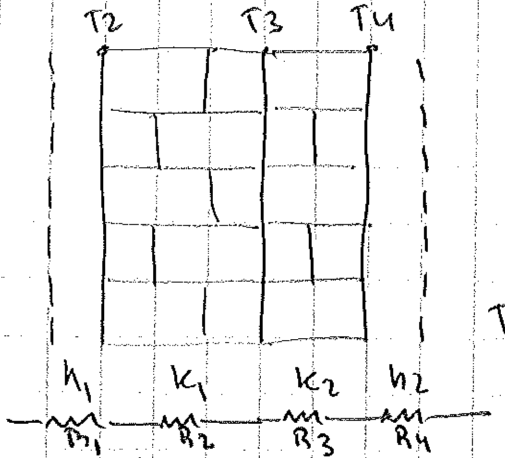
Engenharias, São Judas – Unimonte
Transferência de Calor, Prof. Simões
Convecção e Condução

1. A parede de um forno é fabricada por uma camada de 25 cm de tijolo refratário (k=1,278 W/mK) e uma camada de 15 cm de tijolo isolante (k=0,274 W/mK). Dentro do forno o ar está a 500°C e fora do forno a temperatura ambiente é de 25°C. Suponha que o coeficiente de película interno seja h=67 W/m²K e o externo seja h=14 W/m²K. Determine o fluxo de calor por unidade de área e a temperatura entre as paredes e nas superfícies de ambas. Resposta: 573 W (h=1,21 W/m²K)

$T_1 = 500°C$



$T_5 = 25°C$

$$R = \frac{1}{h.A} \quad , \quad R = \frac{L}{k.A}$$

$$R_1 = \frac{1}{67.1,0} = 1,49 \times 10^{-2} \text{ k/W}$$

$$R_2 = \frac{0,25}{1,278 \times 1,0} = 0,196 \text{ k/W} \quad ; \quad R_3 = \frac{0,15}{0,274 \times 1,0} = 0,547 \text{ k/W}$$

$$R_4 = \frac{1}{14 \times 1,0} = 7,14 \times 10^{-2} \text{ kW}$$

$$R_t = 1,49 \times 10^{-2} + 0,196 + 0,547 + 7,14 \times 10^{-2} = 0,829 \text{ k/W}$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_t} \Rightarrow \dot{q} = \frac{500-25}{0,829} \Rightarrow \boxed{\dot{q} = 573 \text{ W } (p/m)}$$

$$\dot{q} = h.A.\Delta T \Rightarrow 573 = 67.1,0.(500 - T_2) \Rightarrow T_2 = 491°C$$

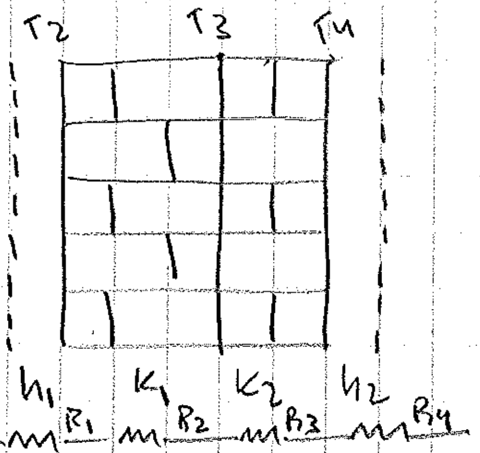
$$573 = 14.1,0.(T_4 - 25) \Rightarrow T_4 = 65°C$$

$$\dot{q} = \frac{k.A}{L}.\Delta T \Rightarrow 573 = \frac{1,278 \times 1,0}{0,25}(491 - T_3) \Rightarrow T_3 = 379°C$$

$$573 = \frac{0,274 \times 1,0}{0,15}(379 - T_4) \Rightarrow T_4 = 65°C$$

2. Calcule o fluxo de calor em BTU/h por unidade de área (ft²) através de uma parede de duas camadas com as seguintes características: lado de interno: T_1=250°F; h_1=12 Btu/hr·ft²·°F; parede interna: L_1=0,8 ft; k_1 = 0,70 Btu/hr·ft·°F; lado externo: T_6=40°F; h_2=3,0 Btu/hr·ft²·°F; parede externa: L_2=1,2 ft; k_2 = 1,1 Btu/hr·ft·°F. Determine a temperatura entre as paredes. Resposta: 79 BTU/h

$T_1 = 250°F$



$T_5 = 40°C$

$R = \frac{1}{h.A}$; $R = \frac{L}{k.A}$

$$R_1 = \frac{1}{12 \times 1,0} = 8,33 \times 10^{-2} \ \frac{h°F}{BTU}$$

$$R_2 = \frac{0,8}{0,70 . 1,0} = 1,14 \ \frac{h°F}{BTU} \ ; \ R_3 = \frac{1,2}{1,1 . 1,0} = 1,09 \ \frac{h°F}{BTU}$$

$$R_4 = \frac{1}{3,0 . 1,0} = 0,33 \ \frac{h°F}{BTU}$$

$$R_t = 8,33 \times 10^{-2} + 1,14 + 1,09 + 0,33 \Rightarrow R_t = 2,65 \ \frac{h°F}{BTU}$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_t} \Rightarrow \dot{q} = \frac{250 - 40}{2,65} \Rightarrow \boxed{\dot{q} = 79,3 \ BTU/h}$$

$$[\dot{q}] = \frac{°F}{\frac{h°F}{BTU}} = \cancel{°F} \times \frac{BTU}{\cancel{°F}.h} = BTU/h$$

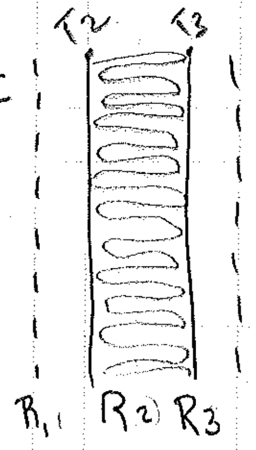
$$79,3 = \frac{250 - T_2}{8,33 \times 10^{-2}} \Rightarrow T_2 = 243°F \ ; \ 79,3 = \frac{243 - T_3}{1,14} \Rightarrow T_3 = 153°F$$

OU

$$79,3 = \frac{T_4 - 40}{0,33} \Rightarrow T_4 = 66,2°F \ ; \ 79,3 = \frac{T_3 - 66,2}{1,09} \Rightarrow \boxed{T_3 = 153°F}$$

3. Um reator de paredes planas foi construído em aço inox e tem formato cúbico com 2,0 m de lado. A temperatura no interior do reator é 600°C e o coeficiente de película interno é 45 kcal/h·m²·°C. Tendo em vista o alto fluxo de calor, deseja-se isolá-lo com lã de rocha (k=0,05 kcal/h·m·°C) de modo a reduzir a transferência de calor. Considerando desprezível a resistência térmica da parede de aço inox e que o ar ambiente está a 20°C com coeficiente de película 5,0 kcal/h·m²·°C, calcular (a) o fluxo de calor antes da aplicação da isolamento; (b) a espessura do isolamento a ser usado, sabendo-se que a temperatura do isolamento na face externa deve ser igual a 62°C; (c) a redução (em %) do fluxo de calor após a aplicação do isolamento. Resposta: (a) $6{,}3 \times 10^4$ kcal/h; (b) 13 cm; (c) 92%.

$T_1 = 600°C$



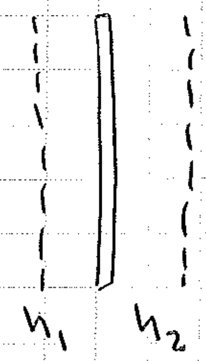
$T_4 = 20°C$

$h_{int} = 45 \text{ kcal/hm}^2°C$

$K = 0{,}05 \text{ kcal/hm°C}$

$h_{ext} = 5{,}0 \text{ kcal/hm}^2°C$

(a)



$R = \dfrac{1}{h \cdot A}$

$R_1 = \dfrac{1}{45 \cdot 24}$

$R_1 = 9{,}26 \times 10^{-4} \dfrac{°C h}{kcal}$

$A = 2{,}0^2 \times 6 \Rightarrow A = 24 \, m^2$

$R_3 = \dfrac{1}{5 \times 24} \Rightarrow R_3 = 8{,}33 \times 10^{-3} \dfrac{°C h}{kcal}$

$R_t = 9{,}26 \times 10^{-4} + 8{,}33 \times 10^{-3} \Rightarrow R_t = 9{,}26 \times 10^{-3} \, °C h/kcal$

$\dot{q} = \dfrac{\Delta T}{R_t} \Rightarrow \dot{q} = \dfrac{600 - 20}{9{,}26 \times 10^{-3}} \Rightarrow \dot{q} = 6{,}26 \times 10^4 \text{ kcal/h}$

(b) $\dot{q} = \dfrac{\Delta T}{R_3} \Rightarrow \dot{q} = \dfrac{62 - 20}{8{,}33 \times 10^{-3}} \Rightarrow \dot{q} = 5{,}04 \times 10^3 \text{ kcal/h}$

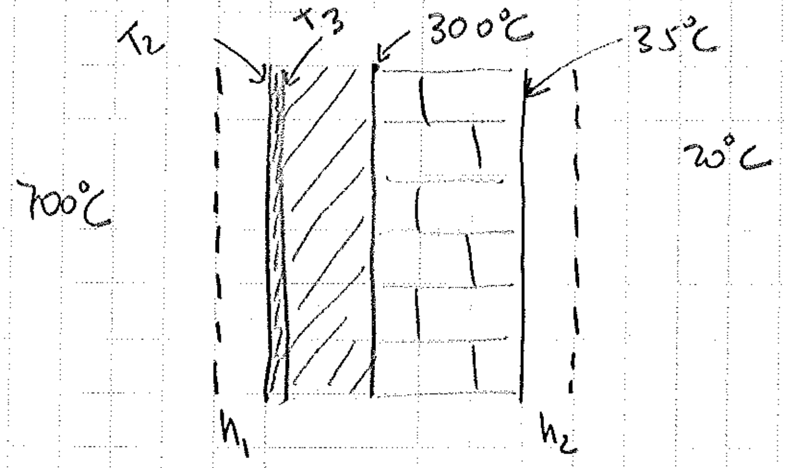
$5{,}04 \times 10^3 = \dfrac{600 - T_2}{9{,}26 \times 10^{-4}} \Rightarrow T_2 = 595°C$

$5{,}04 \times 10^3 = \dfrac{595 - 62}{R_2} \Rightarrow R_2 = 0{,}105 \, °C h/kcal$

$R_2 = \dfrac{L}{k \cdot A} \Rightarrow L = 0{,}105 \times 0{,}05 \times 24 \Rightarrow L = 0{,}126 \, m \approx 13 \, cm$

$\% = \dfrac{6{,}26 \times 10^4 - 5{,}04 \times 10^3}{6{,}26 \times 10^4} = 92\%$

4. No interior de um reator, um metal no estado líquido é mantido a 700°C. A parede do reator é de aço, e tem 10 mm de espessura. A temperatura na superfície externa no reator deve ser mantida em 35°C. Para minimizar os custos de isolação, dois materiais serão usados na superfície externa: primeiro um isolante de alta temperatura (mais caro), aplicado sobre o aço e, depois, magnésia (menos caro) externamente. A temperatura máxima suportada pela magnésia é 300°C. Pede-se: (a) especifique a espessura de cada material isolante; (b) Sabendo que o custo por cm de espessura colocado do isolante de alta temperatura é duas vezes o da magnésia, calcule a elevação percentual de custo se fosse utilizado apenas o isolante de alta temperatura. Dados: temperatura ambiente: 20°C; coeficiente de película interno: 570 W/m^{2}K; coeficiente de película externo: 23 W/m^{2}K; condutividade térmica do aço: 43 W/mK; condutividade térmica do isolante de alta temperatura: 0,104 W/mK; condutividade térmica da magnésia: 0,078 W/mk.



$h_1 = 570\ W/m^2K$

$h_2 = 23\ W/m^2K$

$K_{aço} = 43\ W/mK$

$K_{int} = 0{,}104\ W/mK$

$K_{mag} = 0{,}078\ W/mK$

$$R_{h_2} = \frac{1}{h_2 . A} \Rightarrow R_{h_2} = \frac{1}{23 . 1{,}0} \Rightarrow R_{h_2} = 4{,}35 \times 10^{-2}\ K/W$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_{h_2}} \Rightarrow \dot{q} = \frac{35-20}{4{,}35 \times 10^{-2}} \Rightarrow \dot{q} = 345\ W \quad (p/m^2)$$

$$345 = \frac{300-35}{R_{mag}} \Rightarrow R_{mag} = 0{,}768\ K/W$$

$$R_{mag} = \frac{L_{mag}}{K . A} \Rightarrow L_{mag} = 0{,}768 \times 0{,}078 \times 1{,}0 \Rightarrow$$

$$L_{mag} = 6{,}0 \times 10^{-2}\ m \Rightarrow \boxed{L_{mag} = 6{,}0\ cm}$$

Cálculo de T_2

$$R_{h_1} = \frac{1}{570 \times 1{,}0} \Rightarrow R_{h_1} = 1{,}75 \times 10^{-3}\ K/W$$

④ cont.

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_{1/2}} \Rightarrow 345 = \frac{700 - T_2}{1{,}75\times10^{-3}} \Rightarrow T_2 = 699\,°C$$

Cálculo de T_3

$$R_{aço} = \frac{L_{aço}}{k.A} \Rightarrow R_{aço} = \frac{0{,}01}{43\times1{,}0} \Rightarrow R_{aço} = 2{,}33\times10^{-4}\ k/W$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_{aço}} \Rightarrow 345 = \frac{699 - T_3}{2{,}33\times10^{-4}} \Rightarrow T_3 = 699\,°C$$

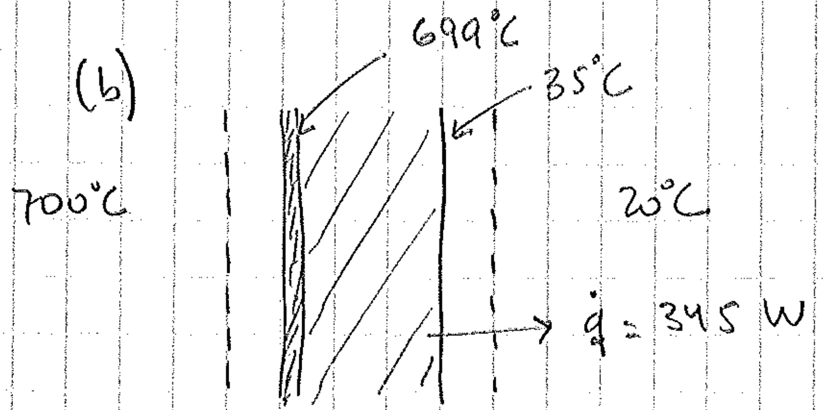
Espessura isolante interno

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_{int}} \Rightarrow R_{int} = \frac{699 - 300}{345} \Rightarrow R_{int} = 1{,}16\ k/W$$

$$R_{int} = \frac{L_{int}}{k.A} \Rightarrow L_{int} = 1{,}16 \times 0{,}104 \Rightarrow L_{int} = 0{,}120\ m$$

$$\boxed{L_{int} = 12\ cm}$$

(b)



$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_{int}}$$

$$R_{int} = \frac{699 - 35}{345}$$

$$R_{int} = 1{,}92\ k/W \Rightarrow R = \frac{L}{k.A} \Rightarrow L_{int} = 1{,}92 \times 0{,}104 \times 1{,}0$$

$$L_{int} = 0{,}20\ m \Rightarrow L_{int} = 20\ cm$$

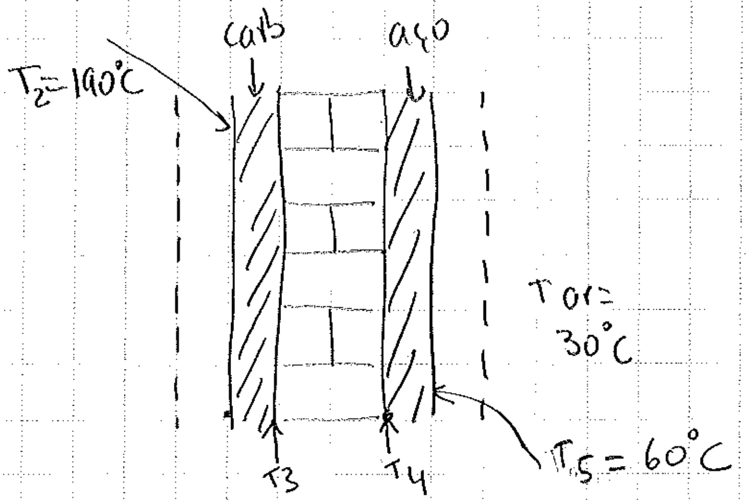
Custo A ⇒ $6{,}0 \times 1{,}0 + 12 \times 2{,}0 = 30$

Custo B ⇒ $20 \times 2{,}0 = 40$

$$\% = \frac{40 - 30}{30} = 33\%$$

mais caro

5. A parede plana de um tanque para armazenagem de produtos químicos é constituída de uma camada interna à base de carbono (k=10 Kcal/h·m·°C) de 40 mm de espessura, uma camada intermediária de refratário (k=0,14 Kcal/h·m·°C) e um invólucro de aço (k=45 Kcal/h·m·°C) com 10 mm de espessura. Com a superfície interna da camada carbono a 190°C e o ar ambiente a 30°C, a temperatura da superfície externa do aço não deve ser maior que 60°C por motivos de segurança dos trabalhadores. Considerando que o coeficiente de película no ar externo é 12 Kcal/h·m²·°C, determine: (a) a espessura mínima do refratário e (b) a temperatura da superfície externa do aço se a camada de refratário for trocada por uma de isolante (k = 0,03 Kcal/h·m·°C) de mesma espessura.



$k_{carb} = 10$ kcal/h m °C
$k_{aço} = 45$ kcal/h m °C
$k_{ref} = 0{,}14$ kcal/h m °C

$h_{ar} = 12$ kcal/h m °C

$k_{isol} = 0{,}03$ kcal/h m °C

(a) Fluxo de calor

$$R_{ar} = \frac{1}{h.A} \Rightarrow R_{ar} = \frac{1}{12 \times 1{,}0} \Rightarrow R_{ar} = 8{,}33 \times 10^{-2} \text{ °C.h/kcal}$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_{ar}} \Rightarrow \dot{q} = \frac{60-30}{8{,}33 \times 10^{-2}} \Rightarrow \dot{q} = 360 \text{ kcal/h}$$

Cálculo de T_3 e T_4

$$R_{aço} = \frac{L}{k.A} \Rightarrow R_{aço} = \frac{0{,}01}{45 \times 1{,}0} \Rightarrow R_{aço} = 2{,}22 \times 10^{-4} \ \frac{°Ch}{kcal}$$

$$360 = \frac{T_4 - 60}{2{,}22 \times 10^{-4}} \Rightarrow T_4 = 59{,}9 \text{ °C}$$

$$R_{carb} = \frac{0{,}04}{10 \times 1{,}0} \Rightarrow R_{carb} = 4{,}0 \times 10^{-3} \text{ °Ch/kcal}$$

$$360 = \frac{190 - T_3}{4{,}0 \times 10^{-3}} \Rightarrow T_3 = 189 \text{ °C}$$

⑤ cont.

Espessura do refratário

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_{ref}} \Rightarrow 360 = \frac{189 - 59,9}{R_{ref}} \Rightarrow R_{ref} = 0,359 \ \frac{°C\,h}{kcal}$$

$$R_{ref} = \frac{L}{k \cdot A} \Rightarrow L_{ref} = 0,359 \times 0,14 \Rightarrow L_{ref} = 5,02 \times 10^{-2}\ m$$

$$\boxed{L_{ref} = 5,0\ cm}$$

(b) T_{ext} do aço (T_5) com novo isolante

$$R_{iso} = \frac{L_{isol}}{k_{isol} \cdot A} \Rightarrow R_{isol} = \frac{5,0 \times 10^{-2}}{0,03 \times 1,0}$$

$$R_{isol} = 1,67\ h°C/kcal$$

$$R_t = R_{carb} + R_{isol} + R_{aço} + R_{ar}$$

$$R_t = 4,0 \times 10^{-3} + 1,67 + 2,22 \times 10^{-4} + 8,33 \times 10^{-2}$$

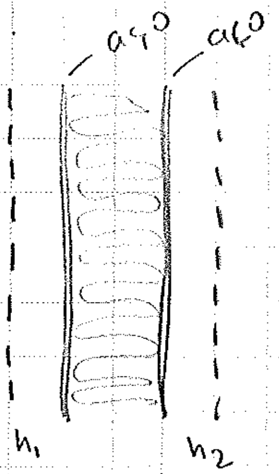
$$R_t = 1,76\ h°C/kcal$$

novo fluxo $\Rightarrow \dot{q} = \frac{190 - 30}{1,76} \Rightarrow \dot{q} = 91,0\ kcal/h$

Temperatura $T_5 \Rightarrow 91,0 = \frac{T_5 - 30}{8,33 \times 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{T_5 = 37,6\ °C}$

6. O interior de um refrigerador, cujas dimensões são 0,5 x 0,5 m de área da base e 1,25 m de altura, deve ser mantido a 4°C. As paredes (incluindo fundo e tampo) do refrigerador são construídas de duas chapas de aço (k=36 kcal/h·m·°C) de 3,0 mm de espessura, com 65 mm de material isolante (k=0,213 kcal/h·m·°C) entre elas. O coeficiente de película da superfície interna é 10 kcal/h·m²·°C, enquanto que na superfície externa é de 12,5 kcal/h·m²·°C. Calcular (a) a potência (em HP) do motor do refrigerador para que o fluxo de calor removido do interior da geladeira mantenha a temperatura especificada, numa cozinha cuja temperatura pode chegar a 30°C e (b) as temperaturas das superfícies interna e externa da parede do refrigerador.

4,0°C



30°C

$k_{aço} = 36 \text{ kcal/h m °C}$

$k_{isol} = 0{,}213 \text{ kcal/h m °C}$

$h_{int} = 10 \text{ kcal/h m}^2 \text{°C}$

$h_{ext} = 12{,}5 \text{ kcal/h m}^2 \text{°C}$

$L_{iso} = 65 \text{ mm} = 0{,}065 \text{ m}$

$L_{aço} = 3{,}0 \text{ mm} = 3{,}0 \times 10^{-3} \text{ m}$

(a) $\text{Área} = 0{,}5^2 \times 2 + 1{,}25 \times 0{,}5 \times 4 \Rightarrow A = 3{,}0 \text{ m}^2$

$$\left.\begin{array}{l} R_{h_1} = \dfrac{1}{10 \times 3{,}0} \Rightarrow R_{h_1} = 3{,}33 \times 10^{-2} \text{ °Ch/kcal} \\ R_{aço} = \dfrac{3{,}0 \times 10^{-3}}{36 \times 3{,}0} \Rightarrow R_{aço} = 2{,}78 \times 10^{-5} \text{ °Ch/kcal} \\ R_{isol} = \dfrac{0{,}065}{0{,}213 \times 3{,}0} \Rightarrow R_{isol} = 0{,}102 \text{ °Ch/kcal} \\ R_{h_2} = \dfrac{1}{12{,}5 \times 3{,}0} \Rightarrow R_{h_2} = 2{,}67 \times 10^{-3} \text{ °Ch/kcal} \end{array}\right\} R_t = 0{,}138 \text{ °Ch/kcal}$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_t} \Rightarrow \dot{q} = \frac{30 - 4{,}0}{0{,}138} \Rightarrow \dot{q} = 188 \text{ kcal/h}$$

HP	kcal/h
1	641
x	188

$$x = \frac{188}{641} \Rightarrow 0{,}294$$

$$\boxed{\dot{q} = 0{,}294 \text{ HP}}$$

⑥ cont

(b) Temperaturas

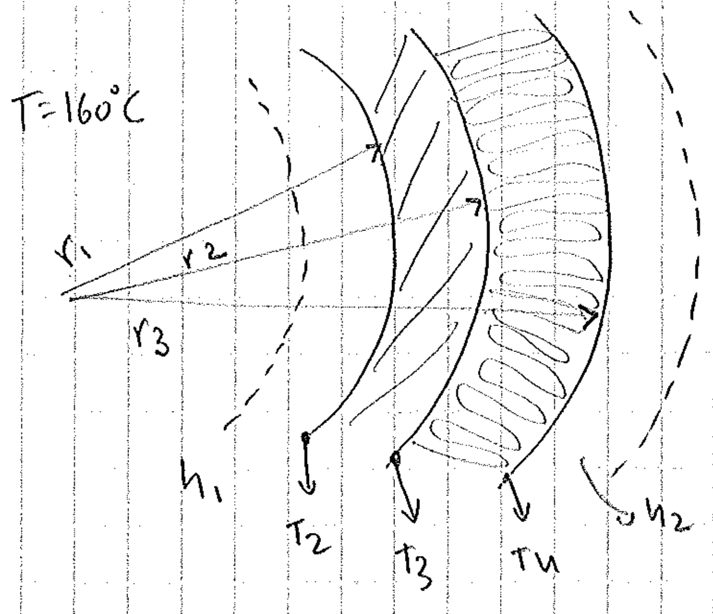
interna $\Rightarrow$ $q = \dfrac{\Delta T}{R_{h1}}$ $\Rightarrow$ $193 = \dfrac{T_{int} - 4{,}0}{3{,}33 \times 10^{-2}}$

$\boxed{T_{int} = 10{,}4\ °C}$

externa $\Rightarrow$ $193 = \dfrac{30 - T_{ext}}{2{,}67 \times 10^{-3}}$

$\boxed{T_{ext} = 29{,}5\ °C}$

7. Um reservatório esférico de aço (k=47 W/mK) com 1,0 m de diâmetro interno e 10 cm de espessura, é utilizado para armazenagem de um produto a alta pressão, que deve ser mantido a 160°C. Para isto o reservatório deve ser isolado termicamente, com um material isolante (k=0,35 W/mK). Sabendo-se que os coeficientes de película do produto e do ar são 93 W/m²K e 23 W/m²K, respectivamente, e que a temperatura do ar ambiente é 20°C, pede-se (a) o fluxo de calor antes do isolamento, (b) a espessura de isolante necessária para que o fluxo de calor através do conjunto seja igual a 30 % do anterior e (c) as temperaturas, na interface aço-isolante e na superfície externa do isolante.



$k_{isol} = 0,35 \ W/mK$

$k_{aço} = 47 \ W/mK$

$L_{aço} = 0,10 \ m$

$h_1 = 93 \ W/m^2K$

$h_2 = 23 \ W/m^2K$

$R_{esf} = \dfrac{1/r_1 - 1/r_2}{4 K \pi}$

$A_{esf} = 4\pi r^2 \Rightarrow A = 4.\pi.0,6^2 \Rightarrow A = 4,52 \ m^2$ (usando ϕ externo)

$R_{h_1} = \dfrac{1}{93 \times 4,52} \Rightarrow R_{h_1} = 2,38 \times 10^{-3} \ K/W$

$R_{aço} = \dfrac{\frac{1}{0,5} - \frac{1}{0,6}}{4.47.\pi} \Rightarrow R_{aço} = 5,64 \times 10^{-4} \ K/W$

$R_{h_2} = \dfrac{1}{23 . 4,52} \Rightarrow R_{h_2} = 9,62 \times 10^{-3} \ K/W$

(a) Fluxo sem isolante

$R_t = 2,38 \times 10^{-3} + 5,64 \times 10^{-4} + 9,62 \times 10^{-3} \Rightarrow R_t = 1,26 \times 10^{-2} \ \frac{K}{W}$

$\dot{q} = \dfrac{\Delta T}{R_t} \Rightarrow \dot{q} = \dfrac{160 - 20}{1,26 \times 10^{-2}} \Rightarrow \dot{q} = 1,11 \times 10^{4} \ W$

⑦ cont.

(b) Espessura do isolante

30% de $1,11 \times 10^{4} = 3,34 \times 10^{3}\ W$

Temperaturas

$3,34 \times 10^{3} = \dfrac{160 - T_2}{2,38 \times 10^{-3}} \Rightarrow T_2 = 152\ °C$

$3,34 \times 10^{3} = \dfrac{152 - T_3}{5,64 \times 10^{-4}} \Rightarrow T_3 = 150\ °C$

$3,34 \times 10^{3} = \dfrac{T_4 - 20}{9,62 \times 10^{-3}} \Rightarrow T_4 = 52,2\ °C$

Espessura

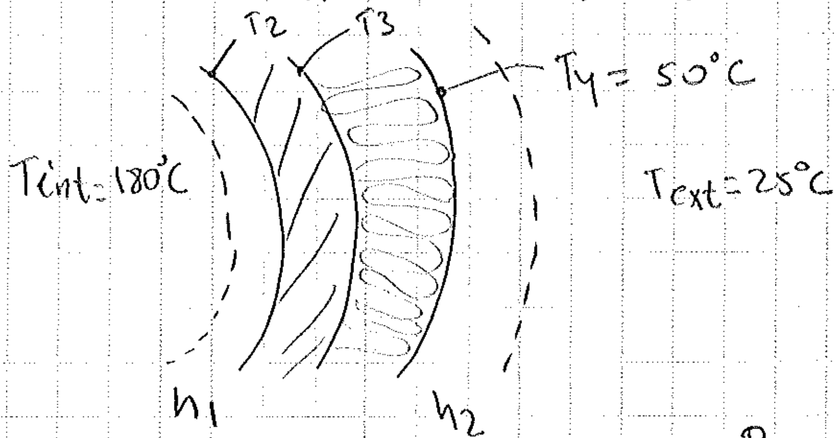
$3,34 \times 10^{3} = \dfrac{150 - 52,2}{R_{isol}} \Rightarrow R_{isol} = 2,93 \times 10^{-2}\ \dfrac{K}{W}$

$2,93 \times 10^{-2} = \dfrac{\dfrac{1}{0,6} - \dfrac{1}{r}}{4 \cdot 0,35 \cdot \pi} \Rightarrow 0,129 = \dfrac{1}{0,6} - \dfrac{1}{r}$

$r = 0,65\ m$

$\therefore$ espessura $= 0,65 - 0,60 = 5,0\ cm$

8. Duas substâncias são misturadas reagindo entre si e liberando calor dentro de um tubo de diâmetro interno 7,62 cm e espessura igual a 0,5 cm (k= 37 W/mK). O comprimento do tubo é 10 m. Todo calor gerado na reação é cedido ao ambiente de modo que a temperatura da mistura, de 180°C, permanece constante. Por motivo de segurança, será necessário isolar a tubulação, de modo que a temperatura na face externa do isolante (k= 0,076 W/mK) não ultrapasse 50°C. O ar externo está a 25°C, com coeficiente de película 14 W/m²K. O coeficiente de película da mistura é 105 W/m²K. Pede-se a espessura mínima necessária do isolante, para atender a condição desejada.



$k_{isol} = 0{,}076$ W/mK
$h_1 = 105$ W/m²K
$h_2 = 14$ W/m²K

$k_{tubo} = 37$ W/mK
$r_1 = 3{,}81$ cm $\quad r_2 = 4{,}31$ cm

$$R_{tubo} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 k \pi L}$$

$$Area = \pi \cdot d \cdot 10 \Rightarrow A = \pi \cdot 8{,}62 \times 10^{-2} \times 10 \Rightarrow A = 2{,}71 \text{ m}^2$$

↑ Ø externo

$$R_{h_2} = \frac{1}{h_2 \cdot A} \Rightarrow R_{h_2} = \frac{1}{14 \times 2{,}71} \Rightarrow R_{h_2} = 2{,}64 \times 10^{-2} \text{ K/W}$$

$$\dot{q} = \frac{50-25}{2{,}64 \times 10^{-2}} \Rightarrow \dot{q} = 948 \text{ W}$$

$$R_{h_1} = \frac{1}{h_1 \cdot A} \Rightarrow R_{h_1} = \frac{1}{105 \times 2{,}71} \Rightarrow R_{h_1} = 3{,}51 \times 10^{-3} \text{ K/W}$$

$$948 = \frac{180 - T_2}{3{,}51 \times 10^{-3}} \Rightarrow T_2 = 177\,°C$$

$$R_{tubo} = \frac{\ln \frac{4{,}31}{3{,}81}}{2 \cdot 37 \cdot \pi \cdot 10} \Rightarrow R_{tubo} = 5{,}23 \times 10^{-4} \text{ K/W}$$

(8) continuação

$$908 = \frac{177 - T_3}{5{,}23 \times 10^{-4}} \Rightarrow T_3 = 177\ °C$$

$$908 = \frac{177{,}-50}{R_{isol.}} \Rightarrow R_{isol} = 0{,}140\ K/W$$

$$R_{isol} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 k \pi L} \Rightarrow 0{,}140 = \frac{\ln \frac{r_2}{4{,}31 \times 10^{-2}}}{2 \cdot 0{,}076 \cdot \pi \cdot 10}$$

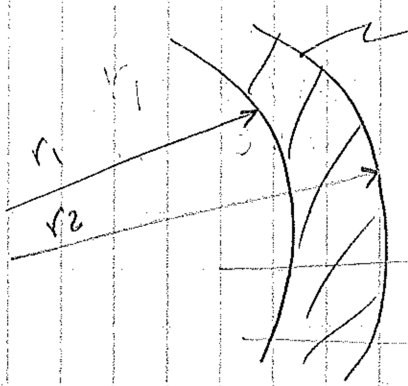
$$\ln \frac{r_2}{4{,}31 \times 10^{-2}} = 0{,}668 \Rightarrow e^{0{,}668} = \frac{r_2}{4{,}31 \times 10^{-2}}$$

$$r_2 = 8{,}41 \times 10^{-2}$$

$$\text{espessura} = (8{,}41 - 4{,}31) \times 10^{-2} = 4{,}1 \times 10^{-2}\ m$$

$$\boxed{\text{espessura} = 4{,}1\ cm}$$

9. Um cilindro longo (k=0,407 W/mK) de diâmetro externo 64 mm e interno 60 mm é aquecido internamente por resistência elétrica de modo a manter a temperatura da superfície externa a 90°C. Quando imerso em água a 25°C, a potência requerida na resistência é 28 kW por metro de comprimento do cilindro. Quando imerso no ar a 25°C, a potência requerida é 400 W por metro de comprimento do cilindro. Calcular (a) os coeficientes de película para ~~os fluxos de~~ a água e ar e (b) a temperatura da superfície interna do cilindro em ambos casos.



$\rightarrow 90°C$ $\qquad r_1 = 3{,}0 \times 10^{-2}\ m$

$r_2 = 3{,}2 \times 10^{-2}\ m$

$T_{ext} = 25°C$

$\rightarrow \dot{q} = 28000\ W$ (água)

$\rightarrow \dot{q} = 400\ W$ (ar)

$P/\ 1\ m \Rightarrow A = \pi \cdot d \cdot 1{,}0 \Rightarrow A = \pi \cdot 6{,}4 \times 10^{-2} \Rightarrow A = 0{,}201\ m^2$

(a) Água $\Rightarrow \dot{q} = \dfrac{\Delta T}{R} \Rightarrow R = \dfrac{90-25}{28000} \Rightarrow R = 2{,}32 \times 10^{-3}\ K/W$

$R = \dfrac{1}{h \cdot A} \Rightarrow h = \dfrac{1}{2{,}32 \times 10^{-3} \times 0{,}201} \Rightarrow h_{água} = 2{,}14 \times 10^{3}\ W/m^2K$

Ar $\Rightarrow \dot{q} = \dfrac{90-25}{400} \Rightarrow \dot{q} = 0{,}163\ K/W$

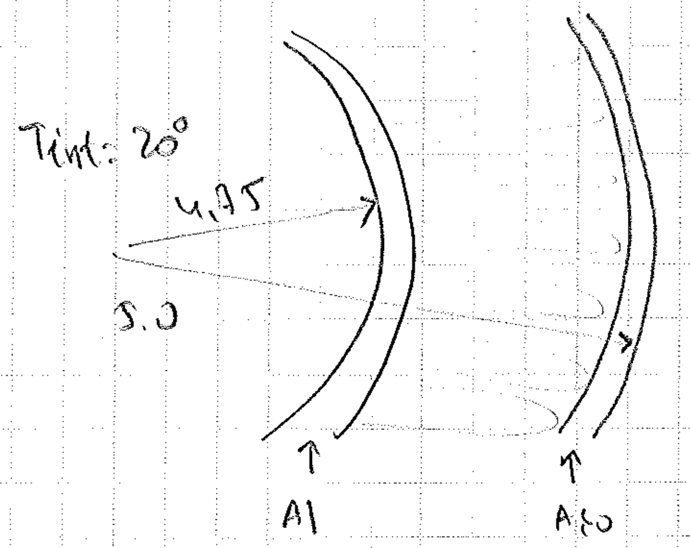
$h = \dfrac{1}{0{,}163 \times 0{,}201} \Rightarrow h_{ar} = 30{,}6\ W/m^2K$

(b) $R_{tubo} = \dfrac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 k \pi L} \Rightarrow R_{tubo} = \dfrac{\ln \frac{3{,}2}{3{,}0}}{2 \cdot 0{,}407 \cdot \pi \cdot 1{,}0} = 2{,}52 \times 10^{-2}\ \dfrac{K}{W}$

Água $\Rightarrow 28000 = \dfrac{T_{int} - 90}{2{,}52 \times 10^{-2}} \Rightarrow T_{int} = 796\ °C$

Ar $\Rightarrow 400 = \dfrac{T_{int} - 90}{2{,}52 \times 10^{-2}} \Rightarrow T_{int} = 100\ °C$

10. Um submarino deve ser projetado para proporcionar uma temperatura agradável à tripulação não inferior a 20°C. O submarino pode ser idealizado como um cilindro de 10 m de diâmetro e 70 m de comprimento. O coeficiente de película interno é cerca de 14 W/m²K, enquanto que, no exterior, estima-se que varie entre 80 W/m²K (submarino parado) e 700 W/m²K (velocidade máxima). A construção das paredes do submarino é do tipo sanduíche com uma camada externa de 19 mm de aço inoxidável (k=16,3 W/mK), uma camada de 25 mm de fibra de vidro (k=0,040 W/mK) e uma camada de 6,0 mm de alumínio (k=200 W/mK) no interior. Determine a potência necessária da unidade de aquecimento requerida se a temperatura da água do mar varia entre 7,0°C e 12°C.



$h_{int} = 14 \ W/m^2 K$

$h_{ext} = 80 \ W/m^2 K$ (parado)

$h_{ext} = 700 \ W/m^2 K$ (vel)

$T_{ext} = 7,0 \text{ a } 12\,°C$

$k_{fibra} = 0,040 \ W/mK$

Tomando a pior condição e considerando apenas o isolante térmico

$$A = \pi . d . 70 \Rightarrow A = \pi . 10 . 70 \Rightarrow A = 2,20 \times 10^3 \ m^2$$

$$r_2 = 5,0 \ m \qquad r_1 = 4,75 \ m$$

$$R_{1\,tubo} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 . k . \pi . L} \Rightarrow R = \frac{\ln \frac{5,0}{4,975}}{2 \times 0.040 \times \pi . 70} \Rightarrow R = 2,85 . \times 10^{-4} \ K/W$$

$$R_{h_1} = \frac{1}{14 \times 2,20 \times 10^3} \Rightarrow R_{h_1} = 3,25 \times 10^{-5} \ k/W$$

$$R_{h_2} = \frac{1}{700 \times 2,20 \times 10^3} \Rightarrow R_{h_2} = 6,49 \times 10^{-7} \ k/W \simeq 0$$

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R} \Rightarrow \dot{q} = \frac{20 - 7}{2,85 \times 10^{-4} + 3,25 \times 10^{-5}} \Rightarrow \boxed{\dot{q} = 4,09 \times 10^4 \ W}$$