

PME2479 Máquinas Térmicas - Lista de Exercícios 4

Exercício 02 - Ciclo Combinado

Uma turbina está acoplada a uma caldeira de recuperação que gera vapor superaquecido para uma turbina

a vapor. A turbina a gás industrial utiliza metano (CH_4) como combustível e 180% de excesso de ar.

O combustível tem $PCI = 50.000$ kJ/kg e entra no combustor a $T_{amb} = T_{ref} = 25$ oC. Ar ambiente entra no compressor

a $P_A = 100$ kPa. A relação de pressão no compressor é de 10 e a eficiência isoentrópica do compressor é de 0,83.

A potência da turbina a gás é de 50 MW, com eficiência isoentrópica de 0,87. A temperatura dos gases de combustão

na seção de saída da caldeira de recuperação é de $T_E = 210$ C. Os dados do ciclo a vapor d'água estão apresentados

a seguir. A bomba tem eficiência isoentrópica de 0,85, é alimentada com líquido saturado a $P_1 = 10$ kPa e descarrega

o líquido na pressão de $P_2 = 2$ MPa. A temperatura do vapor na seção de alimentação da turbina é $T_3 = 300$ C.

sendo que a eficiência isoentrópica da turbina é de 87%. Nestas condições, determine:

(a) Temperaturas em todos os pontos do ciclo de turbina a gás; (b) Vazão em massa dos gases na turbina a gás;

(c) Razão ar-combustível, em massa (RAC); (d) Entalpias em todos os pontos do ciclo a vapor;

(e) Vazão em massa de água; (f) Potência da turbina a vapor, compressor e bomba;

(g) Rendimento térmico global do ciclo combinado.

C_p médio: $C_{p,ar} = 1,0$ kJ/kg K (compressor), $C_{p,gases} = 1,28$ kJ/kg K (turbina), $C_{p,gases} = 1,19$ kJ/kg k (caldeira).

RAC: $CH_4 + \nu_{O_2} \cdot 2 \cdot (O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow CO_2 + 2 H_2O + (\nu_{O_2} - 1) \cdot 2 \cdot O_2 + \nu_{O_2} \cdot 2 \cdot 3,76 N_2$

$$\nu_{O_2} = 1 + 1,8 \quad RAC = \left[\nu_{O_2} \cdot 2 + \nu_{O_2} \cdot 2 \cdot 3,76 \right] \cdot \frac{28,97}{16}$$

$$\text{Ciclo Brayton} \quad W_{tur,gas} = 50000$$

$$T_{ref} = 25 + 273,15 \quad T_A = T_{ref} \quad T_E = 210 + 273,15$$

$$\eta_c = 0,83 \quad C_{p,ar} = 1 \quad C_{p,gas,tur} = 1,28 \quad k = 1,4 \quad r_p = 10$$

$$PCI = 50000 \quad RAC \cdot C_{p,ar} \cdot [T_B - T_{ref}] + PCI = [RAC + 1] \cdot C_{p,gas,tur} \cdot [T_C - T_{ref}]$$

$$T_{Bs} = T_A \cdot r_p^{\left[\frac{k-1}{k} \right]} \quad T_B = T_A + \frac{T_{Bs} - T_A}{\eta_c}$$

$$T_{Ds} = \frac{T_C}{r_p^{\left[\frac{k-1}{k} \right]}} \quad T_D = T_C - \eta_{tur} \cdot [T_C - T_{Ds}]$$

$$we_c = C_{p,ar} \cdot [T_A - T_B] \quad we_{tur,gas} = C_{p,gas,tur} \cdot [T_C - T_D]$$

$$W_{tur,gas} = we_{tur,gas} \cdot m_{gas} \quad m_{gas} = [RAC + 1] \cdot m_{comb}$$

$$m_{ar} = RAC \cdot m_{comb} \quad W_c = w_{e_c} \cdot m_{ar}$$

$$\text{Ciclo de Rankine} \quad P_1 = 10 \quad P_2 = 2000 \quad P_3 = P_2 \quad T_3 = 300 + 273,15$$

$$P_4 = P_1 \quad \eta_{tur} = 0,88 \quad \eta_b = 0,85$$

$$h_3 = h \left[\text{'Steam'} ; P = P_3 ; T = T_3 \right] \quad s_3 = s \left[\text{'Steam'} ; P = P_3 ; T = T_3 \right]$$

$$h_{4s} = h \left[\text{'Steam'} ; P = P_4 ; s = s_3 \right] \quad x_{4s} = x \left[\text{'Steam'} ; P = P_4 ; s = s_3 \right]$$

$$h_4 = h_3 - \eta_{tur} \cdot [h_3 - h_{4s}] \quad w_{e_{tur,vap}} = h_3 - h_4$$

$$h_1 = h \left[\text{'Steam'} ; P = P_1 ; x = 0 \right] \quad v_1 = v \left[\text{'Steam'} ; P = P_1 ; x = 0 \right]$$

$$w_{e_b} = -v_1 \cdot \left[\frac{P_2 - P_1}{\eta_b} \right] \quad h_2 = h_1 - w_{e_b}$$

$$T_2 = T \left[\text{'Steam'} ; P = P_2 ; h = h_2 \right] \quad T_1 = T \left[\text{'Steam'} ; P = P_1 ; x = 0 \right]$$

$$\text{Caldeira de Recuperação} \quad C_{p_{gas,cald}} = 1,19 \quad m_{gas} \cdot C_{p_{gas,cald}} \cdot [T_D - T_E] = m_{ag} \cdot [h_3 - h_2]$$

$$\text{Potência Líquida do Ciclo} \quad W_{tur,vap} = m_{ag} \cdot w_{e_{tur,vap}} \quad W_b = m_{ag} \cdot [h_1 - h_2]$$

$$W_{liq,vap} = W_{tur,vap} + W_b \quad W_{liq,gas} = W_{tur,gas} + W_c \quad W_{liq,ciclo} = W_{liq,gas} + W_{liq,vap}$$

$$\text{Rendimento do Ciclo} \quad Q_{comb} = m_{comb} \cdot PCI \quad \eta_{ciclo} = \frac{W_{liq,ciclo}}{Q_{comb}}$$

SOLUTION

Unit Settings: SI K kPa kJ mass deg

$$C_{par} = 1 \text{ [kJ/kg-K]}$$

$$C_{p_{gas,cald}} = 1,19 \text{ [kJ/kg-K]}$$

$$C_{p_{gas,tur}} = 1,28 \text{ [kJ/kg-K]}$$

$$\eta_b = 0,85 \text{ [-]}$$

$$\eta_c = 0,83 \text{ [-]}$$

$$\eta_{ciclo} = 0,4915 \text{ [-]}$$

$$\eta_{tur} = 0,88 \text{ [-]}$$

$$h_1 = 191,7 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_2 = 194,1 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_3 = 3023 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_4 = 2248 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_{4s} = 2142 \text{ [kJ/kg]}$$

$$k = 1,4 \text{ [-]}$$

$$m_{ag} = 8,41 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{ar} = 66,98 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{comb} = 1,388 \text{ [kg/s]}$$

$$m_{gas} = 68,36 \text{ [kg/s]}$$

$$v_{O2} = 2,8 \text{ [-]}$$

$$PCI = 50000 \text{ [kJ/kg]}$$

$$P_1 = 10 \text{ [kPa]}$$

$$P_2 = 2000 \text{ [kPa]}$$

$$P_3 = 2000 \text{ [kPa]}$$

P₄ = 10 [kPa]
Q_{comb} = 69386 [kW]
RAC = 48,26
r_P = 10 [-]
s₃ = 6,765 [kJ/kg-K]
T₁ = 318,9 [K]
T₂ = 319,1 [K]
T₃ = 573,1 [K]
T_A = 298,1 [K]
T_B = 632,5 [K]
T_{Bs} = 575,6 [K]
T_C = 1347 [K]
T_D = 775,6 [K]
T_{Ds} = 697,7 [K]
T_E = 483,2 [K]
T_{ref} = 298,1 [K]
v₁ = 0,00101 [m³/kg]
w_{eb} = -2,365 [kJ/kg]
w_{ec} = -334,3 [kJ/kg]
w_{etur,gas} = 731,4 [kJ/kg]
w_{etur,vap} = 774,7 [kJ/kg]
W_b = -19,89 [kW]
W_c = -22392 [kW]
W_{liq,ciclo} = 34103 [kW]
W_{liq,gas} = 27608 [kW]
W_{liq,vap} = 6495 [kW]
W_{tur,gas} = 50000 [kW]
W_{tur,vap} = 6515 [kW]
x_{4s} = 0,8155

No unit problems were detected.

EES suggested units (shown in purple) for h_1 h_3 h_4 h_4s m_gas s_3 .