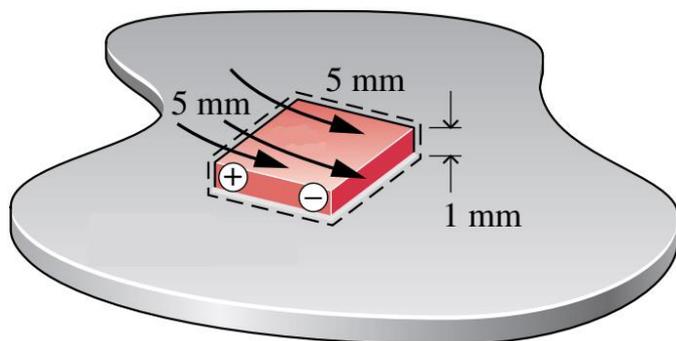


Nome: \_\_\_\_\_ NUSP: \_\_\_\_\_

**1ª Questão)**

Um chip de silício, medindo 5 mm de um lado e 1 mm de espessura é fixado em um substrato cerâmico como mostrado na figura. Em regime permanente, é fornecida ao chip uma potência elétrica de 0,225W. A superfície superior do chip é exposta a um líquido de arrefecimento a fim de que sua temperatura seja mantida a 80°C. A taxa de transferência de calor entre o chip e o líquido de arrefecimento é dada por  $\dot{Q} = hA(T_s - T_r)$ , onde  $T_s$  e  $T_r$  são respectivamente as



temperaturas da superfície e do líquido de arrefecimento,  $A$  é a área da superfície do chip, e  $h = 150\text{W/m}^2\cdot\text{K}$  é o coeficiente de transferência de calor. Considerando que a transferência de calor entre o chip e o substrato é negligenciável:

- determine qual deve ser a temperatura do líquido de arrefecimento;
- determine a taxa de geração de entropia no chip em kW/K;
- explique por que ocorre essa geração de entropia.

**Solução:**

Hipóteses:

- O chip é um sistema em regime permanente
- Não há transferência de calor entre chip e o substrato cerâmico

a) Aplicando a primeira lei para o sistema:

$$\underbrace{\frac{dE}{dt}}_{\text{Regime Permanente}} = \dot{Q} - \dot{W}$$

Por outro lado sabemos que  $\dot{Q} = -hA(T_s - T_r)$  (negativo porque sai do sistema)

Assim 
$$0 = -hA(T_s - T_r) - \dot{W} \Rightarrow T_r = T_s + \frac{\dot{W}}{hA}$$

A partir do enunciado temos que 
$$\begin{cases} \dot{W} = -0,225\text{W} \\ A = 0,005 \times 0,005 = 25 \times 10^{-6} \text{m}^2 \\ T_s = 80^\circ\text{C} = 353\text{K} \end{cases}$$

Substituindo os valores obtém-se que  $T_r = 293\text{K} = 20^\circ\text{C}$

b) Aplicando a segunda lei para o sistema:

$$\underbrace{\frac{dS}{dt}}_{\text{Regime Permanente}} = \frac{\dot{Q}}{T_s} - \dot{S}_{ger}$$

$$\therefore \dot{S}_{ger} = -\frac{\dot{Q}}{T_s} = -\frac{(-0,225)}{353} = 6,37 \times 10^{-4} \text{W/K} = 6,37 \times 10^{-7} \text{kW/K}$$

c) A geração de entropia ocorre por conta das irreversibilidades causadas pela passagem de corrente pelas resistências do chip

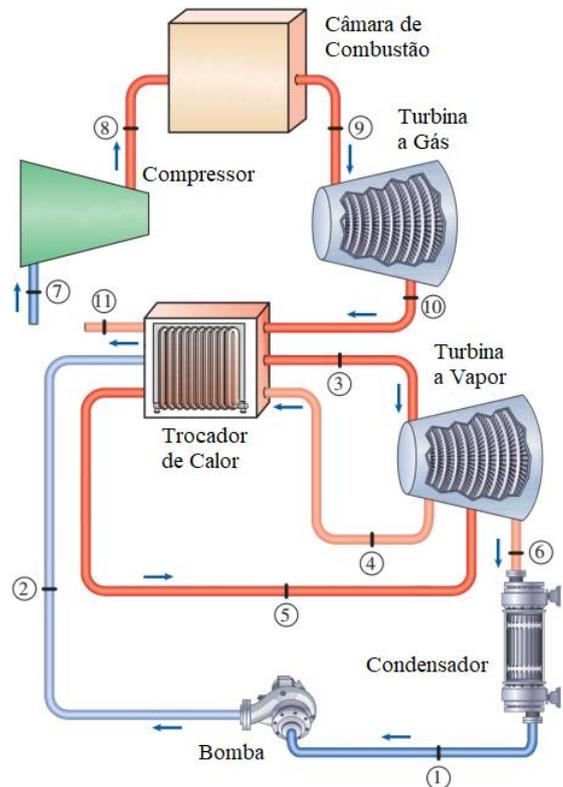
Nome: \_\_\_\_\_

NUSP: \_\_\_\_\_

**2ª Questão)**

Considere um ciclo combinado de potência a gás/vapor. O ciclo superior é um ciclo Brayton simples que tem uma razão de pressão de 7. O ar entra no compressor a 15°C a uma taxa de 40 kg/s e na turbina a gás a 950°C. O ciclo inferior é um ciclo Rankine com reaquecimento trabalhando entre as pressões de 6 MPa e 10 kPa. O vapor é aquecido em um trocador de calor a uma taxa de 4,6 kg/s pelos gases de combustão que saem da turbina a gás, e esses gases deixam o trocador de calor a 200°C. O vapor deixa a turbina de alta pressão a 1,0 MPa e é reaquecido a 400°C no trocador de calor, antes de expandir na turbina de baixa pressão. Admitindo uma eficiência isentrópica de 80 por cento para bomba, compressor e turbinas, determine:

- o título na saída da turbina de baixa pressão;
- a temperatura do vapor na entrada da turbina de alta pressão;
- a potência líquida gerada e a eficiência térmica do ciclo combinado.



**Solução:**

Hipóteses:

- Regime permanente
- Variações de Energia Cinética e Potencial Desprezíveis
- O ar pode ser considerado gás perfeito com calores específicos variáveis

a) Analisando o ciclo a ar temos, a partir da Tabela do Ar Gás Perfeito (Tab. A.7) e dos rendimentos isentrópicos do compressor e da turbina a gás, as seguintes propriedades termodinâmicas:

$$T_7 = 15^\circ\text{C} \longrightarrow h_7 = 288.53 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_7 = 15^\circ\text{C} \\ P_7 = 100 \text{ kPa} \end{array} \right\} s_7 = 5.6649 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_8 = 700 \text{ kPa} \\ s_8 = s_7 \end{array} \right\} h_{8s} = 503.70 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_C = \frac{h_{8s} - h_7}{h_8 - h_7} \longrightarrow h_8 = h_7 + (h_{8s} - h_7) / \eta_C$$

$$= 288.53 + (503.70 - 288.53) / (0.80)$$

$$= 557.49 \text{ kJ/kg}$$

$$T_9 = 950^\circ\text{C} \longrightarrow h_9 = 1305.2 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_9 = 950^\circ\text{C} \\ P_9 = 700 \text{ kPa} \end{array} \right\} s_9 = 6.6456 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{10} = 100 \text{ kPa} \\ s_{10} = s_9 \end{array} \right\} h_{10s} = 764.01 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_T = \frac{h_9 - h_{10s}}{h_9 - h_{10}} \longrightarrow h_{10} = h_9 - \eta_T (h_9 - h_{10s})$$

$$= 1305.2 - (0.80)(1305.2 - 764.01)$$

$$= 872.25 \text{ kJ/kg}$$

$$T_{11} = 200^\circ\text{C} \longrightarrow h_{11} = 475.77 \text{ kJ/kg}$$

Para o ciclo a vapor, por sua vez, temos a partir das Tabs. B.5 e dos rendimentos isentrópicos que:

$$P_1 = 10 \text{ kPa} \left. \begin{array}{l} h_1 = 191,81 \text{ kJ/kg} \\ x_1 = 0 \end{array} \right\} v_1 = 0,00101 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$w_B = \frac{v_1 (P_2 - P_1)}{\eta_B} = \frac{0,00101 (6000 - 10)}{0,8} = 7,56 \text{ kJ/kg}$$

$$w_B = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = 199,37 \text{ kJ/kg}$$

$$P_5 = 1,0 \text{ MPa} \left. \begin{array}{l} h_5 = 3264,5 \text{ kJ/kg} \\ T_1 = 400^\circ \text{C} \end{array} \right\} s_5 = 7,4670 \text{ kJ/kg.K}$$

$$P_6 = 10 \text{ kPa} \left. \begin{array}{l} x_{6s} = 0,9091 \\ s_{6s} = s_5 = 7,4670 \text{ kJ/kg.K} \end{array} \right\} h_{6s} = 2366,4 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_T = 0,80 = \frac{h_5 - h_6}{h_5 - h_{6s}} \Rightarrow h_6 = 2546,0 \text{ kJ/kg}$$

$$P_6 = 10 \text{ kPa} \left. \begin{array}{l} h_6 = 2546,0 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} x_6 = 0,9842$$

**b)** Considerando o trocador de calor adiabático e que não ocorre realização de trabalho no mesmo, temos que a aplicação da primeira lei resulta em

$$\dot{m}_{\text{vapor}} [(h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)] = \dot{m}_{\text{ar}} (h_{10} - h_{11})$$

Por outro lado temos que

$$P_3 = 6,0 \text{ MPa} \left. \begin{array}{l} h_3 = \dots \\ T_3 = ? \end{array} \right\} s_3 = \dots \quad \text{e} \quad P_4 = 1,0 \text{ MPa} \left. \begin{array}{l} h_{4s} = \dots \\ s_{4s} = s_3 \end{array} \right\}$$

$$\eta_T = 0,80 = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}}$$

A partir dessas expressões, por tentativa e erro se obtém que  $T_3 = 469,6^\circ \text{C}$  e  $h_3 = 3350,6 \text{ kJ/kg}$

**c)** A partir das propriedades termodinâmicas dos diversos pontos:

$$\dot{W}_{T,\text{gás}} = \dot{m}_{\text{ar}} (h_9 - h_{10}) = 40 \times (1305,2 - 872,25) = 17.318 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{C,\text{gás}} = \dot{m}_{\text{ar}} (h_8 - h_7) = 40 \times (557,49 - 288,53) = 10.758 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{\text{líquido,gás}} = \dot{W}_{T,\text{gás}} - \dot{W}_{C,\text{gás}} = 6.560 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{T,\text{vapor}} = \dot{m}_{\text{vapor}} [(h_3 - h_4) + (h_5 - h_6)] = 4,6 \times [(3350 - 2967,8) + (3264,5 - 2566)] = 5.065 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_B = \dot{m}_{\text{vapor}} w_B = 4,6 \times 7,56 = 35 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{\text{líquido,vapor}} = \dot{W}_{T,\text{vapor}} - \dot{W}_B = 5.030 \text{ kW}$$

$$\therefore \dot{W}_{\text{líquido,planta}} = \dot{W}_{\text{líquido,gás}} + \dot{W}_{\text{líquido,vapor}} = 11.590 \text{ kW}$$

**d)** A taxa de transferência de calor para o funcionamento da planta é dada por:

$$\dot{Q}_{fornecida} = \dot{m}_{ar} (h_9 - h_8) = 40 \times (1305,2 - 557,49) = 29.908 \text{ kW}$$

Assim, a eficiência da planta será dada por:

$$\eta_{planta} = \frac{\dot{W}_{líquido,planta}}{\dot{Q}_{fornecido}} = \frac{11.590}{29.908} = 0,3875 (38,75\%)$$