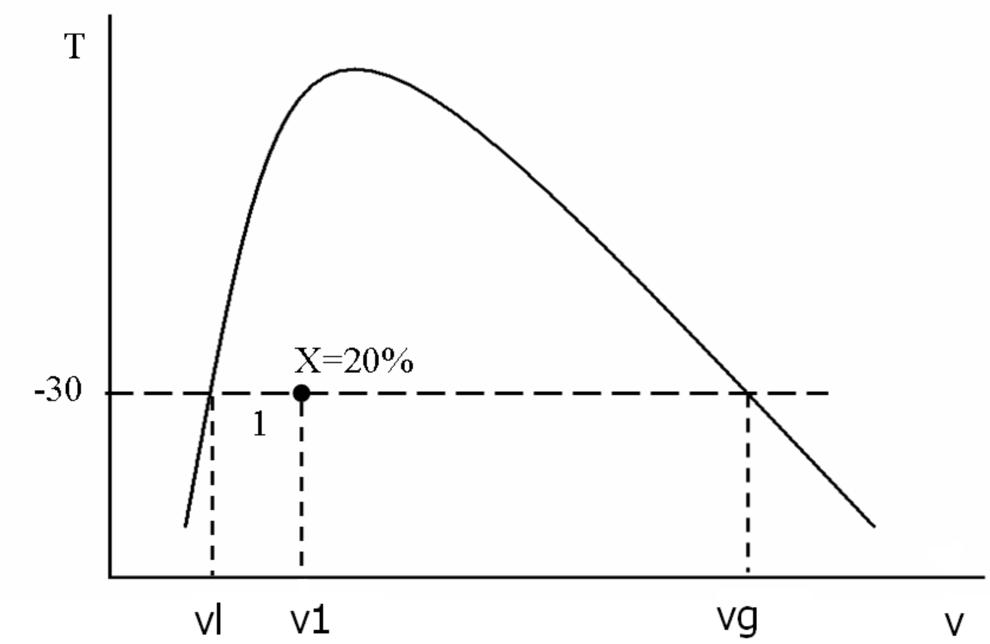
- T = 20C

Extras

- Volume máximo = 0,4m3
- Quando o pistão está encostado no fundo do cilindro, a mola equilibra as forças sobre o pistão
  - Quando V = 0 $\Rightarrow$ P= 0

Solução considerando o sistema como sendo o R-22, conforme mostra a figura acima.

Início do processo, o estado está definido! (Região de Saturação com duas propriedades independentes – Temperatura (- 30C) e título (x=0,2) – conforme mostra a figura abaixo.



Da tabela termodinâmica para o R-22, obtemos que:

v_l = 0,0007245 m^3/kg, v_g = 0,1358 m^3/kg, u_l = 10,61 kJ/kg e u_g = 215,5 kJ/kg;

Com esses valores e o título (x), pode-se determinar que:

$v_1 = (1-x)v_l + xv_g = (1-0,2)0,0007245 + 0,2.0,1358 = 0,0277\ m^3/kg$

$u_1 = (1-x)u_l + xu_g = (1-0,2)10,61 + 0,2.215,5 = 51,6\ kJ/kg$

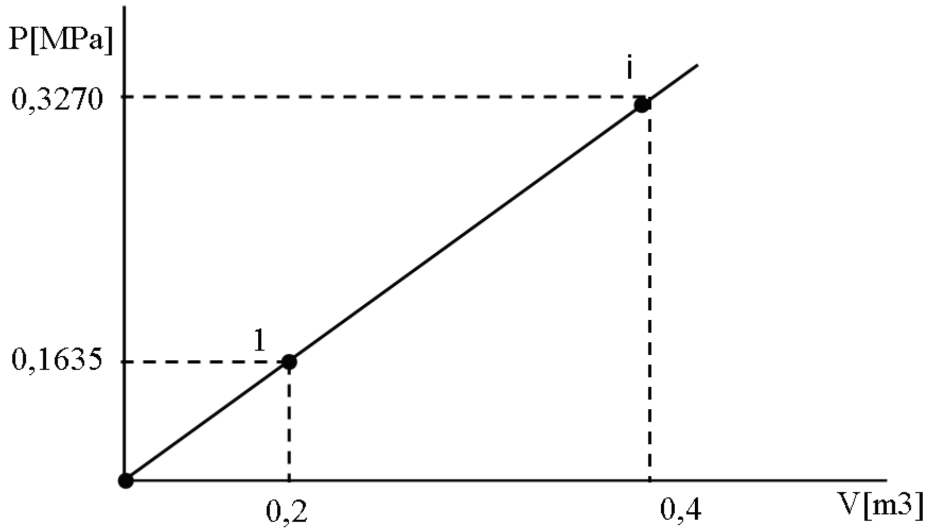
a) A massa do sistema.

Como é conhecido o volume inicial (V=0,2 m^3) e o volume específico é possível calcular a massa como:

$$m = \frac{V}{v} = \frac{0,2}{0,02775} = 7,2kg$$

b) O trabalho realizado

Para se conhecer o trabalho realizado pelo sistema, é necessário se calcular $W = \int P.dV$, sendo então necessário se conhecer P=f(V). Para isso, teremos que descobrir como P varia com o volume. Pela ação da mola sabemos que a pressão varia linearmente entre o estado inicial até o instante em que o pistão toca os esbarros. Contudo não sabemos se pistão chega a tocar ou mesmo há processo de aquecimento depois que pistão tocou nos esbarros. A única informação disponível é que a temperatura final é de 20C. Para saber se o pistão tocou os esbarros ou não, vamos descobrir qual seria a temperatura no instante em que o pistão toca o esbarro. Se essa temperatura for maior que 20C o pistão não tocou os esbarros. Se for menor, o pistão tocou os esbarros. Para saber a temperatura quando o pistão toca os esbarros precisamos descobrir o estado termodinâmico da substância nesse instante. O volume específico é conhecido, pois conhecemos o volume e a massa do sistema. Para saber a pressão precisamos descobrir o comportamento da pressão do instante inicial até o pistão encostar nos esbarros. Como a mola é linear, sabe-se que a pressão aumenta linearmente com o aumento do volume. Como quando o volume do sistema é nulo, a força da mola equilibra todas as forças atuando sobre o sistema, pode-se mostrar graficamente que a pressão no final do processo será de 0,3270MPa. O estado do sistema quando o pistão encostar nos esbarros então será determinado pelo volume específico de: $v = \frac{V}{m} = \frac{0,4}{7,2} = 0,0556 \text{ m}^3/\text{kg}$ e a pressão de P_i =0,3270 MPa. Da tabela termodinâmica para o R-22 constata-se que a temperatura nesse estado termodinâmico é de -12,24C. Como essa temperatura é menor que 20C – temperatura final do processo – o pistão encosta nos esbarros antes de atingir o estado final.

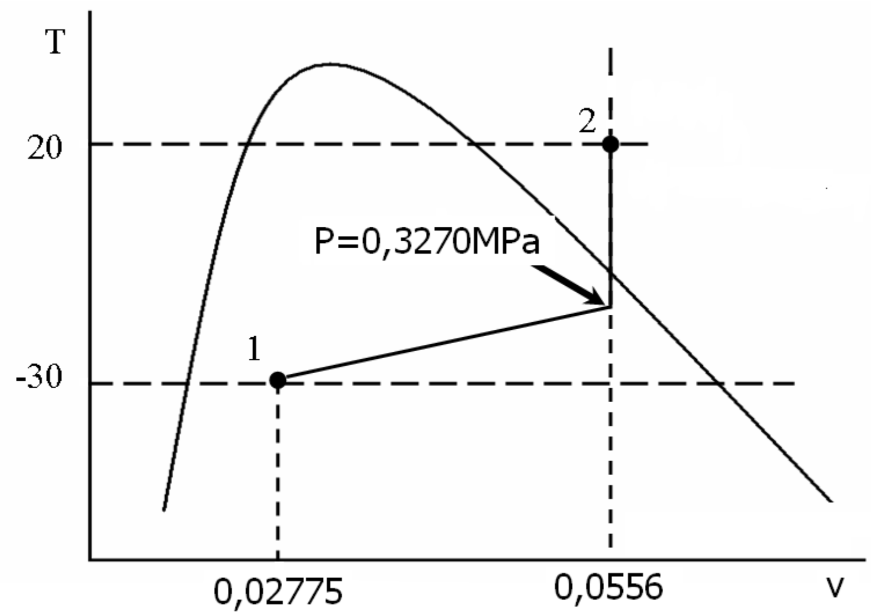


Como depois que o pistão encosta nos esbarro não há mais variação volumétrica, não há realização de trabalho. Desta forma, o trabalho realizado pelo sistema é o referente ao pistão ir desde 0,2 até 0,4 m^3 e pode ser determinado como:

$$W = \frac{1}{2}\left(P_1 + P_i\right)\left(V_2 - V_1\right) = \frac{1}{2}\left(0,1635 + 0,3270\right)10^3\left(0,4 - 0,2\right) = 49,1 \text{ kJ}$$

c) O calor trocado durante o processo.

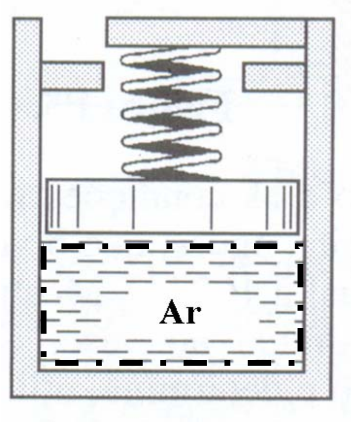
O processo de aquecimento do R-22 desde o estado inicial até o final no diagrama de transformação de fases de acordo com a figura abaixo.



O estado final está determinado uma vez que conhecemos a temperatura e o volume específico do R-22. Desta forma é possível determinar a energia interna no ponto 2 como u_2 = 238,8 kJ/kg. O calor trocado pode ser facilmente determinado a partir da primeira lei como:

$Q = m.\Delta u+W = 7{,}2(238{,}8 - 51{,}6) + 49{,}1= 1396{,}9$ kJ

A figura mostra um conjunto cilindro-pistão-mola linear contendo 2 kg de ar a 200 kPa e 27 C. A massa do pistão é desprezível e a pressão atmosférica é de 0,1 MPa. O volume do cilindro é de 3 m^3 quando o pistão toca os esbarros. Nessa condição, uma pressão de 600 kPa é necessária para equilibrar o pistão. Determine a temperatura, o volume, o trabalho e o calor se o ar for aquecido a pressão atingir 400 kPa.



Dados:

Início do processo (1)

- T = 27C;
- P = 200kPa;

Final do Processo (2)

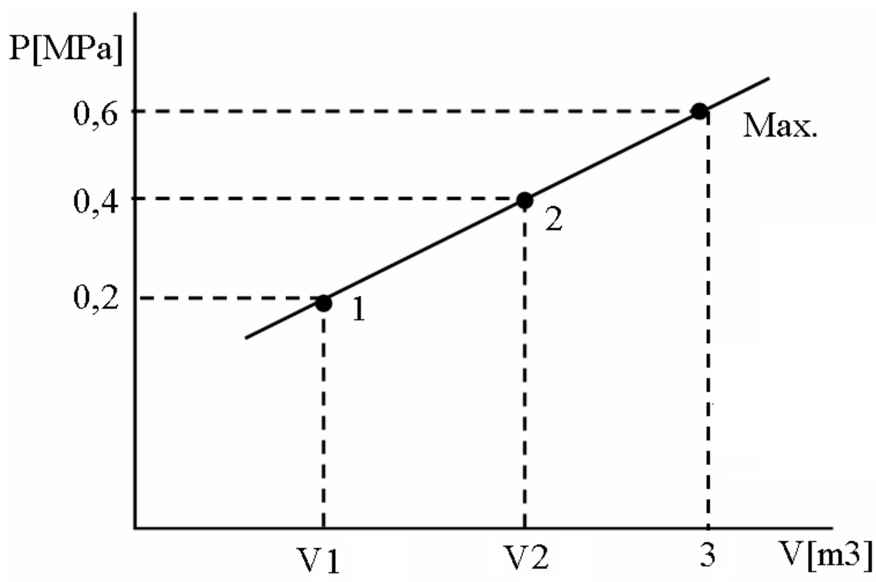
- P = 400 kPa;

Extras

- m = 2 kg;
- Volume máximo = $3m^3$;
- Quando V é máximo $\Rightarrow$ P = 600kPa;

Solução considerando o sistema como sendo ar, conforme mostra a figura acima.

O estado inicial está definido, pois é conhecida a temperatura e a pressão e, como a substância é o ar e a temperatura é superior a temperatura crítica, temperatura e pressão são independentes. No estado final só é conhecida a pressão e, portanto é necessário se determinar mais uma propriedade para se determinar o estado termodinâmico. Para determina o estado final, pode-se usar as informações extras. Como a mola é linear, pode-se fazer um gráfico da pressão em função do volume como mostra a figura abaixo.



Usando semelhança de triângulos, pode-se escrever que:

$$\frac{0,6-0,2}{3-V_1}=\frac{0,4-0,2}{V_2-V_1}$$

Contudo é necessário se conhecer V1. Para tanto, pode-se usar a lei de estado para gases perfeitos uma vez que o estado está definido e se conhece a massa total do sistema. Desta forma, é possível se determinar V1 como:

$$V_1=\frac{mRT_1}{P_1}\Rightarrow V_1=\frac{2.0,2870.300}{200}\Rightarrow V_1=0,8610\ m^3$$

e

$$\frac{0,6-0,2}{3-0,8610}=\frac{0,4-0,2}{V_2-V_1}\Rightarrow V_2=1,931\ m^3.$$

Como o estado 2 está definido, podemos determinar a temperatura no estado 2 como:

$$T_2=\frac{P_2V_2}{mR}=\frac{400.1,9305}{2.0,2870}\Rightarrow T_2=1345\ K$$

O trabalho realizado durante o processo pode ser determinado calculando-se a área embaixo da curva PxV como:

$$W=\frac{1}{2}\left(P_1+P_i\right)\left(V_2-V_1\right)=\frac{1}{2}\left(200+400\right)\left(1,931-0,8610\right)=321,0\ kJ$$

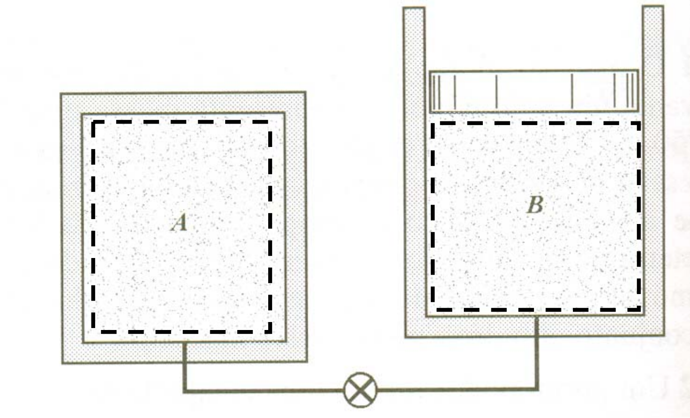
O calor pode ser determinado a partir da primeira lei como:

Q = m.Δu+W

A variação de energia interna (Δu) não pode ser determinada com o uso do c_v pois a variação da temperatura é muito grande. Desta forma, deve-se usar uma tabela para ar, sendo então determinada como:

$$Q = m\Delta u + W = 2.\left(1063,8 - 214,36\right) + 320,7 \Rightarrow Q = 2019,7 \text{ kJ}$$

Considere o arranjo mostrado na figura. O tanque A tem volume de 1 m^3 e contém vapor saturado de água a 100 kPa. O conjunto B tem volume de 1 m^3 e contém água a 300 kPa e 400C. Quando a válvula é entreaberta e espera-se que o sistema atinja o equilíbrio termodinâmico. Para essa situação, determine: a) a massa inicial em A e B; b) Se a temperatura final é de 200 C, calcule a transferência de calor e o trabalho realizado durante o processo.



Solução:

Considerando um volume de controle envolvendo o tanque A e outro envolvendo o tanque B, conforme mostra a figura.

Estado Inicial tanque A: Volume = 1 m^3; P = 100 kPa e vapor d'água saturado (x = 1) $\Rightarrow$ estado definido $\therefore$ propriedades conhecidas. Da tabela pode-se obter que: v = 1,694 m^3/kg; u = 2506 kJ/kg; h = 2675 kJ/kg.

A massa no tanque A pode ser determinada como:

$$m_A = \frac{V}{v} = \frac{1}{1,694} = 0,59 \text{ kg}$$

Estado inicial no tanque B: Volume = 1 m^3; P = 300 kPa e T = 400 C (T > T_{crit} $\Rightarrow$ Vap. Super) $\Rightarrow$ estado definido $\therefore$ propriedades conhecidas. Da tabela pode-se obter que: v = 1,032 m^3/kg; u = 2966 kJ/kg; h = 3275 kJ/kg.

A massa no tanque B pode ser determinada como:

$$m_B = \frac{V}{v} = \frac{1}{1,032} = 0,97 \text{ kg}$$

A massa do sistema, que será a final, pode ser calculada como a soma da inicial em A e B. Desta forma, a massa total pode ser calculada como:

$m_T = m_A + m_B = 0,59 + 0,97 = 1,56$ kg

Estado Final do Sistema. No final, as únicas informações conhecidas são: massa e a temperatura. Com essas informações não é possível se determinar o estado final. Contudo, se analisarmos o sistema, pode-se supor dois situações possíveis ao final do processo. **Primeira**: o pistão desceu até encostar-se ao fundo do cilindro de tal forma que toda a massa se encontra no interior do tanque A. **Segunda**: o pistão não chegou a encostar-se ao fundo. Em ambas as situações a massa do sistema é de 1,56 kg e a temperatura é de 200C. Vamos testar as situações para verificar se uma delas é impossível. Comecemos pela primeira.

Se o pistão encostou-se ao fundo do cilindro, o volume final será igual ao volume do tanque A (indeformável). Desta forma, pode-se escrever que o volume específico final será de:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1,0}{1,56} = 0,6410 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Para a temperatura de 200 C e v = 0,6410 m^3/kg com auxílio da tabela termodinâmica, pode-se obter que a pressão correspondente a esse estado é de 335 kPa, que é maior que a pressão original. Como não há a presença de nenhum sistema externo que faça a pressão aumentar, só pode-se concluir que essa situação não é possível e desta forma a nossa hipótese é absurda. Portanto o pistão não chega a encostar-se ao fundo do cilindro.

No caso da segunda hipótese ser verdadeira, a pressão final do sistema necessariamente tem que ser igual a 200 kPa e a temperatura é de 200 C ($T > T_{sat}$) $\Rightarrow$ estado definido $\therefore$ propriedades conhecidas. Da tabela pode-se obter que: v = 0,7163 m^3/kg; u = 2651 kJ/kg; h = 2866 kJ/kg.

Desta forma, pode-se calcular o volume do sistema ao final do processo como

$$V_T = v.m_T = 0,7163.1,56 = 1,12 \text{ m}^3$$

O volume final do tanque A não é alterado, desta forma o volume final do tanque B será:

$V_B = V_T – V_A = 1,12 – 1 = 0,12$ m^3

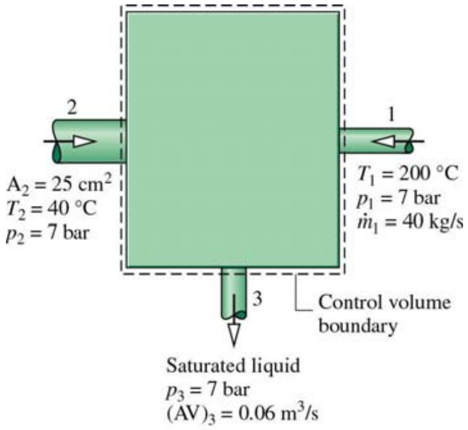
O trabalho durante o processo pode ser calculado por $W = \int P.dV$, mas como a pressão permanece constante ao longo do processo o trabalho pode ser calculado como $W = P(V_f – V_i)$. Como o tanque A não tem variação volumétrica, a variação em questão é do tanque B. Desta forma, o trabalho será:

W = 300 (0,12 – 1) = – 264 kJ

O calor trocado pode ser calculado pela primeira lei da termodinâmica como:

$$Q = m_T u_f - \left(m_A u_A + m_B u_B\right) + W = 1,56.2651 - (0,59.2506 + 0,97.2966) - 264 = -484\text{kJ}$$

Um aquecedor de água opera em regime permanente e possuí duas entradas e uma saída, conforme mostra a figura. Em 1, há um fluxo de massa de 40 kg/s de vapor d'água a 0,7 MPa e 200 C. Em 2, água líquida a 0,7 MPa e 40 C entra e a área da seção transversal é 25 cm^2. Em 3 há a saída de líquido saturado a 0,7 MPa com uma vazão de 0,06 m^3/s. Determine os fluxos de massa em todas em 2 e 3.



Solução:

Hipóteses:

1) Regime permanente;

2) Propriedades constantes em cada seção;

3) Superfície de controle como mostrado na figura;

Aplicando a conservação de massa no volume de controle mostrado na figura e com as hipóteses descritas acima, pode-se escrever que:

$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s = \underbrace{\frac{dm_{vc}}{dt}}_{=0 \text{ hipotese 1}} \Rightarrow \dot{m}_1 + \dot{m}_2 - \dot{m}_3 = 0$$

O fluxo de massa na seção 3 pode ser calculado por:

$$\dot{m}_3 = \frac{Q_3}{v_3}$$

onde Q é a vazão que passa na seção transversal e v_3 é o volume específico, determinado pela tabela termodinâmica como:

$$\left.\begin{array}{c} P = 0,7\text{MPa} \\ \text{Liq. Saturado} \end{array}\right\} v_3 = 1,108.10^{-3}\ m^3/kg\ .$$

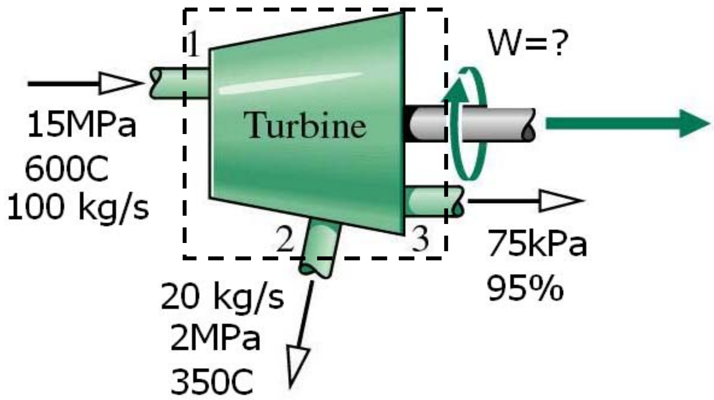
Desta forma, o fluxo de massa em 3 pode ser calculado como:

$$\dot{m}_3 = \frac{Q_3}{v_3} \Rightarrow \dot{m}_3 = \frac{0,06}{1,108.10^{-3}} = 54,15 \text{ kg/s}$$

O fluxo de massa em 2 pode ser então calculado como:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 - \dot{m}_1 = 54,45 - 40 = 14,15 \text{ kg/s}$$

Vapor entra em uma turbina adiabática é alimentada com 100 kg/s de vapor a 600C e a 15MPa, sendo expandido até a pressão de 75 kPa e título de 95%. Em um ponto intermediário, extrai-se 20 kg/s de vapor a 2 MPa e 350 C. Calcule a potência gerada pela turbina.



Solução:

Hipóteses:

1) Regime permanente;

2) Propriedades constantes em cada seção;

3) Superfície de controle como mostrado na figura;

4) Não há variação de energia cinética nem potencial;

Aplicando a conservação de energia para volume de controle mostrado na figura e com as hipóteses descritas acima, pode-se escrever que:

$$\underbrace{\dot{Q}_{vc}}_{=0(\text{turbina adiabática})} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \underbrace{\frac{V_e^2}{2} + Z_e g}_{=0(4)} \right) = \sum \dot{m}_s \left(h_s + \underbrace{\frac{V_s^2}{2} + Z_s g}_{=0(4)} \right) + \dot{W}_{vc}$$

A entrada – Ponto 1 – se conhece a pressão e a temperatura ($t > t_{critica}$ ∴ Vapor Superaquecido ⇒ Estado definido) e podem-se determinar as propriedades termodinâmicas da tabela como: h_1 = 3582 kJ/kg.

Há duas saídas distintas (Ponto 2 e 3) onde se conhece:

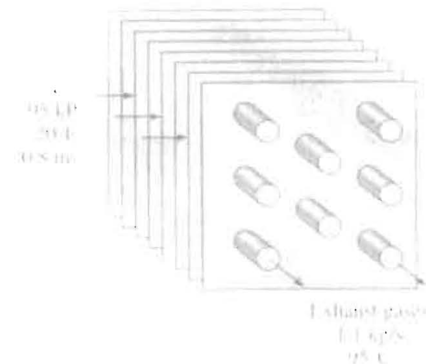
- Ponto 2: Pressão e a temperatura ($t > t_{critica}$ ∴ Vapor Superaquecido ⇒ Estado definido). Da tabela obtém-se que: h_2 = 3137 kJ/kg;
- Ponto 3: Pressão e título (estado definido). Da tabela obtém-se que: h_3 = 2549 kJ/kg;

Da equação de conservação de massa pode-se determinar que o fluxo de massa no ponto 3 será de 80 kg/s. Desta forma, da primeira lei da termodinâmica pode-se escrever que:

$$\dot{W}_{vc} = \dot{m}_1 h_1 - \left(\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 \right) = 100.3582 - \left(20.3137 + 80.2549 \right)$$

$$\dot{W}_{vc} = 91{,}5 \text{ MW}$$

Um radiador para aquecimento de uma estufa de secagem é alimentado com os gases quentes gerados na combustão de biomassa no interior de uma caldeira. Os produtos da combustão (c_p=1.1 kJ/kg.°C) entram no radiador a 180°C e saem a 95°C, com um fluxo de massa de 1.1 kg/s. A câmara esta a uma pressão de 95kPa e inicialmente esta a 20°C e um ventilador força a passagem de 0,8 m³/s de ar pelo radiador. Determine ao fluxo de calor trocado no radiador e a temperatura do ar na saída do radiador.



HIPOTESES

1) REGIME PERMANENTE
2) GASE QUENTES E AR SE COMPORTAM COMO GASES PERFEITOS
3) NÃO HÁ VARIAÇÃO DE ENERGIA CINÉTICA E POTENCIAL TANTO PARA O GÁS QUANTO PARA O AR
4) SÓ HA TROCA DE CALOR ENTRE O GÁS E O AR
5) NÃO HÁ TRABALHO O VC

FLUXO DE CALOR

APLICANDO A 1ª LEI COM AS HIPÓTESE ACIMA, PODEMOS ESCREVER QUE

$$\dot{Q} = \Delta h \Rightarrow \dot{Q} = \dot{m}\, C_p\, \Delta T$$

$$\dot{Q} = 1,1 \times 1,1 \times (95-180) \Rightarrow \boxed{\dot{Q} = -102,9 \text{ kW}}$$

(VOLUME DE CONTROLE É O GÁS QUENTE)

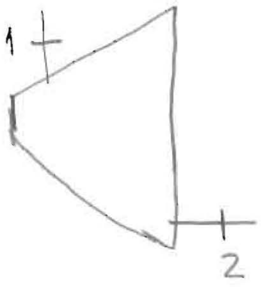
TEMPERATURA DO AR

DE FORMA ANÁLOGA $\Rightarrow \dot{Q} = \dot{m}\, C_p \cdot \Delta T \Rightarrow \dot{Q} = \rho Q C_p \Delta T$

$$\Rightarrow \dot{Q} = \frac{P}{RT} \cdot Q \cdot C_p\, \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{\dot{Q} \cdot R \cdot T}{P Q\, C_p} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{102,9 \times 0,287 \times 293}{95 \times 0,8 \times 1,0035} \Rightarrow \Delta T = 113 \therefore \boxed{T_s = 133^\circ C}$$

Uma turbina a vapor adiabática recebe vapor d'água a 10MPa, 450°C e 80 m/s. O vapor é expandido na turbina e sai a 10kPa, título de 92% e 50 m/s de velocidade. Sendo o fluxo de massa na turbina de 12 kg/s, determine: (a) a mudança de energia cinética; (b) a potência gerada pela turbina e (c) a área de entrada da turbina.



$\dot{m} = 12\, Kg/s$

1: $P = 10\, MPa$; $T = 450\,°C$; $V = 80\, m/s$; $h = 3241\, kJ/kg$; $v = 0{,}02975\, m^3/kg$

2: $P = 10\, KPa$; $x = 0{,}92$; $V = 50\, m/s$; $h = 2393\, kJ/kg$; $v = 13{,}5\, m^3/kg$

HIPÓTESES

1) REGIME PERMANENTE

2) NÃO HÁ VARIAÇÃO DE ENERGIA POTENCIAL

3) PROPRIEDADES CONSTANTES NA ENTRADA E SAÍDA

4) TURBINA ADIABÁTICA

APLICANDO A 1º LEI COM AS HIPÓTESES ACIMA, PODE-SE ESCREVER QUE:

$$\dot{m}\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2}\right) = \dot{m}\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2}\right) + \dot{W} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{W} = \dot{m}\left[h_1 - h_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2}\right]$$

$$\Rightarrow \dot{W} = 12\left[3241 - 2393 + \frac{80^2 - 50^2}{2\times10^{-3}}\right]$$

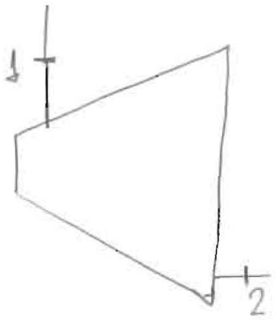
$$\Rightarrow \dot{W} = 10.176 + 23{,}4 \Rightarrow W = 10{,}2\, MW$$

$$\Delta EC = 23{,}4\, kW$$

ÁREA DE ENTRADA

$$\dot{m} = \frac{V.A}{v} \Rightarrow A = \frac{\dot{m}.v}{V} \Rightarrow A = \frac{12\times0{,}02975}{80} \Rightarrow A = 0{,}0045\, m^2$$

Vapor entra em uma turbina a vapor a uma pressão de 10MPa e 550°C com velocidade de 60 m/s e deixa a turbina à 25kPa com título de 0.95. Uma perda de calor de 30kJ/kg ocorre durante o processo. A área de entrada da turbina é de 150 cm² e a de saída é de 1400 cm². Nessas condições determine: (a) o fluxo de massa de vapor; (b) a velocidade de saída; (c) a potência gerada pela turbina.



$$1\begin{cases} P = 10\,MPa \\ T = 550\,°C \\ V = 60\,m/s \\ A = 150\times10^{-4}\,m^2 \end{cases} \qquad 2\begin{cases} P = 25\,kPa \\ x = 0{,}95 \\ A = 1400\times10^{-4}\,m^2 \end{cases}$$

$$\dot{q} = 30\,kJ/kg$$

HIPÓTESES
1) REGIME PERMANENTE
2) NÃO HÁ VARIAÇÃO DE ENERGIA POTENCIAL
3) PROPRIEDADES CONSTANTES NA ENTRADA E SAÍDA.

PONTO 1 : ESTADO DEFINIDO
$$\begin{cases} h \cong 3502\,kJ/kg \\ v \cong 0{,}03564\,m^3/kg \end{cases} \qquad \dot{m} = \frac{V.A}{v} = \frac{60\times150\times10^{-4}}{0{,}03564}$$
$$\dot{m} = 25\,kg/s$$

PONTO 2 : ESTADO DEFINIDO
$$h = 2501\,kJ/kg$$
$$v = 5{,}894\,m^3/kg$$
$$V = \frac{\dot{m}v}{A} \rightarrow V = \frac{25\times5{,}894}{1400\times10^{-4}} \rightarrow V = 1063\,m/s$$

APLICANDO A PRIMEIRA LEI COM AS HIPÓTESES ANTERIORES, PODE-SE ESCREVER QUE

$$\dot{q} + h_1 + \frac{V_1^2}{2} = h_2 + \frac{V_2^2}{2} + W$$

$$\dot{q} + (h_1 - h_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} = \dot{w} \quad \therefore \dot{w} = 30 + (3501 - 2501) + \frac{(60^2 - 1063^2)}{2\times10^3}$$

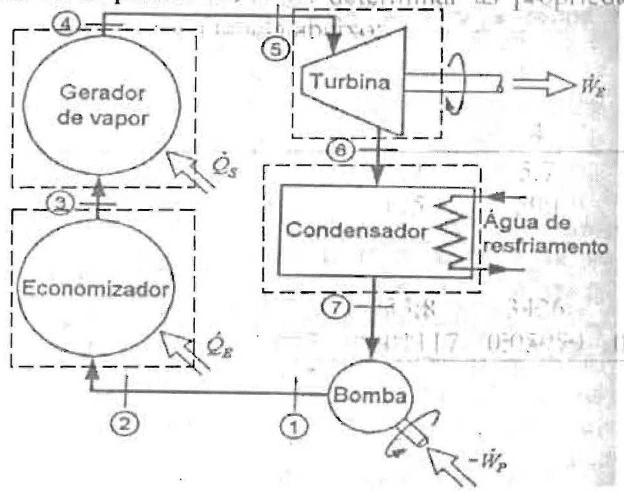
$$\dot{w} = 467\,KW/kg \quad \therefore \quad \underline{W = 12MW}$$

Os seguintes dados são referentes a instalação da figura que funciona com um fluxo de massa de água de 25 kg/s e consome 300 kW de potência na bomba.

Pto	1	2	3	4	5	6	7
P [MPa]	6,2	6,1	5,9	5,7	5,5	0,01	0,009
T [C]		45	175	500	490		40
x						0,92	
V [m/s]						200	
Dia.[m]	0,075	0,075	0,075	0,2	0,2	0,075	0,075

Determine:

- Potência produzida pela turbina;
- Taxa de transferência de calor no condensador, economizador e gerador de vapor;
- Vazão de água de resfriamento no condensador sabendo que a temperatura dessa água aumenta de 15 para 25 C;



Solução:

Antes de mais nada, vamos determinar as propriedades para cada um dos pontos de interesse conforme mostra a tabela abaixo:

Tabela 1

Pto	1	2	3	4	5	6	7
P [MPa]	6,2	6,1	5,9	5,7	5,5	0,01	0,009
T [C]		45	175	500	490		40
x						0,92	
V [m/s]						200	
h [kJ/kg]		193,7	743,8	3426	3404	2393	167,5
v [m^3/kg]		0,001007	0,001117	0,05979	0,06111	13,5	0,001008

Hipóteses:

1. Regime permanente.

A equação de conservação de energia para regime permanente obtida a partir do teorema de transporte de Reynolds pode ser escrita como:

$$\dot{Q}+\sum_{entra}\left(h+\frac{V^2}{2}+gZ\right)\dot{m}_e=\sum_{sai}\left(h+\frac{V^2}{2}+gZ\right)\dot{m}_s+\dot{W} \qquad (12)$$

Para determinara a potência gerada na turbina, vamos adotar um VC passando pela turbina como mostra a Figura 2. Aplicando a Eq. (12) e desprezando a variação de energia cinética e adotando a turbina como sendo adiabática, pode-se escrever que:

$$\dot{W}_{turbina}=\left(h_5+\frac{V_5^2}{2}\right)\dot{m}_5-\left(h_6+\frac{V_6^2}{2}\right)\dot{m}_6 \qquad (13)$$

Admitindo que não haja extração de vapor na turbina, pode-se afirmar que o fluxo de massa em 5 e 6 é igual. Desta forma, a Eq. (13) pode ser reescrita como:

$$\dot{W}_{turbina}=\left(h_5-h_6+\frac{V_5^2}{2}-\frac{V_6^2}{2}\right)\dot{m} \qquad (14)$$

A velocidade na seção 5 pode ser determinada a partir da equação de conservação de massa. Desta forma, a velocidade pode ser determinada como:

$$V_5=\frac{\dot{m}}{\rho_5 A_5}=0,0611\frac{25}{\frac{\pi\ 0,2^2}{4}}=48,62\,m/s \qquad (15)$$

Substituindo a Eq. (15) em (14) e os dados da Tabela 1, pode-se obter a potência desenvolvida na turbina de:

$$\dot{W}_{turbina}=\left(h_5-h_6+\frac{V_5^2}{2}-\frac{V_6^2}{2}\right)\dot{m}=\left(3404-2393+\frac{48,6^2}{2\ 10^3}-\frac{200^2}{2\ 10^3}\right)25=25.804,6\ kW$$

Para se determinar o fluxo de calor no condensador, basta passar um volume de controle pelo mesmo e admitir que o fluxo de massa de água de resfriamento é o responsável pela retirada de calor do mesmo. Desta forma, e desprezando a variação de energia potencial e o trabalho e considerando que não há saída de massa no condensador, a primeira lei, Eq. (12), pode ser escrita como:

$$\dot{Q}_{cond}=\left(h_7-h_6+\frac{V_7^2}{2}-\frac{V_6^2}{2}\right)\dot{m} \qquad (16)$$

Sendo a velocidade em 7 determinada por:

$$V_7 = \frac{\dot{m}}{\rho_7 A_7} = 0{,}001008\frac{25}{\frac{\pi\ 0{,}075^2}{4}} = 5{,}7\,m/s \qquad (17)$$

Substituindo a Eq. (17) em (16), obtém-se que:

$$\dot{Q}_{cond} = \left(167{,}5 - 2393 + \frac{5{,}7^2}{2\ 10^3} - \frac{200^2}{2\ 10^3}\right)25 = -56.137\ kW$$

Para se determinar o fluxo de água necessário ao resfriamento, como foi assumido que todo o calor foi retirado pela água de resfriamento e desprezando o trabalho realizado e a variação de energia cinética e potencial, pode-se escrever a primeira lei da termodinâmica como:

$$\dot{Q}_{cond} = (h_7 - h_6)\dot{m}_{H_2O}$$

Como a água se encontra na fase líquida, $c_p = c_v$ e a variação de entalpia pode ser determinada por:

$$dh = c.dT$$

Com isso, pode ser escrever que:

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_{H_2O} C.\Delta T \Rightarrow \dot{m}_{H_2O} = \frac{\dot{Q}_{cond}}{C.\Delta T} = \frac{56137}{4{,}18x10} = 1342{,}9\ kg/s$$

O fluxo de calor no gerador de vapor e no economizador pode ser determinado de forma análoga ao do condensador. Desta forma, cada fluxo de calor pode ser determinado por:

$$\dot{Q}_{econ} = \left(h_3 - h_2 + \frac{V_3^2}{2} - \frac{V_2^2}{2}\right)\dot{m}$$

Como os diâmetros de entrada e saída do economizador são idênticos e o não há grande variação no volume específico entre os pontos, $V_3 \sim V_2$, portanto:

$$\dot{Q}_{econ} = (h_3 - h_2)\dot{m} = (743{,}8 - 193{,}7)25 = 13752{,}5kW$$

Para o gerador de vapor, a primeira lei da termodinâmica deverá ser escrita considerando as variações de velocidades, pois há uma grande variação de volume específico entre a entrada e saída. Desta forma, para o gerador de vapor pode-se escrever que:

$$\dot{Q}_{gv} = \left(h_4 - h_3 + \frac{V_4^2}{2} - \frac{V_3^2}{2}\right)\dot{m}$$

Sendo que as velocidades são determinadas por:

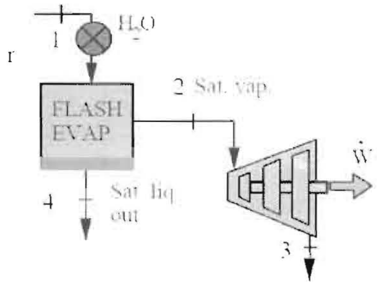
$$V_3 = \frac{\dot{m}}{\rho_3 A_3} = 0,001117 \frac{25}{\frac{\pi \cdot 0,075^2}{4}} = 6,3\,\mathrm{m/s}$$

$$V_4 = \frac{\dot{m}}{\rho_4 A_4} = 0,05979 \frac{25}{\frac{\pi\ 0,2^2}{4}} = 47,6\ \mathrm{m/s}$$

Com isso, o fluxo de calor será:

$$\dot{Q}_{gv} = \left(h_4 - h_3 + \frac{V_4^2}{2} - \frac{V_3^2}{2} \right) \dot{m} \ = \left(3426 - 743,8 + \frac{47,6^2}{2\ 10^3} - \frac{6,3^2}{2\ 10^3} \right) 25 = 67.082,8\ \mathrm{kW}$$

Propõe-se usar um suprimento geotérmico de água quente para acionar uma turbina a vapor d'água utilizando o dispositivo esquematizado na figura. Água a alta pressão, 1,5 MPa e 180°C é estrangulada num evaporador instantâneo adiabático, de modo a obter líquido e vapor a pressão de 400 kPa. O líquido é drenado pela parte inferior do evaporador enquanto o vapor é retirado para alimentar a turbina. O vapor sai da turbina a 10 kPa e com 95% de umidade. Sabendo que a turbina produz 1MW de potência, determine a vazão necessária de água quente que deve ser fornecida pela unidade geotérmica.



$P_1 = 1{,}5\ MPa$, $T_1 = 180°C$ $\rightarrow$ $h_1 = 763{,}5\ KJ/Kg$

$P_2 = 400\ KPa$, $x_2 = 1$ $\rightarrow$ $h_2 = 2739\ KJ/Kg$

$P_4 = 400\ KPa$, $x_4 = 0$ $\rightarrow$ $h_4 = 604{,}7\ KJ/Kg$

$P_3 = 10\ KPa$

$x_3 = 0{,}95$

$h_3 = 2465\ KJ/Kg$

A VAZÃO NECESSÁRIA SERÁ A SOMA DA VAZÃO DO VAPOR SATURADO + A DO LÍQUIDO SATURADO.

A VAZÃO DO VAPOR SATURADO PODE SER CALCULADO C/ UM V.C NA TURBINA E APLICANDO-SE A PRIMEIRA LEI. CONSIDERANDO A TURBINA ADIABÁTICA E SEM VARIAÇÃO EN. CINÉTICA E POTENCIAL, PODE-SE ESCREVER QUE

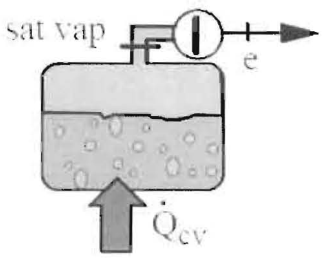
$$\dot{m}_V = \frac{\dot{W}}{h_2 - h_3} \rightarrow \dot{m}_V = \frac{1\times10^3}{2739 - 2465} \Rightarrow \dot{m}_V = 3{,}6\ Kg/s$$

A MASSA DE LÍQUIDO SATURADO PODE SER CALCULADO COM A 1ª LEI NO EVAPORADOR SABENDO QUE É ADIABÁTICO

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4 \Rightarrow \dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) h_4$$

$$\therefore \dot{m}_1 = \frac{\dot{m}_2 (h_2 - h_4)}{h_1 - h_4} \Rightarrow \dot{m}_1 = \frac{3{,}6\,(2739 - 604{,}7)}{763{,}5 - 604{,}7} \Rightarrow \boxed{\dot{m}_1 = 53{,}4\ Kg/s}$$

Um tanque com 200 litros contém água a 100 kPa e título de 1%. Transfere-se calor a água para que a temperatura e a pressão aumentem. Quando a pressão atinge 2 MPa a válvula de segurança abre e vapor saturado a 2MPa passa a escoar para fora até que o título seja 0.9. Determine a massa de água que escoa para fora e o calor transferido durante o processo.



$V = 200 \times 10^{-3}\ m^3$

$P_1 = 100\ kPa$, $x_1 = 0{,}01$ $\Rightarrow \begin{cases} v_1 = 0{,}01797\ m^3/kg \\ u_1 = 436{,}2\ kJ/kg \end{cases}$

$P_2 = 2\ MPa$, $x_2 = 0{,}9$ $\Rightarrow \begin{cases} v_2 = 0{,}08978\ m^3/kg \\ u_2 = 2431\ kJ/kg \end{cases}$

MASSA DE ÁGUA

COMO TEMOS O ESTADO FINAL, INICIAL, O VOLUME E O PROCESSO OCORRE A VOLUME CONSTANTE, PODE-SE CALCULAR A MASSA QUE SAI COMO:

$$m_s = m_1 - m_2 \Rightarrow m_s = 8{,}9\ kg$$

$$m_1 = \frac{V}{v_1} \Rightarrow m_1 = \frac{200 \times 10^{-3}}{0{,}01797} \Rightarrow m_1 = 11{,}1\ kg$$

$$m_2 = \frac{V}{v_2} \Rightarrow m_2 = \frac{200 \times 10^{-3}}{0{,}08978} \Rightarrow m_2 = 2{,}2\ kg$$

CALOR

APLICANDO A 1ª LEI PODE-SE ESCREVER QUE

$$Q = m_2 \cdot U_2 - m_1 U_2 + m_s h_s = 2{,}2 \times 2431 - 11{,}1 \times 436{,}2 + 8{,}9 \cdot 2800$$

$$\therefore \underline{Q = 25{,}4\ MJ}$$

onde $h_s = 2800\ kJ/kg$

$P_s = 2\ MPa$

$x = 1$