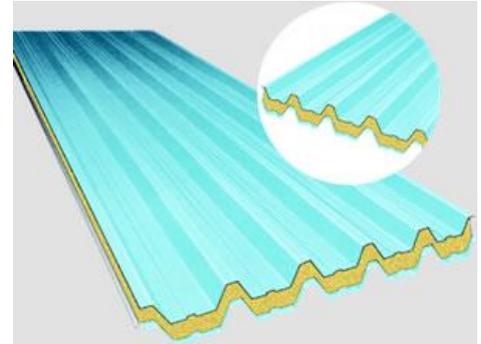


Exercícios de provas antigas.

1ª Questão (3,5 pontos) Um telhado plano metálico pode ser modelado inicialmente como uma placa plana, isolada na parte inferior e exposta à luz solar. Se o fluxo de calor irradiado pelo sol for 600 W/m^2 ($\alpha=1$), o coeficiente de transferência de calor por convecção entre o telhado e o ar for de $12 \text{ W/m}^2\text{K}$ e a temperatura do ar for 27°C , determine a temperatura do telhado para os dois casos a seguir:



- (a) A perda de calor por radiação para o espaço é desprezível,
- (b) o telhado é negro ($\epsilon=1$) e emite radiação térmica para o espaço, que é considerado um corpo negro a 280 K .

2ª Questão (3,5 pontos) Estime o tempo necessário para a solidificação completa de uma peça cilíndrica de Alumínio fundida em uma coquilha de Aço refrigerada com água a 25°C e com uma vazão de 1 litro por segundo e temperatura de saída de 80°C . O cilindro tem dimensões 200 mm de diâmetro por 300 mm de altura. Toda a superfície da coquilha está a 25°C . A temperatura do ar encontra-se a 30°C e o coeficiente de convecção pode ser assumido como sendo $20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. A troca térmica por radiação da coquilha com o ambiente pode ser desprezada. A temperatura de saída da água da coquilha é 80°C .

Dados: $\rho_{\text{água}} = 999 \text{ kg/m}^3$; $C_p \text{ água} = 4,18 \text{ kJ/(kgK)}$;

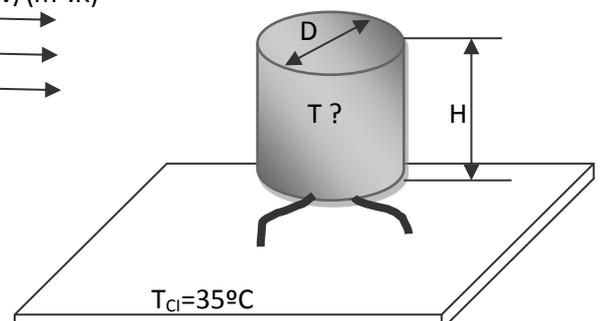
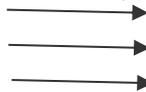
$\rho_{\text{Al}} = 933 \text{ kg/m}^3$; $C_p \text{ Al} = 606 \text{ kJ/(kgK)}$; $h_{\text{sl Al}} = 291 \text{ kJ/kg}$.

3ª Questão (3,0 pontos) Um capacitor eletrolítico com dimensões $H=25 \text{ mm}$ por $D=15 \text{ mm}$ esta montada em uma placa de CI mantida a 35°C .

Ar a temperatura de 25°C escoa sobre a superfície deste componente, exceto a sua base. O capacitor possui dois terminais elétricos ($k_{\text{cond}}=40 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) de seção circular com diâmetro de 1 mm e comprimento de 10 mm que conduzem calor por condução entre o componente e a placa de CI. Assuma o coeficiente de convecção como sendo 30

$T_{\text{ar}}=25^\circ\text{C}$

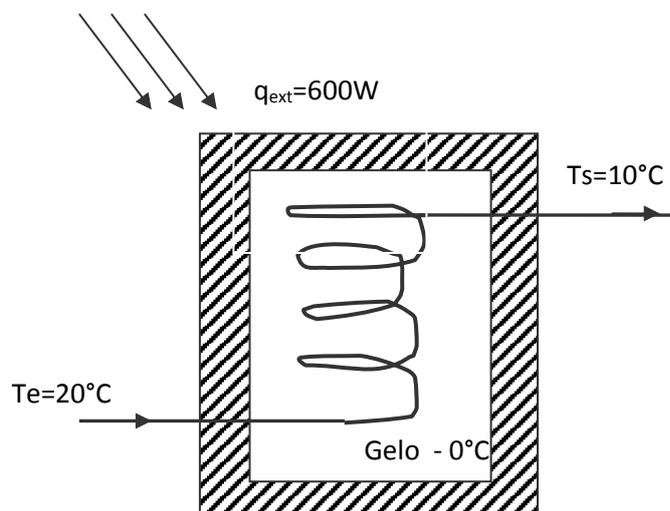
$h=30 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$



$W/(m^2.K)$, considere o capacitor isotérmico, despreze a troca térmica por radiação. Este capacitor dissipa uma potência elétrica de 300mW. Calcule a temperatura de trabalho deste capacitor. Despreze a troca térmica por convecção dos terminais elétricos com o ar. Despreze também a troca térmica pela base do capacitor.

4ª Questão (3,0 pontos) Um satélite de comunicação esférico, com 2 m de diâmetro, é colocado em órbita da Terra. Ele gera 1000 W de potência interna a partir de um pequeno gerador nuclear. Se a superfície do satélite apresentar uma emissividade de 0,3 e estiver protegida da radiação solar pela sombra da Terra, calcule sua temperatura superficial. Se caso o satélite receber um fluxo solar de $1300 W/m^2$ proveniente do Sol, qual seria sua nova temperatura. Considere o espaço a 0 K (zero Kelvin).

5ª Questão (3,5 pontos) Um sistema central de refrigeração utiliza um sistema de gelo para aumentar a eficiência do sistema e reduzir o custo do equipamento instalado. O sistema é composto por um reservatório de gelo gerado durante a noite, período que o sistema de climatização do centro comercial é menos solicitado. No horário de pico energético, o sistema de refrigeração faz passar o fluido de trabalho no interior deste sistema de gelo para trocar calor com o mesmo, visto que o sistema instalado no centro comercial não seria suficiente para atender a demanda neste horário. Numa análise inicial considere o sistema de gelo é constituído de um reservatório isolado com um material de condutividade térmica muito eficiente que minimiza a troca térmica com o ambiente. Estima-se uma carga térmica externa de 600 W. Supondo que o fluido de trabalho entra neste reservatório de gelo a $20^\circ C$ e sai a $10^\circ C$ com uma vazão de $0,03 m^3/s$, determine o volume deste reservatório para garantir gelo durante um período de 4 horas.



Propriedades:

Água: $v_f = 1,0 \times 10^{-3} m^3/kg$

$c_p = 4200 J/(kg.K)$

gelo: $\rho = 920 kg/m^3$

$c_p = 2040 J/(kg.K)$

$h_{s1} = 2.502 kJ/kg$

6ª Questão (3,5 pontos) Um aquecedor solar simples consiste de uma placa plana de vidro colocada em um reservatório raso preenchida com água, de forma que a água que a água esteja em contato com a placa de vidro sobre ela. A radiação solar passa através do vidro a uma taxa de $800 W/m^2$. A água está a uma temperatura de $50^\circ C$ e o ar ao seu redor a $20^\circ C$. Se os coeficientes de transferência de calor por convecção entre a água e o vidro e entre o vidro e o ar forem respectivamente $5W/(m^2 K)$ e $2 W/(m^2 K)$, determine o tempo necessário para transferir $500J$ por m^2 de superfície para a água do reservatório. A superfície inferior do reservatório pode ser considerada isolada perfeitamente.

7ª Questão (3,0 pontos) Em uma instalação industrial um tubo de cobre, com 2,5 cm de diâmetro externo e 2 cm de diâmetro interno, transporta oxigênio líquido à -183°C com uma vazão de $0,04 \text{ m}^3/\text{min}$. O ar ambiente está a 21°C e apresenta um ponto de orvalho de 10°C . Qual é a espessura do isolamento, com uma condutividade térmica de $0,02 \text{ W/mK}$, necessária para evitar a condensação na sua parte externa, se $h_{\text{conv}}+h_{\text{rad}}=17\text{W/m}^2\text{K}$ no exterior.

OBS: Deduza a formulação a partir da equação da energia em coordenadas cilíndricas. A apresentação da obtenção das equações é obrigatório.

8ª Questão (3,5 pontos) Em um evaporador do tipo roll-bond a formação de gelo prejudica a transferência de calor com o ambiente interno do refrigerador. Considere que o fluido refrigerante mantém a superfície do evaporador a -18°C e o ar no interior do gabinete é mantido em um lado do evaporador a 7°C e no outro a -12°C . A área superficial de um lado do evaporador é $0,8 \text{ m}^2$ e o coeficiente de convecção médio é de $20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

- Se o descongelamento não for realizado periodicamente lentamente o gelo se acumulará na superfície do evaporador. Verifique o efeito de formação de gelo na capacidade de resfriamento do evaporador para as espessuras de 0, 3, 5 e 10 mm, considerando a condutividade térmica do gelo como sendo $0,4 \text{ W/mK}$.
- O refrigerador é desligado após o mau funcionamento do processo de descongelamento e uma camada de 10 mm de espessura de gelo ter se formada de ambos os lados do evaporador. Se o evaporador estiver no ar ambiente, $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$ e a convecção natural for $20 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, quanto tempo o gelo levará para fundir? A densidade do gelo pode ser considerada $700 \text{ kg}/\text{m}^3$ e o calor latente de fusão $334 \text{ kJ}/\text{kg}$.
- O efeito da formação de gelo na superfície do evaporador altera de que maneira o funcionamento do compressor do refrigerador? O que ocorrerá com o consumo de energia?

9ª Questão (3,5 pontos) Um teste comum realizado pelos fabricantes de aparelhos de refrigeração é o chamado "pull-down" que consiste em por a "carcaça" do produto a operar numa condição inversa a situação comum. Isto é, aquece-se o produto internamente através de uma resistência elétrica e se mantém o produto resfriado em uma câmara fria. O ensaio é realizado aquecendo-se o interior a 43°C com uma resistência elétrica e a temperatura externa é mantida a 5°C . Nesta condição foi medido para este produto uma potência de 30 W . Em um ensaio de consumo de energia no qual se mantém a temperatura interna média em 7° e a temperatura externa de 32°C foi obtido que este produto consome 200kJ por dia. Sabendo-se que o coeficiente de desempenho real (COP) é a relação à capacidade de refrigeração e o trabalho

elétrico despendido no processo (assumindo que não há perdas mecânicas no compressor) calcule este COP.

10) (5,0 pontos) Um elemento esférico de diâmetro 10 mm que está inicialmente a temperatura de 25°C. Esta esfera é submersa em um banho líquido que é mantido sempre a uma temperatura de 10% superior a temperatura (em °C) da esfera. Sendo $h=20\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ obtenha:

- A partir do balanço de energia a formulação geral para a evolução da temperatura com o tempo.
- Se a hipótese de capacitância global é válida para este problema.
- A temperatura da esfera após 10 min.
- A quantidade de calor absorvida pela esfera em 10 min.
- Esboce o gráfico da evolução da temperatura de esfera e do fluido com o tempo.

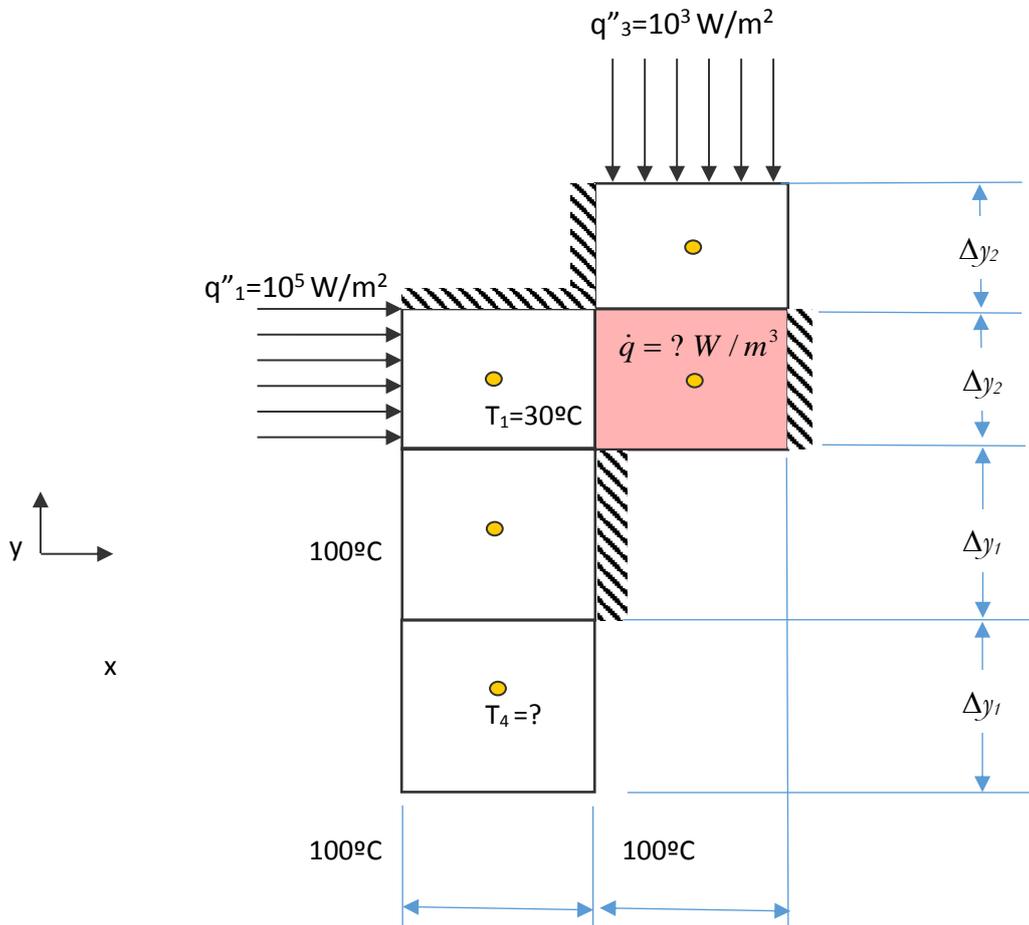
Propriedades da esfera: $\rho=7.895\text{ kg}/\text{m}^3$, $c_p= 0,4\text{kJ}/(\text{kgK})$ e $k= 61\text{ W}/(\text{mK})$

11) (5,0 pontos) Uma chapa de concreto de espessura 5 mm e de 1 m x 1 m em suas outras dimensões que está em processo de cura possui uma geração inicial de $\dot{q} = 10^4\text{W}/\text{m}^3$. Esta chapa é ventilada em seus dois lados por uma corrente de ar com $h=10\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$. A chapa possui em toda a sua superfície um revestimento que proporciona uma resistência térmica igual a $R''=0,02\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$. A placa de concreto está inicialmente a 50°C e o ar é mantido a 20°C. Obtenha:

- Se esta taxa de geração se mantiver constante esta placa irá aquecer ou esfriar?
- A partir do balanço de energia a formulação geral para a evolução da temperatura com o tempo. Considerando que a taxa de geração de calor se mantém constante.
- Obtenha a temperatura da placa após 10 min. Considerando que a taxa de geração de calor se mantém constante.
- A quantidade de calor trocada pela placa em 10 min. Considerando que a taxa de geração de calor se mantém constante.
- A hipótese de capacitância global é válida para este problema.

Propriedades do concreto: $\rho=2.000\text{ kg}/\text{m}^3$, $c_p= 1,2\text{kJ}/(\text{kgK})$ e $k= 2\text{ W}/(\text{mK})$

12) Para o problema ilustrado na figura, calcule por volumes finitos as temperaturas e a geração de calor no volume 2, apresentando as deduções. Desenhe 6 isotermas 6 linhas de fluxo de calor (2 por volume). Calcule o fluxo de calor horizontal entre o volume 1 e 2 e o fluxo de calor vertical entre o volume 4 e 5 indicando o sentido. Dados: $\Delta x=\Delta y_1 =2.\Delta y_2=\Delta z=1\text{m}$, $k= 100\text{ W}/(\text{mK})$



13) (4,0 pontos) Um elemento radioativo em formato esférico de diâmetro 100 mm que está inicialmente a uma temperatura de 600°C e ainda apresenta uma geração volumétrica de 10^5 W/m^3 . A esfera é submersa em um banho líquido a $T_\infty = 100^\circ\text{C}$ e $h_1 = 40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ durante 1 min e na sequência em outro banho a $T_\infty = 50^\circ\text{C}$ e $h_2 = 10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ durante 3 min. Calcule a temperatura desta esfera ao final deste período (4 min). Obtenha as equações a partir do balanço de energia. A hipótese de capacitância global é válida nestes casos? Esboce um gráfico da variação da temperatura com o tempo da esfera.

Propriedades da esfera: $\rho = 7.895 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 0,4 \text{ kJ}/(\text{kgK})$ e $k = 61 \text{ W}/(\text{mK})$

Uma esfera de aço inoxidável de diâmetro de 100 mm que está inicialmente a uma temperatura de 150°C. Ela apresenta uma geração volumétrica de 10^4 W/m^3 . Esta esfera é submersa em um banho de óleo a $T_\infty = 100^\circ\text{C}$. Considerando $h_{\text{óleo}} = 30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ obtenha e responda:

- As equações a partir do balanço de energia para o modelamento transiente.
- Em função da geração de energia a esfera irá se aquecer ou esfriar?
- Quanto tempo levará para a temperatura da esfera variar 10°C?
- A hipótese de capacitância global é válida nestes casos?

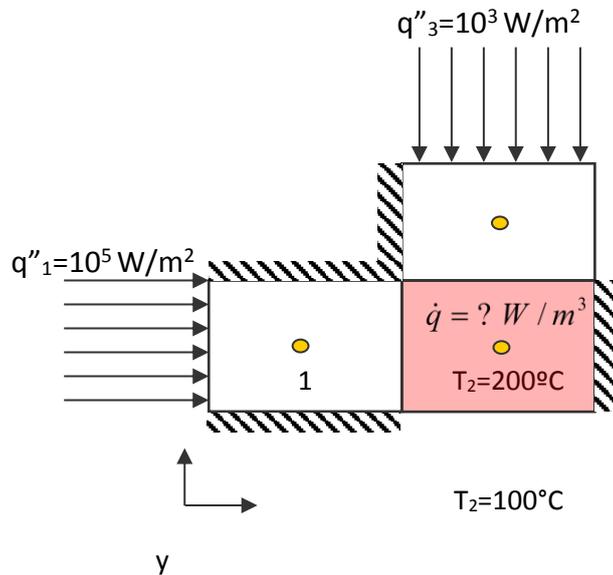
Propriedades da esfera: $\rho = 7.895 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 0,4 \text{ kJ}/(\text{kgK})$ e $k = 61 \text{ W}/(\text{mK})$

Volume da esfera: $V = (4/3) \pi R^3$, onde R é o raio da esfera.

Área da esfera: $A = 4 \pi R^2$.

14) (6,0 pontos)

Para o problema ilustrado na figura, calcule por volumes finitos as temperaturas T_1 e T_3 e a geração de calor no volume 2, apresentando as deduções. Desenhe 6 isothermas e 6 linhas de fluxo de calor (2 por volume). Calcule o fluxo de calor horizontal entre o volume 1 e 2 e o fluxo de calor vertical entre o volume 3 e 2 indicando o sentido. Dados: $\Delta x = 2, \Delta y = \Delta z = 1\text{m}$, $k = 100\text{ W/mK}$.



15) (5,0 pontos) O diretor da empresa em que você trabalha pede que você faça um estudo de um processo contínuo de tratamento térmico de esferas de aço [$\rho = 7900\text{ kg/m}^3$, $c_p = 640\text{ J/(kg.K)}$, $k = 30\text{ W/(m.K)}$] para rolamentos. O diâmetro é de 6 mm e é aquecida fazendo passar através de um forno no qual as paredes são mantidas a uma temperatura de T_∞ correspondente à temperatura dos gases de combustão que escoam através do forno.

- Para um coeficiente de convecção uniforme de $h = 100\text{ W/(m}^2.\text{K)}$ e $T_\infty = 1500^\circ\text{C}$ e um fluxo líquido de radiação proveniente das paredes de $q_{\text{rad}}'' = 2000\text{ W/m}^2$, determine o comprimento do forno necessário para aquecer as esferas de 20°C até 600°C se a velocidade da esteira que leva as esferas é de $0,5\text{ m/s}$.
- Quando de energia é necessário para aquecer uma esfera?
- Após o aquecimento as esferas são mergulhadas em água a uma temperatura de 50°C e $h = 200\text{ W/m}^2.\text{K}$. Se o comprimento do tanque de água é de 16 m , qual é a temperatura final da esfera (considere a velocidade da esteira de $0,5\text{ m/s}$).
- Se em um instante de tempo se encontram 1000 esferas dentro do tanque, quanto de energia deve ser removido do tanque para manter a água em 50°C .

16 (5,0 pontos) Um fio de 10 mm de diâmetro e de 1 m de comprimento dissipa calor a uma taxa de 10^4 W/m^3 em função da passagem de uma corrente elétrica. Este cilindro está inserido em um meio que, em uma consideração extrema, pode ser considerada como um isolante perfeito. Através de refrigeração, suas extremidades são mantidas a 20°C e 40°C , cada face. A condutividade térmica é $k = 40\text{ W/mK}$. Calcule, demonstrando todos os passos:

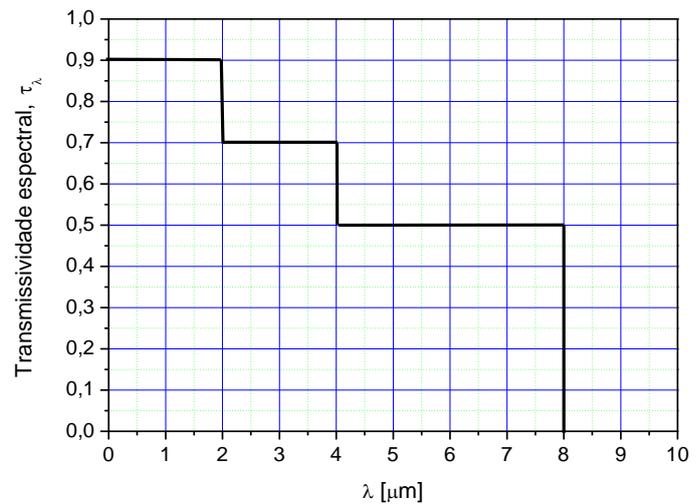
- Utilizando volumes finitos as temperaturas em 3 elementos.
- Os fluxos de calor nas extremidades e centro da barra.
- Esquematize as isothermas e linhas de fluxo de calor.

17º Questão: (3,5 pontos) A emissividade de uma superfície revestida de óxido de alumínio pode ser aproximada como 0,15 para a radiação em comprimento de onda menores que $5\text{ }\mu\text{m}$ e 0,9 para a radiação em comprimento de onda superiores a $5\text{ }\mu\text{m}$. Determinar a emissividade média desta superfície para 5800K e 300K

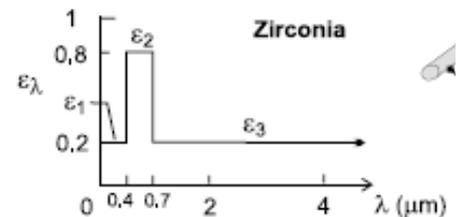
18° Questão: (3,0 pontos) Qual é a temperatura de um corpo negro em que 95% da energia emitida estejam compreendidos no espectro de comprimento de onda $\lambda = 0$ até $5 \mu\text{m}$?

19° Questão: (3,5 pontos) Para um filamento de uma lâmpada incandescente de diâmetro 1 mm e 5 mm de comprimento, calcule:

- A fração de energia emitida pelo filamento no visível ($0,4$ a $0,7 \mu\text{m}$) se a lâmpada está a 2700°C .
- A potência emitida pela lâmpada (após o bulbo) se a transmissividade do bulbo for dado pela figura ao lado.
- O que acontece com a diferença de energia emitida entre o filamento e após o bulbo?



20° Questão (questão de final, com conteúdo misturados): Um coletor solar fotovoltaico transforma o fluxo solar incidente diretamente em energia elétrica em função de propriedades eletrofísicas do cristal silício. Entretanto estes painéis reduzem sua eficiência com o aumento de sua temperatura e promover a ventilação para a remoção do calor contribui para o aumento da eficiência. Desta forma o coletor é instalado em uma cobertura no qual a remoção de calor por convecção e radiação em sua superfície externa, além de possuir um fluxo de em sua superfície inferior com uma vazão de $0,1 \text{ kg/s}$. Considerando o coeficiente de convecção externo $h_e = 20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e o interno como sendo $h_i = 30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, e que a incidência solar é de $500 \text{ W}/\text{m}^2$ calcule:



- O fluxo de energia absorvido do fluxo solar.
- Considerando $T_\infty = T_{\text{viz}} = 20^\circ\text{C}$ calcule a temperatura de equilíbrio da placa fotovoltaica, tendo ar escoando a $0,1 \text{ kg/s}$ pela sua parte inferior.
- Considerando que ar entra também a 20°C , com uma vazão de $0,1 \text{ kg/s}$ calcule a temperatura de saída do ar.
- Se não houver mais remoção de calor pela parte inferior e somente ocorrer remoção por convecção e radiação em sua parte superior, calcule a temperatura de equilíbrio desta placa.

Formulário: Formulário:

$$q_{\text{rad}} = \varepsilon A \sigma (T_1^4 - T_2^4), \quad q_{\text{cond}} = kA \frac{(T_a - T_b)}{L}, \quad q_{\text{conv}} = hA(T_s - T_\infty) \quad q_{\text{latente}} = \dot{m}h$$

$$q_{\text{sensível}} = mc_p \frac{dT}{dt} \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4) \quad q'' = -k \frac{\partial T}{\partial n} \quad \text{Expansão de Taylor} \quad f_{x+dx} = f_x + \frac{df}{dx} dx$$

Balço de Energia: $\dot{E}_e - \dot{E}_s + \dot{E}_g = \dot{E}_{ac} = \rho V c \frac{dT}{dt}$

Coef. global em paralelo: $\frac{1}{h_{total}} = \frac{1}{h_r} + \frac{1}{h_{com}}$;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$q'' = -k \frac{\partial T}{\partial n}$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(k r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + g''' = \rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

Expansão de Fourier : $q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx$

$$\beta i = \frac{h L_c}{k} \begin{cases} \text{parede plana } L_c = \frac{L}{2} \\ \text{cilindro } L_c = \frac{R}{2} \\ \text{esfera } L_c = \frac{R}{3} \end{cases}$$

Balço de Energia: $\dot{E}_e - \dot{E}_s + \dot{E}_g = \dot{E}_{ac} = \rho V c \frac{dT}{dt}$

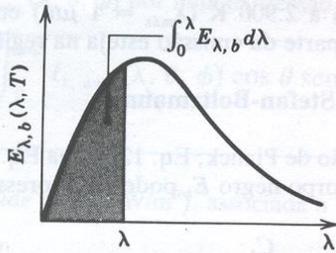


Fig. 12.14 Emissão de radiação por um corpo negro na banda espectral entre 0 e λ .

Outras funções do corpo negro estão presentes na terceira e na quarta colunas da Tabela 12.1. A terceira coluna facilita o cálculo da intensidade espectral num certo comprimento de onda e numa certa temperatura. Em lugar de se calcular essa grandeza pela Eq. 12.25, pode-se achá-la pela simples multiplicação do valor tabelado $I_{\lambda,b}/\sigma T^5$ por σT^5 . A quarta coluna se usa para se ter uma estimativa rápida da razão entre a intensidade espectral em qualquer comprimento de onda e a intensidade espectral no $\lambda_{\text{máx}}$.

Tabela 12.1 Funções da radiação do corpo negro^a

λT ($\mu\text{m} \cdot \text{K}$)	$F_{(0 \rightarrow \lambda)}$	$I_{\lambda,b}(\lambda, T)/\sigma T^5$ ($\mu\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{sr}$) ⁻¹	$\frac{I_{\lambda,b}(\lambda, T)}{I_{\lambda,b}(\lambda_{\text{máx}}, T)}$
200	0,000000	$0,375034 \times 10^{-27}$	0,000000
400	0,000000	$0,490335 \times 10^{-13}$	0,000000
600	0,000000	$0,104046 \times 10^{-8}$	0,000014
800	0,000016	$0,991126 \times 10^{-7}$	0,001372
1.000	0,000321	$0,118505 \times 10^{-5}$	0,016406
1.200	0,002134	$0,523927 \times 10^{-5}$	0,072534
1.400	0,007790	$0,134411 \times 10^{-4}$	0,186082
1.600	0,019718	0,249130	0,344904
1.800	0,039341	0,375568	0,519949
2.000	0,066728	0,493432	0,683123
2.200	0,100888	$0,589649 \times 10^{-4}$	0,816329
2.400	0,140256	0,658866	0,912155
2.600	0,183120	0,701292	0,970891
2.800	0,227897	0,720239	0,997123
2.898	0,250108	$0,722318 \times 10^{-4}$	1,000000
3.000	0,273232	$0,720254 \times 10^{-4}$	0,997143
3.200	0,318102	0,705974	0,977373
3.400	0,361735	0,681544	0,943551
3.600	0,403607	0,650396	0,900429
3.800	0,443382	0,615225	0,851737
4.000	0,480877	0,578064	0,800291
4.200	0,516014	$0,540394 \times 10^{-4}$	0,748139
4.400	0,548796	0,503253	0,696720
4.600	0,579280	0,467343	0,647004
4.800	0,607559	0,433109	0,599610
5.000	0,633747	0,400813	0,554898
5.200	0,658970	$0,370580 \times 10^{-4}$	0,513043
5.400	0,680360	0,342445	0,474092
5.600	0,701046	0,316376	0,438002
5.800	0,720158	0,292301	0,404671
6.000	0,737818	0,270121	0,373965
6.200	0,754140	$0,249723 \times 10^{-4}$	0,345724
6.400	0,769234	0,230985	0,319783
6.600	0,783199	0,213786	0,295973
6.800	0,796129	0,198008	0,274128
7.000	0,808109	0,183534	0,254090
7.200	0,819217	$0,170256 \times 10^{-4}$	0,235708
7.400	0,829527	0,158073	0,218842
7.600	0,839102	0,146891	0,203360
7.800	0,848005	0,136621	0,189143
8.000	0,856288	0,127185	0,176079
8.500	0,874608	$0,106772 \times 10^{-4}$	0,147819
9.000	0,890029	$0,901463 \times 10^{-5}$	0,124801
9.500	0,903085	0,765338	0,105956

Tabela 12.1 Funções da radiação do corpo negro^a

λT ($\mu\text{m} \cdot \text{K}$)	$F_{(0 \rightarrow \lambda)}$	$I_{\lambda,b}(\lambda, T)/\sigma T^5$ ($\mu\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{sr}$) ⁻¹
10.000	0,914199	0,653279
10.500	0,923710	0,560522
11.000	0,931890	$0,483321 \times 10^{-5}$
11.500	0,939959	0,418725
12.000	0,945098	0,364394
13.000	0,955139	0,279457
14.000	0,962898	0,217641
15.000	0,969981	$0,171866 \times 10^{-5}$
16.000	0,973814	0,137429
18.000	0,980860	$0,908240 \times 10^{-6}$
20.000	0,985602	0,623310
25.000	0,992215	0,276474
30.000	0,995340	$0,140469 \times 10^{-6}$
40.000	0,997967	$0,473891 \times 10^{-7}$
50.000	0,998953	0,201605
75.000	0,999713	$0,418597 \times 10^{-8}$
100.000	0,999905	0,135752

^aAs constantes de radiação usadas para gerar estas funções do corpo negro são:
 $C_1 = 3,7420 \times 10^8 \text{ W} \mu\text{m}^4/\text{m}^2$
 $C_2 = 1,4388 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$
 $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

Coef. global de transferência de calor:

$$\frac{1}{h_{\text{total}}} = R'' + \frac{1}{h_{\text{conv}}};$$

$$E_{\lambda} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi$$

$$E = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda$$

$$E_{\lambda} = \pi I_{\lambda,e}$$

$$I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{dq}{dA_1 \cos \theta d\omega d\lambda}$$

$$d\omega = \frac{dA_n}{r^2} = \sin \theta d\theta d\phi$$

$$\varepsilon, \alpha, \tau = \frac{(\varepsilon, \alpha, \tau)_1 \int_0^{\lambda_1} E_{\lambda,b} d\lambda}{E_b} + \frac{(\varepsilon, \alpha, \tau)_2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda,b} d\lambda}{E_b}$$

