

Lista de Exercícios I – Geradores de Vapor

- 1) Uma unidade geradora de vapor, com capacidade para 200 kg/s de vapor superaquecido (12,5 MPa e 500 °C), é projetado para queimar óleo combustível (PCI = 43000 kJ/kg). A temperatura da água de alimentação é de 250 °C. Admitindo-se que o rendimento térmico da caldeira é de 75%, estime o consumo de combustível. Resposta: $m_{\text{comb}}=15,96$ kg/s.
- 2) O gerador de vapor de um navio consome 7500 kg/h de combustível para produzir 95000 kg/h de vapor a 4,5 MPa e 450 °C a partir de água a 4,4 MPa e 180 °C. Calcule a eficiência da caldeira e a temperatura de saída dos gases de combustão pela chaminé admitindo que o comportamento dos gases de combustão é de gás perfeito, com as mesmas propriedades físicas do ar a 25 °C. A relação ar-combustível é de 20 $\text{kg}_{\text{ar}}/\text{kg}_{\text{comb}}$. A temperatura de entrada do ar e do combustível é de 25 °C. Dados: $\text{PCI}_{\text{comb}} (T_{\text{ref}} = 25 \text{ °C}) = 43000$ kJ/kg. Respostas: $\eta=0,754$; $T_{\text{gases}} = 529,5$ °C.
- 3) Um gerador de vapor aquotubular queima octano (C_8H_{18}) a uma taxa de 1000 kg/h com um excesso de ar de 20%. A temperatura de saída dos gases na chaminé é de 400 °C. Qual a produção de vapor (em kg/s) quando este gerador de vapor faz parte de um Ciclo de Rankine operando com vapor a 3,5 MPa e 350 °C na entrada da turbina e com pressão de condensação de 10 kPa? Dados: $\text{PCI}_{\text{comb}} (T_{\text{ref}} = 25 \text{ °C}) = 44300$ kJ/kg, $C_{p_{\text{ar}}} = C_{p_{\text{gases}}} = 1,0$ kJ/kg °C, $T_{\text{comb}} = 25$ °C, $T_{\text{ar}} = 25$ °C. Resposta: $m_{\text{vap}} = 3,55$ kg/s.
- 4) Considere um gerador de vapor que queima 2,2 kg/s de óleo combustível e produz vapor superaquecido a 10 MPa e 400 °C. No processo de transferência de calor, parte da energia disponibilizada pela combustão do óleo é cedida pelos gases de combustão para as paredes d'água e os superaquecedores. A água de alimentação está a 180 °C e a temperatura dos gases de combustão antes de passar pelo superaquecedor é de 1100 °C. Considerando-se que $C_{p_{\text{ar}}} = C_{p_{\text{gases}}} = 1,0$ kJ/kg °C, calcule a produção de vapor, a temperatura dos gases após passar pelos superaquecedores e a eficiência da caldeira. Dados: $\text{PCI}_{\text{comb}} (T_{\text{ref}} = 25 \text{ °C}) = 44200$ kJ/kg, $R_{\text{ar,comb}} = 20$ $\text{kg}_{\text{ar}}/\text{kg}_{\text{comb}}$; $T_{\text{comb}} = 25$ °C, $T_{\text{ar}} = 25$ °C. Respostas: $m_{\text{vap}} = 24,19$ kg/s; $T_{\text{g,sup}} = 906,4$ °C; $\eta = 0,579$.
- 5) Um gerador de vapor de uma usina termelétrica queima carvão pulverizado e produz vapor superaquecido a 10 MPa e 500 °C. A água de alimentação está a $T_{\text{agua}} = 180$ °C e a temperatura de entrada do ar, após passar pelo pré-aquecedor, é $T_1 = 250$ °C. O poder calorífico inferior (PCI) do combustível é de 17.500 kJ/kg_{comb}, sendo que a temperatura de entrada do combustível é $T_{\text{amb}}=T_{\text{ref}} = 25$ °C e a massa de ar de combustão é de 7,5 $\text{kg}_{\text{ar}}/\text{kg}_{\text{comb}}$. Considere desprezível a umidade do ar de entrada. A massa dos gases de combustão é de 8,2 $\text{kg}_{\text{gases}}/\text{kg}_{\text{comb}}$ e a massa de cinzas leves é de 0,3 $\text{kg}_{\text{cinzas}}/\text{kg}_{\text{comb}}$. Considerando-se que os gases de combustão deixam o superaquecedor à temperatura de $T_3 = 900$ °C e que o consumo de combustível é de 25 $\text{kg}_{\text{comb}}/\text{s}$, calcule: a) a produção de vapor (kg/s); b) a temperatura (T_2) dos gases de combustão antes de passar pelo superaquecedor (°C). Dados: $C_{p_{\text{ar}}} = C_{p_{\text{gases}}} = 1,0$ kJ/kg °C. Respostas: a) $m_{\text{vap}} = 112,7$ kg/s ; b) $T_2 = 1245$ °C.

- 6) Considere a queima de carvão pulverizado numa unidade geradora de vapor de uma central termelétrica. A pressão do vapor é de 10 MPa e a temperatura de entrada da água de alimentação é de 180 °C. O poder calorífico inferior (PCI) do carvão é de 17473 kJ/kg, e as temperaturas de entrada do combustível e do ar são 25 °C e 300 °C, respectivamente. O carvão tem 37% de cinzas e o ar estequiométrico de combustão é de 5,886 kg_{ar}/kg_{comb}. A massa dos gases de combustão é de 8,08 kg_{gases}/kg_{comb}. Admita um coeficiente de excesso de ar de $e=1,25$, a presença de carbono não queimado nas cinzas ($cnq=0,004$ kg/kg_{comb}) e umidade no ar de combustão ($w_{ar}=0,013$ kg/kg_{ar}). Considere que 1,5 kg/s de cinzas caiam no selo d'água na temperatura de 1200 °C. Calcule: (a) a temperatura adiabática da câmara de combustão; (b) a temperatura real dos gases no topo da câmara de combustão; (c) a vazão de vapor, sabendo-se que o calor fornecido na câmara de combustão gera vapor saturado; (d) a temperatura dos gases na saída do superaquecedor, se a temperatura de saída do vapor superaquecido é de 500 °C. Dados: calor específico do combustível $c_{comb}= 1,5$ kJ/kg°C; consumo de combustível = 20 kg/s; poder calorífico do carbono = 33900 kJ/kg; superfície irradiada = 1200 m²; temperatura da parede = 450 °C; emissividade combinada = 0,80; calores específicos ($c_{cz}= 0,84$ kJ/kg °C; $C_{p_{ar}} = 1,0$ kJ/kg °C; $C_{p_{vap,e}} = 1,95$ kJ/kg°C; $C_{p_{vp,s}} = 2,5$ kJ/kg°C; $C_{p_{gases}} = 1,25$ kJ/kg°C). Respostas: $T_{ad} = 1852$ °C; $T_{gases} = 1075$ °C; $m_{vap} = 84,09$ kg/s; $T_{gases,super} = 816,6$ °C.
- 7) Uma unidade geradora de vapor é projetada para queimar óleo combustível e produzir vapor superaquecido a $P_{vap} = 5$ MPa e $T_d = 500$ °C. A água de alimentação, após passar pelo economizador, está a $T_b = 180$ °C. A temperatura de entrada do ar, após passar pelo pré-aquecedor, é de $T_2 = 250$ °C. O poder calorífico inferior do combustível é de PCI ($T_{ref} = 25$ °C) = 43060 kJ/kg_{comb}. A vazão do combustível é de 18 kg/s e a temperatura de entrada é de $T_3 = 120$ °C. A relação de massa de ar de combustão é de $R_{ar,comb} = 20$ kg_{ar seco}/ kg_{comb} e a umidade do ar de entrada é de $w_{ar} = 0,012$ kg/kg_{ar}. Sabendo-se que o calor fornecido na câmara de combustão gera vapor saturado, que a temperatura da água na entrada do economizador (aquecedor de água) é de $T_a = 50$ °C e que a temperatura do ar na entrada do pré-aquecedor é de $T_1 = 25$ °C, calcule: (a) a temperatura adiabática da câmara de combustão; (b) o calor trocado por radiação, considerando-se que temperatura radiante média dos gases é de $T_{rm} = 1400$ °C; (c) a temperatura real dos gases no topo da câmara de combustão (T_4); (d) a vazão de vapor; (e) a temperatura dos gases na saída do superaquecedor (T_5); (f) a temperatura dos gases na saída do gerador de vapor (T_6); (g) o rendimento do gerador de vapor. Dados: superfície irradiada $S_i = 1000$ m²; temperatura da parede $T_p = 400$ °C; emissividade combinada $\epsilon = 0,95$; calores específicos $C_{p_{comb}} = 2,1$ kJ/kg°C, $C_{p_{ar}} = 1,0$ kJ/kg°C, $C_{p_{vap}} = 2,0$ kJ/kg°C, $C_{p_{gases}} = 1,2$ kJ/kg°C. Respostas: (a) $T_{ad} = 1889$ °C; (b) $q_{rad} = 410925$ kW; (c) $T_4 = 1000$ °C; (d) $m_{vap} = 202,6$ kg/s; (e) $T_5 = 719,4$ °C; (f) $T_6 = 302,4$ °C; (g) $\eta=0,842$.