Fuja Transcal P3 - Radiação

→ Conceitos básicos

- Poder Emissivo (E): Taxa na qual a radiação é emitida de uma superfície por unid. de área. $E = \varepsilon \sigma T_s^4$
- Irradiação (G): Taxa na qual a radiação incide sobre uma superfície por unidade de área. A irradiação pode ser refletida, absorvida ou transmitida.
- Radiosidade (J): Taxa na qual radiação deixa uma superfície por unidade de área. Para uma superfície opaca: $J = E + \rho G$
- Fluxo radiante líquido ($q''_{rad} = J - G$): Taxa líquida de radiação deixando uma superfície por unid. área.

A irradiação G é dividida em parcelas:

$$\underbrace{\rho}_{\text{refletividade}} + \underbrace{\alpha}_{\text{absortividade}} + \underbrace{\tau}_{\text{transmissividade}} = 1$$

Para um corpo opaco:
$$\begin{cases} J = E + G_{ref} = E + \rho G \\ \rho + \alpha = 1 \quad (\tau = 0) \end{cases}$$

Via de regra, essas propriedades variam com o com o comprimento de onda λ e a ângulo de irradiação / emissão. Superfície difusa $\equiv$ emissão igual p/ todos os ângulos! ε_λ,

ε = emissividade hemisférica total

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_{cn}(T)}$$

$E(T) \rightarrow$ corpo real

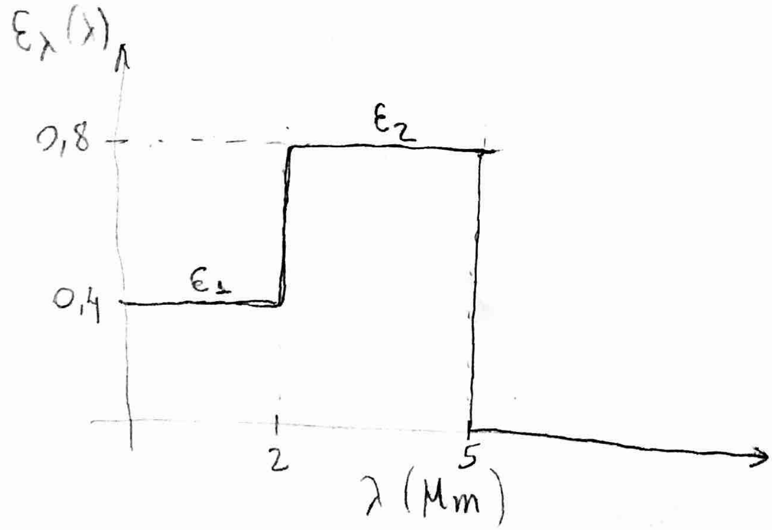
$E_{cn}(T) \rightarrow$ corpo negro (modelo) $\rightarrow E_{cn} = \sigma T^4$

A,

ε_λ = emissividade hemisférica espectral (depende do comprimento de onda λ).

$$\varepsilon = \int_0^\infty \varepsilon_\lambda \frac{E_{\lambda,cn}\, d\lambda}{E_{cn}} \quad ; \quad F(0 \rightarrow \lambda) = \int_0^\lambda \frac{E_{\lambda,cn}\, d\lambda}{E_{cn}}$$

Exemplo 12.6 (7ª ed.) ; $T_S = 1600 K$



Temos um gráfico de ε_λ, mas queremos ε (emiss. total). Precisamos calcular

$$\varepsilon = \int_0^\infty \varepsilon_\lambda \frac{E_{\lambda,cn}\, d\lambda}{E_{cn}}$$

$$= \varepsilon_1 \int_0^2 \frac{E_{\lambda,cn}\, d\lambda}{E_{cn}} + \varepsilon_2 \int_2^\infty \frac{E_{\lambda cn}\, d\lambda}{E_{cn}}$$

$$\Rightarrow \varepsilon_1 F_{(0 \rightarrow 2\mu m)} + \varepsilon_2 \left[F_{(0 \rightarrow 5\mu m)} - F_{(0 \rightarrow 2\mu m)} \right]$$

$\lambda_1 T = 2 \mu m \times 1600 = 3200\ \mu m K \rightarrow F(0 \rightarrow 2) = 0,318$

$\lambda_2 T = 5 \mu m \times 1600 = 8000\ \mu m K \rightarrow F(0 \rightarrow 5) = 0,856$

$\varepsilon = 0{,}4 \cdot 0{,}318 + 0{,}8\,[0{,}856 - 0{,}318] \Rightarrow \quad \varepsilon = 0{,}558$

Observações

* Se for dado α_λ em vez de ε_λ, podemos supor $\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda$,
Justificativa: superfície difusa, opaca e cinza.

* Se queremos calcular ε para uma superfície difusa A, devemos fazê-lo com relação à Temp. superficial de A.

* Se queremos calcular α, o faremos com relação a uma fonte de calor B, e usamos $T_{sup,B}$ nos cálculos. Teremos α da superfície A com respeito a T_B.

* corpo cinza: absorve parcialmente a radiação que o atinge. A emissividade não depende de λ, θ e T. Emissividade constante

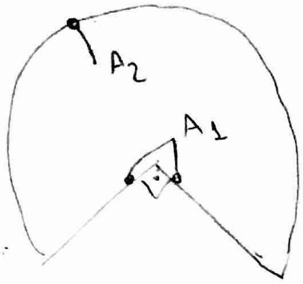
→ Troca de radiação entre superfícies

- Fator de forma: F_{ij} = fração da radiação que deixa a superfície i e é interceptada pela superfície j.
- Relação fundamental: $A_i F_{ij} = A_j F_{ji}$
- Em uma cavidade fechada: $\sum_{j=1}^{N} F_{ij} = 1$

Se a superfície for côncava ela enxerga a si mesma e então $F_{ii} \neq 0$. Se for plana ou convexa $F_{ii} = 0$.

Exemplos fatores de forma

a)



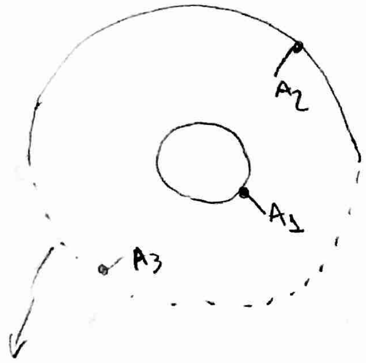
$F_{11} = 0$;

$F_{11} + F_{12} = 1 \Rightarrow F_{12} = 1$;

$A_1 F_{12} = A_2 F_{21} \Rightarrow F_{21} = \frac{A_1}{A_2}$

$F_{21} + F_{22} = 1 \Rightarrow F_{22} = 1 - \frac{A_1}{A_2} = 1 - \frac{2RL}{\frac{3}{4} \cdot 2\pi R \cdot L}$

b)



superfície 3 é auxiliar

$\boxed{A_2 = 2A_1}$

$F_{12} = ?$
$F_{21} = ?$

$F_{11} = 0$

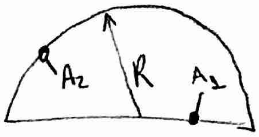
$F_{12} + F_{13} = 1$

$F_{12} = F_{13}$ (simetria) $\Rightarrow$

$\boxed{F_{12} = 0{,}5} \Rightarrow F_{12} A_1 = F_{21} A_2 \Rightarrow$

$F_{21} = \frac{1}{2A_2} A_1 = \underline{0{,}25}$

c)

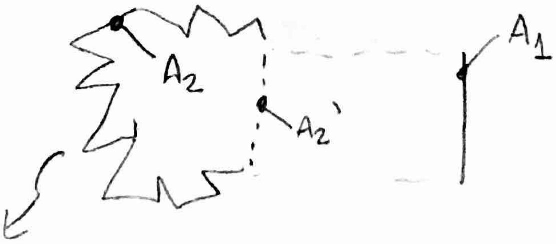


$F_{11} = 0 \Rightarrow F_{12} = 1$

$F_{12} A_1 = F_{21} A_2 \Rightarrow F_{21} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{2RL}{\pi RL} = \frac{2}{\pi} \approx 0{,}637$

$F_{21} + F_{22} = 1 \Rightarrow F_{22} = 1 - \frac{2}{\pi} \cong 1 - 0{,}637 = 0{,}363$

d)



geometria complexa

$F_{12} = F_{12'}$

$A_2 F_{21} = A_2' F_{2'1}$

→ Troca de radiação entre superfícies cinzas, difusas, opacas em uma cavidade fechada

q_i = taxa líquida na qual radiação deixa uma superfície i

$$q_i = A_i \left(\underset{\substack{\uparrow \\ \text{sai}}}{J_i} - \underset{\substack{\uparrow \\ \text{chega}}}{G_i} \right) \qquad (*)$$

Mas $J_i = E_i + \rho_i G_i$

$\rho + \alpha = 1$ (superfície opaca) $\Rightarrow$

$J_i = E_i + (1-\alpha) G_i$

$q_i = A_i \left[E_i + (1-\alpha) G_i - G_i \right]$

$q_i = A_i \left[E_i - \alpha G_i \right]$; mas $\varepsilon_i = \alpha_i$ p/ uma superfície difusa, opaca e cinza:

Além disso $E_i = \varepsilon_i E_{cn,i}$

$$q_i = A_i \left(J_i - \frac{J_i \varepsilon_i E_{cn}}{1-\varepsilon} \right)$$

Subst. G em $(*)$:

$$\boxed{q_i = \frac{E_{cn,i} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i}}$$

Outra expressão:

$$q_i = \sum_{j=1}^{N} \frac{J_i - J_j}{(A_i F_{ij})^{-1}}$$

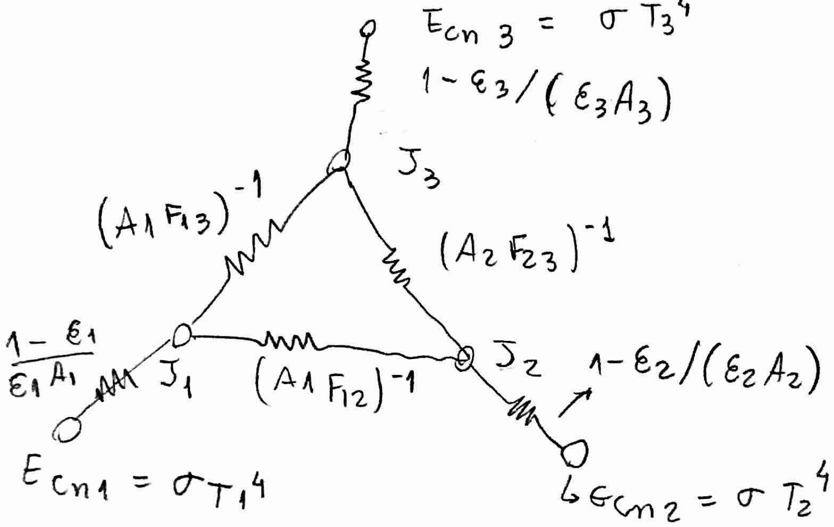
(útil qdo não conhecemos T_i, portanto não temos $E_{cn,i}$)

Combinando:

$$\boxed{\frac{E_{cn,i} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i} = \sum_{j=1}^{N} \frac{J_i - J_j}{(A_i F_{ij})^{-1}}}$$

(útil qdo. temos T_i)

Abordagem por circuitos:



Simplificações:

- corpo negro $\Rightarrow J_i = E_{cn_i} = \sigma T_i^4$

  Podemos considerar corpo negro se esse corpo for muito maior que os outros (muitas vezes nem temos como calcular sua área, ex: paredes da sala)

- Superfície rerradiante = parede isolada → não há radiação líquida $q_i = 0 \Rightarrow J_i = E_{cn,i}$ (comporta-se como corpo negro)

- Superfícies são determinadas tanto pela geometria quanto pela temperatura.

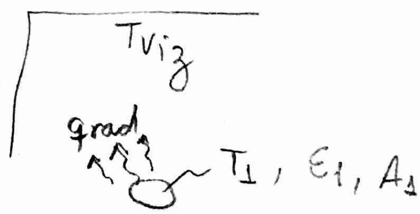
→ Considerações gerais sobre q_i

- $q_i = A_i(J_i - G_i)$, ou seja (tudo que sai) − (tudo q. entra) em termos de radiação.

- Se $q_i > 0$, tem mais radiação saindo do que entrando. Se estamos no regime estacionário, é necessário que alguma fonte esteja fornecendo energia à superfície i. Pode ser uma geração, condução, convecção, etc...

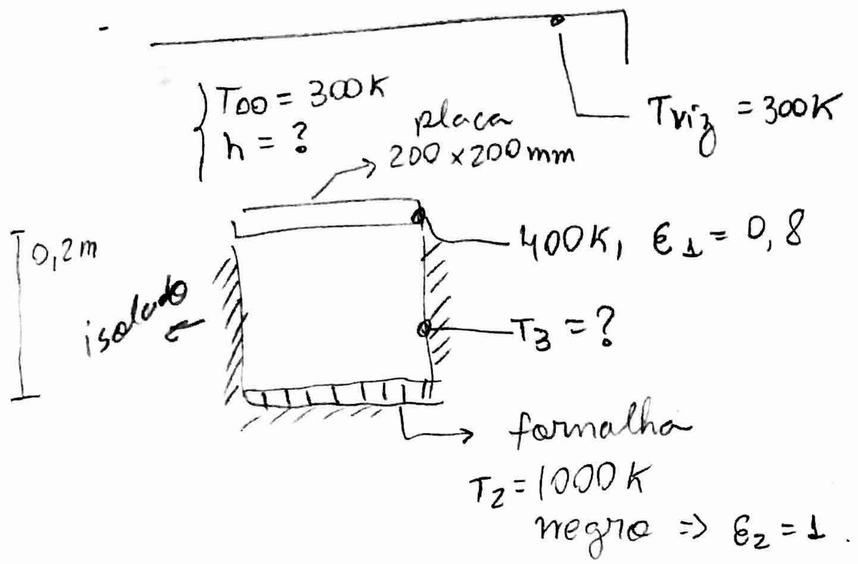
- Se $q_i < 0$, temos mais radiação chegando do que saindo. É necessário um mecanismo de remoção de calor. Exemplos: convecção ou uma outra radiação com a vizinhança.

→ Objeto pequeno trocando calor c/ vizinhança grande ⇒



$$q_{rad} = A_1 \sigma \varepsilon (T_1^4 - T_{viz}^4)$$

Ex 13.94 - 7ª edição
adaptado



a) Calcule a transf. radiante líquida para a superfície inferior da placa.

b) considerando regime permanente, calcule $h = ?$

c) Calcule a temperatura das laterais do forno

Temos 3 superfícies no interior do forno. Vamos escrever 3 equações. Primeiro vamos calcular as áreas e fatores de forma

$A_1 = 0,2 \cdot 0,2 \Rightarrow A_1 = 0,04\ m^2;$

$A_2 = 0,04\ m^2$

$A_3 = 4 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \Rightarrow A_3 = 0,16\ m^2$

Fator de forma F_{21} (ver figura 13.4) 7ª edição

$X = 0,2m \qquad Y = 0,2m \qquad L = 0,2m$

$F_{13} A_1 = F_{31} A_3$

$X/L = 1 \quad ; \quad Y/L = 1;$ Logo: $F_{21} = 0,2$

$F_{2,2} = 0$ (superfície plana) $\Rightarrow \quad F_{21} + F_{22} + F_{23} = 1 \Rightarrow F_{23} = 0,8$

Por simetria: $F_{12} = 0,2 \ ; \ F_{11} = 0; \ F_{13} = 0,8 \ ; \ F_{31} = F_{13} \frac{A_1}{A_3} = 0,2$

Superfície 1 : $\dfrac{\sigma T_1^4 - J_1}{(1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1 \cdot A_1} = \dfrac{J_1 - J_2}{(A_1 \cdot F_{12})^{-1}} + \dfrac{J_1 - J_3}{(A_1 \cdot F_{13})^{-1}} = q_1$

Superfície 2: $\sigma T_2^4 = J_2$; $\dfrac{J_2 - J_1}{(A_2 F_{21})^{-1}} + \dfrac{J_2 - J_3}{(A_2 F_{23})^{-1}} = q_2$

Superfície 3: $\begin{cases} q_3 = \dfrac{J_3 - J_1}{(A_3 F_{31})^{-1}} + \dfrac{J_3 - J_2}{(A_3 F_{32})^{-1}} = \underbrace{0}_{\text{rerradiante}} \Rightarrow 2J_3 = J_1 + J_2 \\ J_3 = \sigma T_3^4 \ ; \end{cases}$

Matrizes: $[C] = [B][J]$:

(Incógnitas: $J_1, J_2, J_3, q_1, q_2, T_3 \Rightarrow$ 6 equações)

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\sigma T_1^4}{(1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1 A_1} \\ \sigma T_2^4 \\ \sigma T_3^4 \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} \left[\dfrac{1}{(A_1F_{12})^{-1}} + \dfrac{1}{(1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1 A_1} + \dfrac{1}{(A_1F_{13})^{-1}}\right] & \dfrac{-1}{(A_1F_{12})^{-1}} & \dfrac{-1}{(A_1F_{13})^{-1}} \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \end{bmatrix}$$

Segunda Matriz (q's)

$$\begin{bmatrix} -q_1 + \dfrac{\sigma T_1^4}{(1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1 A_1} \\ q_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dfrac{1}{(1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1 A_1} & 0 & 0 \\ \dfrac{-1}{(A_2F_{21})^{-1}} & \left[\dfrac{1}{(A_2F_{21})^{-1}} + \dfrac{1}{(A_2F_{23})^{-1}}\right] & \dfrac{-1}{(A_2F_{23})^{-1}} \\ -1 & -1 & 2 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \end{bmatrix}$$

Se usarmos as equações 1, 2 e 6 montamos:

$$\begin{bmatrix} \dfrac{5,67\cdot 10^{-8}(400)^4}{(1-0,8)/0,8\cdot 0,04} \\ 5,67\cdot 10^{-8}(1000)^4 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} \left[\dfrac{1}{(0,04\cdot 0,2)^{-1}} + \dfrac{1}{(1-0,8)/0,8\, 0,04} + \dfrac{1}{(0,04\cdot 0,8)^{-1}}\right] ; & \dfrac{-1}{(0,04\cdot 0,2)^{-1}} ; & \dfrac{-1}{(0,04\cdot 0,8)^{-1}} \\ 0 ; & 1 ; & 0 \\ -1 & -1 & 2 \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 232,2432 \\ 56700 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2 & -0,008 & -0,032 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \end{bmatrix}$$

$J_1 = 8657,82 \ W/m^2$

$J_2 = 56700 \ W/m^2$

$J_3 = 32678,91 \ W/m^2$

Subst em 4:

$$\frac{\sigma T_1^4 - J_1}{(1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1 A_1} = q_1 \Rightarrow \frac{5,67\cdot 10^{-8}(400)^4 - 8657,82}{(1-0,8)/0,8\cdot 0,04} = q_1$$

$\Rightarrow q_1 = -1153 \ W$

Substituindo em 5: $q_2 = 1153$ (ou seja, como 3 é rerradiante, tudo que entra em 1 sai de 2)

↓

isolada

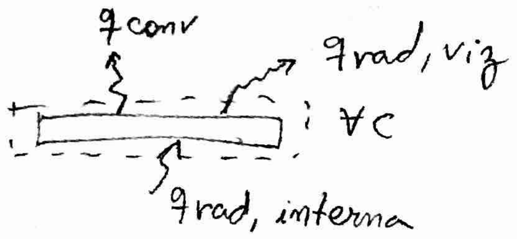
$T_3 = ?$

$J_3 = \sigma T_3^4 \Rightarrow 32678{,}91 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \, T_3^4 \Rightarrow \underline{T_3 \cong 871 \, K}$

$h = ?$

Temos $q_1 = -1153 \, W$ (mais radiação chegando do que saindo)

Balanço de energias em 1:



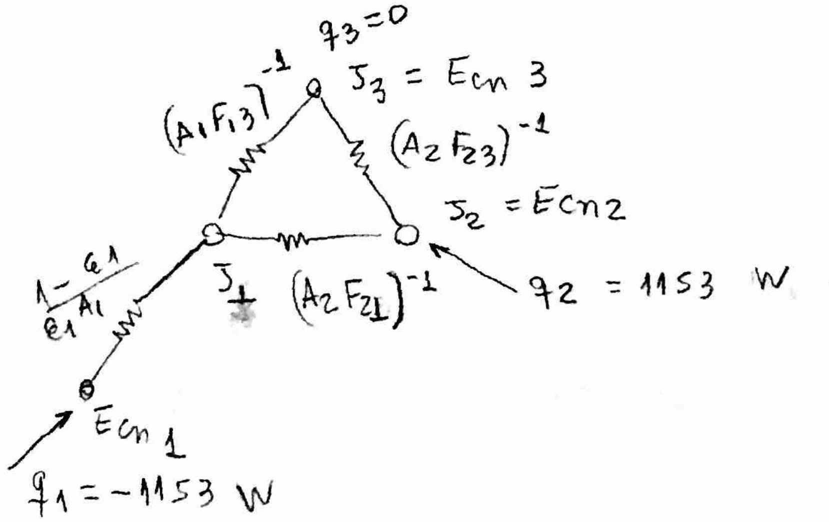
$$q_{rad, interna} = q_{conv} + q_{rad, viz}$$

$$1153 = h \cdot A_1 (T_1 - T_\infty) + \varepsilon \sigma_1 A_1 (T_1^4 - T_{viz}^4)$$

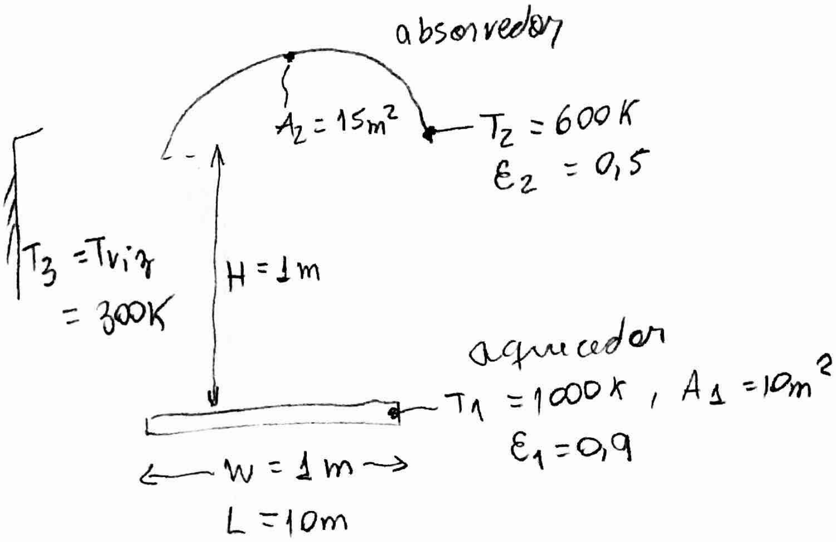
$$1153 = h \cdot 0{,}04 (400 - 300) + 0{,}8 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 0{,}04 (400^4 - 300^4)$$

$$\underline{h = 280 \, W/m^2K}$$

Circuito equivalente:

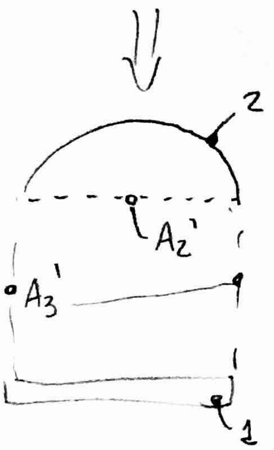


Exemplo 13.4



Qual a taxa de transf de calor p/ a superfície do absorvedor

$\Downarrow$



$F_{12'} = ?$

Usando figura 13.4 $\Rightarrow$ $Y/L = 10$
$X/L = 1$

$F_{12} = 0,4$; $F_{12} = F_{12'}$ (tudo que passa por 2' chega a 2)

$F_{13} + F_{12} + \cancel{F_{11}}^{0} = 1 \Rightarrow F_{13} = 1 - 0,4$
$F_{13} = 0,6$

$F_{21} = F_{2'1} = F_{12'} = F_{12} \Rightarrow F_{21} = F_{12} = 0,4$

$F_{2'3} = F_{13} \Rightarrow F_{2'3} = 0,6$

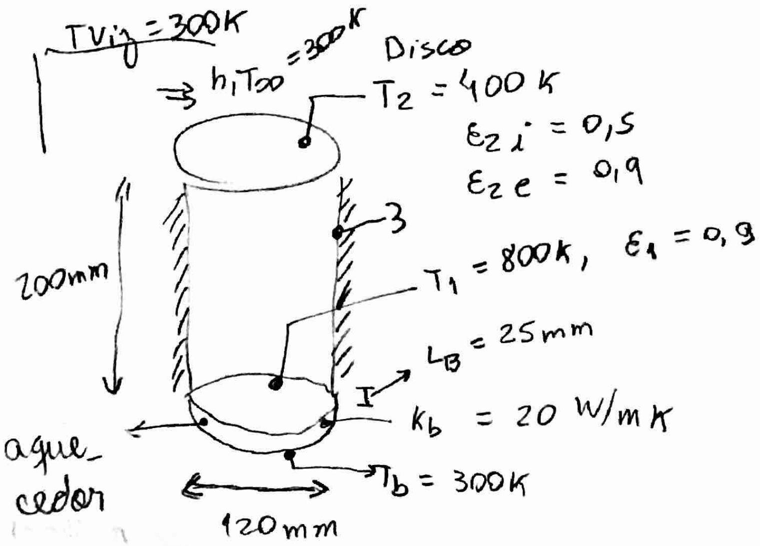
$A_2 F_{23} = A_2' F_{2'3} \Rightarrow F_{23} = \dfrac{A_2'}{A_2} F_{2'3} = \dfrac{10}{15} 0,6 \Rightarrow F_{23} = 0,4$

→ Escrever equações $\dfrac{E_{cn i} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i} = \sum_{j=1}^{N} \dfrac{J_i - J_j}{(A_i F_{ij})^{-1}}$

→ considerar 3 como corpo negro

→ Fazer A_3 desaparecer. Por exemplo, substitua $A_3 F_{23} = A_2 F_{23}$

Comentários sobre 13.100 7ª ed.



a) Qual a potência elétrica fornecida à base?

b) Temperatura das laterais T_3

cálculo dos fatores de forma:

Ver figura 13,5 da 7ª edição.

$L = 0,2$; $r_i = 0,06m$; $r_j = 0,06m$;

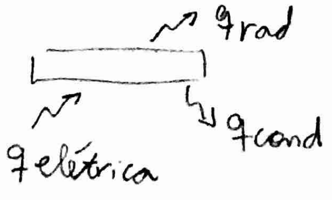
$L/r_i = 3,33$; $r_j/L = 0,3$ $\Rightarrow$ $F_{12} = F_{21} = 0,08$;

$\Rightarrow F_{13} = F_{23} = 0,92$;

→ Escrever equações $\dfrac{E_{cn\,i} - J_i}{(1-\varepsilon_i)/\varepsilon_i A_i} = \sum_{j=1}^{N} \dfrac{J_i - J_j}{(A_i F_{ij})^{-1}} = q_i$

→ Lembrar que sup rerradiante (3) se comporta como Um corpo negro.

→ Na base teremos o seguinte balanço de energia



$q_{elet} = q_{rad} + q_{cond}$

$q_{elet} = q_1 + K A_1 \dfrac{\Delta T}{L}$