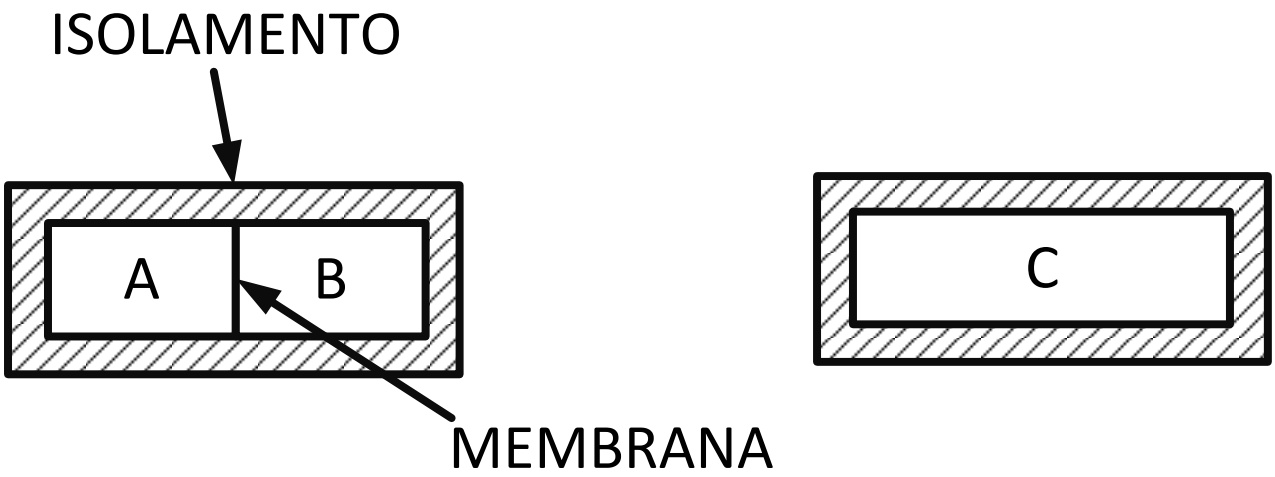
PROVA DE RECUPERAÇÃO – PME 3344 – TERMODINÂMICA APLICADA

NOME: _____ PROFESSOR:_____

QUESTÃO 1 (5,0 pontos):

Um tanque rígido e isolado termicamente do meio ambiente está dividido em dois compartimentos por uma membrana. Inicialmente, um dos compartimentos tem 1 m^3 e contém ar a 500 kPa e 350 K, e o compartimento oposto tem 3 m^3 e contém ar a 300 kPa e 450 K. A membrana é então rompida e o equilíbrio é atingido. Pode-se utilizar a hipótese do gás ideal para o ar. Determine a temperatura final de equilíbrio (em K) e a pressão final (em kPa), considerando que o calor específico do ar é constante durante o processo.

Solução



Hipóteses:

- ✓ Processo adiabático (tanque isolado)
- ✓ Processo sem realização de trabalho (tanque rígido e sem realização de trabalho no rompimento da membrana)
- ✓ Ar com comportamento de gás ideal
- ✓ Calor específico constante

Sistema: dois compartimentos

Adotando o sistema dos dois tanques e aplicando a conservação de massa: $m_A + m_B = m_C$

Aplicando a 1ª Lei para o sistema adotado

$$\Delta U = Q - W$$

$$m_C u_C - m_A u_A + m_B u_B = 0$$

Logo:

$$m_A(u_C - u_A) = m_B(u_B - u_C)$$

Como o ar pode ser tratado como gás ideal e calor específico constante: $du = C_v dT$

Portanto:

$$m_A C_{v,ar}(T_C - T_A) = m_B C_{v,ar}(T_B - T_C)$$

$$T_C = \frac{m_A T_A + m_B T_B}{m_A + m_B}$$

Utilizando a equação de gás ideal para o compartimento A:

$$p_A V_A = m_A R_{ar} T_A \rightarrow m_A = \frac{p_A V_A}{R_{ar} T_A} = \frac{(500x10^3)(1)}{(287)(350)} = 4{,}98kg$$

Utilizando a equação de gás ideal para o compartimento B:

$$p_B V_B = m_B R_{ar} T_B \rightarrow m_B = \frac{p_B V_B}{R_{ar} T_B} = \frac{(300x10^3)(1)}{(287)(450)} = 6{,}97kg$$

Logo:

$$T_C = \frac{(4{,}98)(350) + (6{,}97)(450)}{(4{,}98 + 6{,}97)} = 408{,}3K$$

Utilizando a equação de gás ideal para o compartimento C:

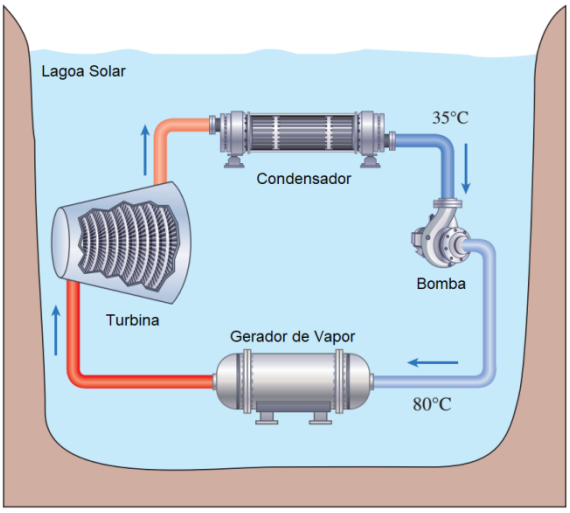
$$p_C V_C = m_C R_{ar} T_C \rightarrow p_C = \frac{m_C R_{ar} T_C}{V_C} = \frac{(11{,}95)(287)(408{,}3)}{(4)} = 350kPa$$

Versão	T_A [K]	T_C [K]	p_C [kPa]
1	300	381,8	350
2	350	408,3	350
3	400	430,8	350

QUESTÃO 2 (5,0 pontos): Um método promissor de geração de energia envolve a coleta e armazenamento de energia solar em grandes lagos artificiais com poucos metros de profundidade, chamados lagoas solares. A energia solar é absorvida pela lagoa, e com isso a temperatura da água aumenta em todos os lugares. A parte superior da lagoa, no entanto, perde a maior parte do calor que absorve e, como resultado, sua temperatura cai. Esta água fria na parte superior serve como isolante para a parte inferior da lagoa e ajuda a reter a energia lá. Normalmente, algum sal é colocado no fundo da lagoa para evitar a subida desta água quente para o topo. Uma planta de geração de potência que usa um fluido orgânico, como R-134a, como fluido de trabalho pode operar entre as porções superior e inferior da lagoa, como mostrado na figura. Se a temperatura da água for 35ºC perto da superfície e 80ºC perto do fundo da lagoa, determine:

a) a eficiência térmica máxima que esta planta pode ter;

b) caso a planta possa ser aproximada por um ciclo de Rankine, qual a potência líquida que pode ser gerada por kg de R-134a e a eficiência para as temperaturas citadas



Solução:

Hipóteses:

- ✓ Perdas de pressão nas tubulações são desprezíveis
- ✓ Variações de energia cinética e potencial desprezíveis
- ✓ Processos adiabáticos e reversíveis na turbina e na bomba

Para o rendimento máximo, devemos ter um ciclo de Carnot operando entre os dois reservatórios. Logo:

$$\eta_{máximo} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{(35+273)}{(80+273)} = 0{,}1275(12{,}75\%)$$

Para um ciclo Rankine padrão, temos que o rendimento é calculado por:

$$\eta_{Rankine} = \frac{\dot{w}_{líquido}}{|\dot{q}_{gerador}|} = \frac{\dot{w}_{turbina} - \dot{w}_{bomba}}{|\dot{q}_{gerador}|}$$

Aplicando a 1ªLei para o volume de controle para a turbina temos:

$$\dot{w}_{turbina} = \frac{\dot{W}_{turbina}}{\dot{m}_{ciclo}} = \left(h_{ent,turbina} - h_{sai,turbina}\right)$$

Aplicando a 1ªLei para o volume de controle para a bomba temos:

$$\dot{w}_{bomba} = \frac{\dot{W}_{bomba}}{\dot{m}_{ciclo}} = \left(h_{sai,bomba} - h_{ent,bomba}\right)$$

Aplicando a 1ªLei para o volume de controle para o gerador de vapor temos:

$$\left|\dot{q}_{gerador}\right| = \left|\frac{\dot{Q}_{gerador}}{\dot{m}_{ciclo}}\right| = \left(h_{sai,gerador} - h_{ent,gerador}\right)$$

Para a entrada da turbina: $T_{entrada,turbina}$=80ºC e vapor saturado, logo:

- $p_{entrada,turbina}$= $p_{sat,T=80ºC}$= 2633,6 kPa
- $h_{entrada,turbina}$= 429,19 kJ/kg
- $s_{entrada,turbina}$= 1,6862 kJ/kg.K

Para a saída da turbina: $s_{saída,turbina}$ = $s_{entrada,turbina}$ =1,6862 kJ/kg.K

$p_{saída,turbina}$= $p_{sat,T=35ºC}$= 887,62 kPa, logo:

- $s_{líquido,T=35ºC}$= 1,1673 kJ/kg.K ; $s_{vapor,T=35ºC}$= 1,7139 kJ/kg.K
- $h_{líquido,T=35ºC}$= 249,10 kJ/kg ; $h_{vapor,T=35ºC}$= 417,52 kJ/kg

$$x_{saída,turbina} = \frac{s_{saída,turbina} - s_{líquido,T=35ºC}}{s_{vapor,T=35ºC} - s_{líquido,T=35ºC}} = \frac{1,6862 - 1,1673}{1,7139 - 1,1673} = 0,949$$

$$h_{saída,turbina} = x_{saída,turbina} * h_{vapor,T=35ºC} + \left(1 - x_{saída,turbina}\right)h_{líquido,T=35ºC}$$

$$h_{saída,turbina} = (0,949)(417,52) + (1 - 0,949)(249,10) = 408,93kJ/kg$$

Logo:

$$\dot{w}_{turbina} = (429,19 - 408,93) = 20,26kJ/kg$$

Para a entrada da bomba: $p_{entrada,bomba}$=887,62 kPa e líquido saturado, logo:

- $h_{entrada,bomba}$= 249,10 kJ/kg
- $v_{entrada,bomba}$= 0,000857 m^3/kg

$$h_{saída,bomba} = h_{entrada,bomba} + v_{entrada,bomba}\left(p_{saída,turbina} - p_{entrada,turbina}\right)$$

$$h_{saída,bomba} = 249,10 + 0,000857(2633,6 - 887,62) = 250,60kJ/kg$$

Portanto:

$$\dot{w}_{bomba} = (250,60 - 249,10) = 1,5kJ/kg$$

Logo:

$$\dot{w}_{líquido} = \dot{w}_{turbina} - \dot{w}_{bomba} = 20,26 - 1,5 = 18,8kJ/kg$$

e:

$$\left|\dot{q}_{gerador}\right| = \left(h_{sai,gerador} - h_{ent,gerador}\right) = 429,19 - 250,60 = 178,59kJ/kg$$

Dessa forma:

$$\eta_{Rankine} = \frac{\dot{w}_{líquido}}{\left|\dot{q}_{gerador}\right|} = \frac{18,8}{178,59} = 0,1053(10,53\%)$$

Parâmetro	Versão 1	Versão 2	Versão 3
T_L [ºC]	30	35	40
T_H [ºC]	80	80	80
$\eta_{máximo}$ [%]	14,16	12,75	11,33
$T_{entrada,turbina}$ [ºC]	80	80	80
$p_{entrada,turbina}$ [kPa]	2633,6	2633,6	2633,6
$s_{entrada,turbina}$ [kJ/kg.K]	1,6862	1,6862	1,6862
$p_{saída,turbina}$ [kPa]	771,0	887,62	1017,0
$x_{saída,turbina}$ [%]	94,9	94,9	95,0
$h_{saída,turbina}$ [kJ/kg]	406,24	408,93	411,66
$p_{entrada,bomba}$ [kPa]	771,0	887,62	1017,0
$h_{entrada,bomba}$ [kJ/kg]	241,79	249,10	256,54
$v_{entrada,bomba}$ [m^3/kg]	0,000843	0,000857	0,000873
$h_{saída,bomba}$ [kJ/kg]	243,36	250,60	257,95
$\dot{w}_{turbina}$ [kJ/kg]	22,95	20,26	17,53
$\dot{w}_{bomba}$ [kJ/kg]	1,57	1,50	1,41
$\dot{w}_{líquido}$ [kJ/kg]	21,38	18,76	16,12
$\lvert\dot{q}_{gerador}\rvert$ [kJ/kg]	185,83	178,59	171,24
$\eta_{Rankine}$ [%]	11,51	10,53	9,41