

Tentem resolver os exercícios na ordem proposta. Infelizmente ainda não consegui preparar todas as soluções. Todos são exercícios de provas dos anos anteriores. Indiquem no Google forms aqueles que gostariam que fossem resolvidos na aula de quarta.

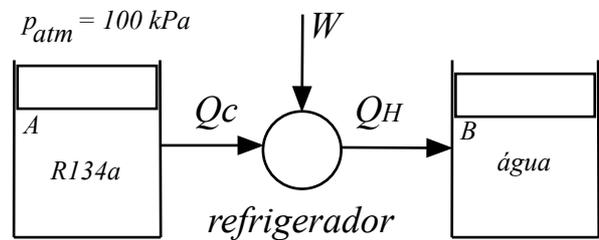
1ª Questão (*):**

- (a) Em um ciclo de refrigeração por compressão, líquido saturado (R134a) a 771 kPa entra em um válvula de expansão, deixando-a a 101 kPa. A vazão mássica de fluido refrigerante é de 0,06 kg/min. Determine a taxa de geração de entropia no processo.
- (b) Foi sugerido por um outro engenheiro a substituição da válvula por uma turbina com intuito de aproveitar esse potencial para realizar trabalho. Determine a máxima potência em tese que pode ser desenvolvida nesse processo. Considere a mesma vazão mássica do item (a).
- (c) Considere utilizar uma turbina com eficiência isentrópica de 0,8. Esboce, em um mesmo diagrama T-s, o processo de expansão nessa turbina e os dois processos anteriores (itens a e b). Inclua as linhas de saturação.

2ª Questão (*):**

O sistema de refrigeração mostrado na figura transfere energia do cilindro A para o cilindro B. O cilindro A contém $m_A = 1,75$ kg de vapor saturado de R134a a $P_A = 294$ kPa. O cilindro B contém $m_B = 0,5$ kg de água a $T_B = 45^\circ\text{C}$ com título $x_{B,1} = 0,25$. A pressão nos cilindros A e B permanece constante durante o processo em que o R134a passa de vapor saturado para líquido saturado.

- a) O ciclo de refrigeração opera com um coeficiente de desempenho de 1,5. Calcule o trabalho necessário para acionar o refrigerador.
- b) A área da seção transversal do pistão A é $A_A = 0,002$ m². Calcule a massa requerida para o pistão A. A pressão atmosférica é de 100 kPa.
- c) Calcule o trabalho realizado pela água ou sobre a água durante o processo.
- d) Calcule qual seria o trabalho mínimo necessário para acionar o refrigerador e realizar o processo proposto, considerando todos os processos reversíveis.



3ª Questão (**):**

Um conjunto cilindro-pistão que opera a pressão constante, contém ar a $P_1 = 500$ kPa e $T_1 = 300$ K. Uma bomba de calor reversível, que extrai calor do ambiente ($T_0 = 300$ K), transfere calor para o ar até que o volume final seja três vezes o volume inicial. O trabalho necessário para acionar a bomba de calor é de 1000 kJ. Determine:

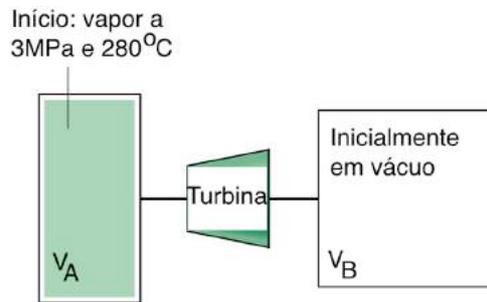
- A temperatura final do ar;
- O trabalho realizado pelo ar sobre o pistão, por unidade de massa;
- O calor fornecido pela bomba de calor, por unidade de massa do ar;
- A variação de entropia do ar, por unidade de massa;
- A massa de ar contida no cilindro.

4ª Questão (*):**

A turbina da figura está localizada entre dois tanques. Inicialmente, o tanque menor (A) contém vapor d'água a 3MPa e 280°C e o tanque maior (B) está vazio. Permite-se que o vapor escoe do menor para o maior tanque através da turbina até que o equilíbrio seja atingido. Se a transferência de calor para a vizinhança é desprezível, determine:

- o máximo trabalho teórico que pode ser obtido;
- a temperatura e a pressão de equilíbrio nos tanques.

Dados: $V_A = 100\text{m}^3$;
 $V_B = 1000\text{m}^3$.



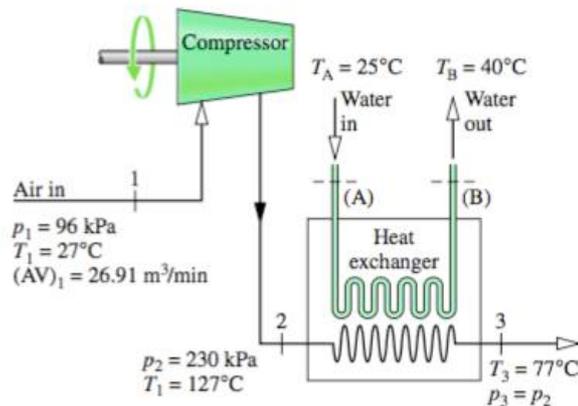
5ª Questão (*):**

A câmara do cilindro da figura contém 200g de amônia a 200 kPa, em equilíbrio com o ambiente a 99 kPa e 27°C. Essa amônia é resfriada por intermédio da transferência de calor para o ambiente, por um refrigerador cuja eficiência atinge 80% daquela do refrigerador reversível. O processo ocorre de forma que a água contida na câmara atinge o estado de vapor saturado a -22°C, se encerrando quando a temperatura interna atinge -36°C. Mostre o processo no diagrama P-V e determine a pressão e o volume final da amônia, o calor transferido para a amônia, o trabalho efetuado no refrigerador, e a variação líquida de entropia no processo. Qual seria a variação líquida se o refrigerador fosse reversível?

~~6ª Questão (***):~~

Ar como um gás ideal flui através do compressor e trocador de calor mostrado na figura. Um fluxo separado de água líquida também flui através do trocador de calor. Os dados apresentados são para o funcionamento em regime permanente. Pode-se desprezar a transferência de calor para a vizinhança, assim como variações de energia cinética e potencial. Determinar

- (a) a potência do compressor e a vazão mássica de água de arrefecimento;
- (b) as taxas de produção de entropia, no compressor e trocador de calor.



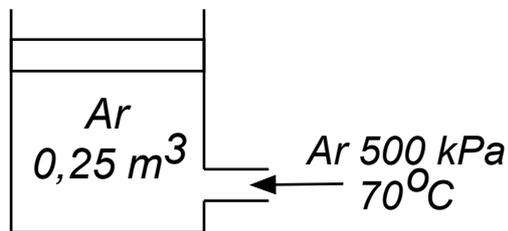
(Resp. (a) 50,4 kW, 0,403 kg/s, (b) 0,0196 kW/K, 0,0152 kW/K) **

~~7ª Questão (***):~~

Um tanque rígido de 20 L contém refrigerante R134a saturado a 1017 kPa. Inicialmente, 40% do volume é ocupado por líquido e o restante por vapor. Uma válvula no topo do tanque é aberta, e vapor escapa lentamente do tanque. Calor é transferido para o refrigerante de forma que a pressão no interior do tanque permanece constante. A válvula é fechada quando a última gota de líquido no tanque vaporiza. Determine o calor transferido e a entropia gerada no processo. Considere a pressão atmosférica igual a 100 kPa.

8ª Questão (*):**

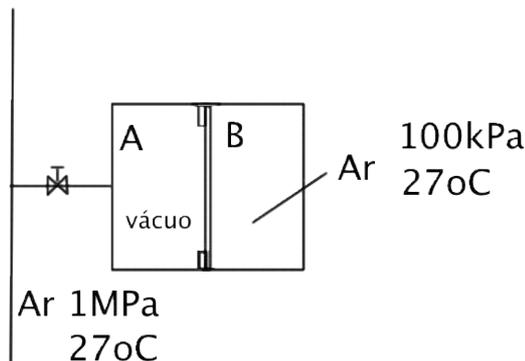
Um conjunto cilindro-pistão isolado termicamente contém inicialmente 0,7 kg de ar a 20 °C, ocupando um volume de 0,25 m³. Ar a 500 kPa e 70 °C passa a entrar no cilindro a partir de uma linha de suprimento até que o volume aumente 50 %. Usando calores específicos constantes avaliados a 300 K, determine: (a) a temperatura final do ar no cilindro, (b) a massa de ar que entrou, (c) o trabalho realizado e (d) a entropia gerada.



9ª Questão (*) :**

Considere o reservatório da figura, termicamente isolado do ambiente, com volume total de 1 m^3 . Neste reservatório há um pistão, também isolado, que pode mover-se sem atrito e que separa o reservatório em duas câmaras A e B de volumes iguais. Inicialmente, a câmara A está evacuada. A válvula que conecta o tanque à linha de ar comprimido é aberta e o ar da linha escoou lentamente para o tanque até que a pressão em A se iguale à da linha. Considerando gás perfeito determine:

- (a) o volume final da câmara B;
- (b) o trabalho realizado sobre o ar da câmara B;
- (c) a temperatura final do ar da câmara;
- (d) a massa de ar que entra no tanque.

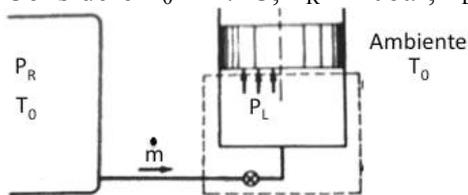


10ª Questão (*) :**

A função do conjunto cilindro-pistão da figura é erguer o peso (pistão) usando ar comprimido armazenado em um grande reservatório a pressão P_R e temperatura ambiente T_0 . No início o pistão encontra-se no fundo do cilindro. A função da válvula é manter a pressão na entrada do cilindro em P_L , a pressão mínima necessária para elevar o pistão. Admita que durante o processo de subida do pistão o ar no interior do cilindro permaneça com temperatura constante. Considere o volume de controle representado na figura pela linha pontilhada. Para um volume final de ar no cilindro igual a V_f , pede-se para:

- a) determinar o calor transferido entre o volume de controle e o ambiente;
- b) determinar a entropia gerada no volume de controle;
- c) identificar o(s) processo(s) responsáveis pela geração de entropia no volume de controle;
- d) determinar o que acontece com a entropia gerada se um pistão de massa menor fosse utilizado (P_L é ajustada de acordo). Justifique sua resposta.

Considere $T_0 = 27^\circ\text{C}$, $P_R = 10\text{bar}$, $P_L = 2\text{bar}$, $V_f = 1\text{m}^3$.



11ª Questão (**) :**

Um tanque esférico de aço, com diâmetro interno de 1 m e espessura de parede de 5 mm, contém vapor d'água à pressão de 100 kPa e título de 2%. É transferido calor para o tanque até que a pressão no tanque atinja 1,0 MPa, quando uma válvula de alívio instalada no topo do tanque se abre. A partir deste momento, vapor saturado à pressão de 1,0 MPa é liberado pela válvula de alívio, passa por uma turbina e é descarregado na atmosfera à pressão de 100 kPa. O processo continua até que não exista mais líquido no tanque. Considere que o processo é suficientemente lento para que a temperatura do tanque (aço) possa ser considerada igual à da água dentro dele. Sabendo-se que $\rho_{\text{aço}} = 7840 \text{ kg/m}^3$ e $c_{\text{aço}} = 0,45 \text{ kJ/kg K}$, calcule:

- a) A massa de água descarregada do tanque;

- b) O calor transferido para o tanque durante o processo;
- c) O trabalho total realizado pela turbina (eficiência isentrópica da turbina $\eta = 85\%$);
- d) A variação líquida de entropia.

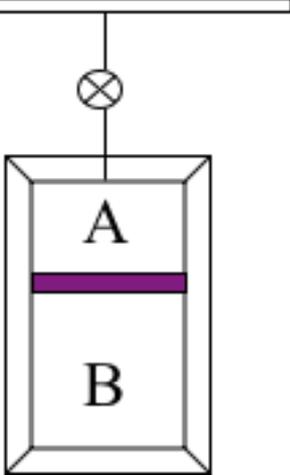
12ª Questão (*) :**

Um tanque rígido contém inicialmente 5 kg de ar na pressão de 0,5 MPa e temperatura de 500 K. O tanque é conectado a uma turbina. O ar é descarregado lentamente pela turbina para a atmosfera até que a pressão no tanque se iguale à pressão atmosférica de 0,1 MPa. A massa de ar que permanece no tanque, assim como a que escoou pela turbina passam por processos isotérmicos reversíveis. O ar pode ser considerado um gás ideal com calores específicos constantes. Determine:

- (a) O máximo trabalho que pode ser obtido no processo. Caso se utilize oxigênio (O_2) ou nitrogênio (N_2) ao invés de ar, mantendo as condições do enunciado, o trabalho seria menor, igual ou maior? Justifique sua resposta.
- (b) O calor transferido no processo com ar. Caso se utilize oxigênio (O_2) ou nitrogênio (N_2) ao invés de ar, mantendo as condições do enunciado, o calor transferido será diferente? Justifique sua resposta.

13ª Questão (*) :**

Uma ampola cilíndrica vertical termicamente isolada, conforme figura acima, é carregada na sua parte superior com nitrogênio proveniente de uma linha a $P_e = 1$ MPa e $T_e = 300$ K. A ampola possui duas câmaras separadas por um êmbolo ideal de material isolante térmico, sendo capaz de deslizar sem atrito. Inicialmente a câmara superior (A), com volume $V_{A1} = 20$ litros, contém nitrogênio a $P_{A1} = 100$ kPa e $T_{A1} = 300$ K, enquanto a câmara inferior (B), com volume $V_{B1} = 40$ litros, contém oxigênio a $T_{B1} = 300$ K. Admitindo o carregamento lento da ampola, pela abertura suave da válvula, e calores específicos constantes para os gases, calcular a massa que penetra na mesma, as pressões, as temperaturas e os volumes finais, e a variação líquida de entropia.



14ª Questão (*) :**

Uma barra cilíndrica de cobre com seção transversal A e comprimento L está isolada na sua superfície lateral. Uma das faces na extremidade está em contato com uma parede a T_H . A outra extremidade está em contato com uma parede com temperatura inferior e igual a T_L . Em regime permanente, a taxa com que energia é conduzida através da barra é:

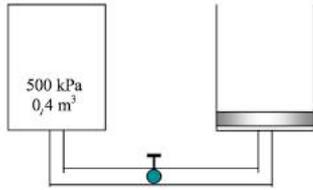
$$\dot{Q}_H = \frac{kA(T_H - T_L)}{L}, \text{ sendo } k \text{ a condutividade térmica do cobre da barra.}$$

- a) Para a barra como sistema, obtenha uma expressão para a taxa de geração de entropia em termos de A , L , T_H , T_L e k .
- b) Para $T_H = 327$ °C, $T_L = 77$ °C, $k = 0,4$ kW/(m.K), $A = 0,1$ m², determine a taxa de transferência de calor através da barra e a taxa de geração de entropia para L igual a 0,5 m e 1,0 m. Discuta o resultado.

15ª Questão (*) :**

Um tanque isolado contendo 0,4 m³ vapor d'água saturado a 500 kPa está conectado a um conjunto cilindro pistão também isolados. A massa do pistão é tal que uma pressão de 150 kPa é necessária para elevá-lo. A válvula é ligeiramente aberta, e parte do vapor flui para o cilindro, elevando o pistão lentamente. Esse processo

continua até que a pressão no tanque caia para 150 kPa. Assumindo que o fluido que permanece no tanque passa por um processo reversível, determine: (a) a temperatura final no tanque, (b) a temperatura final no cilindro e (c) a entropia gerada no processo.



SOLUÇÕES

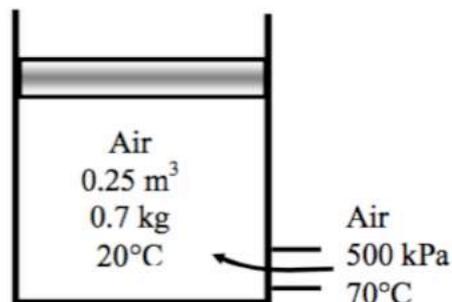
8ª Questão:

7-239 Air is allowed to enter an insulated piston-cylinder device until the volume of the air increases by 50%. The final temperature in the cylinder, the amount of mass that has entered, the work done, and the entropy generation are to be determined.

Assumptions 1 Kinetic and potential energy changes are negligible. **2** Air is an ideal gas with constant specific heats.

Properties The gas constant of air is $R = 0.287$ kJ/kg.K and the specific heats of air at room temperature are $c_p = 1.005$ kJ/kg.K, $c_v = 0.718$ kJ/kg.K (Table A-2).

Analysis The initial pressure in the cylinder is



$$P_1 = \frac{m_1 R T_1}{V_1} = \frac{(0.7 \text{ kg})(0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K})(20 + 273 \text{ K})}{0.25 \text{ m}^3} = 235.5 \text{ kPa}$$

$$m_2 = \frac{P_2 V_2}{R T_2} = \frac{(235.5 \text{ kPa})(1.5 \times 0.25 \text{ m}^3)}{(0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K})T_2} = \frac{307.71}{T_2}$$

A mass balance on the system gives the expression for the mass entering the cylinder

$$m_i = m_2 - m_1 = \frac{307.71}{T_2} - 0.7$$

(c) Noting that the pressure remains constant, the boundary work is determined to be

$$W_{b,\text{out}} = P_1 (V_2 - V_1) = (235.5 \text{ kPa})(1.5 \times 0.25 - 0.25) \text{ m}^3 = \mathbf{29.43 \text{ kJ}}$$

(a) An energy balance on the system may be used to determine the final temperature

$$m_i h_i - W_{b,\text{out}} = m_2 u_2 - m_1 u_1$$

$$m_i c_p T_i - W_{b,\text{out}} = m_2 c_v T_2 - m_1 c_v T_1$$

$$\left(\frac{307.71}{T_2} - 0.7 \right) (1.005)(70 + 273) - 29.43 = \left(\frac{307.71}{T_2} \right) (0.718)T_2 - (0.7)(0.718)(20 + 273)$$

There is only one unknown, which is the final temperature. By a trial-error approach or using EES, we find

$$T_2 = \mathbf{308.0 \text{ K}}$$

(b) The final mass and the amount of mass that has entered are

$$m_2 = \frac{307.71}{308.0} = 0.999 \text{ kg}$$

$$m_i = m_2 - m_1 = 0.999 - 0.7 = \mathbf{0.299 \text{ kg}}$$

(d) The rate of entropy generation is determined from

$$S_{\text{gen}} = m_2 s_2 - m_1 s_1 - m_i s_i = m_2 s_2 - m_1 s_1 - (m_2 - m_1) s_i = m_2 (s_2 - s_i) - m_1 (s_1 - s_i)$$

$$= m_2 \left(c_p \ln \frac{T_2}{T_i} - R \ln \frac{P_2}{P_i} \right) - m_1 \left(c_p \ln \frac{T_1}{T_i} - R \ln \frac{P_1}{P_i} \right)$$

$$= (0.999 \text{ kg}) \left[(1.005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \ln \left(\frac{308 \text{ K}}{343 \text{ K}} \right) - (0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \ln \left(\frac{235.5 \text{ kPa}}{500 \text{ kPa}} \right) \right]$$

$$- (0.7 \text{ kg}) \left[(1.005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \ln \left(\frac{293 \text{ K}}{343 \text{ K}} \right) - (0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \ln \left(\frac{235.5 \text{ kPa}}{500 \text{ kPa}} \right) \right]$$

$$= \mathbf{0.0673 \text{ kJ/K}}$$

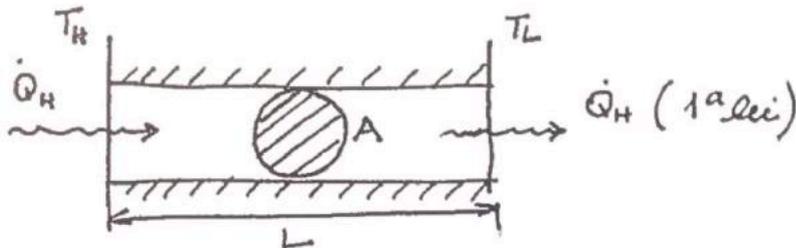
1ª Questão (Valor: 3,0 pontos):

Uma barra cilíndrica de cobre com seção transversal A e comprimento L está isolada na sua superfície lateral. Uma das faces na extremidade está em contato com uma parede a T_H . A outra extremidade está em contato com uma parede com temperatura inferior e igual a T_L . Em regime permanente, a taxa com que energia é conduzida através da barra é:

$$\dot{Q}_H = \frac{kA(T_H - T_L)}{L}, \text{ sendo } k \text{ a condutividade térmica do cobre da barra.}$$

a) Para a barra como sistema, obtenha uma expressão para a taxa de geração de entropia em termos de A , L , T_H , T_L e k .

b) Para $T_H = 327 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_L = 77 \text{ }^\circ\text{C}$, $k = 0,4 \text{ kW/(m.K)}$, $A = 0,1 \text{ m}^2$, determine a taxa de transferência de calor através da barra e a taxa de geração de entropia para L igual a $0,5 \text{ m}$ e $1,0 \text{ m}$. Discuta o resultado.



a) 2ª lei pl a barra como sistema

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}_H}{T_H} - \frac{\dot{Q}_H}{T_L} + \dot{S}_g$$

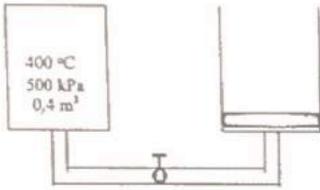
$$\Rightarrow \dot{S}_g = \frac{\dot{Q}_H}{T_L} - \frac{\dot{Q}_H}{T_H} = \dot{Q}_H \left(\frac{1}{T_L} - \frac{1}{T_H} \right) = \dot{Q}_H \left(\frac{T_H - T_L}{T_H \cdot T_L} \right)$$

$$\Rightarrow \dot{S}_g = \frac{kA}{L} \frac{(T_H - T_L)^2}{T_H \cdot T_L}$$

b) Observe que quanto maior for L menor será o calor transferido e os gradientes de temperatura serão menores, resultando em uma menor taxa de geração de entropia.

2ª Questão (Valor: 3,5 pontos):

Um tanque isolado contendo $0,4 \text{ m}^3$ de vapor d'água a 400°C e 500 kPa está conectado a um conjunto cilindro pistão também isolado. Inicialmente o pistão encontra-se no fundo do cilindro. A massa do pistão é tal que uma pressão de 300 kPa é necessária para elevá-lo. A válvula é aberta, e parte do vapor flui para o cilindro, elevando o pistão lentamente. Esse processo continua até que a pressão no tanque caia para 300 kPa , quando a válvula é fechada. Assumindo que o fluido que permanece no tanque passa por um processo reversível, determine: (a) a temperatura final no tanque, (b) a temperatura final no cilindro e (c) a entropia gerada no processo.



Estado ①: definido (vap. superaquecido)

$$\begin{cases} T_1 = 400^\circ\text{C} \\ P_1 = 500 \text{ kPa} \\ V_T = 0,4 \text{ m}^3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_1 = 0,6173 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \Rightarrow m = 0,648 \text{ kg} \\ s_1 = 7,794 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ u_1 = 2963 \text{ kJ/kg} \end{cases}$$

Estado ②: fluido no tanque (vap. sup.)

$$\begin{cases} P_2 = 300 \text{ kPa} \\ s_2 = s_1 = 7,794 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_2 = 0,9166 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_2 = 2848 \text{ kJ/kg} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T_2 = 326,4^\circ\text{C} \text{ (a)} \\ m_2 = 0,4364 \text{ kg} \end{cases}$$

Estado ③: fluido no cilindro (vap. sup.)

1ª lei p/ o conjunto $U_f - U_i = -W = -[P_3 v_3 m_3 - 0]$

$$m_3 u_3 + m_2 u_2 - m_1 u_1 = -[P_3 v_3 m_3] \quad (m_3 = 0,2116 \text{ kg})$$

$$m_3 (u_3 + P_3 v_3) = m_1 u_1 - m_2 u_2$$

$$h_3 = \frac{m_1 u_1 - m_2 u_2}{m_3} = 3201 \text{ kJ/kg}$$

$$P_3 = 300 \text{ kPa}$$

(b)
 $T_3 = 364,3^\circ\text{C}$
 $\Rightarrow s_3 = 7,92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

c) $S_g = ?$

$$S_f - S_i = S_g$$

$$\Rightarrow S_g = m_3 s_3 + m_2 s_2 - m_1 s_1$$

$$S_g = 90267 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

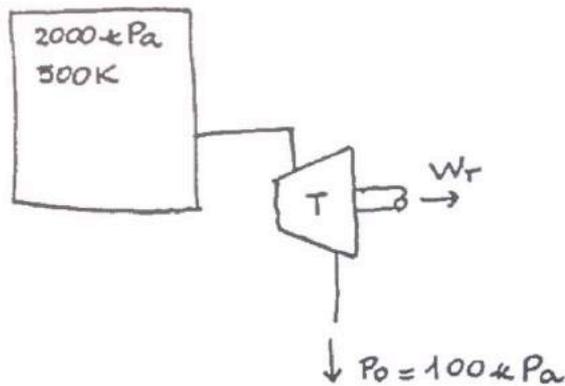
~~3ª Questão~~ (Valor: 3,5 pontos):

Um tanque de 5 m^3 de volume contém ar comprimido à pressão de 20 bar e temperatura de 500 K. Uma tubulação conecta o tanque a uma turbina, permitindo que o ar realize trabalho e seja descarregado na atmosfera ($P_0 = 1 \text{ bar}$). Esse processo termina quando a pressão dentro do tanque é equalizada com a pressão atmosférica. Os calores específicos do ar podem ser considerados constantes.

- a) Explícite as hipóteses necessárias para que o trabalho da turbina seja o máximo possível;
b) Demonstre que, para a condição de máximo trabalho, a temperatura à saída da turbina se mantém constante durante todo o processo;

Considerando as hipóteses acima, calcule:

- c) a temperatura à saída da turbina e a temperatura final no tanque;
d) a massa de ar inicial e final no tanque;
e) o trabalho realizado pela turbina.



a) hipóteses:

- 1) Processo adiabático;
- 2) Expansão no tanque e atuação da turbina adiabáticos reversíveis

b) p/a massa residual no tanque:

$$\frac{T}{T_1} = \left[\frac{P}{P_1} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

p/a massa que expande no tanque turbina:

$$\frac{T_s}{T_2} = \left[\frac{P_s}{P_2} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

logo $\frac{T_s}{T_1} = \left[\frac{P_s}{P_1} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$, etc, por tanto.

c) $P_s = P_0 \Rightarrow T_s = 212,4 \text{ K} \quad T_2 = 212,4 \text{ K}$

d) $m_1 = \frac{P_1 V}{RT_1} = 69,69 \text{ kg} \quad m_2 = \frac{P_2 V_2}{RT_2} = \frac{P_0 V}{RT_2} = 8,201 \text{ kg}$

e) 1ª lei R.U: $m_2 u_2 - m_1 u_1 = -W_T - (m_1 - m_2) h_s$

$$W_T = m_2 u_2 - m_1 u_1 + (m_2 - m_1) h_s$$

$$W_T = 10609 \text{ kJ}$$