



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

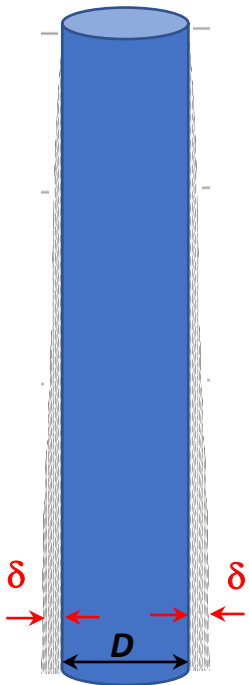
PQI 3301 – FENÔMENOS DE TRANSPORTE II

CONVECÇÃO: MUDANÇA DE FASE – Condensação - Exercícios



Exercício 1 : Vapor saturado a 1 atm é condensado na superfície externa de um tubo vertical de 0,5 m de comprimento e diâmetro externo de 50 mm. Qual a temperatura da superfície externa do tubo para uma condensação de 20 kg/h?

Placa vertical ??



$$\Gamma = \frac{\dot{m}}{\pi D} = \frac{20}{\pi \cdot 0,05 \cdot 3600} = 0,035 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$$

$$Re_{\delta} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu_l} = \frac{4 \cdot 0,035}{279 \cdot 10^{-6}} = 507$$

Transição $30 < Re_{\delta} < 1800$

$$Nu'_L = \frac{Re_{\delta}}{1,08 \cdot Re_{\delta}^{1,22} - 5,2} = 0,236$$

Tf = 100 °C

$$Nu'_L = \frac{h_L (v_l^2 / g)^{1/3}}{k_l} = \frac{h_L ((279 \cdot 10^{-9})^2 / 9,8)^{1/3}}{0,68} \rightarrow$$

$$h_L = 8035 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

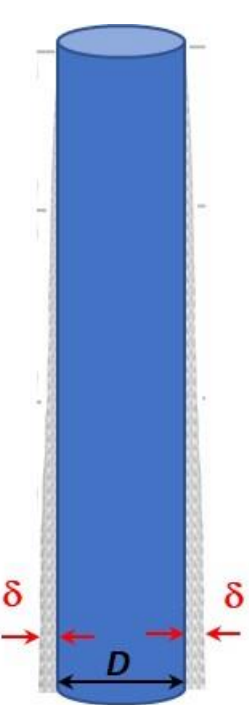
$$q = \dot{m} \cdot \lambda_{vap} = \dot{m} \cdot h_{fg} = \frac{20}{3600} \cdot 2257 \cdot 10^3 = 1,25 \cdot 10^4 \text{ W} \Rightarrow$$

$$q'' = \frac{1,25 \cdot 10^4}{\pi D L} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ W}/(\text{m}^2) \Rightarrow q'' = h_L \cdot (T_{sat} - T_s) = 8035 \cdot (100 - T_s) \Rightarrow T_s = 80 \text{ °C}$$

$$T_f = (100 + 80) / 2 = 90 \text{ °C}$$



Exercício 1 : Vapor saturado a 1 atm é condensado na superfície externa de um tubo vertical de 0,5 m de comprimento e diâmetro externo de 50 mm. Qual a temperatura da superfície externa do tubo para uma condensação de 20 kg/h?



$$T_f = (100 + 80)/2 = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Re_{\delta} = \frac{4.0035}{315 \cdot 10^{-6}} = 449,5$$

$$Nu'_L = \frac{Re_{\delta}}{1,08 \cdot Re_{\delta}^{1,22} - 5,2} = 0,242 = \frac{h_L \left((315 \cdot 10^{-9})^2 / 9,8 \right)^{1/3}}{0,676} \rightarrow h_L = 7560 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$q = \dot{m} \cdot \lambda'_{vap} = \dot{m} \cdot h'_{fg} = \frac{20}{3600} \cdot 2314 \cdot 10^3 = 1,286 \cdot 10^4 \text{ W} \Rightarrow$$

$$\lambda'_{vap} = \lambda_{vap} + 0,68 \cdot c_{p,l} \cdot (T_{sat} - T_s) = 2257 \cdot 10^3 + 0,68 \cdot 4210 \cdot (100 - 80) = 2314 \cdot 10^3$$

$$q'' = 1,638 \cdot 10^4 \text{ W/(m}^2\text{)} \Rightarrow q'' = h_L \cdot (T_{sat} - T_s) = 7560 \cdot (100 - T_s) \Rightarrow T_s = 78,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



Exercício 2: Vapor saturado a 1 atm é condensado na superfície externa de um tubo vertical de 1,0 m de comprimento e diâmetro externo de 80 mm. A temperatura da superfície externa do tubo é mantida a 50 °C. Qual a taxa de transferência de calor e a vazão de condensado?

$$T_f = (100 + 50)/2 = 75 \text{ °C}$$

Supondo-se escoamento laminar ($Re_\delta < 30$)

$$h_L = 0,943 \cdot \left(\frac{g \cdot \rho_l^2 \cdot k^3 \cdot \lambda_{vap}}{\mu_l \cdot L \cdot (T_{sat} - T_s)} \right)^{1/4}$$

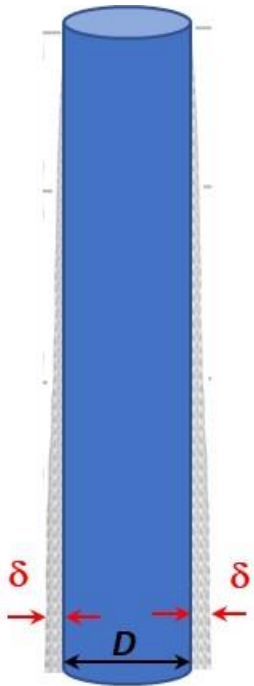
$$Nu'_L = 1,47 \cdot Re_\delta^{-1/3}$$

$$\lambda'_{vap} = \lambda_{vap} + 0,68 \cdot c_{p,l} \cdot (T_{sat} - T_s) = 2257 \cdot 10^3 + 0,68 \cdot 4193 \cdot (100 - 50) = 2400 \cdot 10^3$$

$$h_L = 0,943 \cdot \left(\frac{9,8 \cdot 975^2 \cdot 0,668^3 \cdot 2400 \cdot 10^3}{375 \cdot 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot (100 - 50)} \right)^{1/4} \rightarrow h_L = 4094 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$q = \pi D L h_L \cdot (T_{sat} - T_s) = \pi \cdot 0,08 \cdot 1,0 \cdot 4094 \cdot (100 - 50) \Rightarrow q = 51,45 \text{ kW}$$

$$q = \dot{m} \cdot \lambda'_{vap} \Rightarrow \dot{m} = \frac{q}{\lambda'_{vap}} = \frac{51450}{2400 \cdot 10^3} = 0,0214 \text{ kg/s}$$



Exercício 2 : Vapor saturado a 1 atm é condensado na superfície externa de um tubo vertical de 1,0 m de comprimento e diâmetro externo de 80 mm. A temperatura da superfície externa do tubo é mantida a 50 °C. Qual a taxa de transferência de calor e a vazão de condensado?

$$\dot{m} = 0,0214 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \Rightarrow \Gamma = \frac{\dot{m}}{\pi D} = \frac{0,0214}{\pi \cdot 0,08} = 0,085 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m}) \Rightarrow \boxed{Re_{\delta} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\mu_l} = \frac{4 \cdot 0,085}{375 \cdot 10^{-6}} = 908}$$

Transição $30 < Re_{\delta} < 1800$

$$Nu'_L = \frac{Re_{\delta}}{1,08 \cdot Re_{\delta}^{1,22} - 5,2} = 0,207 = \frac{h_L (v_l^2 / g)^{1/3}}{k_l} = \frac{h_L ((385 \cdot 10^{-9})^2 / 9,8)^{1/3}}{0,668} \rightarrow \boxed{h_L = 5600 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})}$$

$$q = \pi D L h_L \cdot (T_{sat} - T_s) = \pi \cdot 0,08 \cdot 1,0 \cdot 5600 \cdot (100 - 50) \Rightarrow \boxed{q = 70,36 \text{ kW}}$$

$$q = \dot{m} \cdot \lambda'_{vap} \Rightarrow \dot{m} = \frac{q}{\lambda'_{vap}} = \frac{70360}{2400 \cdot 10^3} = 0,0293 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \Rightarrow \Gamma = 0,117 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m}) \Rightarrow \boxed{Re_{\delta} = 1244}$$

$$Nu'_L = \frac{Re_{\delta}}{1,08 \cdot Re_{\delta}^{1,22} - 5,2} = 0,193 \Rightarrow \boxed{h_L = 5227 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})}$$

$$\dot{m} = 0,0274 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\boxed{Re_{\delta} = 1162}$$

$$\boxed{h_L = 5312 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})}$$

$$\boxed{q = 66,7 \text{ kW}}$$

