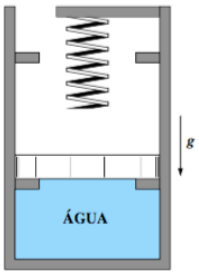
1ª Questão (***):
Considere o arranjo cilindro-pistão mostrado na figura ao lado. O pistão do arranjo pode deslizar livremente e sem atrito entre dois esbarros. Quando o pistão repousa sobre os esbarros inferiores, o volume da câmara é de 400L; quando o pistão apenas toca a mola este volume passa a ser de 500L; e quando o pistão atinge os esbarros superiores, o volume é de 600 L. O cilindro contém, inicialmente, água a 100 kPa e com título de 20%. Esse sistema é, então, aquecido até atingir a temperatura de 200°C. A massa do pistão requer 300 kPa de pressão para movê-lo contra a pressão do ambiente externo. A mola linear tem constante de 10N/mm e a área da seção transversal do pistão é de 0,1m^2. Pede-se:
(a) O diagrama T x v (temperatura por volume específico), indicando os valores numéricos de temperatura (em °C), pressão (linhas isobáricas, em bar) e volume específico (em m^3/kg) para cada início e fim de todos os processos que decorrem desde o estado inicial até o estado final. Todos os valores dessas variáveis indicados no diagrama devem estar devidamente justificados na solução. Apresente também neste diagrama as linhas de líquido e vapor saturados ("domo") e posicione cada estado de maneira qualitativamente correta;
(b) O trabalho total realizado pela água;
(c) O calor total transferido à água.



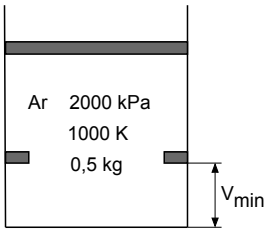
2ª Questão (**):
Ar é comprimido adiabaticamente a partir de p_1 = 1 bar, T_1 = 300 K a p_2 = 15 bar, v_2 = 0,1227 m^3 / kg. O ar é então resfriado a volume constante até T_3 = 300 K. Supondo comportamento do gás ideal e ignorando efeitos de energia cinética e potencial, calcule o trabalho específico para o primeiro processo e a transferência de calor por unidade de massa para o segundo processo. Resolva o problema de duas maneiras:
(a) usando dados da tabela do ar como gás perfeito.
(b) utilizando um calor específico constante avaliado a 300 K.

3ª Questão (**):
Um conjunto pistão-cilindro contém 1 kg de gás nitrogênio (N_2). O gás expande a partir de um estado inicial onde T_1 = 700 K e p_1 = 5 bar para um estado final em que: P_2 = 2 bar. Durante o processo a pressão e o volume específico são relacionados por $pv^{1,3}$ = constante. Assumindo o comportamento de gás ideal e negligenciando efeitos de energia cinética e potencial, determine a transferência de calor durante o processo, em kJ, usando
(a) um calor específico constante avaliado a 300 K.
(b) um calor específico constante avaliado a 700 K.
(c) dados da tabela do nitrogênio como gás perfeito.

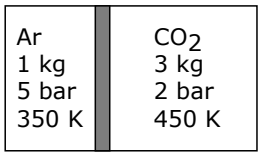
4ª Questão (**):
Um tanque rígido isolado termicamente contém inicialmente 1,4 kg de água saturada a 200 °C. Neste estado, 25% do volume é ocupado por água líquida e o restante por vapor. Agora um resistor elétrico colocado no tanque é ligado, e o Após 20 min observa-se que o tanque contém apenas vapor de água saturado. Determine (a) o volume do tanque, (b) a temperatura final, e (c) a potência elétrica do resistor. *Resposta:* (*a*) 0,00648 m^3, (*b*) 371°C, (*c*) 1,58 kW

5ª Questão (**):
Um dispositivo eletrônico que dissipa 30 W tem uma massa de 20 g e um calor específico de 850 J / kg.°C. O dispositivo é ligado por 5 min e depois desligado por várias horas, durante o período esfria até a temperatura ambiente de 25 ° C. Determine a temperatura do dispositivo no final do período de operação de 5 minutos. Qual seria a sua resposta se o dispositivo fosse ligado a um dissipador de calor de alumínio de 0,2 kg? Suponha que o dispositivo e o dissipador de calor tenham praticamente a mesma temperatura.

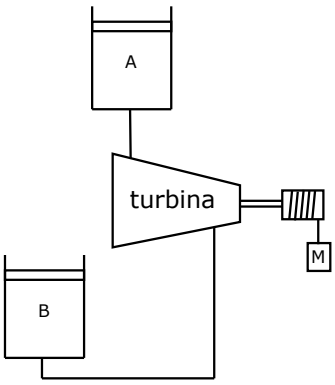
6ª Questão (***):
Um conjunto pistão – cilindro contém 0,5 kg de ar a 2000 kPa, 1000 K. O cilindro possui um batente de tal forma que o volume mínimo para o gás é $V_{min} = 0{,}03\ m^3$. O ar é resfriado até que sua temperatura atinja 400 K. A pressão atmosférica local é de 1 bar. Determine: (a) o volume e a pressão final do ar (o cilindro atinge o batente?), (b) o trabalho realizado e (c) a transferência de calor no processo.



7ª Questão (***):
Um quilograma de ar, inicialmente a 5 bar, 350 K, e 3 kg de dióxido de carbono, inicialmente a 2 bar, a 450 K, estão confinados em lados opostos de um recipiente rígido, bem isolado termicamente, como ilustrado na Figura. O pistão é livre para se mover e permite condução de calor de um gás para o outro. A capacidade calorífica do pistão pode ser desprezada. O ar e o dióxido de carbono comportam-se como gases ideais. Determine a temperatura de equilíbrio e a pressão final. Assuma calores específicos constantes avaliados a 300K. Escreva como você resolveria o problema se o tanque fosse rotacionado em 90^O e se conhecêssemos o peso e a área do pistão.



8ª Questão (***):
Considere o dispositivo destinado ao levantamento de uma massa M. Nele dois cilindros bem isolados A e B contendo pistões são conectados por meio de uma turbina bem isolada termicamente. Os efeitos da pressão atmosférica e dos pistões são tais que pressões de 16 bar e 2 bar são necessárias para suportar, respectivamente, os pistões dos cilindros A e B. Inicialmente, o cilindro A contém 1 kg de ar a 400°C e o cilindro B está vazio. O ar começa então a escoar do cilindro A para o cilindro B através da turbina, até que o pistão A atinja o fundo do cilindro A. A temperatura final do ar no cilindro B é 150°C. Supondo que os volumes da turbina e da tubulação que conecta os cilindros sejam desprezíveis, calcule a variação da energia potencial da massa M durante o enchimento do cilindro B.



9ª Questão (****):
Um tanque está conectado, através de uma válvula fechada colocada no seu topo, a um balão. O tanque de $0{,}5\ m^3$ contém amônia saturada a 20 ^oC (temperatura ambiente), com título igual a 30%. O balão contém 0,1 kg de amônia à temperatura de 20 ^oC e pressão de 150 kPa. O balão é construído de tal modo que a pressão interna é proporcional ao quadrado do diâmetro do balão. A válvula é então aberta até que o equilíbrio seja atingido. Admitindo que todo o processo ocorra lentamente, determine:

a) a temperatura e pressão finais de equilíbrio;
b) as massas finais no tanque e no balão;
c) o trabalho realizado pelo balão no processo de enchimento até atingir o diâmetro final;
d) o calor trocado entre o ambiente e o sistema tanque-balão.

10ª Questão (***):

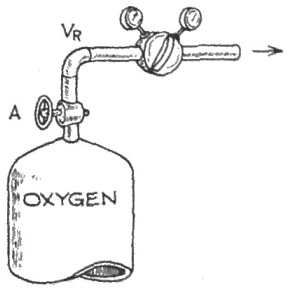
Cilindros com gases comprimidos são frequentemente usados na indústria e em laboratórios. Eles apresentam riscos à segurança se não forem manuseados corretamente. Cilindros com o oxigênio são particularmente perigosos. As válvulas reguladoras de pressão para oxigênio devem ser mantidas extremamente limpas, e nem óleo ou graxa devem ser usados para lubrificação em qualquer parte da válvula. A razão para isso é que os lubrificantes em altas temperaturas podem servir de estopim para a ignição do tubo de metal na atmosfera com oxigênio, causando incêndio e falha do cilindro. É difícil de imaginar que isso possa ocorrer, especialmente quando graxas "não-inflamáveis" são utilizadas (temperatura de ignição superior à 800 K). Vamos modelar o ato de abrir um cilindro de oxigênio conectado a uma reguladora de pressão (R), vide figura. Assuma que a soma de todos os volumes internos da linha de conexão mais os da reguladora sejam iguais a V_R. Condidere, ainda, que V_R é desprezível em face do volume do cilindro. A abertura da válvula A pressuriza V_R de uma pressão inicial até o valor da pressão no cilindro. Presumivelmente, a temperatura no volume V_R também varia. A questão a ser respondida é se a temperatura se elevará a ponto de iniciar a combustão de resíduos de óleo ou graxa na linha ou na reguladora. Considere que não há transferência de calor para o tubo de metal ou reguladora durante o processo. A válvula reguladora permance fechada durante o processo. Oxigênio nessas condições comporta-se como um gás perfeito com $c_p = 0{,}915$ kJ/(kg.K) e $c_v = 0{,}653$ kJ/(kg.K), independentes da pressão e temperatura.

Dados:

Pressão no cilindro de oxigênio, $P_c = 150$ bar;

Temperatura inicial do conjunto, $T_i = 38\ ^oC$;

Pressão inicial na linha e na válvula reguladora, $P_{R,i} = 1$ bar.



(a) No primeiro modelo, considere que o gás que entra em V_R se mistura completamente com o gás que se encontrava inicialmente nesse volume. Qual é a temperatura final em V_R?

(b) No segundo modelo, assuma que não há mistura entre o gás que estava em V_R e o gás que deixa o cilindro. Nesse caso, após a equalização de pressão, identificam-se duas regiões estratificadas a temperaturas diferentes. Considere que a pressão e o volume na região R obedecem à relação $P.V^k = \text{constante}$, com $k = c_p/c_v$. Admitindo que não há transferência de calor na direção axial entre as regiões, qual é a temperatura final em V_R?

11ª Questão (**):

Ar escoa em regime permanente através de uma tubulação horizontal com diâmetro constante e vazão mássica de 1 kg/s. O escoamento é turbulento e os coeficientes de energia cinética podem ser considerados unitários. Conhecendo-se os seguintes dados disponíveis em duas seções da tubulação:

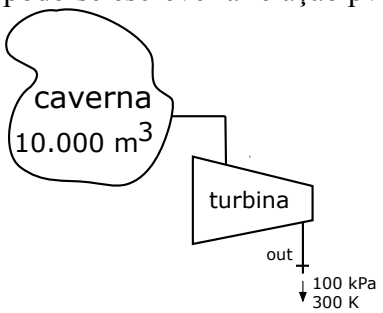
$p_1 = 1{,}0$ MPa

$V_1 = 25$ m/s

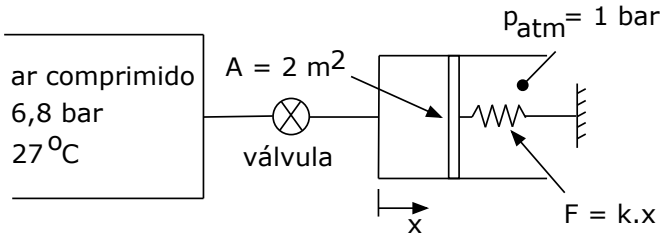
$P_2 = 0{,}2$ MPa

Pede-se: (a) A expressão da taxa de calor transferido para o fluido entre as seções 1 e 2, em função da vazão mássica de ar, da velocidade V_1 e das pressões p_1 e p_2, se o escoamento for isotérmico entre essas duas seções e considerando o ar como gás perfeito. (b) O valor da taxa de calor transferido e da velocidade na seção 2.

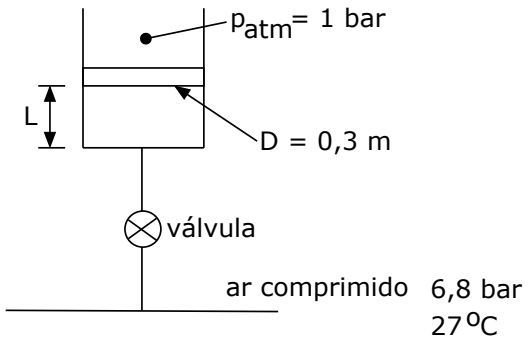
12ª Questão (***):
Ar pressurizado a 500 kPa e 400 K está armazenado em uma caverna de 10000 m^3. Esse ar é empregado para acionar uma turbina em condições de alta demanda de potência elétrica, como mostrado abaixo. Sabendo-se que as condições do ar na seção de saída da turbina são mantidas constantes, a 100 kPa e 300 K, determine o trabalho realizado pela turbina quando a pressão do ar no interior da caverna cai de 500 kPa para 300 kPa. Considere a caverna e a turbina adiabáticas, o ar como gás perfeito e que para o ar que permanece na caverna pode-se escrever a relação $pv^{1,4}$ = cte.



13ª Questão (***):
Um conjunto cilindro–pistão bem isolado termicamente está conectado a uma grande linha de ar comprimido. Inicialmente, o cilindro encontra-se vazio. A válvula é aberta e ar entra lentamente no cilindro até que o volume da câmara seja igual a 12 m^3, momento em que a válvula é fechada. O ar comprimido na linha encontra-se a 6,8 bar e 27 ^oC. A pressão atmosférica local é de 1 bar. A área do pistão (A) é igual a 2 m^2 e a constante da mola (k) igual 9,5 kN/m. Determine a temperatura e a pressão final. Considere calores específicos constantes

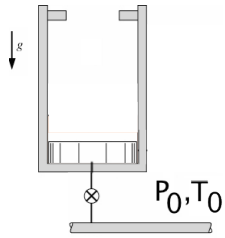


14ª Questão (***):
Um conjunto êmbolo-cilindro bem isolado termicamente é ligado por uma válvula a uma linha de ar comprimido a 8 bar e 300 K, como mostrado na figura. Inicialmente, o ar no interior do cilindro está a 1 bar, 300 K, e o pistão está localizado L = 0,5 m acima do fundo do cilindro. A pressão atmosférica é de 1 bar, e o diâmetro do pistão é de 0,3 m. A válvula é aberta e o ar admitido lentamente até que o volume no interior do cilindro duplique. O peso do êmbolo e a fricção entre o pistão e a parede do cilindro podem ser ignorados. Determine a temperatura e a massa final do ar no interior do cilindro. Resolva usando calores específicos constantes e depois a tabela do ar como gás ideal.



15ª Questão (***):

Considere a situação proposta na figura abaixo, em que um reservatório inicialmente evacuado é enchido lentamente com ar oriundo de uma grande linha de ar comprimido (P_0 = 1 MPa e T_0 = 27°C) após a abertura da válvula. A pressão necessária para erguer o pistão é de 100 kPa. O volume do reservatório quando o pistão encontra os batentes é de 1 m^3. O reservatório e o êmbolo estão isolados termicamente. Determine:



a) o trabalho realizado pelo gás no tanque;

b) a temperatura e massa do ar no reservatório quando o pistão encosta nos batentes;

c) a temperatura e a pressão do ar no reservatório na condição de equilíbrio, momento em que a válvula é fechada.

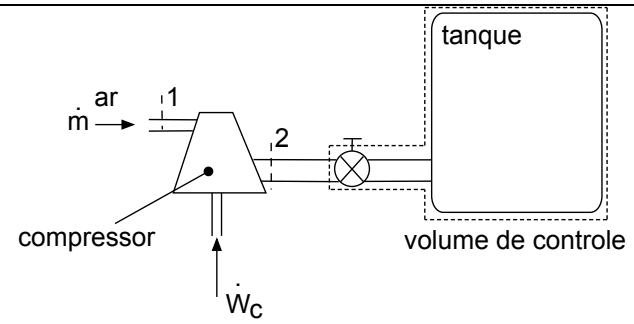
d) a pressão e o calor trocado entre o ambiente a 27°C e o ar no tanque, após a remoção do isolante e até a nova condição de equilíbrio (ponto de partida é o estado do item c).

16ª Questão (***):

Ar a T_1 = 20 °C e P_1 = 100 kPa entra num compressor com uma vazão mássica $\dot{m}$ = 0,025 kg/s através de um tubo de entrada circular com um diâmetro interno de D_1 = 10 mm. O compressor opera em regime permanente. A potência mecânica fornecida para o compressor é de $\dot{W}_c$ = 3,5 kW. O ar sai do compressor com T_2 = 50 °C e P_2 = 650 kPa. O diâmetro do tubo de saída é grande e, portanto, a velocidade do ar que sai do compressor é pequena e sua energia cinética é insignificante. Contudo, a energia cinética do ar que entra no compressor não pode ser desprezada. A saída do compressor está ligada a um tanque de armazenamento rígido com um volume de V_t = 1,5 m^3. O tanque, inicialmente, contém ar a P_i = 100 kPa. A pressão do ar dentro do tanque aumenta à medida que é preenchido, mas a transferência de calor entre o tanque e os arredores mantém a temperatura do ar no tanque sempre a T_t = 25 ° C. Este compressor não pode ser modelado como adiabático. Trate o ar como um gás ideal com calores específicos constantes e iguais a c_v = 717 J / kg-K e c_P = 1005 J / kg-K. Liste todas as hipóteses consideradas.

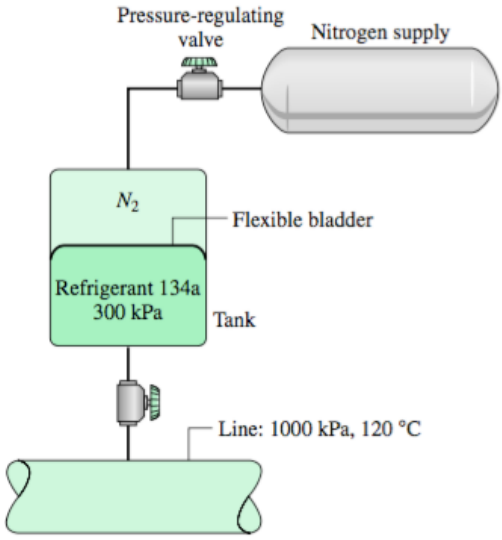
Determine:

a) a taxa de transferência de calor para o compressor;
b) a pressão do ar no tanque após 200 segundos de operação;
c) a transferência de calor total do tanque para o ambiente durante os primeiros 200 s de funcionamento.



17ª Questão (***):

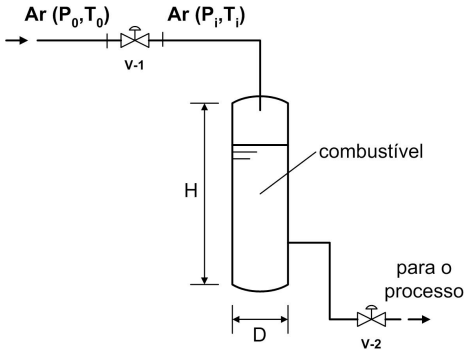
Um tanque bem isolado contém 25 kg de Refrigerante 134a, inicialmente a 300 kPa com um título de 0,8 (80%). A pressão é mantida pelo gás nitrogênio que atua contra uma membrana flexível, como mostrado na figura. A válvula é aberta entre o tanque e uma linha de suprimento que transporta refrigerante 134a a 1,0 MPa, 120ºC. O regulador de pressão permite que a pressão no tanque permaneça em 300 kPa à medida que a bolsa se expande. A válvula entre a linha e o tanque é fechada no instante em que todo o líquido se vaporiza. Determine a quantidade de refrigerante admitido no tanque.



18ª Questão (****):

Durante o processo de abastecimento de um foguete com combustível líquido, a parte superior do tanque na figura é, na primeira etapa, pressurizado com ar até que a pressão atinja P_i. A pressão inicial (P_1) é igual a 1bar. Na segunda etapa, a pressão é mantida constante em P_i e a válvula V-2 é aberta propiciando o enchimento do foguete. O ar a P_0 está disponível a partir de um grande reservatório externo não ilustrado abaixo. Considere que o tanque com o combustível possa ser representado por um cilindro com altura *H* e diâmetro *D*. No início o volume ocupado pelo combustível é igual a 90% do total e no final deve ser de 10%. Assuma comportamento de gás ideal com calores específicos constantes, que a operação é adiabática e que todos os equipamentos apresentam capacidade calorífica muito pequena. No início, antes da abertura da válvula V-1, a temperatura é uniforme na instalação, sendo igual à temperatura ambiente (T_0). Determine:

a) a temperatura do ar (T_i) a jusante da válvula V-1 em cada etapa;
b) a temperatura do ar (T_2) no tanque ao término da primeira etapa;
c) a temperatura do ar (T_3) no tanque ao término da segunda etapa;
d) a temperatura máxima do ar no tanque caso a válvula V-1 falhasse e a pressão no tanque atingisse P_0.



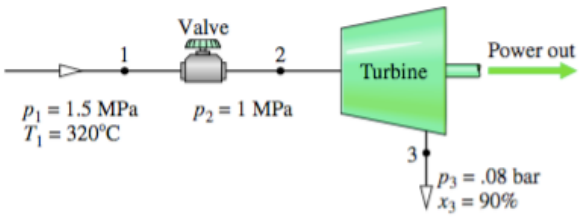
Dados: P_0 = 69bar;
P_i = 10bar;
P_1 = 1bar;
T_0 = 294K;
H = 12m;
D = 3m.

Obs.: Resolva literalmente e substitua os valores no final

19ª Questão (**):

Conforme ilustrado na figura, uma turbina a vapor operando em regime permanente é operada a uma carga parcial por estrangulamento do vapor para uma pressão mais baixa antes de entrar na turbina. Antes de estrangulamento, a pressão e a temperatura são, respectivamente, 1,5 MPa e 320ºC. Após o estrangulamento, a pressão é de 1 MPa. Na saída da turbina, o vapor está a 0,08 bar e apresenta um título de 90%. A transferência de calor com o ambiente e todos os efeitos de energia cinética e potencial podem ser desprezados. Determinar:

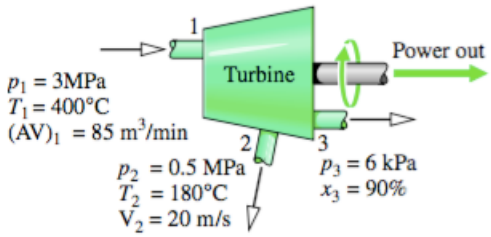
a) a temperatura na entrada da turbine;
b) a potência desenvolvida pela turbina, por unidade de massa de vapor que flui.



20ª Questão (***):

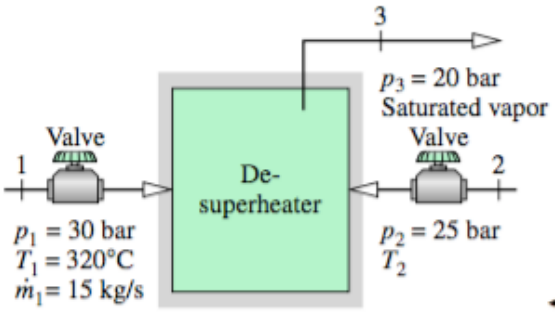
Uma turbina bem isolada operando em estado estacionário é mostrada na figura. O vapor entra a 3 MPa, 400°C, com vazão volumétrica de 85 m^3/min. Parte do vapor é extraído da turbina a uma pressão de 0,5 MPa e a 180°C. O resto expande-se para uma pressão de 6 kPa e um título de 90%. A potência desenvolvida pela turbina é de 11.400 kW. Determinar

a) a vazão mássica do vapor em cada uma das duas saídas;
b) o diâmetro do duto através do qual é extraído o vapor com velocidade de 20 m/s.



21ª Questão (**):

Conforme ilustrado na figura, 15 kg/s de vapor entram num desuperaquecedor que opera em regime permanente a 30 bar, 320 ^{o}C, onde são misturados com água líquida a 25 bar e a T_2 para produzir vapor saturado a 20 bar. A transferência de calor entre o dispositivo e o ambiente pode ser desprezada. Se T_2 = 200 ^{o}C, determine a vazão mássica de líquido.



SOLUÇÕES

1ª Questão:

Solução: Esta questão trata de 1ª Lei da Termodinâmica para Sistemas. A solução do item (a), a seguir apresenta de maneira lógica a determinação dos processos envolvidos até o estado final indicado. Durante sua solução vão sendo apresentados os valores de temperatura, pressão e volume específico pedidos e, ao final, o diagrama $T \times v$.

a) Estado 1 **0,4 pt**: início com $V_1 = 400\,\text{L} = 0{,}4\,\text{m}^3$; $p_1 = 100\,\text{kPa}$; e $x_1 = 0{,}2$ (pistão repousado sobre esbarros inferiores). Como há título, das tabelas de saturação da água: $v_{l1} = 0{,}001043\,\text{m}^3/\text{kg}$; $v_{v1} = 1{,}69400\,\text{m}^3/\text{kg}$; $u_{l1} = 417{,}33\,\text{kJ/kg}$; $u_{v1} = 2506{,}06\,\text{kJ/kg}$; e $T_1 = T_{sat\ @\ 100\ kPa} = 99{,}62\,^\circ\text{C}$.

$$v_1 = (1 - x_1).v_{l1} + x_1.v_{v1} = 0{,}339634\,\text{m}^3/\text{kg}$$

$$u_1 = (1 - x_1).u_{l1} + x_1.u_{v1} = 835{,}076\,\text{kJ/kg}$$

$$m = \frac{V_1}{v_1} = 1{,}177738\,\text{kg}$$

Estado 2 **0,4 pt**: pistão deixa esbarros inferiores. Para isso deve-se verificar se a temperatura final não foi ainda atingida. Sabe-se que:

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{V_1}{m} = v_1 = 0{,}339634\,\text{m}^3/\text{kg}$$

Para 300 kPa (pressão para equilibrar peso do pistão e pressão atmosférica externa ao pistão): $v_{l\ @\ 300\ kPa} = 0{,}001073\,\text{m}^3/\text{kg}$; e $v_{v\ @\ 300\ kPa} = 0{,}60582\,\text{m}^3/\text{kg}$. Como v_2 encontra-se entres esses valores de volumes específicos do líquido e vapor saturados a 300 kPa, segue-se que o estado 2 é ainda mistura de líquido e vapor, com $T_2 = T_{sat\ @\ 100\ kPa} = 133{,}55\,^\circ\text{C}$. Note que o processo $1 \to 2$ é isocórico.

Estado 3 **0,4 pt**: pistão toca a mola. Para isso deve-se verificar se a temperatura final não foi ainda atingida. Sabe-se que:

$$v_3 = \frac{V_3}{m} = \frac{0{,}5}{1{,}177738} = 0{,}424543\,\text{m}^3/\text{kg}$$

Note que este valor ainda encontra-se ente os volumes específicos do líquido e do vapor saturados a 300 kPa, logo o estado 3 segue ainda como mistura de líquido e vapor, com $p_3 = p_2 = 300\,\text{kPa}$; e $T_3 = T_2 = 133{,}55\,^\circ\text{C}$. Note que o processo $2 \to 3$ é, ao mesmo tempo, isobárico e isotérmico. Como curiosidade:

$$x_3 = \frac{v_3 - v_{l3}}{v_{v3} - v_{l3}} = \frac{0{,}424543 - 0{,}001073}{0{,}60582 - 0{,}001073} = 0{,}700243$$

Estado 4 **0,4 pt**: pistão toca esbarro superior. Para isso deve-se verificar se a temperatura final não foi ainda atingida. Sabe-se que:

$$v_4 = \frac{V_4}{m} = \frac{0{,}6}{1{,}177738} = 0{,}509451\,\text{m}^3/\text{kg}$$

$$p_4 = p_3 + \frac{F_{mola}}{A_p} = p_3 + \frac{k.\Delta x}{A_p} = p_3 + \frac{k.\Delta V}{A_p^2}$$

Para calcular p_4 em kPa, utiliza-se $k = 10\,\text{N/mm} = 10\,\text{kN/m}$.

$$p_4 = p_3 + \frac{k.\,(V_4 - V_3)}{A_p^2} = 300 + \frac{10.(0{,}6 - 0{,}5)}{(0{,}1)^2} = 400\,\text{kPa}$$

A 400 kPa, $v_{v\,@\,400\,kPa} = 0{,}46246\,\text{m}^3/\text{kg} < v_4 = 0{,}509451\,\text{m}^3/\text{kg}$, logo este estado seria de vapor superaquecido. Resta verificar se T_4 é maior que o limite estabelecido, i.e., 200 °C. Da tabela de vapoir superaquecido para a água, para os valores de p_4 e v_4 conhecidos, resulta $T_4 = 180{,}46\,°\text{C}$, ou seja, ainda inferior a 200 °C, demando, então, mais transferência de calor até atingir 200 °C.

Estado 5 **0,4 pt**: estado final, onde $T_5 = 200\,°\text{C}$; e $v_5 = v_4 = 0{,}509451\,\text{m}^3/\text{kg}$, uma vez que os esbarros superiores impedem o movimento ascendente do pistão. Como o estado 5 só pode ser de vapor superaquecido, para os valores de T_5 e v_5 conhecidos, segue-se que $p_5 = 422{,}66\,\text{kPa}$. Também, para este estado, $u_5 = 2645{,}9417\,\text{kJ/kg}$. Note que o processo $4 \rightarrow 5$ é isocórico.
A Figura 1 a seguir apresenta o diagrama $T \times v$ pedido. **0,5 pt**

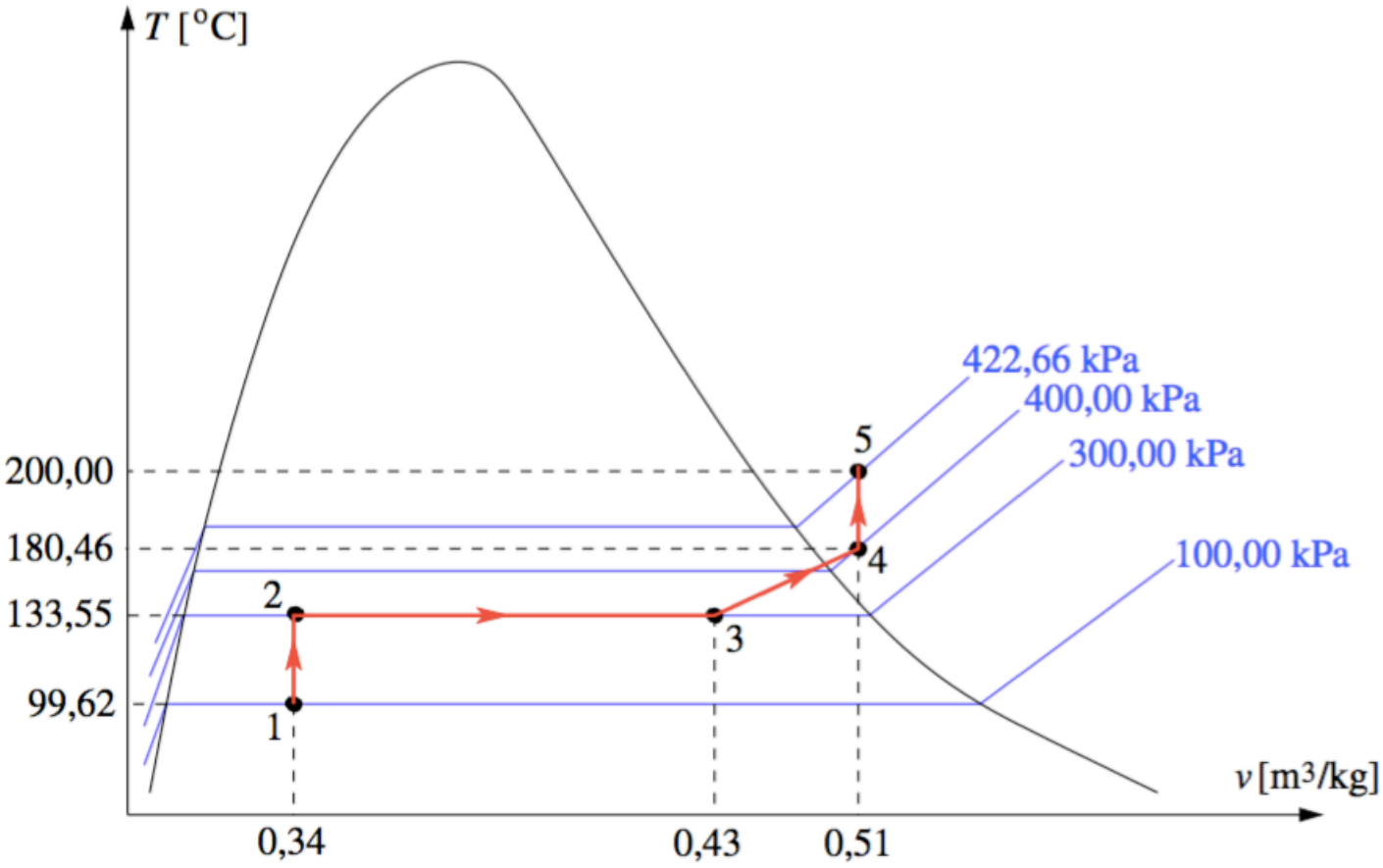


FIGURA 1 – Diagrama $T \times v$, sem escala, mostrando valores de T, p e v, bem como os processos e posições (qualitativas) dos estados.

b) O trabalho total, W_{tot}, é dado pela soma dos trabalhos realizados pela água em cada processo:

$$W_{tot} = {}_1W_2 + {}_2W_3 + {}_3W_4 + {}_4W_5$$

As parcelas ${}_1W_2$ e ${}_4W_5$ apresentam trabalho nulo, por se tratarem de processos isocóricos. Assim,

$$W_{tot} = p_2.(\cancel{V_3} - \cancel{V_2}) + \frac{(p_3 + p_4).(\cancel{V_4} - \cancel{V_3})}{2}$$

$$W_{tot} = 300.(0{,}5 - 0{,}4) + \frac{(300 + 400).(0{,}6 - 0{,}5)}{2}$$

$$W_{tot} = 65\,\text{kJ} \qquad \boxed{\textbf{1,5 pt}}$$

c) O calor total transferido à água é calculado pela Primeira Lei, desprezando as variações de energias cinética e potencial:

$$\Delta U = Q_{tot} - W_{tot}$$

$$Q_{tot} = m.(u_5 - u_1) + W_{tot}$$

$$Q_{tot} = 1{,}177738.(2645{,}9417 - 835{,}076) + 65$$

$$Q_{tot} = 2197{,}73\,\text{kJ} \qquad \boxed{\textbf{1,0 pt}}$$

2ª Questão:

PROBLEM 3.106

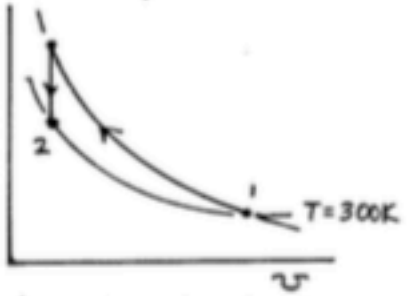
KNOWN: Air undergoes an adiabatic compression followed by constant volume cooling.

FIND: Determine the work for the first process and the heat transfer for the second one, using (a) air table data, (b) constant specific heats.

SCHEMATIC & GIVEN DATA:



Process 1-2: adiabatic
$P_1 = 1$ bar, $T_1 = 300K$
$P_2 = 15$ bar, $v_2 = .1227$ m³/kg
Process 2-3: Constant volume
$T_3 = 300K$



ASSUMPTIONS: (1) The air is a closed system. (2) There is no heat transfer for the first process and no work for the second one. (3) The air behaves as an ideal gas. (4) Kinetic and potential energy effects are negligible.

ANALYSIS: First, using the ideal gas equation of state to determine T_2

$$T_2 = \frac{P_2 v_2}{R} = \frac{(15\,\text{bar})(.1227\,\text{m}^3/\text{kg})}{\left(\frac{8.314}{28.97}\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)} \left|\frac{10^5\,\text{N/m}^2}{1\,\text{bar}}\right| \left|\frac{1\,\text{kJ}}{10^3\,\text{N}\cdot\text{m}}\right|$$

$$= 641.3\,\text{K}$$

(a) Using the energy balance for each process

Process 1-2: $\cancel{\Delta KE}^{\,0} + \cancel{\Delta PE}^{\,0} + m(u_2 - u_1) = \cancel{Q_{12}}^{\,0} - W_{12}$

$$\frac{W_{12}}{m} = u_1 - u_2$$

From Table A-22, $u_1 = 214.07$ kJ/kg and, interpolating, $u_2 = 466.5$ kJ/kg. Thus

$$\frac{W_{12}}{m} = 214.07 - 466.5 = -252.4\ \text{kJ/kg} \longleftarrow W_{12}/m$$

Process 2-3: $\cancel{\Delta KE}^{\,0} + \cancel{\Delta PE}^{\,0} + m(u_3 - u_2) = Q_{23} - \cancel{W_{23}}^{\,0}$

$$\frac{Q_{23}}{m} = u_3 - u_2$$

Since $T_3 = T_1$, $u_3 = u_1$ and $Q_{23}/m = W_{12}/m = -252.4$ kJ/kg ← Q_{23}/m

(b) Assuming a constant value for c_v

$$\frac{W_{12}}{m} = c_v(T_1 - T_2)$$

From Table A-20, at 300K, $c_v = 0.718$ kJ/kg·K. Thus

$$\frac{W_{12}}{m} = (0.718\,\text{kJ/kg}\cdot\text{K})(300 - 641.3)\,\text{K}$$

$$= -245\ \text{kJ/kg} \longleftarrow W_{12}/m$$

and $$\frac{Q_{23}}{m} = \frac{W_{12}}{m} = -245\ \text{kJ/kg} \longleftarrow Q_{23}/m$$

3ª Questão:

PROBLEM 3.105*

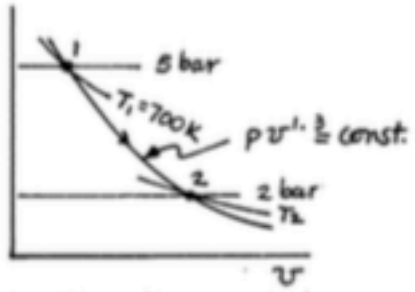
KNOWN: Nitrogen gas undergoes a polytropic expansion in a piston-cylinder assembly.

FIND: Determine the heat transfer using (a) constant specific heat evaluated at 300K, (b) constant specific heat evaluated at 700K, and (c) nitrogen tables.

SCHEMATIC & GIVEN DATA:



$T_1 = 700$ K
$P_1 = 5$ bar
$P_2 = 2$ bar



ASSUMPTIONS: (1) The nitrogen is a closed system. (2) The nitrogen behaves as an ideal gas. (3) The process is polytropic, with $n = 1.3$. (4) Kinetic and potential energy effects are negligible.

ANALYSIS: First, the work is evaluated for the polytropic process. With assumption (2), Eqs. 3.56 and 3.57 apply

$$T_2 = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{n-1}{n}\right)} T_1 = \left(\frac{2}{5}\right)^{(.3/1.3)} (700\text{K}) = 566.6\text{ K}$$

and

$$W = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n} = \frac{(1\text{ kg})\left(\frac{8.314}{28.01}\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)(566.6-700)\text{K}}{(1-1.3)} = 132\text{ kJ}$$

To determine the heat transfer, use an energy balance

$$\cancel{\Delta KE}^{\,0} + \cancel{\Delta PE}^{\,0} + \Delta U = Q - W$$

or

$$m(u_2 - u_1) = Q - W$$

$$Q = m(u_2 - u_1) + W$$

(a) From Table A-20 at 300K, $c_v = 0.743$ kJ/kg·K. Thus

$$Q = mc_v(T_2 - T_1) + W$$
$$= (1\text{ kg})(0.743\text{ kJ/kg}\cdot\text{K})(566.6 - 700)\text{K} + (132\text{ kJ})$$
$$= 32.88\text{ kJ} \quad \text{Q (a)}$$

(b) From Table A-20 at 700K, $c_v = 0.801$ kJ/kg·K. Thus

$$Q = (1)(0.801)(566.6 - 700) + (132) = 25.15\text{ kJ} \quad \text{Q (b)}$$

(c) Using values for $\bar{u}$ from Table A-23

$$Q = m\left(\frac{\bar{u}_2 - \bar{u}_1}{M}\right) + W$$

① $$= (1\text{ kg})\frac{(11{,}850 - 14{,}784)\text{kJ/kmol}}{(28.01\text{ kg/kmol})} + 132\text{ kJ}$$

$$= 27.25\text{ kJ} \quad \text{Q (c)}$$

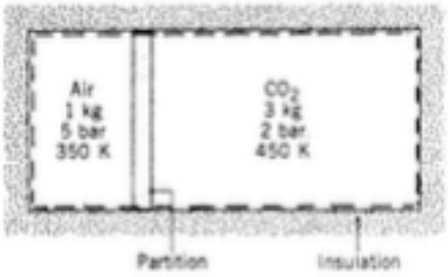
1. The approach of part (c) explicitly accounts for the variation of specific heat c_v with temperature.

7ª Questão:

KNOWN: Air and carbon dioxide are confined to opposite sides of a rigid, wall-insulated container. The partition moves and allows conduction from one gas to the other until equilibrium is achieved.

FIND: Determine the final temperature and pressure.

SCHEMATIC & GIVEN DATA: **



ASSUMPTIONS: (1) The contents of the container form a closed system. (2) The air and CO_2 behaves as ideal gases with constant specific heats. (3) The system is isolated, so $Q=0$ and $W=0$. (4) There is no energy stored in the partition. (5) Kinetic and potential energy effects are negligible.

ANALYSIS: To determine the final temperature, begin with the energy balance

$$\cancel{\Delta KE}^{\,0} + \cancel{\Delta PE}^{\,0} + \Delta U = \cancel{Q}^{\,0} - \cancel{W}^{\,0}$$

or, with $\Delta U = m_{air}\Delta u_{air} + m_{co_2}\Delta u_{co_2}$ and using Eq. 3.50

$$m_{air} c_{v,air} (T_2 - T_{1,air}) + m_{co_2} c_{v,co_2} (T_2 - T_{1,co_2}) = 0$$

Solving for T_2

$$T_2 = \frac{m_{air} c_{v,air} T_{1,air} + m_{co_2} c_{v,co_2} T_{1,co_2}}{m_{air} c_{v,air} + m_{co_2} c_{v,co_2}}$$

The specific heats are evaluated using data from Table A-20 at a mean temperature of 400K; $c_{v,air} = 0.726$ kJ/kg·K and $c_{v,co_2} = 0.750$ kJ/kg·K. Thus, the final temperature is

$$T_2 = \frac{(1\text{ kg})(0.726\text{ kJ/kg·K})(350\text{ K}) + (3)(.750)(450)}{(1\text{ kg})(0.726\text{ kJ/kg·K}) + (3)(.750)}$$

$$= 425.6\text{ K} \longleftarrow T_2$$

Next, to find the final pressure, the total volume is needed. The initial volume of the air is

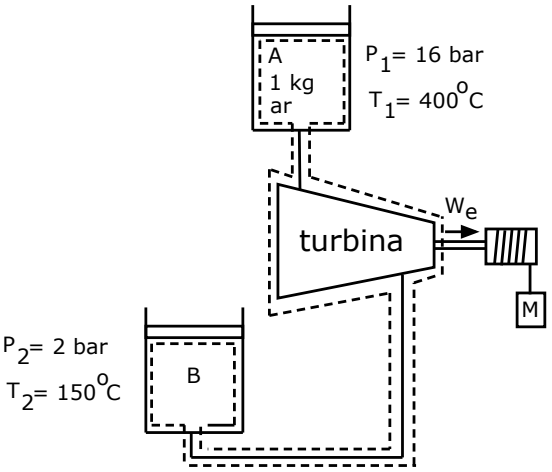
$$V_{1,air} = \frac{m_{air} R_{air} T_{1,air}}{P_{1,air}}$$

$$= \frac{(1\text{ kg})\left(\frac{8.314}{28.97}\frac{\text{kJ}}{\text{kg·K}}\right)(350\text{ K})}{(5\text{ bar})} \left|\frac{1\text{ bar}}{10^5\text{ N/m}^2}\right| \left|\frac{10^3\text{ N·m}}{1\text{ kJ}}\right| = 0.201\text{ m}^3$$

8ª Questão:

Padrão esperado de solução

- **Definição do problema:** ar em um reservatório com estado inicial conhecido é utilizado para acionar uma
- **Esquema:**



- **Hipóteses:**

1) A transferência de calor entre o conjunto e o ambiente é desprezível;
2) O processo é de quase-equilíbrio;
3) A massa contida no interior da tubulação e na turbina é desprezível em face da massa de ar nos reservatórios;
4) Não há atrito entre os pistões e os cilindros;
5) As variações de energia cinética e potencial são desprezíveis;
6) O ar comporta-se como um gás perfeito;
7) Os calores específicos são constantes e avaliados a 300 K.

- **Leis físicas:**

Conservação de energia $\Delta U = \cancel{Q} - W$

$$\Delta U = -\left(W_A + W_B + W_e\right)$$

$$W_e = -\Delta U - \left(W_A + W_B\right) \quad \Rightarrow W_e = -m\left(u_2 - u_1\right) - \left(W_A + W_B\right)$$

$$\Rightarrow W_e = -m\left(u_2 - u_1\right) - \left(-p_1\forall_1 + p_2\forall_2\right)$$

$$\Rightarrow W_e = -m\left(u_2 - u_1\right) + p_1\forall_1 - p_2\forall_2 \qquad (1)$$

Observe que o trabalho de eixo é igual à variação de energia potencial do bloco (podemos realizar essa demonstração aplicando a 1ª lei para um sistema que engloba o bloco, a polia e o cabo).

- **Propriedades:** c_{v0} = 0,717 kJ/kgK c_{p0} = 1,004 kJ/kgK

Estado 1 P = 1600 kPa T = 400 °C *Estado 2*: P = 200 kPa T = 150 °C

Variação de energia interna $\Rightarrow u_2 - u_1 = c_{v0}\left(T_2 - T_1\right) = -179,25 kJ/kg$

Cálculo dos volumes

$$\forall_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{0,287 \cdot 673,15}{1600} = 0,12075 m^3$$

$$\forall_2 = \frac{RT_2}{p_2} = \frac{0,287 \cdot 423,15}{200} = 0,60722 m^3$$

Substituindo os valores na equação 1,

$$\Rightarrow W_e = -1(-179,25) + 1600 \cdot \forall_1 - 200 \cdot \forall_2$$

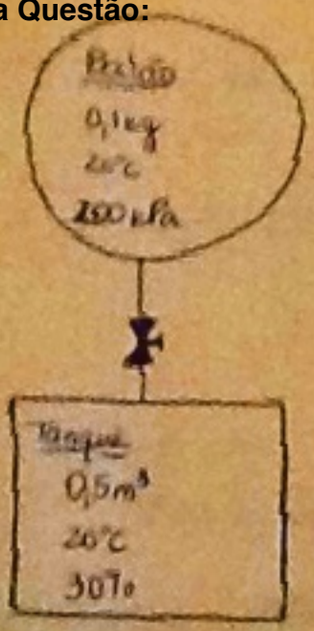
$$\Rightarrow W_e = 251,00 kJ$$

Positivo como esperávamos.

- **Análise, verificação e discussão:**

Observe que se escolhêssemos um volume de controle que englobasse apenas a turbina, o estado da massa na entrada e na saída seria variável e não teríamos um regime permanente ou uniforme. Caso tivéssemos escolhido um sistema que também englobasse o bloco de massa M, teríamos que considerar a variação da energia potencial do sistema

9a Questão:



Hipóteses – Estados inicial e final de equilíbrio,
– Endurecimento lento,
– $\Delta E_c = 0$ e $\Delta E_p \neq 0$

estado (1) – Balão (b)

$m_{b1} = 0,1\,kg$
$T_{b1} = 20°C$ ⇒ VAP SUP.
$P_{b1} = 200\,kPa$

$\begin{cases} v_{b1} = 0,6995\ m^3/kg \\ u_{b1} = 1389\ kJ/kg \\ V_{b1} = 0,06995\ m^3 \end{cases}$

estado (1) – tanque (t)

$\begin{cases} V_{t1} = 0,5\,m^3 \\ T_{t1} = 20°C \\ x_{t1} = 0,3 \end{cases}$ ⇒ Liq + vap sat.

$v_l = 0,001638$, $v_v = 0,14922$ ⇒ $v_{t1} = 0,045913\ \frac{m^3}{kg}$

$u_l = 272,89$, $u_v = 1332,2$ ⇒ $u_{t1} = 590,7\ \frac{kJ}{kg}$

$m_{t1} = \frac{V_{t1}}{v_{t1}} \Rightarrow m_{t1} = 10,9\,kg$

---

diâmetro inicial do balão (D_{b1}): $D_{b1} = \sqrt[3]{\frac{6V_{b1}}{\pi}} = 0,5112\,m$

de de proporcionalidade (γ): $P_b = \gamma D_b^2$

$\hookrightarrow \gamma = \frac{P_{b1}}{D_{b1}^2} = 765,3\ \frac{kPa}{m^2}$

---

a) Assumindo que $P_2 = 857,5\,kPa$ (P_1) $T_2 = T_1 = T_{am} = 20°C$, verificamos que $D_{b2} = 1,059\,m$, $V_{b2} = 0,6213\,m^3$ e $v_2 = \frac{0,5 + 0,06995}{0,1 + 10,9} = 0,0518\ \frac{m^3}{kg}$

$v_l < v_2 < v_v$ (a 20°C) Ok! (a) $P_2 = 857,5\,kPa$ e $T_2 = 20°C$

b) $m_{t2} = m_{t1} - (m_{b2} - m_{b1}) = 10,9 - \left(\frac{0,6213}{0,14922} - 0,1\right) = 6,84\,kg$

$m_{t2} = 6,84\,kg$

$m_{b1} = 0,1\,kg$

$v_{b2} = v_v = 0,14922\ \frac{m^3}{kg}$ ⇒ $m_{b2} = 4,16\,kg$

c) $W_2 = \int p\,dV$ e $P = \gamma D^2 = \gamma \left(\frac{6}{\pi}\right)^2 V^{2/3} \Rightarrow PV^{-2/3} = cte$

logo, $W_2 = \frac{P_2 V_{b2} - P_1 V_{b1}}{1 - n} \Rightarrow W_2 = 311\,kJ$

(1)

d) 1ª lei sistema tanque + balão:

$$\Delta U = {}_1Q_2 - {}_1W_2 \Rightarrow {}_1Q_2 = \Delta U + {}_1W_2$$

$$\rightarrow {}_1Q_2 = \underbrace{(m_{t2}u_{t2} + m_{b2}u_{b2}) - (m_{t1}u_{t1} + m_{b1}u_{b1})}_{\Delta U} + {}_1W_2$$

c/ $u_{b2} = u_T(20°C) = 1392{,}2\ kJ/kg$

no tanque temos uma mistura liq+vap. saturados a 20°C:

$x_{t2} = 0{,}485$ calculado considerando $v_{t2} = \frac{0{,}5}{6{,}84} = 0{,}0731\ \frac{m^3}{g}$

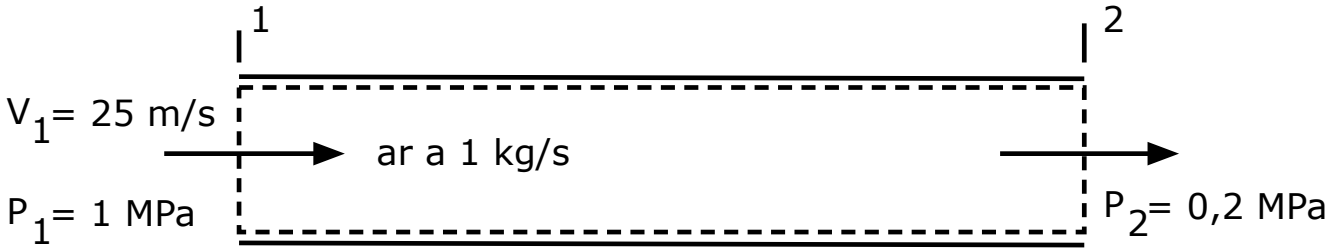
Assim, substituindo os valores, temos $\boxed{{}_1Q_2 = 4670\ kJ}$

11ª Questão:

Padrão esperado de solução

- **Definição do problema:** ar escoa em regime permanente com temperatura uniforme através de um duto. Deseja-se calcular o calor transferido entre a seção de entrada e a saída, são conhecidas a pressão e a velocidade na entrada e a pressão na saída.

- **Esquema:**



- **Hipóteses:**
  1) Regime permanente;
  2) O escoamento é isotérmico;
  3) Os estados 1 e 2 são estados de equilíbrio;
  4) O ar comporta-se como um gás perfeito.

- **Leis físicas:**

C.M.
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m} \quad \Rightarrow \frac{\cancel{A}V_1}{v_1} = \frac{\cancel{A}V_2}{v_2} \quad \Rightarrow V_2 = \frac{v_2}{v_1}V_1 \qquad (1)$$

C.E.
$$\dot{Q} + \dot{m}_1\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2}\right) = \dot{m}_2\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2}\right) \qquad (2)$$

- **Propriedades:**

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{RT_2}{P_2}\cdot\frac{P_1}{RT_1} = \frac{P_1}{P_2} \qquad (3)$$

para um gás perfeito h(T), portanto $h_1 = h_2$ (4)

Combinando as Eqs. 1, 2, 3 e 4, obtém-se:

$$\dot{Q} = \dot{m}\left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2}\right) = \frac{\dot{m}}{2}\left[\left(\frac{v_2}{v_1}V_1\right)^2 - V_1^2\right]$$

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}V_1^2}{2}\left[\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 - 1\right] \quad \Rightarrow (a) \quad \dot{Q} = \frac{\dot{m}V_1^2}{2}\left[\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2 - 1\right] \qquad (5)$$

b) Substituindo-se os valores obtém-se,

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}V_1^2}{2}\left[\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2 - 1\right] = \frac{1\cdot 25^2}{2}\left[\left(\frac{1}{0,2}\right)^2 - 1\right]$$

$$\dot{Q} = 7500W$$

- **Análise, verificação e discussão:**

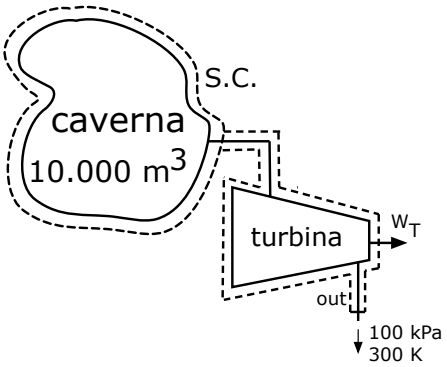
Vamos fazer uma análise dimensional da Eq. 5, observe que a equação tem dimensão de energia por tempo, que é potência, mesma dimensão de taxa de transferência de calor. Observe, adicionalmente, que quanto maior for a vazão mássica, maior será a taxa, o que concorda com nossa intuição. Quanto maior for V_1, para uma mesma razão P_1/P_2, maior será V_2, e maior será a taxa de transferência de calor necessária para acelerar o fluido.

12ª Questão:

Padrão esperado de solução

- **Definição do problema:** ar em um reservatório com estado inicial conhecido é utilizado para acionar uma turbina. O estado do ar na saída da turbina é conhecido e constante. Deseja-se determinar o trabalho realizado pela turbina até que a pressão do ar no reservatório cai para um valor especificado.

- **Esquema:**



- **Hipóteses:**

1) Estado da massa na saída do VC é constante, caracterizando um Regime Uniforme;
2) A transferência de calor entre a caverna, tubulação e turbina com o ambiente é desprezível;
3) A massa contida no interior da tubulação e da turbina é desprezível em face da massa de ar na caverna;
4) O processo é de quase-equilíbrio;
5) O ar comporta-se como um gás perfeito;
6) Os calores específicos são constantes e avaliados a 300 K;
7) O ar que permanece na caverna obedece a relação $pv^{1,4}$ = cte.

- **Leis físicas:**

Conservação da massa

$$m_2 - m_1 = -m_{out} \Rightarrow \quad m_{out} = m_1 - m_2$$

Conservação da energia

$$m_2.u_2 - m_1.u_1 = -W_T - m_{out}.h_{out}$$

$$\Rightarrow \quad W_T = m_1.u_1 - m_2.u_2 - (m_1 - m_2).h_{out} \qquad (1)$$

- **Propriedades:** c_{v0} = 0,717 kJ/kgK $\qquad$ c_{p0} = 1,004 kJ/kgK

Estado 1 P = 500 kPa, T = 400 K $\qquad$ *Estado 2*: P = 300 kPa

Saída: P = 100 kPa, T = 300 K

Massa inicial de ar na caverna $m_1 = P_1.V / (R.T_1) = 500.10000 / (0{,}287.400) = 43554$ kg

Volume específico inicial na caverna $v_1 = V_1 / m_1 = 0{,}2296$ m³/kg

Da relação $pv^{1,4}$ = cte podemos obter o volume específico no estado 2

$p_1.v_1^{1,4} = p_2.v_2^{1,4} \Rightarrow v_2 = 0{,}331$ m³/kg

Como o estado final (2) está definido (conhecemos P_2 e v_2) podemos determinar a massa e a temperatura

$m_2 = V_2 / v_2 = 30211$ kg

$T_2 = P_2.V / (R.m_2) = 300.10000 / (0{,}287.30211) = 346$ K

Equação 1: $W_T = m_1.u_1 - m_2.u_2 - (m_1 - m_2).h_{out}$

$W_T = m_1.c_{v0}.T_1 - m_2.c_{v0}.T_2 - (m_1 - m_2).c_{p0}.T_{out}$

Substituindo os valores chegamos em W_T = 978 MJ

- **Análise, verificação e discussão:**

Observe que se escolhêssemos um volume de controle que englobasse apenas a turbina, o estado da massa na entrada da turbina variaria (veja que a temperatura do ar na caverna varia).

13ª Questão:

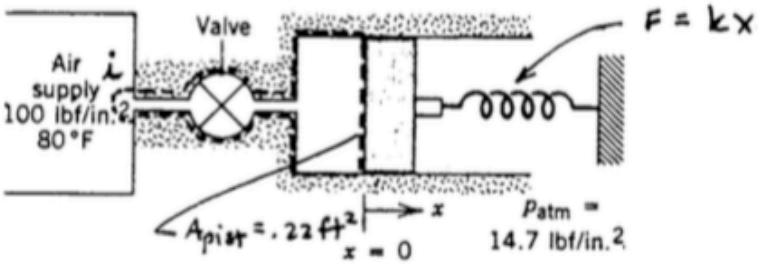
KNOWN: A well-insulated piston-cylinder assembly is connected by a valve to an air supply. The supply conditions and the initial state of air inside the cylinder. Air is admitted slowly causing the piston to compress a spring. The initial and final volumes within the cylinder are known.

FIND: Plot the final pressure and final temperature within the cylinder versus spring constant k varying from 650 to 750 lbf/ft.

SCHEMATIC & GIVEN DATA:

Initially: $p_1 = 14.7$ lbf/in.^{2}
$T_1 = 80°F$
$V_1 = 0.1$ ft^3

Finally: $V_2 = 0.4$ ft^3



ASSUMPTIONS: (1) The control volume is shown on the accompanying diagram, with $\dot{Q}_{cv} = 0$. (2) Conditions in the air supply remain constant. (3) Kinetic and potential energy effects are negligible. (4) The air behaves as an ideal gas. (5) There is no friction between the piston and cylinder wall.

ANALYSIS: The final pressure is found by applying Newton's Law to the piston. Since air is admitted slowly; $\Sigma F_x = 0$. Thus

$$p A_{pist} = p_{atm} A_{pist} + kx$$

with $V - V_1 = x A_{pist}$, the pressure is

$$p = p_{atm} + \frac{k(V - V_1)}{A_{pist}^2} \qquad (a)$$

At $V = V_2$

$$p_2 = 14.7 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} + \frac{(k \text{ lbf/ft})(0.4 - 0.1)\text{ft}^3}{(.22^2)\text{ ft}^4}\left(\frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in.}^2}\right)$$

$$= \left[14.7 + 0.043\,k\right] \text{lbf/in.}^2 \qquad (1)$$

The mass rate balance takes the form; $dm_{cv}/dt = \dot{m}_i$. With assumptions listed, the energy rate balance is

$$\frac{dU_{cv}}{dt} = \cancel{\dot{Q}_{cv}}^{\,0} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i h_i$$

The specific enthalpy h_i is constant by assumption (3). Thus, combining the mass and energy rate balances and integrating

$$\Delta U_{cv} = -W_{cv} - \int_1^2 h_i \, dm_{cv} \Rightarrow m_2 u_2 - m_1 u_1 = -W_{cv} + h_i (m_2 - m_1) \qquad (2)$$

Since the process occurs slowly, $W_{cv} = \int p\,dV$. With Eq. (a) above

$$W_{cv} = \int_{V_1}^{V_2} \left[\left(p_{atm} - \frac{kV_1}{A_{pist}^2}\right) + \frac{kV}{A_{pist}^2}\right] dV$$

$$= \left(p_{atm} - \frac{kV_1}{A_{pist}^2}\right)(V_2 - V_1) + \frac{k(V_2^2 - V_1^2)}{2\,A_{pist}^2}$$

$$\therefore W_{cv} = P_{atm}(V_2 - V_1) + \frac{K}{(A_{piston})^2}\left[\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} - V_1(V_2 - V_1)\right]$$

$$= P_{atm}(V_2 - V_1) + \frac{K}{2(A_{put})^2}\left[V_2 - V_1\right]^2$$

$$= \left[14.7\ \frac{lbf}{in^2}\left|\frac{144\ in^2}{1\ ft^2}\right|(0.3\ ft^3) + \frac{K\ (lbf/ft)}{2(0.22\ ft^2)^2}\left[0.3\ ft^2\right]^2\right]\left|\frac{1\ Btu}{778\ ft\,lbf}\right|$$

$$= \left[0.816 + (1.195\times10^{-3})K\right]\ Btu \qquad (3)$$

Also, with the ideal gas model equation of state

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{(14.7\times144\ lbf/ft^2)(0.1\ ft^3)}{\left(\frac{1545}{28.97}\ \frac{ft\cdot lbf}{lb\cdot{}^\circ R}\right)(540^\circ R)} = 7.35\times10^{-3}\ lb$$

$$m_2 = \frac{P_2 V_2}{R T_2}\ , \text{ where } P_2 \text{ is given by Eq. (1)} \qquad (4)$$

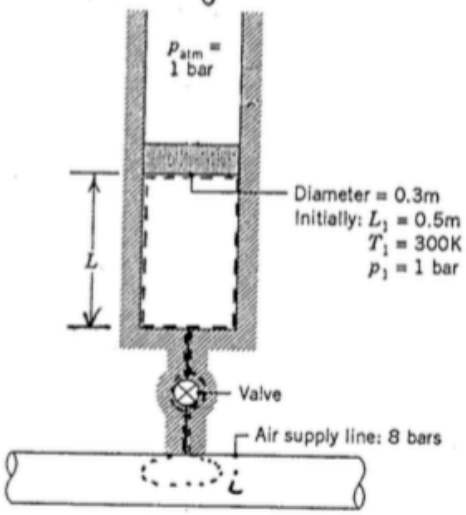
Since $T_1 = T_i = 540^\circ R\ (80^\circ F)$, $u_1 = u(540^\circ R)$, $h_i = h(540^\circ R)$.
Accordingly, T_2 can be determined by solving Eq. (2), together with Eqs. (1), (3), (4) and known values of V_2, u_1, and h_i.
This scheme is implemented via the following IT code:

14ª Questão:

KNOWN: Air is admitted slowly into an insulated piston-cylinder assembly from a supply line until the volume inside the cylinder has doubled.

FIND: Plot the final temperature and mass inside the cylinder for a given range of supply temperatures.

SCHEMATIC & GIVEN DATA:



$300 \leq T_{supply} \leq 500K$

ASSUMPTIONS: (1) For the control volume shown, $\dot{Q}_{cv}=0$. (2) Kinetic and potential energy effects can be neglected. (3) The weight of the piston and friction between the piston and cylinder wall can be neglected. (4) The air behaves as an ideal gas.

ANALYSIS: The mass rate balance takes the form $dm_{cv}/dt = \dot{m}_i$. With the assumptions listed, the energy balance is

$$\frac{dU_{cv}}{dt} = \cancel{\dot{Q}_{cv}}^{0} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i h_i$$

The line conditions are constant, so h_i is constant. Combining the mass and energy rate balances and integrating

$$m_2 u_2 - m_1 u_1 = -W_{cv} + h_i (m_2 - m_1) \qquad (1)$$

To evaluate the work, note that the pressure in the cylinder is always atmospheric since the process is slow and since assumption (3) applies. Thus

$$W_{cv} = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV = p(V_2 - V_1)$$

From the given data

$$V_1 = \left(\frac{\pi d_{piston}^2}{4}\right) L_1 = \left(\frac{\pi (.3^2)\,m^2}{4}\right)(0.5\,m) = 0.03534\ m^3$$

and $V_2 = 0.07068\ m^2$

$$W_{cv} = (1\,bar)(0.07068 - 0.03534)\,m^3 \left|\frac{10^5\,N/m^2}{1\,bar}\right| \left|\frac{1\,kJ}{10^3\,N\cdot m}\right|$$

$$= 3.534\ kJ$$

From Table A-22, at $T_1 = 300K$; $u_1 = 214.07\ kJ/kg$. Also, $h_i = h_i(T_{supply})$. For $T_{supply} = 300K$, $h_i = 300.19\ K$.

Using the ideal

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{RT_1} \qquad \left|\frac{10^5\,N/m^2}{1\,bar}\right| \left|\frac{1\,kJ}{10^3\,N\cdot m}\right| = 0.04105\ kg$$

and

$$m_2 = \frac{P_2 V_2}{RT_2} \qquad \frac{1100}{} = \frac{24.628}{T_2} \qquad (2)$$

Incorporating these results into (1) and rearranging

$$m_2 u_2 - h_i (m_2 - m_1) = m_1 u_1 - W_{cv}$$

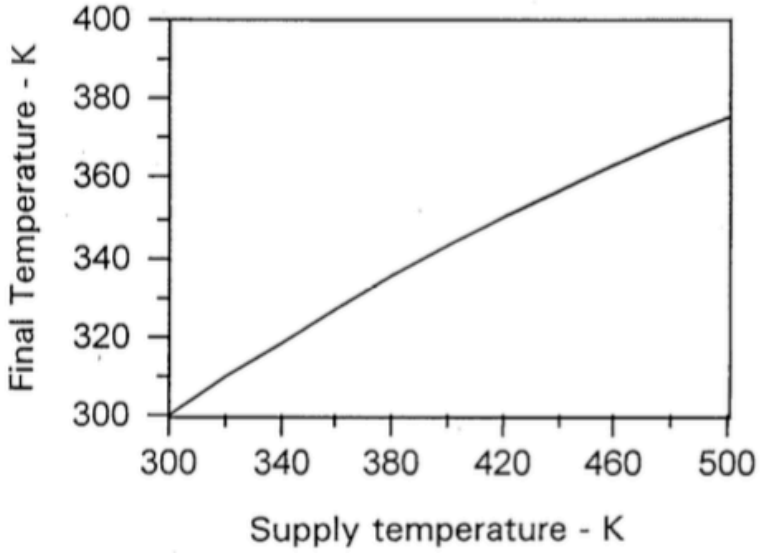
$$\frac{24.628\,u_2}{T_2} - h_i \left(\frac{24.628}{T_2} - 0.04105\right) = 5.254 \qquad (3)$$

Equations (2) and (3) can be solved for given values of $h_i(T_{supply})$ by an iterative procedure and data from Table A-22. For $T_{supply} = 300K$,

$$T_2 = 300K$$

$$m_2 = 0.0821\ kg$$

Plotting for the range of T_{supply} values



15ª Questão

Estado 1: início Estado 2: pistão toca batentes Estado 3: fim do enchimento Estado 4: Equilíbrio com ambiente

a) $W = P_2.V_2 = 100.1 =$ **100 kJ (200 kJ) (300kJ)**

b) 1ª lei (regime uniforme): $U_2 = -W_{1-2} + m_2.h_0 \Rightarrow \quad m_2.c_v.T_2 = -W_{1-2} + m_2.c_p.T_0$

$P_2.V_2/(R.T_2).c_v.T_2 = -W_{1-2} + P_2.V_2/(R.T_2).c_p.T_0 \Rightarrow 1 = -W_{1-2}.(1-k) / (P_2.V_2) + k.T_0 / T_2$

$T_2 = k.T_0 / [1 - W_{1-2}.(1-k) / (P_2.V_2)] \Rightarrow T_2 = k.T_0 / [1 - (1-k)] \Rightarrow$ **$T_2 = T_0$**

$m_2 = P_2.V_2/(R.T_2) =$ **1,16 kg (2,32 kg) (3,48 kg)**

c) 1ª lei (regime uniforme): $U_3 = W_{1-2} + m_3.h_0 \Rightarrow m_3.c_v.T_3 = -W_{1-2} + m_3.c_p.T_0$

T_3 $= k.T_0 / [1 - W_{1-2}.(1-k) / (P_3.V_3)] =$ **404 K (389 K) (375 K)** **$P_3 = 1000$ kPa**

d) 1ª lei (regime uniforme): $U_4 = Q_{3-4} - W_{1-2} + m_3.h_0$ ou

1ª lei (sistema): $U_4 - U_3 = Q_{3-4} \Rightarrow Q_{3-4} = m_3.c_v.(T_4 - T_3) = P_3.V_3/(R.T_3).c_v.(T_4 - T_3)$

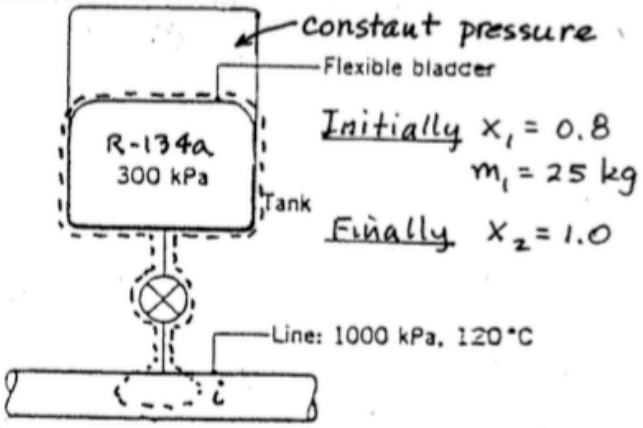
⇨ $Q_{3-4} =$ **$P_3.V_3.(T_4 / T_3 - 1) / (k - 1) =$** – 644 kJ (– 572 kJ) (– 500 kJ)

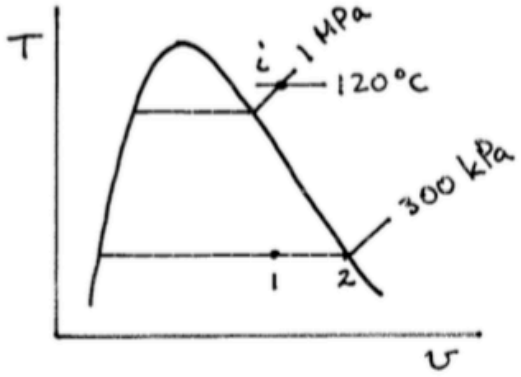
17ª Questão:

KNOWN: A well-insulated tank containing R-134a is connected to a supply line. As refrigerant is allowed to flow into the tank, a flexible bladder in the tank expands to maintain the refrigerant in the tank at constant pressure.

FIND: Determine the amount of mass admitted to the tank between the initial time and the instant when all the liquid in the tank is vaporized.

SCHEMATIC & GIVEN DATA:





ASSUMPTIONS: (1) The control volume is shown with $\dot{Q}_{cv} = 0$. (2) Conditions in the supply line remain constant. (3) The pressure remains constant in the tank. (4) Kinetic and potential energy effects are negligible.

ANALYSIS: The mass rate balance takes the form; $dm_{cv}/dt = \dot{m}_i$. With the assumptions listed, the energy rate balance is

$$\frac{dU_{cv}}{dt} = \cancel{\dot{Q}_{cv}}^{\,0} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i h_i$$

The specific enthalpy h_i is constant by assumption (2). Thus, combining the mass and energy rate balances and integrating

$$\Delta U_{cv} = -W_{cv} + \int_{t_1}^{t_2} \dot{m}_i h_i \, dt$$

Since h_i is constant

$$\Delta U_{cv} = -W_{cv} + h_i \int_{t_1}^{t_2} \dot{m}_i \, dt = -W_{cv} + h_i (m_2 - m_1) \qquad (1)$$

To evaluate the work, note that the pressure in the tank is constant. Thus

$$W_{cv} = \int p \, dV = p(V_2 - V_1) = p(m_2 v_2 - m_1 v_1) \qquad (2)$$

Combining (1) and (2), and noting that $\Delta U_{cv} = m_2 u_2 - m_1 u_1$

$$m_2 u_2 - m_1 u_1 = -p(m_2 v_2 - m_1 v_1) + h_i (m_2 - m_1)$$

or

$$m_2[(u_2 + p v_2) - h_i] = m_1[(u_1 + p v_1) - h_i]$$

$$m_2 [h_2 - h_i] = m_1 [h_1 - h_i]$$

Solving for m_2

$$m_2 = m_1\left(\frac{h_1 - h_i}{h_2 - h_i}\right)$$

Using data from Table A-11 at 3bar: $h_f = 50.85$, $h_g = 247.59$ kJ/kg

$$h_1 = (50.85) + (0.8)[247.59 - 50.85] = 208.24 \text{ kJ/kg}$$
$$h_2 = 247.59 \text{ kJ/kg}$$

From Table A-12, $h_i = 356.52$ kJ/kg. Thus

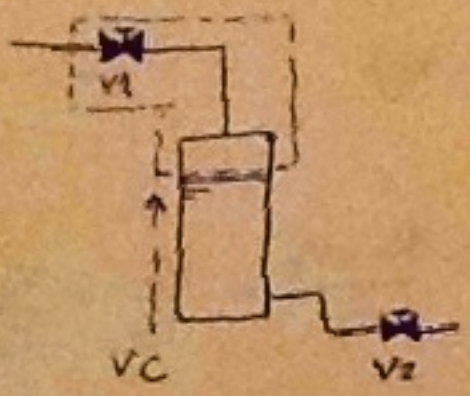
$$m_2 = 25\text{kg}\left(\frac{208.24 - 356.52}{247.59 - 356.52}\right) = 34.03 \text{ kg}$$

Finally,

$$\Delta m = m_2 - m_1$$
$$= 34.03 - 25 = 9.03 \text{ kg}$$

18a Questão:

a) Considerando o volume de controle representado na figura e as hipóteses a seguir:



- Processo de enchimento lento;
- estados final e inicial de equilíbrio,
- Regime uniforme,
- $\Delta E_c = 0$ e $\Delta E_p \approx 0$,
- Gás perfeito com calores específicos ctes.

Obtém-se: $\left.\begin{array}{ll} CM & m_2 - m_1 = m_e \\ CE & m_2u_2 - m_1u_1 = m_e h_e \end{array}\right\} m_2u_2 - m_1u_1 = (m_2 - m_1)h_e$

assim, temos: $\frac{P_2V_2}{RT_2} c_{v0} T_2 - \frac{P_1V_1}{RT_1} c_{v0} T_1 = \left(\frac{P_2V_2}{RT_2} - \frac{P_1V_1}{RT_1}\right) c_{p0} T_0$ (* o que fizemos?)

$$P_2 c_{v0} - P_1 c_{v0} = c_{p0}\left(\frac{P_2 T_0}{T_2} - P_1\right) \qquad \text{Note que } T_1 = T_0$$

$$\Rightarrow P_2 - P_1 = k\frac{P_2 T_0}{T_2} - kP_1 \Rightarrow (P_2 - P_1 + kP_1)T_2 = kP_2T_0$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{kP_2T_0}{P_2 + (k-1)P_1} \Rightarrow \boxed{T_2 = \frac{k}{1+(k-1)P_1/P_2} T_0}$$

Vamos analisar nosso resultado

$P_1 = P_2$ (ñ há entrada de ar), $T_2 = T_0$

$P_2 \to \infty$ $(m_1 << m_2)$, $T_2 \to kT_0$ (solução p/ $m_1 = 0$), $T_2 = 412\,K$

p/ $P_2 = 10\,bar$ e $P_1 = 1\,bar$ $\Rightarrow \boxed{T_2 = 996\,K}$ (*)

b) Mantemos o mesmo volume de controle e as hipóteses.

$$\left.\begin{array}{ll} CM & m_3 - m_2 = m_e \\ CE & m_3u_3 - m_2u_2 = m_e h_e - {}_2W_3 \end{array}\right\} m_3u_3 - m_2u_2 = (m_3 - m_2)h_e - P_2(V_3 - V_2)$$

$$\frac{P_3V_3}{RT_3} c_{v0} T_3 - \frac{P_2V_2}{RT_2} c_{v0} T_2 = \left(\frac{P_3V_3}{RT_3} - \frac{P_2V_2}{RT_2}\right) c_{p0} T_0 - P_2(V_3 - V_2)$$

$$\rightarrow \frac{V_3 C_{V0}}{R} - \frac{V_2 C_{V0}}{R} = \left(\frac{V_3}{RT_3} - \frac{V_2}{RT_2}\right) C_{p0} T_0 - (V_3 - V_2)$$

$$\rightarrow (V_3 - V_2)\frac{C_{V0}}{R} = \left(\frac{V_3}{T_3} - \frac{V_2}{T_2}\right)\frac{C_{p0}}{R} T_0 - (V_3 - V_2)$$

$$\rightarrow (V_3 - V_2)\left(1 + \frac{C_{V0}}{R}\right) = \left(\frac{V_3}{T_3} - \frac{V_2}{T_2}\right)\frac{C_{p0}}{R} T_0 \Rightarrow \frac{V_3 - V_2}{T_0} = \frac{V_3}{T_3} - \frac{V_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow \frac{V_2}{T_2} = -\frac{V_3 - V_2}{T_0} + \frac{V_3}{T_3} \Rightarrow \frac{V_2 T_0 + (V_3 - V_2) T_2}{T_2 T_0} = \frac{V_3}{T_3}$$

$$\Rightarrow \boxed{T_3 = \frac{V_3 T_2 T_0}{V_2 T_0 + (V_3 - V_2) T_2}} \quad c/\ V_3 = 0{,}9 V_T \quad V_2 = 0{,}1 V_T$$

$$\Rightarrow T_3 = \frac{0{,}9 T_0 T_2}{98 T_2 + 0{,}1 T_0} \Rightarrow \boxed{T_3 = 303\,K}$$

c) A maior temperatura ocorre pelo final da 1ª etapa independente da pressão. Para $\frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{69}$ (a) $\Rightarrow \boxed{T_2 = 409\,K < T_0}$

19ª Questão (**):

ASSUMPTIONS: 1. Control volumes at steady state enclose the valve and the turbine, respectively. 2. The expansion across the valve is a throttling process. 3. Heat transfer with the surroundings and kinetic/potential energy effects are negligible.

ANALYSIS: Considering the valve, since the expansion is a throttling process, we have $h_2 \approx h_1$. With data from Table A-4E, $h_1 = 1322.1$ Btu/lb. Then, interpolating at 120 lbf/in^2; $T_2 \approx 589°F$. ← T_2

Mass and energy rate balances applied to the turbine read

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

$$0 = \cancel{\dot{Q}_{cv}} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}\left[(h_1 - h_2) + \cancel{\frac{V_1^2 - V_2^2}{2}} + g(\cancel{z_1 - z_2})\right]$$

$$\Rightarrow \quad \dot{W}_{cv} = \dot{m}[h_1 - h_2]$$

$$\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}} = h_3 - h_2$$

Then, with data from Table A-3E and $h_2 = h_1$

$$h_3 = h_f + x_3(h_g - h_f)$$
$$= 69.74 + 0.9[1036] = 1002.1 \text{ Btu/lb}$$

Finally

$$\frac{\dot{W}_{cv}}{\dot{m}} = 1322.1 - 1002.1$$
$$= 320 \text{ Btu/lb}$$

← $\dot{W}_{cv}/\dot{m}$

20ª Questão:

ASSUMPTIONS: 1. A control volume enclosing the turbine is at steady state. 2. For the control volume, heat transfer and potential energy effects are negligible.

ANALYSIS: (a) To find $\dot{m}_1$, apply mass rate balance: $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$. Then, since $\dot{m}_2/\dot{m}_1 = 0.22$, we have $\dot{m}_3/\dot{m}_1 = 0.78$. Next, apply an energy rate balance:

$$0 = \cancel{\dot{Q}_{cv}}^{0} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_1\left[h_1 + \frac{V_1^2}{2}\right] - \dot{m}_2\left[h_2 + \frac{V_2^2}{2}\right] - \dot{m}_3\left[h_3 + \frac{V_3^2}{2}\right]$$

where the potential energy terms are omitted by assumption 2. Solving

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{W}_{cv}}{\left[h_1 + \frac{V_1^2}{2}\right] - \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1}\left[h_2 + \frac{V_2^2}{2}\right] - \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1}\left[h_3 + \frac{V_3^2}{2}\right]}$$

From Table A-4E, $h_1 = 1487$ Btu/lb, $h_2 = 1246.1$ Btu/lb. With Table A-3E data $h_3 = h_{f3} + x_3(h_{g3} - h_{f3}) = 69.74 + 0.85(1036) = 950.3$ Btu/lb. Thus

$$\dot{m}_1 = \frac{(9. \times 10^8 \text{ Btu/h})}{\left[1487\frac{\text{Btu}}{\text{lb}} + \frac{(2\text{ ft/s})^2}{2}\left|\frac{1\text{lbf}}{32.2\text{ lb-ft/s}^2}\right|\left|\frac{1\text{ Btu}}{778\text{ ft lbf}}\right|\right] - 0.22\left[1246.1 + \frac{(10)^2}{(2)|32.2||778|}\right] - 0.78\left[950.3 + \frac{(150)^2}{(2)|32.2||778|}\right]}$$

$$= 1.91 \times 10^6 \text{ lb/h} \quad \leftarrow \dot{m}_1$$

(b) Using $v_2 = 3.228$ from Table A-4E

$$A_2 = \frac{\dot{m}_2 v_2}{V_2} = \frac{(.22)(1.91\times10^6 \text{ lb/h})(3.228 \text{ ft}^3/\text{lb})}{(10 \text{ ft/s})}\left|\frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}}\right| = 37.68 \text{ ft}^2$$

Since $A_2 = \pi d_2/4$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{(4)(37.68\text{ ft}^2)}{\pi}} = 6.93 \text{ ft} \quad \leftarrow d_2$$

21ª Questão (**):

ASSOMPTIONS: 1. A control volume enclosing the desuperheater with inlets at 1 and 2 and an exit at 3 is at steady state. 2. For the control volume, $\dot{W}_{cv} = 0$ and heat transfer with the surroundings can be ignored. Kinetic and potential energy effects can be ignored.

ANALYSIS: The mass rate balance at steady state reads $\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$.

The energy rate balance at steady state reduces as follows:

$$0 = \cancel{\dot{Q}_{cv}} - \cancel{\dot{W}_{cv}} + \dot{m}_1\left[h_1 + \cancel{\frac{V_1^2}{2}} + \cancel{gz_1}\right] + \dot{m}_2\left[h_2 + \cancel{\frac{V_2^2}{2}} + \cancel{gz_2}\right] - \dot{m}_3\left[h_3 + \cancel{\frac{V_3^2}{2}} + \cancel{gz_3}\right]$$

$$0 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 - (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3$$

Solving for $\dot{m}_2$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1\left[\frac{h_3 - h_1}{h_2 - h_3}\right] \qquad (1)$$

(a) From Table A-4; $h_1 = 3043.4$ kJ/kg. From Table A-3; $h_3 = 2799.5$ kJ/kg. Further, at $T_2 = 200°C$, $p_2 = 25$ bar; Table A-5 gives $h_2 = 852.8$ kJ/kg. Thus

$$\dot{m}_2 = \left(15 \frac{kg}{s}\right)\left[\frac{2799.5 - 3043.4}{852.8 - 2799.5}\right] = 1.88 \text{ kg/s} \quad \leftarrow \dot{m}_2 \text{ (part a)}$$