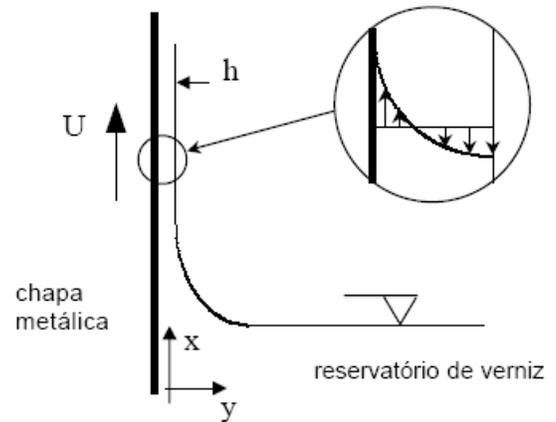


Questões para a 2ª prova de TM252 referentes aos caps. 6 e 7.

1) Considere como alternativa de proteção superficial o processo de revestimento contínuo por uma camada de verniz. O verniz se encontra em um reservatório, e a chapa é continuamente colocada em contato com o mesmo, conforme indicado esquematicamente na figura.

a) **(2,0 pontos)** Determine a velocidade U de forma a garantir uma espessura de verniz $h = 0,5$ mm. Despreze a tensão de cisalhamento na superfície livre do filme. Observe também que, distante da superfície livre do reservatório, parte do filme de verniz é arrastado pela chapa em movimento e parte cai pela ação da gravidade, resultando em uma vazão local nula e em uma espessura de filme constante, conforme mostrado no detalhe da figura.



b) **(2,0 pontos)** Se a chapa metálica estiver a uma temperatura de 50 °C e o ar a uma temperatura de 20 °C, considerando um coeficiente de convecção médio de 20 (W/m²K), determine o perfil de temperatura.. Qual será a temperatura superficial (em contato com o ar) do verniz?

c) **(2,0 pontos)** Determine qual é o fluxo mássico de verniz evaporado para o mesmo coeficiente de convecção.

Dados / Informações Adicionais

Conservação da quantidade do movimento para a direção x em regime permanente:

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \rho g$$

ρ e μ constantes

Tensão de cisalhamento: $\tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)$

Propriedades do verniz:

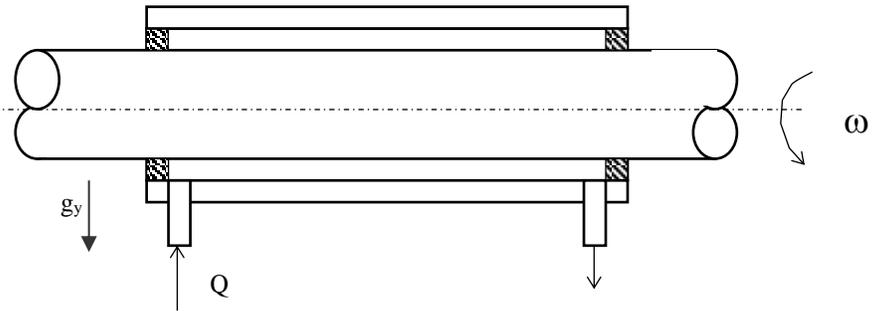
$k = 0,14$ W/mK, $\mu = 0,04$ Pa.s, $\alpha = 65,3 \times 10^{-6}$ m²/s
 $\nu_l = 0,001007$ m³/kg, $\nu_v = 22,93$ m³/kg; $h_{lv} = 2414$ kJ/kg

$D_{AB} = 0,26 \times 10^{-4}$ m²/s

Ar $k = 0,0263$ W/(mK); $\alpha = 22,5 \times 10^{-6}$ m²/s; $\nu = 15,89 \times 10^{-6}$ m²/s; $Pr = 0,707$

2) Um corpo de forma irregular tem uma dimensão característica $L=1$ m e é mantido a uma temperatura uniforme na superfície $T_s=400$ K. Quando colocado no ar atmosférico a uma temperatura $T_\infty=300$ K e movendo-se com velocidade $V=100$ m/s, o fluxo de calor médio da superfície para o ar é 20.000 W/m². Se um segundo corpo de mesma forma, mas com dimensão característica $L=5$ m, é mantido à temperatura da superfície $T_s=400$ K e colocado no ar atmosférico a $T_\infty=300$ K, qual será o valor do coeficiente de convecção médio se a velocidade do ar é de $V=20$ m/s?

3) Um óleo (viscoso) escoava entre o mancal e o eixo com a ajuda de uma bomba na conexão de entrada. A partir das equações gerais do formulário em anexo, estabeleça as equações simplificadas para a solução deste problema, enunciando as hipóteses simplificadoras bem como justificando o motivo da simplificação dos termos. Considere que o escoamento rotacional pode ser desacoplado do escoamento na direção do fluxo.



Supondo que o óleo tem viscosidade de $\mu=1 \times 10^{-1}$ Ns/m² e condutividade $k=0,15$ W/mK e o diâmetro do eixo é de 50 mm com uma folga de 0,1 mm entre o mancal e o eixo e rotação de 10.000 rpm. Se a largura do mancal é de 250 mm determine:

- A dissipação viscosa no lubrificante
 - A taxa de transferência pelo mancal sendo que não há perda de calor pelo eixo.
 - Se sensores acoplados ao mancal indicarem que sua temperatura média é de 40°C, determine a temperatura do eixo.
 - A vazão de óleo resultante se a bomba fornece uma pressão de 3 atm na conexão de entrada (0,5 pontos adicionais na prova).
- 4) Foi proposto um experimento que consiste em uma tubulação no interior da qual se fez escoar água a 25°C e 1 m/s. Inseriu-se no centro da tubulação um corpo-de-prova feito de ácido benzóico durante uma hora. Sabendo que o número de Schmidt é 740 e que a solubilidade do ácido benzóico, ρ_∞ , na água é $3,0 \times 10^{-3}$ g/cm³, determine:
- o raio final do corpo-de-prova, assumindo-o esférico de raio inicial a 0,5 cm
 - o raio final do corpo-de-prova, assumindo-o cilíndrico de raio inicial a 0,5 cm o qual foi disposto perpendicularmente ao escoamento.

Dados: massa específica do ácido benzóico 1,316 g/cm³ e sua difusividade mássica é $0,25 \cdot 10^{-4}$ m²/s

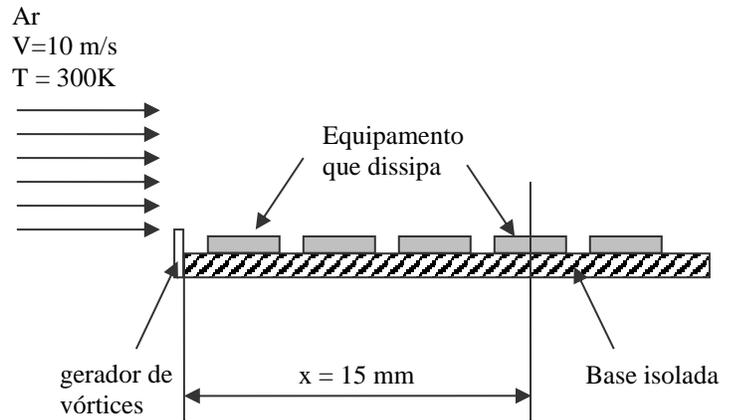
5) Em uma piscina foi determinada que a taxa de evaporação através da medida da variação do seu nível. Em um dia de verão a 35°C e com umidade relativa de 40 % foi determinado que a piscina reduz de profundidade em uma taxa de 0,1 mm/h. Determine qual é a taxa na qual a massa é perdida devido à evaporação por unidade de área superficial. Qual é o coeficiente de transferência de massa por convecção?

Dados: Vapor de água a 35°C: $\rho_g=0.0336$ kg/m³; Água líquida a 35°C: $\rho_g=995$ kg/m³.

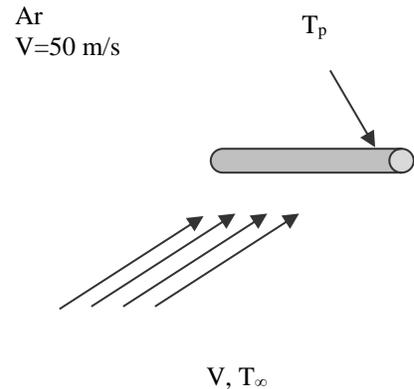
6) Considerando ar a 27 °C, pressão atmosférica ao nível do mar e propriedades listadas abaixo, escoando paralelamente e isotermicamente sobre uma placa plana, de comprimento 1 m, com uma velocidade de 10 m/s. Faça um gráfico do coeficiente local de transferência de calor com a posição x sobre a placa, mínimo 5 pontos. Obtenha o valor do coeficiente médio. Se a placa estiver a 50 °C obtenha a distribuição do fluxo de calor q'' (mínimo 5 pontos) e calcule também o taxa total transferida de calor pela placa por metro de largura da placa. Dados do ar: $\nu=15,89 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $k=0,0263 \text{ W}/(\text{mK})$, $Pr=0,707$

7) Utiliza-se um fluxo de ar para resfriar equipamentos que dissipam 40 mW numa superfície de 4 mm por 4 mm, conforme figura. Para melhorar a transferência de calor são utilizados geradores de vórtices no início da placa para transformar o escoamento turbulento. Determine a temperatura superficial do 4º equipamento numa posição situada a 15 mm da borda frontal da placa.

Dados p/ar: $k=0,0274 \text{ W}/(\text{mK})$, $\nu=17,40 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $Pr=0,705$



8) Um fio fino, com diâmetro de $3,93 \times 10^{-5} \text{ m}$ é posicionado transversalmente num fluxo de ar a 1 atm e 25°C, com uma velocidade de 50 m/s. Uma corrente elétrica passa através do fio, aquecendo a sua superfície a 50°C. Calcule a transferência de calor existente por unidade de comprimento. compare as correlações existentes para este caso, considerando para uma correlação $C=0,683$ e $m=0,466$ e $n=1/3$ (Tab. 7.2)



Propriedades:

Ar (T= 310 K): $k=0,02704 \text{ W}/(\text{mK})$; $\nu=16,7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $Pr=0,706$

Formulário:

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

$$q_{\text{conv}} = h A (T_s - T_\infty) \quad \tau_{yx} = \mu \frac{du}{dy} \quad \frac{dp}{dh} = \rho g \quad \text{Torque: } dT = r dF \quad \text{Potência} = F \cdot v \text{ ou } F \cdot \omega$$

$$e = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad \phi = \frac{P_A}{P_{A,\text{sat}}} (\text{umidade relativa} - \text{hip. gás ideal}) \quad \phi = \frac{P_A}{P_{A,\text{sat}}} (\text{umidade relativa} - \text{hip. gás ideal})$$

$$PV = mRT \quad N_A'' = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial y} \quad h_m = \frac{-D_{AB} \partial C_A / \partial y|_{y=0}}{C_{A,S} - C_{A,\infty}} \quad n_A'' = -D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial y} \quad h_m = \frac{-D_{AB} \partial \rho_A / \partial y|_{y=0}}{\rho_{A,S} - \rho_{A,\infty}} \quad Le = \frac{Sc}{Pr}$$

$$Nu = \frac{hL}{k_f} \quad Sh = \frac{h_m L}{D_{AB}} \quad \frac{Nu}{Pr^n} = \frac{Sh}{Sc^n}, \text{ ou } \frac{h}{h_m} = \frac{k}{D_{AB} Le^n} = \rho c_p Le^{1-n}, n \approx 1/3 \quad \bar{h} = \frac{1}{L} \int_0^L h_x dx$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \rho g_x$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \rho g_y$$

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu}$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad Sc = \frac{\nu}{D_{AB}}$$

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \mu \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] \right\} + \dot{q}$$

$$u \frac{\partial C_A}{\partial x} + v \frac{\partial C_A}{\partial y} = D_{AB} \left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} \right) + \dot{N}_A$$

Correlações para escoamento externo PLACA PLANA: $Re_c = 5 \times 10^5$ Transição laminar/turbulento

| | |
|---|--|
| Laminar, T_f | $\delta = 5x Re_x^{-1/2}$ |
| Laminar, T_f | $\delta_t = \delta Pr^{-1/3}$ |
| Laminar local, T_f , $0.6 < Pr < 50$ | $Nu = 0.332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$ |
| Laminar médio, T_f , $0.6 < Pr < 50$ | $\overline{Nu}_x = 0.664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$ |
| Turbulento local, T_f , $Re_x < 10^8$, $0.6 < Pr < 60$ | $Nu_x = 0.0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3}$ |
| Turbulento | $\delta = 0,37x Re_x^{-1/5}$ |
| Mistura média, T_f , $Re_x < 10^8$, $0.6 < Pr < 60$ | $\overline{Nu}_L = (0.037 Re_L^{4/5} - 871) Pr^{1/3}$ |
| CILINDRO com escoamento cruzado, $Re_D Pr > 0.2$ | $\overline{Nu}_L = \frac{\overline{h}_D D}{k} = 0.3 + \frac{0.62 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}}{\left[1 + (0.4/Pr)^{2/3} \right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282,000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$ |
| ESFERA com condições média, $T_\infty 3.5 < Re_D < 4 \times 10^4$, $0.71 < Pr < 380$, $1 < (\mu/\mu_s) < 3.2$ | $\overline{Nu}_D = 2 + \left[0.4 Re_D^{1/2} + 0.06 Re_D^{2/3} \right] Pr^{0.4} (\mu/\mu_s)^{1/4}$ |

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.