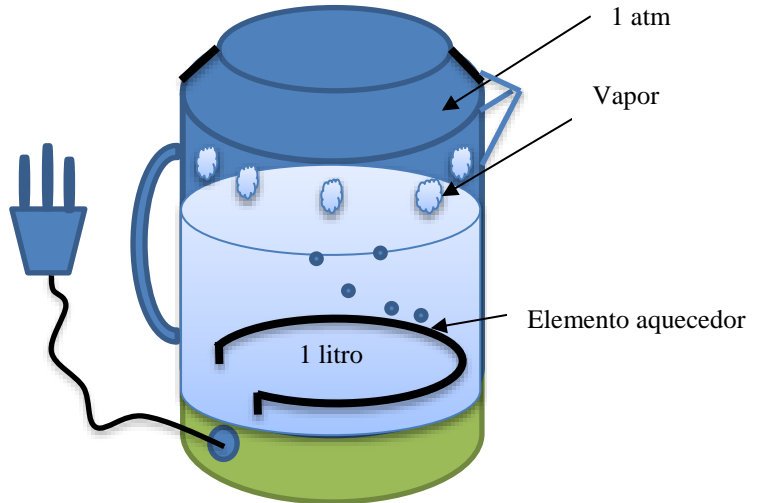


QUESTÕES P3

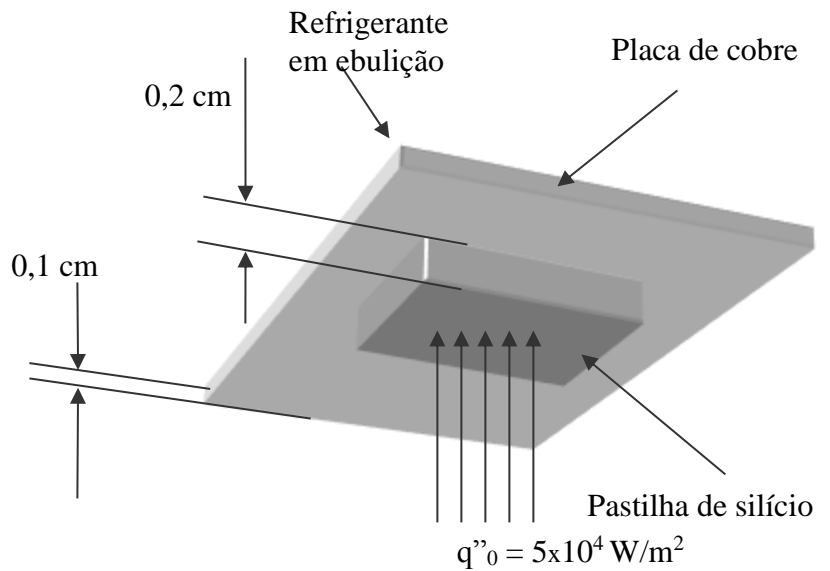
1) (4,0 pontos) Água é fervida ao nível do mar em uma cafeteira equipada com elemento de aquecimento elétrico por imersão, conforme a figura, feito de aço inoxidável polido mecanicamente, ($C_{s,f}=0,0060$), com 30 cm de comprimento e 0,4cm de diâmetro. A cafeteira contém inicialmente 1 litro de água a 14°C. Depois de começar a ferver, observa-se que a metade da água evapora em 32 min.

- a) (1,5 ponto) Determine a potência do elemento de aquecimento elétrico imerso na água e a sua temperatura de operação.
 b) (1,5 ponto) Qual o tipo de ebulição que está ocorrendo?
 c) (1,0 ponto) Quanto tempo ela levará para entrar em ebulição?



Dados p/água a 1 atm: LÍQUIDO $\rho_l=962$ kg/m³, $c_{p,l}=4,211$ kJ/(kgK), $\mu_l=277 \times 10^{-6}$ Ns/m², $Pr_l=1,75$; $h_{fg}= 2250$ kJ/kg, $\sigma= 58,8 \times 10^{-3}$ N/m;
 VAPOR: $\rho_v=0,60$ kg/m³

2) As preocupações com o meio ambiente motivaram recentemente pesquisas para a substituição dos refrigerantes do tipo clorofluorocarbono (CFC). Foi planejado um experimento para determinar a aplicação de uma substituição desse tipo. Uma pastilha de silício é conectada no fundo de uma placa de cobre fina ($k_{Cu} = 399$ W/mK), como mostrado no desenho. A pastilha tem 0,2 cm de espessura e condutividade térmica de 125 W/(m.K). A placa de cobre tem 0,1 cm de espessura e não existe resistência de contato entre as duas. O conjunto deve ser resfriado através da ebulição de um refrigerante líquido saturado sobre a superfície do cobre. O circuito eletrônico no fundo da pastilha gera calor com um fluxo uniforme de $q''_0=5 \times 10^4$ W/m². Suponha que as laterais e o fundo da pastilha estejam isolados. Calcule a temperatura, no estado estacionário, na superfície do cobre e no fundo da pastilha, bem como o fluxo de calor máximo na ebulição em vaso, supondo que o coeficiente de ebulição seja, $C_{s,f}=0,0049$. As propriedades físicas deste novo refrigerante são:



Dados: $\rho_l=1620$ kg/m³, $c_{p,l}=1,1$ kJ/(kgK), $\mu_l=4.4 \times 10^{-4}$ Ns/m², $Pr_l=9.0$; $h_{fg}= 84$ kJ/kg, $\sigma= 0.081$ N/m; $\rho_v=13,4$ kg/m³, $T_{sat}=60^\circ\text{C}$.

3) (5,0 Pontos) Um trocador de calor casco e tubo com um passe no casco e 20 nos tubos utiliza água quente no lado dos tubos para aquecer água no lado do casco. Um único tubo de cobre tem diâmetros internos e externo de 20

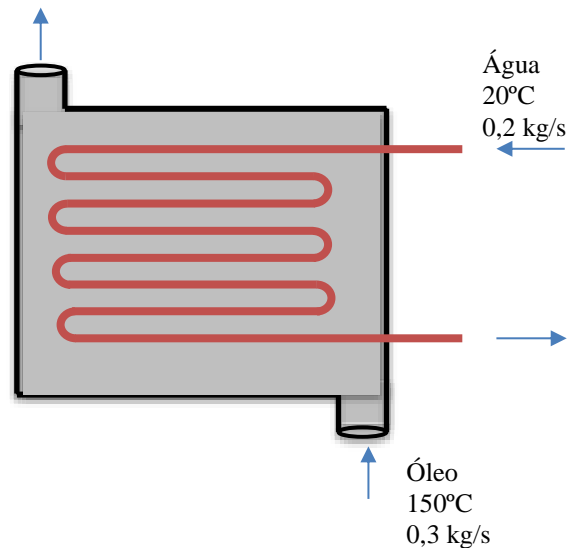
e 24 mm e um comprimento por passe de 3 m. A água entra a 87°C e 0,2 kg/s e sai a 27°C. As temperaturas de entrada e saída do óleo são de 7°C e 37°C. - Determine:

- (1,5 pontos) O coeficiente de convecção interna e externa do tubo.
- (1,0 pontos) O coeficiente global de transferência de calor $\times A$, UA.
- (1,5 pontos) Determine a efetividade e o NUT deste trocador.
- (1,0 pontos) Este trocador poderia operar com correntes paralelas?

Dados p/água: $\rho=990,1 \text{ kg/m}^3$, $c_p=4,184 \text{ kJ/(kgK)}$, $\nu=0,602 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $Pr=3,15$; $k=0,650 \text{ W/(mK)}$
 óleo $\rho=852 \text{ kg/m}^3$, $c_p=2,130 \text{ kJ/(kgK)}$, $\nu=3,794 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $Pr=499,3$; $k=0,138 \text{ W/(mK)}$

$$NUT = \frac{1}{C_r - 1} \ln \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon C_r - 1} \right), \quad C_r = C_{min} / C_{max} \quad UA = [(h_i^{-1} A_i^{-1} + h_e^{-1} A_e^{-1})^{-1}]^{-1}$$

4) (6,0 pontos) Óleo deve ser resfriado com água em um trocador de calor com 1 passe no casco e 8 passes nos tubos. Os tubos têm paredes finas de cobre de diâmetro de 1,4 cm. O comprimento de cada passe de tubo no trocador é de 5 m, e o coeficiente global de transferência de calor é 310 W/(m²K). A água escoia através dos tubos a uma taxa de 0,2 kg/s, e o óleo escoia através do casco a uma taxa de 0,3 kg/s. Água e óleo entram com temperatura de 20°C e 150°C, respectivamente.



- (1,0 ponto) Determine a taxa de transferência de calor no trocador de calor.
- (1,0 ponto) As temperaturas de saída da água e do óleo.
- (1,5 pontos) O coeficiente médio de transferência de calor por convecção internamente ao tubo de cobre.
- (1,5 pontos) Se este trocador for aproximado por um paralelepípedo de $L=5\text{m} \times H=1\text{m} \times W=1\text{m}$, considerando que a troca térmica na parte inferior é nula, estime a perda de calor para o ambiente a $T_\infty=20^\circ\text{C}$ e que toda a superfície do trocador se mantém a $T_{sup}=(150^\circ\text{C}+T_{\text{óleo},s})/2$.
- (1,0 ponto) O fato de haver troca de calor com o ambiente piora ou melhora o trocador? Fundamente a sua resposta.

Dados do óleo: $k=0,144 \text{ W/(m.K)}$, $\mu=0,210\text{Ns/m}^2$, $Pr=2870$; $c_p= 2300 \text{ J/(kg.K)}$

Dados do ar: $\nu=16,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $k=0,02814 \text{ W/(mK)}$, $Pr=0,703$; $\rho=1,1774 \text{ kg/m}^3$, $c_p=1006 \text{ kJ/(kgK)}$

Dados p/água: $k=0,643 \text{ W/(m.K)}$, $\nu=0,861 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $Pr=3,56$; $c_p= 4180 \text{ J/(kg.K)}$; $\rho=980 \text{ kg/m}^3$

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + C_r + \sqrt{1 + C_r^2} \frac{1 + \exp[-NUT \sqrt{1 + C_r^2}]}{1 - \exp[-NUT \sqrt{1 + C_r^2}]} \right\}^{-1}$$

Formulário

$$q_{rad} = \varepsilon A \sigma (T_1^4 - T_2^4), \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4) \quad q_{latente} = \dot{m} h \quad q_{sensível} = m c_p \frac{dT}{dt} \quad q_{cond} = kA \frac{(T_a - T_b)}{L}$$

$$q_{conv} = hA(T_s - T_\infty) \quad \phi = \frac{P_A}{P_{A,sat}} \text{ (umidade relativa - hip. gás ideal)} \quad PV = mRT \quad N_A'' = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial y}$$

$$h_m = \frac{-D_{AB} \partial C_A / \partial y|_{y=0}}{C_{A,s} - C_{A,\infty}} \quad n_A'' = -D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial y} \quad h_m = \frac{-D_{AB} \partial \rho_A / \partial y|_{y=0}}{\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}} \quad Le = \frac{Sc}{Pr} \quad Nu = \frac{hL}{k_f} \quad Sh = \frac{h_m L}{D_{AB}} \quad Sc = \frac{\nu}{D_{AB}}$$

$$\frac{Nu}{Pr^n} = \frac{Sh}{Sc^n}, \text{ ou } \frac{h}{h_m} = \frac{k}{D_{AB} Le^n} = \rho c_p Le^{1-n}, n \approx 1/3 \quad \bar{h} = \frac{1}{L} \int_0^L h_x dx \quad T_m = \frac{\int \rho u c_v T dA}{m c_v} \quad Re = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu} \quad Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

Correlações para escoamento em tubo circular $Re_c = 2.300$ Transição laminar/turbulento

Laminar, plenamente desenvolvido	$f = 64/Re_D$
Laminar, plenamente desenvolvido, q_s'' uniforme, $Pr \geq 0,6$	$Nu_D = 4,36$
Laminar, plenamente desenvolvido, T_s uniforme, $Pr \geq 0,6$	$Nu_D = 3,66$
Laminar, comprimento térmico de entrada ($Pr \gg 1$ ou comprimento inicial não aquecido), T_s uniforme	$\overline{Nu}_D = 3,66 + \frac{0,0668(D/L) Re_D Pr}{1 + 0,04[(D/L) Re_D Pr]^{2/3}}$
Laminar, comprimento de entrada combinado, T_s uniforme	$\overline{Nu}_D = 1,86 \left(\frac{Re_D Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0,14}$
Turbulento, plenamente desenvolvido, $3000 < Re_D < 5 \times 10^6$	$f = (0,790 \ln Re_D - 1,64)^{-2}$
Turbulento, plenamente desenvolvido, $0,6 < Pr < 5 \times 10^6$	$Nu_D = 0,023 Re_D^{4/5} Pr^n$, $n=0,3$ (resfriamento) $N=0,4$ (aquecimento)

OBS: quando a analogia de transferência de calor e massa for aplicável, as correlações correspondentes de transferência de massa podem ser obtidas trocando-se **Nu** e **Pr** por **Sh** e **Sc**, respectivamente.

Correlações para convecção livre: $Ra_c = 10^9$ Transição laminar/turbulento $Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu}$ $\beta = 1/T$ [K] (gás ideal)

Correlação de placa Vertical (laminar e turbulento): $\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$

Correlação de placa Horizontal

Superfície superior de uma placa quente ou Superfície inferior de uma placa fria

$$\begin{cases} Nu = 0,54 Ra_L^{1/4} & 10^4 \leq Ra \leq 10^7 \\ Nu = 0,15 Ra_L^{1/3} & 10^7 \leq Ra \leq 10^{11} \end{cases}$$

Superfície inferior de uma placa quente ou Superfície superior de uma placa fria

$$Nu = 0,27 Ra_L^{1/4} \quad 10^5 \leq Ra \leq 10^{11}$$

Correlação de cilindro horizontal: $\overline{Nu}_D = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 Ra_D^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$; $Ra_D < 10^{12}$

mudança de fase: $q_s'' = \mu_l h_{fg} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left(\frac{c_{p,l} \Delta T_e}{C_{s,f} h_{fg} Pr_l^n} \right)^3$; $n = 1$ para a água; $\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$;

$$q_{\max}'' = \frac{\pi}{24} \rho_v h_{fg} \left[\frac{\sigma g(\rho_l - \rho_v)}{\rho_v^2} \right]^{1/4} \left(\frac{(\rho_l + \rho_v)}{\rho_l} \right)^{1/2} \quad \text{Método NUT: } \varepsilon = \frac{q}{q_{\max}} = \frac{C_h(T_{h,e} - T_{h,s})}{C_{\min}(T_{h,e} - T_{c,e})} = \frac{C_c(T_{c,s} - T_{c,e})}{C_{\min}(T_{h,e} - T_{c,e})};$$

$$NUT = \frac{UA}{C_{\min}}$$