

## PME2479 Máquinas Térmicas - Lista 1 - Exercício 06

## Cálculo da radiação e temperatura dos gases em geradores de vapor

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 oC. O poder calorífico inferior (PCI) do carvão é de 17473 kJ/kg, e as temperaturas de entrada do combustível e do ar são 25 oC e 300 oC, 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 g/kg comb. Admita um coeficiente de excesso de ar de  $e=1,25$ , a presença de carbono não queimado nas cinzas ( $c_{nq}=0,004$  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 oC. 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 oC. Dados: calor específico do combustível  $c_{cb}=1,5$  kJ/kg oC; consumo de combustível = 20 kg/s; poder calorífico do carbono = 33900 kJ/kg; superfície irradiada = 1200 m<sup>2</sup>; temperatura da parede = 450 oC; emissividade combinada = 0,80; calores específicos ( $c_{cz}=0,84$  kJ/kg oC;  $cp_{ar}=1,0$  kJ/kg oC;  $cp_{vp,e}=1,95$  kJ/kg oC;  $cp_{vp,s}=2,5$  kJ/kg oC;  $cp_g=1,25$  kJ/kg oC;)

$$PCI = 17473 \quad PC_c = 33900 \quad c_{nq} = 0,004$$

$$cp_{ar} = 1 \quad cp_{vp,e} = 1,95 \quad cp_{vp,s} = 2,5$$

$$cp_g = 1,25 \quad c_{cb} = 1,5 \quad c_{cz} = 0,84$$

$$T_{ar} = 300 \quad T_{ref} = 25 \quad T_{cb} = 25 \quad w_{ar} = 0,013$$

$$T_p = 450 \quad S_i = 1200 \quad \epsilon = 0,8 \quad \sigma = 5,668 \times 10^{-8}$$

$$m_{cb} = 20 \quad m_g = 8,08 \cdot m_{cb} \quad m_{cz,cb} = 0,37 \cdot m_{cb} \quad m_{vp} = 0,013 \cdot m_{ar}$$

$$m_{ar} = 5,886 \cdot 1,25 \cdot m_{cb} \quad m_{cz,s} = 1,5 \quad T_{cz,s} = 1200$$

$$T_{agua} = 180 \quad T_{vap;super} = 500 \quad P_{vap} = 10000$$

~~item a)~~  $q_{g;ad}$

$$q_d = m_{cb} \cdot PCI + m_{cb} \cdot c_{cb} \cdot [T_{cb} - T_{ref}] + [m_{ar} \cdot cp_{ar} + m_{vp} \cdot cp_{vp,e}] \cdot [T_{ar} - T_{ref}] - m_{cb} \cdot c_{nq} \cdot PC_c$$

$$q_{g;ad} = [m_g \cdot cp_g + m_{vp} \cdot cp_{vp,s} + (m_{cz,cb} - m_{cz,s}) \cdot c_{cz}] \cdot [T_{ad} - T_{ref}] + m_{cz,s} \cdot c_{cz} \cdot [T_{cz,s} - T_{ref}]$$

~~item b)~~  $0,001 \cdot \sigma \cdot \epsilon \cdot S_i \cdot [(T_g + 273)^4 - (T_p + 273)^4] \quad q_d - q_r = q_{g;s}$

$$q_{g;s} = [m_g \cdot cp_g + m_{vp} \cdot cp_{vp,s} + (m_{cz,cb} - m_{cz,s}) \cdot c_{cz}] \cdot [T_g - T_{ref}] + m_{cz,s} \cdot c_{cz} \cdot [T_{cz,s} - T_{ref}]$$

~~item c)~~  $m_{vap} \cdot [h_{vap,sat} - h_{agua}]$

$$h_{agua} = h [\text{Steam}; T=T_{agua}; P=P_{vap}] \quad h_{vap,sat} = h [\text{Steam}; P=P_{vap}; X=1]$$

~~item d)~~  $m_{super} \cdot [h_{vap,super} - h_{vap,sat}]$

$$h_{vap,super} = h [\text{Steam}; T=T_{vap,super}; P=P_{vap}] \quad q_{g,sat} - q_{g;super} = q_{super}$$

$$q_{g,sat} = [m_g \cdot cp_g + m_{vp} \cdot cp_{vp,s} + (m_{cz,cb} - m_{cz,s}) \cdot c_{cz}] \cdot [T_g - T_{ref}]$$

$$q_{g;super} = [m_g \cdot cp_g + m_{vp} \cdot cp_{vp,s} + (m_{cz,cb} - m_{cz,s}) \cdot c_{cz}] \cdot [T_{g,super} - T_{ref}]$$

SOLUTION

**Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg** $c_{p,ar} = 1$  [kJ/kg-K] $c_{p,vp,s} = 2,5$  [kJ/kg-K] $C_{nq} = 0,004$  [-] $h_{vap,sat} = 2725$  [kJ/kg] $m_{cb} = 20$  [kg/s] $m_g = 161,6$  [kg/s] $PCI = 17473$  [kJ/kg] $q_d = 388240$  [kW] $q_{g,sat} = 222225$  [kW] $q_{super} = 54617$  [kW] $T_{ad} = 1852$  [C] $T_{cb} = 25$  [C] $T_{g,super} = 816,6$  [C] $T_{vap,super} = 500$  [C] $c_{p,g} = 1,25$  [kJ/kg-K] $C_{cb} = 1,5$  [kJ/kg-K] $\epsilon = 0,8$  [-] $h_{vap,super} = 3374$  [kJ/kg] $m_{cz,cb} = 7,4$  [kg/s] $m_{vap} = 84,09$  [kg/s] $PC_c = 33900$  [kJ/kg] $q_{g,ad} = 388240$  [kW] $q_{g,super} = 167608$  [kW] $\sigma = 5,668E-08$  [W/m<sup>2</sup>-K] $T_{agua} = 180$  [C] $T_{cz,s} = 1200$  [C] $T_p = 450$  [C] $w_{ar} = 0,013$  [kg/kg] $c_{p,vp,e} = 1,95$  [kJ/kg-K] $C_{cz} = 0,84$  [kJ/kg-K] $h_{agua} = 767,9$  [kJ/kg] $m_{ar} = 147,2$  [kg/s] $m_{cz,s} = 1,5$  [kg/s] $m_{vp} = 1,913$  [kg/s] $P_{vap} = 10000$  [kPa] $q_{g,s} = 223705$  [kW] $q_r = 164535$  [kW] $S_i = 1200$  [m<sup>2</sup>] $T_{ar} = 300$  [C] $T_g = 1075$  [C] $T_{ref} = 25$  [C]

No unit problems were detected.