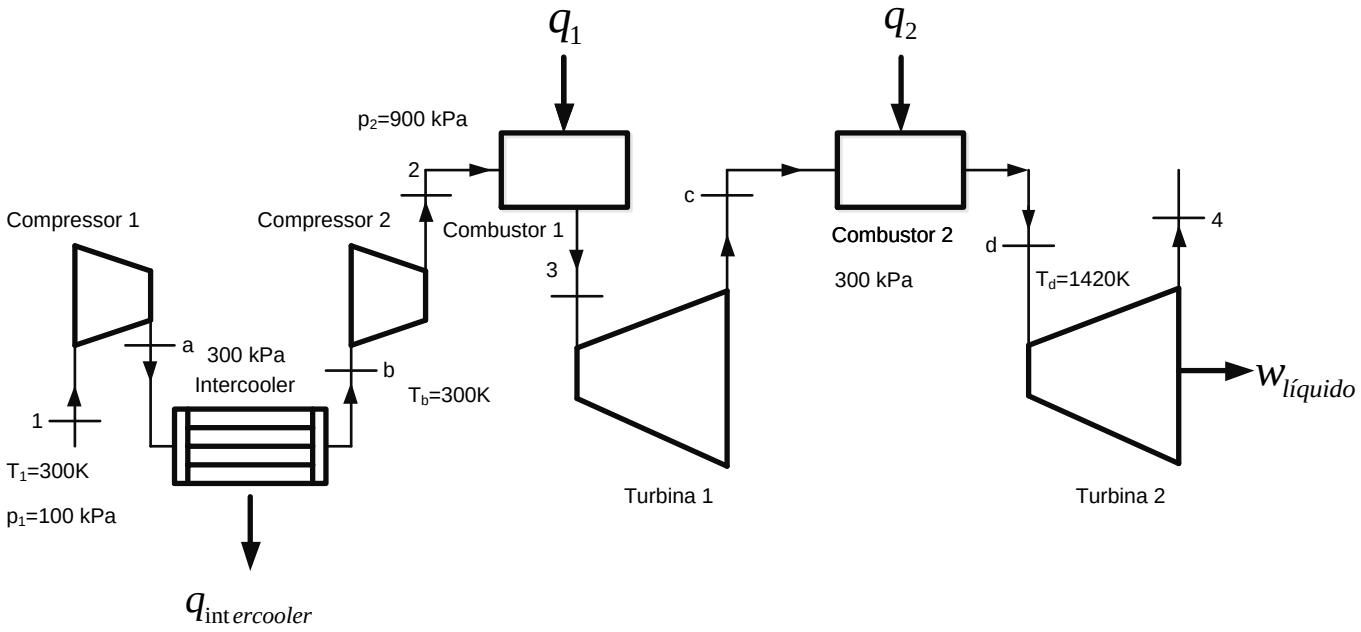
# Gabarito PME3344 – Termodinâmica Aplicada - 3a. Prova

**1ª Questão)** Ar entra no compressor de uma turbina a gás a 100 kPa, 300 K. O ar é comprimido em dois estágios até a pressão final de 900 kPa. Ao deixar o primeiro estágio de compressão, o ar a 300 kPa passa por um "intercooler" que o refrigera, levando-o à temperatura inicial de 300 K. A temperatura de entrada na turbina é de 1480 K e a expansão ocorre em duas etapas, com reaquecimento a 1420 K entre os estágios a uma pressão de 300 kPa. As eficiências isentrópicas de cada estágio do compressor e da turbina são iguais a 84 e 82%, respectivamente. A potência líquida desenvolvida é de 1,6 MW. Pede-se para determinar:
(a) a vazão mássica de ar;
(b) o rendimento térmico do ciclo;
(c) o trabalho reverso (trabalho necessário para acionar os dois estágios do compressor).
Considere calores específicos constantes.
Dados para o ar: R = 0,287 kJ/kg.K, $C_p$ = 1,12 kJ/kg.K, $C_v$ = 0,833 kJ/kg.K.

Solução:




$$\eta_{compressor1} = \eta_{compressor2} = 0,84 \qquad \eta_{turbina1} = \eta_{turbina2} = 0,82$$

Para um processo isentrópico (Compressor 1): $T_{as} = T_1\left(\frac{P_a}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 300\left(\frac{300}{100}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 410,6K$

Cálculo de $T_a$: $h_c = \frac{T_{as} - T_1}{T_a - T_1} = 0,84 \Rightarrow T_a = T_b = 431,7K$

$T_3$ = 1480 K

Para um processo isentrópico (Turbina 1): $T_{cs} = T_3\left(\frac{P_c}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 1480\left(\frac{300}{900}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 1081K$

Cálculo de $T_c$: $h_t = \frac{T_3 - T_c}{T_3 - T_{cs}} = 0,82 \Rightarrow T_c = 1153K$

$T_d$ = 1420 K

Para um processo isentrópico (Turbina 2): $T_{4s} = T_d\left(\frac{P_4}{P_d}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 1480\left(\frac{100}{300}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 1037K$

Cálculo de $T_4$: $h_t = \frac{T_d - T_4}{T_d - T_{4s}} = 0,82 \Rightarrow T_4 = 1106K$

(a) Vazão mássica

Trabalho específico fornecido ao compressor (Compressor1+Compressor2):

$$w_c = 2c_p\left(T_1 - T_a\right) = 295,0kJ/kg$$

Trabalho específico turbina (Turbina 1): $w_{t1} = c_p\left(T_3 - T_c\right) = 366,2kJ/kg$

Trabalho específico turbina (Turbina 2): $w_{t2} = c_p\left(T_d - T_4\right) = 351,3kJ/kg$

Trabalho líquido: $w_{liq} = w_{t1} + w_{t2} - w_c$

Vazão mássica: $\dot{m} = \frac{1,8MW}{w_{liq}} = 4,260kg/s$ (2,0 pontos)

(b) Rendimento térmico

Calor no 1° aquecedor: $q_1 = c_p\left(T_3 - T_2\right) = 1174kJ/kg$

Calor no 2° aquecedor: $q_2 = c_p\left(T_d - T_c\right) = 299,0kJ/kg$

Rendimento: $\dot{m} = \frac{w_{liq}}{q_1 + q_2} = 0,287$ (2,0 pontos)

(c) Trabalho reverso

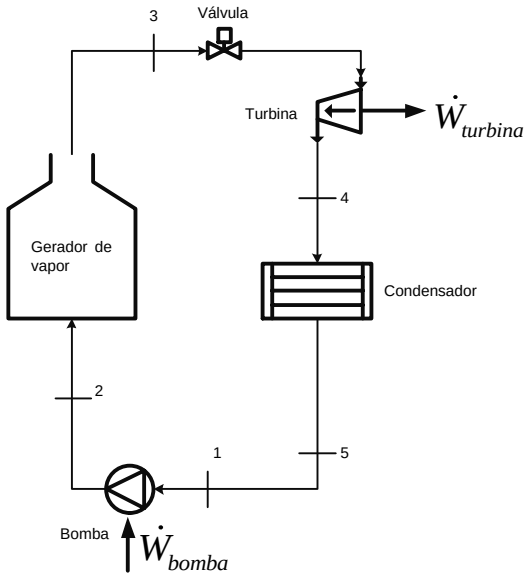
$w_c = 295,0kJ/kg$ (1,0 ponto)

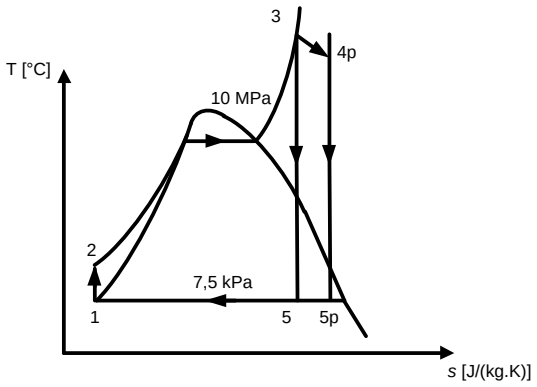
**2ª Questão)** Uma usina termelétrica, que gera 100 MW de potência líquida nominal, opera segundo um ciclo de Rankine ideal com superaquecimento. A caldeira produz vapor superaquecido a 10 MPa e 400°C. A pressão no condensador é de 7,5 kPa. Entre a caldeira e a turbina existe uma válvula redutora de pressão que estrangula o vapor para atender à curva de demanda elétrica, alterando a pressão de admissão na turbina. Pede-se:

a) o desenho esquemático da instalação, indicando a posição de todos os estados relevantes, iniciando a numeração na saída do condensador;
b) a vazão mássica necessária quando a válvula redutora de pressão está completamente aberta;
c) mantendo a mesma vazão, a pressão de estrangulamento para atender à condição de carga parcial (67% da potência nominal); neste caso, calcular o título na saída da turbina;
d) o rendimento térmico do ciclo nas condições de operação nominal e de carga parcial;
e) a representação, no diagrama T-s, das condições de operação nominal e de carga parcial.

**Solução:**

**a)**




$P_{arc} = 0{,}67$ $W_{nom} = 100000$ $P_1 = 7{,}5$ $P_3 = 10000$ $T_3 = 400$

*(b) Cálculo da Vazão Mássica*

$h_3 = 3096{,}46$ $s_3 = 6{,}2119$ $s_{5;l} = 0{,}5763$ $s_{5;v} = 8{,}2514$

$x_5 = \dfrac{s_3 - s_{5;l}}{s_{5;v} - s_{5;l}}$ $h_{5;l} = 168{,}77$ $h_{5;v} = 2574{,}79$

$h_5 = [1 - x_5] \cdot h_{5;l} + x_5 \cdot h_{5;v}$ $we_{tv;nom} = h_3 - h_5$

$v_1 = 0{,}001008$ $h_1 = h_{5;l}$ $we_b = -v_1 \cdot [P_3 - P_1]$ $h_2 = h_1 - we_b$

$W_{nom} = m \cdot [we_{tv;nom} + we_b]$ $W_{tv;nom} = m \cdot we_{tv;nom}$ $W_b = m \cdot we_b$

*(c) Determinação das Condições de Entrada na Turbina em Carga Parcial*

$W_{parc} = Parc \cdot W_{nom}$ $W_{parc} = m \cdot [we_{tv;parc} + we_b]$ $we_{tv;parc} = h_3 - h_{5;parc}$

$x_{5;parc} = \frac{h_{5;parc} - h_{5;l}}{h_{5;v} - h_{5;l}}$ $s_{5;parc} = [1 - x_{5;parc}] \cdot s_{5;l} + x_{5;parc} \cdot s_{5;v}$

*Considerando-se que $s_{5,parc} = s_{4,parc}$ e $h_{4,parc} = h_3$ e interpolando com a tabela de vapor superaquecido para P=600 kPa e P=800 KPa, obtem-se os valores de $P_{4,parc}$ e $T_{4,parc}$*

$P_{4;parc} = \mathbf{P}[Steam ; h = h_3 ; s = s_{5;parc}]$ $T_{4;parc} = \mathbf{T}[Steam ; h = h_3 ; s = s_{5;parc}]$

*(d) Rendimento Térmico do Ciclo de Rankine*

$Q_h = m \cdot [h_3 - h_2]$ $\eta_{nom} = \frac{W_{nom}}{Q_h}$ $\eta_{parc} = \frac{W_{parc}}{Q_h}$

*Critério de Correção*

*(a) Diagrama Esquemático = 0,4* *(b) $h_5$ = 0,6* *$h_2$ = 0,6* *m = 0,4*

*(c) $h_{5,p}$ = 0,6* *$x_{5,parc}$ = 0,2* *$s_{4,p}$ = 0,2* *$P_{4,parc}$ = 0,8*

*(d) $Q_h$ = 0,2* *$Eta_{nom}$ = 0,2* *$Eta_{parc}$ = 0,2* *(e) Diagrama T-s = 0,6*

SOLUTION

**Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg**

$\eta_{nom}$ = 0,3945 [-]
$\eta_{parc}$ = 0,2643 [-]
$h_1$ = 168,8 [kJ/kg]
$h_2$ = 178,8 [kJ/kg]
$h_3$ = 3096 [kJ/kg]
$h_5$ = 1935 [kJ/kg]
$h_{5,l}$ = 168,8 [kJ/kg]
$h_{5,parc}$ = 2315 [kJ/kg]
$h_{5,v}$ = 2575 [kJ/kg]
m = 86,88 [kg/s]
Parc = 0,67 [-]
$P_1$ = 7,5 [kPa]
$P_3$ = 10000 [kPa]
$P_{4,parc}$ = 611,7 [kPa]
$Q_h$ = 253497 [kW]
$s_3$ = 6,212 [kJ/kg-C]
$s_{5,l}$ = 0,5763 [kJ/kg-C]
$s_{5,parc}$ = 7,423 [kJ/kg-C]
$s_{5,v}$ = 8,251 [kJ/kg-C]
$T_3$ = 400 [C]
$T_{4,parc}$ = 317,1 [C]
$v_1$ = 0,001008 [$m^3$/kg]
$we_b$ = -10,07 [kJ/kg]
$we_{tv,nom}$ = 1161 [kJ/kg]
$we_{tv,parc}$ = 781,2 [kJ/kg]
$W_b$ = -875,1 [kW]
$W_{nom}$ = 100000 [kW]
$W_{parc}$ = 67000 [kW]
$W_{tv,nom}$ = 100875 [kW]
$x_5$ = 0,7343 [-]
$x_{5,parc}$ = 0,8921 [-]