

QUESTÃO 1 O painel fotovoltaico (PV, além de possuir baixa eficiência de conversão, tem a sua eficiência diminuída com o aumento da temperatura de operação, conforme a equação típica (Chow et al., *Solar Energy*, 2006). Desta forma, uma maneira de utilizá-lo em países de clima quente, procurando melhorar a sua eficiência é resfriá-lo através da aspersão de água, conforme a figura.



Para a configuração ao lado, com cada painel com dimensões de 1,5m por 2,5m, montado lado a lado fazendo uma matriz de 10 x 10 (ou seja, 15m x 25m). Considere a temperatura do ar igual a $T_{\infty}=40^{\circ}\text{C}$ e numa primeira aproximação assumamos a temperatura do painel igual a 90°C . A condutividade térmica do PV pode ser aproximada como sendo $k=5 \text{ W/[mK]}$ e emissividade igual a 0,8.

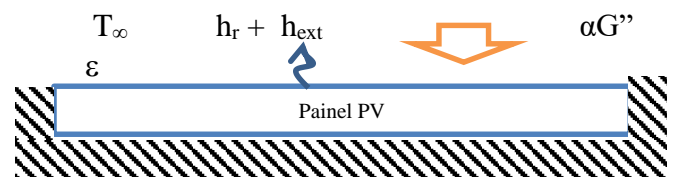
Dados: Ar: $\rho = 1,1614 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1007 \text{ J/(kg.K)}$, $\alpha = 22,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\nu = 17,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Água $\nu_v = 22,93 \text{ m}^3/\text{kg}$; $h_{lv} = 2414 \text{ kJ/kg}$

Ar-Água: $D_{AB} = 0,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Calcule:

a) Considerando que o ar na velocidade de $V=2\text{m/s}$ escoar tangencialmente a superfície no sentido da largura ($L=1,5\text{m}$). As bordas não perturbam o escoamento, esboce o gráfico da variação do coeficiente de convecção ao longo da superfície indicando claramente a posição e os valores na transição, no centro de cada coletor e ao final do conjunto.



b) O valor médio do coeficiente de convecção todo o conjunto, assumindo a hipótese, em cada caso, que a superfície é isotérmica. Calcule também os valores médios para o primeiro, terceiro e último coletor. Obtenha também a espessura da camada limite hidrodinâmica e térmica na posição central destes coletores.

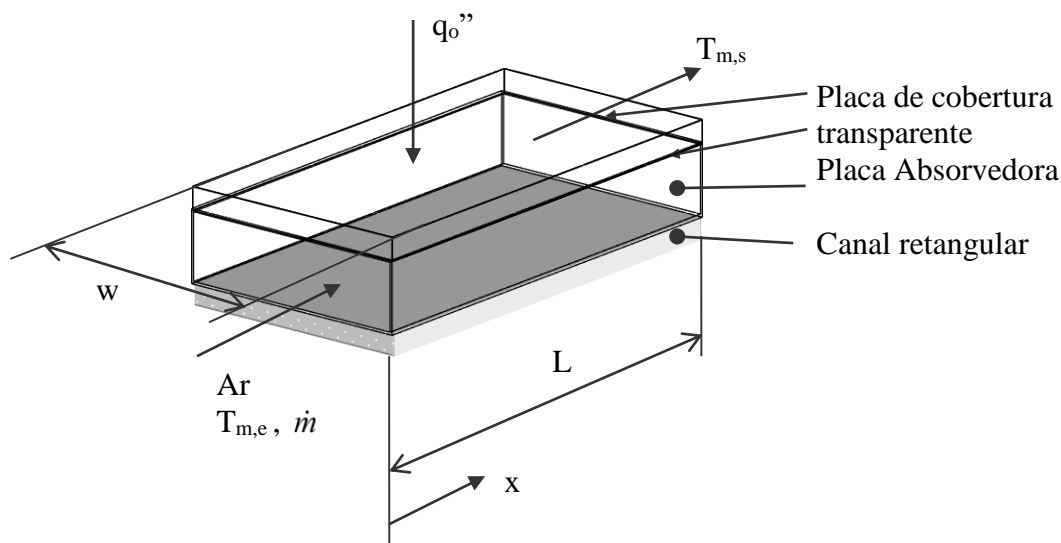
c) Através de um balanço de energia, obtenha a temperatura do primeiro e do último painel, T_{PV} . Considere, quando necessário, para o cálculo das propriedades radiativas a temperatura do painel igual a 90°C . Assuma $T_{viz} = T_{\infty} = 40^{\circ}\text{C}$ e linearize a troca radiativa em onda longa, utilizando o h_r . Conforme a figura do painel PV, considere a superfície superior como a única que realiza trocas térmicas.

d) Repita a estimativa do item c) considerando que o escoamento é turbulento a partir da borda do primeiro PV.

e) Se para baixar a temperatura do painel fosse adotado como técnica molhar a superfície com água, conforme a figura. Obtenha os coeficientes de transferência de massa médios e temperaturas de regime permanente para o primeiro, terceiro e último painel. Calcule a taxa de evaporação total. Considere a UR=40%

f) Considerando o coeficiente de transferência de massa para toda a superfície, obtenha a taxa mássica de água evaporada.

QUESTÃO 2 Um coletor solar de placa plana é utilizado para aquecer ar atmosférico escoando através de um canal retangular. A superfície inferior do canal é bem isolada, enquanto a superfície superior está submetida a um fluxo de calor uniforme q_o'' devido ao efeito líquido da absorção da radiação solar e da troca de calor entre o absorvedor e as placas de cobertura.

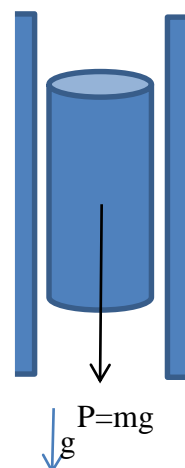


- a) Para um volume de controle diferencial, obtenha a equação que relaciona a temperatura média do ar $T_m(x)$ em função da distância ao longo do canal. Resolva essa equação para obter uma expressão para a temperatura média do ar que sai do coletor.
- b) Com as condições de entrada do ar $\dot{m}=0,1\text{kg/s}$ e $T_{m,e} = 40^\circ\text{C}$, qual é a temperatura de saída do ar se $L= 3\text{m}$, $w= 1\text{m}$ e $q_o''= 700\text{ W/m}^2$? O calor específico do ar é $c_p= 1008\text{ J/(Kg.K)}$

3ª Questão Análise a possibilidade do uso de um elevador que utilizaria somente o arraste viscoso para limitar a velocidade de sua descida. O elevador é composto de um cilindro de diâmetro de 1 m e altura de 2 m que desce em uma tubulação que apresenta uma folga de 0,1 mm. Utiliza-se um óleo entre o elevador e a parede do tubo que possui $\mu = 0,8\text{ Ns/m}^2$ e $k_f=0,145\text{ W/(mK)}$.

Supõe-se que o peso do conjunto é a 5.000N. Calcule:

- a) A velocidade de descida máxima do conjunto
- b) Se a parede do tubo for mantida a 25°C qual será a temperatura de equilíbrio do elevador se as paredes do elevador puderem ser consideradas como adiabáticas.
- c) Qual é o fluxo que deve ser removido pelas paredes do tubo, nestas condições?
- d) Para reduzir a velocidade do elevador, proponha mecanismos de atuação, sem que haja a necessidade de construir dispositivos mecânicos especiais.



Formulário: $PV=MRT$ $\delta W=PdV$ $\gamma = c_p/c_v$ $c_p-c_v=R$ $\delta Q-\delta W=dU$ $du=c_vdT$ $q_{rad} = \epsilon A \sigma (T_1^4 - T_2^4)$,
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}\text{ W/(m}^2\cdot\text{K}^4)$ $q_{latente} = \dot{m}h$ $q_{sensível} = mc_p \frac{dT}{dt}$ $q_{cond} = kA \frac{(T_a - T_b)}{L}$ $q_{conv} = hA(T_s - T_\infty)$ $q'' = -k \frac{\partial T}{\partial n}$
 Exp. de Taylor $f_{x+dx} = f_x + \frac{df}{dx} dx$: $\dot{E}_e - \dot{E}_s + \dot{E}_g = \dot{E}_{ac} = \rho V c \frac{dT}{dt}$ Coef. global: $\frac{1}{h_{total}} = \frac{1}{h_r} + \frac{1}{h_{conv}}$; $h_r = \epsilon \sigma (T + T_{viz})(T^2 + T_{viz}^2)$

$$\phi = \frac{P_A}{P_{A,sat}} \text{ (umidade relativa - hip. gás ideal)} \quad PV = mRT \quad N_A'' = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial y} \quad h_m = \frac{-D_{AB} \partial C_A / \partial y|_{y=0}}{C_{A,S} - C_{A,\infty}}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu} \quad Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad Sc = \frac{\nu}{D_{AB}}$$

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 transversal, $Re_D Pr > 0.2$	$\overline{Nu}_D = \frac{\bar{h}_D D}{k} = 0,3 + \frac{0,62 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 + (0,4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$
ESFERA com condições médias, T_∞ $3,5 < Re_D < 4 \times 10^4$, $0,71 < Pr < 380$, $1 < (\mu/\mu_s) < 3,2$	$\overline{Nu}_D = \frac{\bar{h}_D D}{k} = 2 + [0,4 Re_D^{1/2} + 0,06 Re_D^{2/3}] Pr^{0,4} (\mu/\mu_s)^{1/4}$
Gota se deslocando no ar, com condições médias, T_∞	$\overline{Nu}_D = 2 + 0,6 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}$

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.