

Lista de Exercícios IV – Ciclo Combinado e Cogeração

- 1) 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 200% de excesso de ar. O combustível tem $\text{PCI} = 50.000 \text{ kJ/kg}$ e entra no combustor a $T_{\text{amb}} = T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Ar ambiente entra no compressor a $P_A = 100 \text{ kPa}$ e a relação de pressão no compressor é de 10. O rendimento isoentrópico do compressor é de 0,83 e o da turbina é de 0,88. A temperatura dos gases de combustão na seção de saída da caldeira de recuperação é de $T_E = 220 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 $P_1 = 10 \text{ kPa}$ e descarrega o líquido na pressão de $P_2 = 2,5 \text{ MPa}$. A temperatura do vapor na seção de alimentação da turbina é $T_3 = 350 \text{ }^\circ\text{C}$. A potência da turbina a vapor é de 10 MW, com eficiência isoentrópica de 88%. Nestas condições, determine: (a) Temperaturas em todos os pontos do ciclo a vapor ($T_1=318,9 \text{ K}$; $T_2=319,1 \text{ K}$; $T_3=623,2 \text{ K}$; $T_4=318,9 \text{ K}$); (b) Vazão em massa de água no ciclo a vapor ($m_{\text{ag}}=11,84 \text{ kg/s}$); (c) Razão ar-combustível, em massa ($\text{RAC}=51,71$); (d) Temperaturas na saída do compressor ($T_B=632,5 \text{ K}$), do combustor ($T_C=1295 \text{ K}$) e da turbina a gás ($T_D=745,9 \text{ K}$); (e) Vazão em massa de ar ($m_{\text{ar}}=113,2 \text{ kg/s}$) e dos gases ($m_{\text{gas}}=115,4 \text{ kg/s}$) no ciclo de turbina a gás; (f) Potência líquida do ciclo de turbina a gás ($W_{\text{liq,gas}}=43323 \text{ kW}$); (g) O rendimento térmico global do ciclo combinado ($\eta=0,487$). C_p médio: $C_{p_{\text{ar}}} = 1,0 \text{ kJ/kg K}$ (compressor), $C_{p_{\text{gas}}} = 1,28 \text{ kJ/kg K}$ (turbina), $C_{p_{\text{gas}}} = 1,19 \text{ kJ/kg k}$ (caldeira).
- 2) 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 $\text{PCI} = 50.000 \text{ kJ/kg}$ e entra no combustor a $T_{\text{amb}} = T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Ar ambiente entra no compressor a $P_A = 100 \text{ kPa}$. 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 $T_E = 210 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 $P_1 = 10 \text{ kPa}$ e descarrega o líquido na pressão de $P_2 = 2 \text{ MPa}$. A temperatura do vapor na seção de alimentação da turbina é $T_3 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$, 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 ($T_A=298,1 \text{ K}$; $T_B=632,5 \text{ K}$; $T_C=1347 \text{ K}$; $T_D=775,6 \text{ K}$); (b) Vazão em massa dos gases na turbina a gás ($m_{\text{gas}}=68,36 \text{ kg/s}$); (c) Razão ar-combustível, em massa ($\text{RAC}=48,26$); (d) Entalpias em todos os pontos do ciclo a vapor ($h_1=191,7 \text{ kJ/kg}$; $h_2=194,1 \text{ kJ/kg}$; $h_3=3023 \text{ kJ/kg}$; $h_4=2248 \text{ kJ/kg}$); (e) Vazão em massa de água ($m_{\text{ag}}=8,41 \text{ kg/s}$); (f) Potência da turbina a vapor $W_{\text{tur,vap}}=6515 \text{ kW}$; compressor $W_c=-22392 \text{ kW}$ e bomba ($W_b=-19,89 \text{ kW}$); (g) Rendimento térmico global do ciclo combinado ($\eta=0,4915$). C_p médio: $C_{p_{\text{ar}}} = 1,0 \text{ kJ/kg K}$ (compressor), $C_{p_{\text{gas,tur}}} = 1,28 \text{ kJ/kg K}$ (turbina), $C_{p_{\text{gas,cald}}} = 1,19 \text{ kJ/kg k}$ (caldeira).

- 3) Um sistema de cogeração é formado por um ciclo de turbina a gás acoplado a um sistema de refrigeração por absorção. Gases quentes que saem da turbina entram num recuperador de calor, cujo objetivo é produzir vapor saturado a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, a partir de líquido saturado. Este vapor é utilizado no chiller de absorção ($\text{COP}=0,9$) para produzir água gelada. Ar a $P_A=1\text{ bar}$ e $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ entra no compressor ($\eta_C = 0,82$), é comprimido até 6 bar e entra no combustor. O combustível (n-butano / C_4H_{10} / $\text{PCI}= 45000\text{ kJ/kg}$) entra a $T_{\text{amb}} = T_{\text{ref}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e é nebulizado no combustor, queimando com 200% de excesso de ar. A potência líquida da turbina a gás é de 4 MW, com eficiência isoentrópica de 0,87. Os gases quentes que saem da turbina trocam calor no recuperador de calor, com efetividade $\epsilon=0,8$. Pede-se: (a) Razão ar-combustível, em massa ($\text{RAC}=46,36$); (b) Temperaturas em todos os pontos do ciclo de turbina a gás ($T_A=298,1\text{ K}$; $T_B=541,2\text{ K}$; $T_C=1226\text{ K}$; $T_D=798,9\text{ K}$); (c) Vazão em massa dos gases na turbina a gás ($m_{\text{gas}}= 12,94\text{ kg/s}$); (d) vazão mássica de vapor gerado ($m_{\text{vap}} = 1,034\text{ kg/s}$); (e) Capacidade de refrigeração do sistema de refrigeração ($Q_{\text{refrig}} = 3610\text{ kW}$); (f) Rendimento térmico global do sistema de cogeração ($\eta=0,62$). Dados: $k = 1,4$ (ar, gases de combustão), $C_{p_{\text{ar}}} = 1,0\text{ kJ/kg K}$ (compressor), $C_{p_{\text{gas,tur}}} = 1,28\text{ kJ/kg K}$ (turbina), $C_{p_{\text{gas,cald}}} = 1,19\text{ kJ/kg k}$ (recuperador de calor).
- 4) Um sistema de cogeração é formado por uma turbina a gás e um chiller de absorção para produção de água gelada. Uma turbina a gás industrial com potência líquida de 5 MW utiliza metano (CH_4) como combustível e opera com 180% de excesso de ar. O combustível tem $\text{PCI} = 50.000\text{ kJ/kg}$ e entra no combustor a $T_{\text{amb}}=T_{\text{ref}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ar entra no compressor a $T_1 = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $P_1 = 100\text{ kPa}$. A relação de pressão na turbina é de 10, o rendimento isoentrópico do compressor é de 0,85 e o da turbina é de 0,9. Os gases quentes que saem da turbina entram num recuperador de calor (trocador de calor com efetividade $\epsilon=0,75$), cujo objetivo é produzir vapor saturado a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, a partir de líquido saturado. Este vapor é utilizado no chiller de absorção ($\text{COP}=0,9$) para produzir água gelada. Pede-se: (a) Razão ar-combustível, em massa ($\text{RAC} = 48,26$); (b) As temperaturas na saída do compressor ($T_2 = 624,6\text{ K}$), na saída do combustor ($T_3 = 1341\text{ K}$) e na saída da turbina ($T_4 = 759,2\text{ K}$); (c) Vazão mássica dos gases de combustão ($m_{\text{gas}} = 11,96\text{ kg/s}$), (d) Vazão mássica de vapor gerado ($m_{\text{vap}} = 1,62\text{ kg/s}$); (e) Capacidade de refrigeração do sistema ($Q_{\text{ref}} = 2939\text{ kW}$); (f) Rendimento térmico global do sistema de cogeração. ($\eta = 0,654$). Dados: $k = 1,4$ (ar, gases de combustão); $C_{p_{\text{ar}}} = 1,0\text{ kJ/kgK}$ (compressor), $C_{p_{\text{gas,tur}}} = 1,28\text{ kJ/kgK}$ (combustor, turbina), $C_{p_{\text{gas,rec}}} = 1,19\text{ kJ/kgK}$ (recuperador de calor).