



Transmissão de calor

3^o Ano

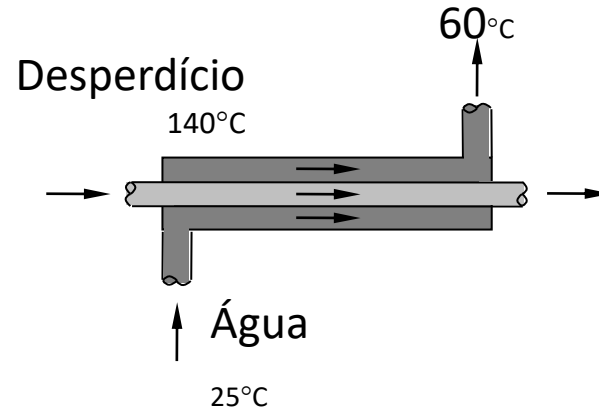
Aula 30 ▫ Aula Prática-12

- Termopermutadores de calor

Problema -30.1

Um trocador de calor tubo de tubo e carcaça de fluxos paralelos é usado para aquecer um fluxo de água de 0,02 kg/s ($C_p = 4180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) de 25°C a 80°C . O aquecimento é realizado por um fluxo de mássico de 0,3 kg/s de água de desperdício de um processo químico ($C_p = 4310 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) disponível a 140°C . O tubo interior é de parede fina e tem um diâmetro de 0,8 cm. Se o coeficiente global de transferência de calor do permutador de calor for de $550 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, determinar o comprimento necessário do permutador de calor para alcançar o aquecimento desejado.

Problema -30.1 (Resolução I)



Assume-se:

1. Regime estacionário;
2. Desprezam-se as perdas de calor para o ambiente;
3. As propriedades dos fluídos são constantes;
4. Não existem incrustações no tubo;

Problema -30.1 (Resolução I)

Do balanço mássico obtém-se:

$$\dot{Q} = [\dot{m}C_p (T_{out} - T_{in})]_{water} = (0,02 \text{ kg/s})(4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C})(80^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = 4,598 \text{ kW}$$

A temperatura da agua de desperdício obtém-se de:

$$\dot{Q} = [\dot{m}C_p (T_{in} - T_{out})]_{geot.water} \longrightarrow T_{out} = T_{in} - \frac{\dot{Q}}{\dot{m}C_p} = 140^\circ\text{C} - \frac{4,598 \text{ kW}}{(0,3 \text{ kg/s})(4,31 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C})} = 136,4^\circ\text{C}$$

As diferenças médias logarítmicas são:

$$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,in} = 140^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 115^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,out} = 117,4^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C} = 56,44^\circ\text{C}$$

Problema -30.1 (Resolução II)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} = \frac{115 - 56,44}{\ln(115 / 56,44)} = 82,28^\circ\text{C}$$

A área da superfície do trocador de calor determina-se de:

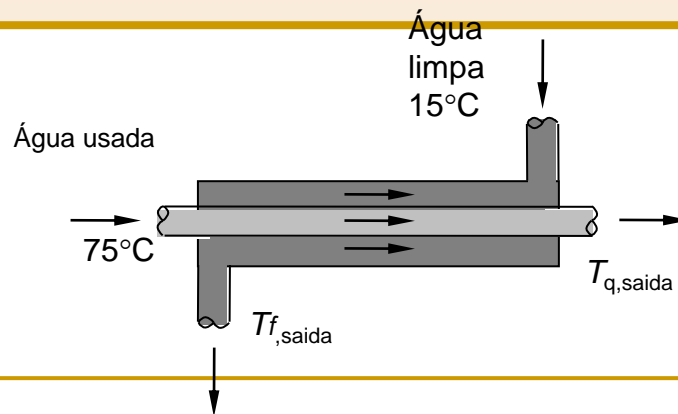
$$\dot{Q} = UA_s \Delta T_{lm} \longrightarrow A_s = \frac{\dot{Q}}{U \Delta T_{lm}} = \frac{4,598 \text{ kW}}{(0,55 \text{ kW/m}^2)(82,28^\circ\text{C})} = 0,102 \text{ m}^2$$

O comprimento requerido do tubo acha-se de:

$$A_s = \pi D L \longrightarrow L = \frac{A_s}{\pi D} = \frac{0,102 \text{ m}^2}{\pi(0,008 \text{ m})} = 4,043 \text{ m}$$

Problema -30.2

A água de desperdício de uma indústria ($C_p=4295 \text{ J/g } ^\circ\text{C}$) a $75 \text{ }^\circ\text{C}$ é usada para pré-aquecer água de alimentação ($C_p=4180 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ com o mesmo fluxo, num trocador de calor de tubo duplo, com fluxo contracorrente. A área da superfície de transferência de calor é de $1,65 \text{ m}^2$ e o coeficiente global de transferência de calor é de $625 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Se o calor transferido no termopermutador for de 35 kW e os fluxos mássicos iguais, determine as temperaturas de saída dos fluídos e o fluxo mássico.



Problema -30.2 (Resolução I)

Assume-se:

1. Regime estacionário;
2. Desprezam-se as perdas de calor para o ambiente;
3. As propriedades dos fluídos são constantes;
4. Não existem incrustações no tubo;

A temperatura média logarítmica entre a água de desperdício e a água de pré-aquecimento é dado por:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

Onde:

$$\Delta T_1 = T_{q,entr} - T_{f,saida} = 75^\circ\text{C} - T_{f,saida}$$

$$\Delta T_2 = T_{q,saida} - T_{f,entr} = T_{q,saida} - 15^\circ\text{C}$$

Problema -30.2 (Resolução II)

O calor transferido é dado por:

$$\dot{Q} = UA\Delta T_{lm}$$

$$35 \text{ kW} = \left(0.625 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}\right) \cdot (1.65 \text{ m}^2) \frac{(75 - T_{f,saida}) - (T_{q,saida} - 15)}{\ln \left[\frac{(75 - T_{f,saida})}{(T_{q,saida} - 15)} \right]}$$

O Calor transferido pode ser também ser expresso por:

$$\dot{Q} = [\dot{m}C_p (T_{q,entr} - T_{q,saida})]_{\text{água, desp}}$$

$$35 \text{ kW} = \dot{m}(4295 \text{ kJ} / \text{kg}^\circ\text{C})(75 - T_{q,saida})$$

$$\dot{Q} = [\dot{m}C_p (T_{f,saida} - T_{f,entr})]_{\text{água, al}}$$

$$35 \text{ kW} = \dot{m}(4180 \text{ kJ} / \text{kg}^\circ\text{C})(T_{f,saida} - 15)$$

Problema -30.2 (Resolução III)

Resolvendo as três equações pode-se determinar as temperaturas de saída dos fluídos e fluxo mássico:

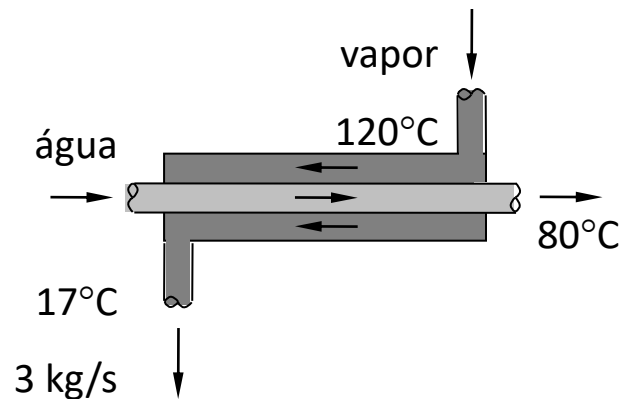
$$T_{f,saida} = 41.4^{\circ}C$$

$$T_{q,saida} = 49.3^{\circ}C$$

$$\dot{m} = 0.317 \text{ kg/s}$$

Problema -30.3

Vapor superaquecido é usado para aquecer água num trocador de calor de tubo duplo com fluxo contracorrente. As temperaturas de entrada e saída da água são 17°C e 80°C respectivamente e o calor específico de $4,18 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$. O calor específico do vapor que entra a 120°C é de 2203 kJ/kg . Determine o comprimento do tubo do termopermutador sabendo que o fluxo mássico da água é de 3 kg/s .



Problema -30.3 (Resolução I)

Assume-se:

1. Regime estacionário;
2. Desprezamos as perdas de calor para o ambiente;
3. As propriedades dos fluídos são constantes;
4. Não existem incrustações no tubo;

O calor transferido determina-se de:

$$\dot{Q} = [\dot{m}C_p (T_{saída} - T_{entr.})]_{\text{água}}$$

$$\dot{Q} = (3 \text{ kg/s})(4.18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C})(80^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = 790.02 \text{ kW}$$

A temperatura média logarítmica entre a água e o vapor determina-se por:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

Problema -30.3 (Resolução II)

Onde:

$$\Delta T_1 = T_{q,entr} - T_{f,saida} = 120^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C} = 40^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{q,entr} - T_{f,saida} = 120^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C} = 103^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} = \frac{40 - 103}{\ln(40 / 103)} = 66.6^\circ\text{C}$$

O comprimento do tubo determina-se a partir da área de troca de calor:

$$A_i = \pi D_i L \longrightarrow L = \frac{A_i}{\pi D_i}$$

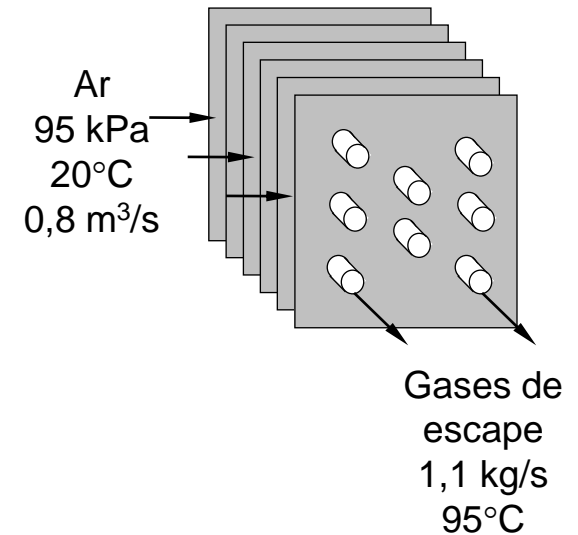
Onde:

$$\dot{Q} = U_i A_i \Delta T_{lm} \longrightarrow A_i = \frac{\dot{Q}}{U_i \Delta T_{lm}} = \frac{790.02 \text{ kW}}{(15 \text{ kW/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})(66.6^\circ\text{C})} = 7.9 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A_i}{\pi D_i} = \frac{7.9 \text{ m}^2}{\pi(0.025 \text{ m})} = \mathbf{100.6 \text{ m}}$$

Problema -30.4

Ar ($C_p=1005 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) é pré-aquecido por gases quentes de escape, num termopermutador de calor de fluxo cruzado antes de entrar no forno. O ar entra no termopermutador de calor com 95 kPa e a 20°C , com um fluxo de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Os gases de combustão ($C_p=4180 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) entram a 180°C com um fluxo de $1,1 \text{ Kg/s}$ e saem a 95°C . O produto do coeficiente global de transferência de calor pela área de transferência de calor é $AU = 1200 \text{ W}/^\circ\text{C}$. Assumindo que os fluídos não se misturam, determine o calor transferido e a temperatura de saída do ar.



Problema -30.4 (Resolução I)

Assume-se:

1. Regime estacionário;
2. Desprezamos as perdas de calor para o ambiente;
3. As propriedades dos fluídos são constantes;
4. Não existem incrustações no tubo;

O calor transferido determina-se de:

$$\dot{Q} = [\dot{m}C_p(T_{entr} - T_{saida})]_{\text{gases}}$$

$$\dot{Q} = (1.1 \text{ kg/s})(1.1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{°C})(180\text{°C} - 95\text{°C})$$

$$\dot{Q} = \mathbf{103 \text{ kW}}$$

O fluxo mássico do ar determina-se por:

$$\dot{m} = \frac{P\dot{V}}{RT} = \frac{(95 \text{ kPa})(0.8 \text{ m}^3 / \text{s})}{(0.287 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3 / \text{kg}\cdot\text{K}) \times 293 \text{ K}} = 0.904 \text{ kg/s}$$

Problema -30.4 (Resolução II)

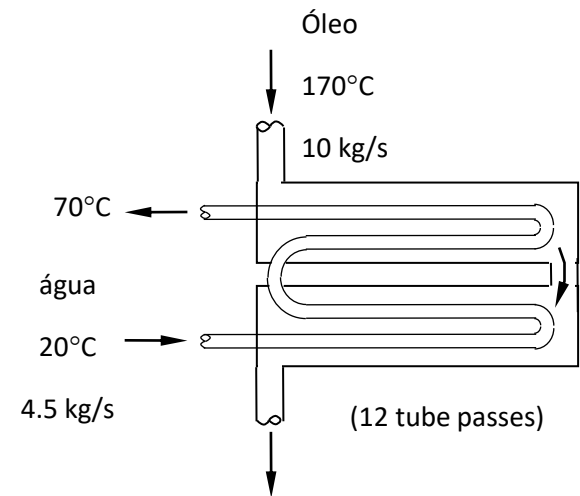
E a temperatura de saída do ar será:

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_{f,saida} - T_{f,entr})$$

$$T_{f,saida} = T_{f,entr} + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}C_p} = 20^{\circ}\text{C} + \frac{103 \times 10^3 \text{ W}}{(0.904 \text{ kg/s})(1005 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C})} = \mathbf{133^{\circ}\text{C}}$$

Problema -30.5

Óleo quente ($C_p=2300 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$) é usado para aquecer água ($C_p=4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$) num termopermutador de calor de duas passagens e 12 passes de tubos. O coeficiente global de transferência de calor é de 600 W/m^2 . A água flui pelos tubos com um fluxo total de $4,5 \text{ kg/s}$, e o óleo pela carcaça com um fluxo 10 kg/s . A água e o óleo entram as temperaturas de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e $170 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente e a temperatura de saída da água é de $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Determine o calor transferido no termopermutador, a temperaturas de saída do óleo e a área de transferência de calor.



Problema -30.5 (Resolução I)

Assume-se:

1. Regime estacionário;
2. Desprezamos as perdas de calor para o ambiente;
3. As propriedades dos fluídos são constantes;
4. Não existem incrustações no tubo;

O calor transferido determina-se de:

$$\dot{Q} = [\dot{m}C_p(T_{saída} - T_{entr})]_{\text{água}} = (4.5 \text{ kg/s})(4.18 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C})(70^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = 940.5 \text{ kW}$$

A temperatura de saída do óleo será:

$$\dot{Q} = [\dot{m}C_p(T_{entr} - T_{saída})]_{\text{oleo}} \longrightarrow T_{saída} = T_{entr} - \frac{\dot{Q}}{\dot{m}C_p} = 170^{\circ}\text{C} - \frac{940.5 \text{ kW}}{(10 \text{ kg/s})(2.3 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C})} = 129^{\circ}\text{C}$$

Problema -30.5 (Resolução II)

A temperatura média logarítmica entre a água e o vapor determina-se por:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

Onde:

$$\Delta T_1 = T_{q,entr} - T_{f,saida} = 170^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C} = 100^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{q,saida} - T_{f,entr} = 129^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 109^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm,CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} = \frac{100 - 109}{\ln(100/109)} = 105^\circ\text{C}$$

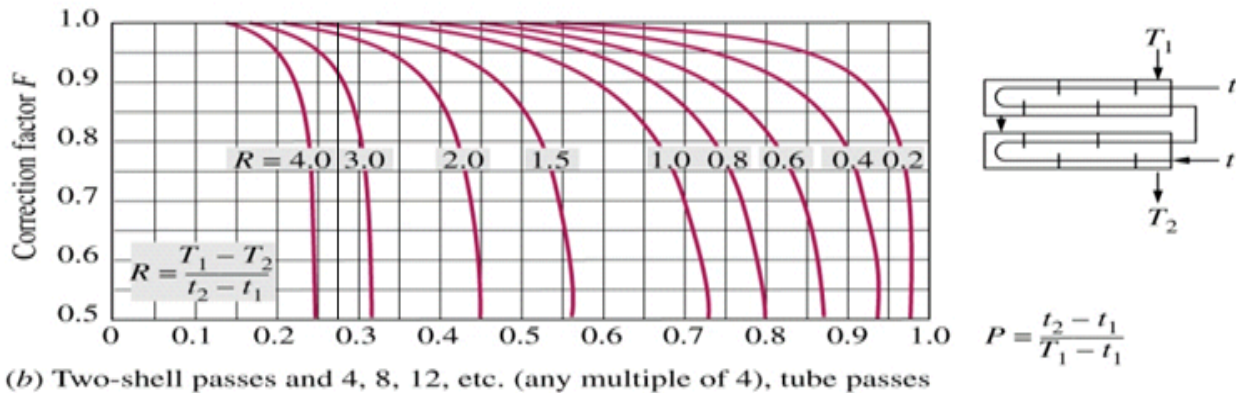
A área de troca de calor determina-se do calor transferido:

$$\dot{Q} = UA_s F \Delta T_{lm,CF} \longrightarrow A_s = \frac{\dot{Q}}{UF \Delta T_{lm,CF}}$$

Problema -30.5 (Resolução III)

O factor F determina-se de gráficos por meio de duas relações de temperaturas:

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{129 - 170}{20 - 170} = 0.27 \\ R &= \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{20 - 70}{129 - 170} = 1.2 \end{aligned} \right\} F = 1.0$$

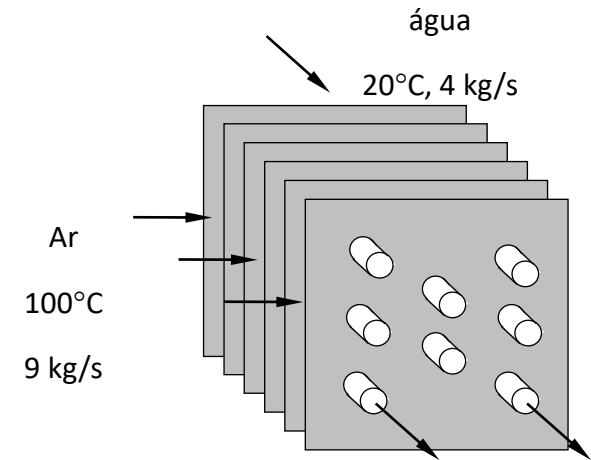


E resulta que:

$$A_s = \frac{\dot{Q}}{UF\Delta T_{lm,CF}} = \frac{940.5 \text{ kW}}{(0.6 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{°C})(1.0)(105 \text{ °C})} = \mathbf{15 \text{ m}^2}$$

Problema -30.6

Ar ($C_p = 1010 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) é usado para aquecer água ($C_p = 4180 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) num termopermutador de calor de fluxo cruzado com efectividade de 0,65. As temperaturas de entrada do ar e da água são de 20°C e 100°C respectivamente. Os fluxos mássicos da água e do ar são de 4 kg/s e 9 kg/s respectivamente. Se o coeficiente global de transferência de calor for de $260 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, determine a área de transferência de calor no lado da água sabendo que os fluídos não se misturam.



Problema -30.6 (Resolução I)

Assume-se:

1. Regime estacionário;
2. Desprezamos as perdas de calor para o ambiente;
3. As propriedades dos fluídos são constantes;

As capacidades caloríficas da água e do óleo determinam-se de:

$$C_{agua} = \dot{m}_{agua} C_{p,agua} = (4 \text{ kg/s})(4,18 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}) = 16,72 \text{ kW}/^{\circ}\text{C}$$

$$C_{ar} = \dot{m}_{ar} C_{p,ar} = (9 \text{ kg/s})(1,01 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}) = 9,09 \text{ kW}/^{\circ}\text{C}$$

A capacidade calorífica mínima é do ar;

$$C_{\min} = C_{ar} = 9,09 \text{ kW}/^{\circ}\text{C}$$

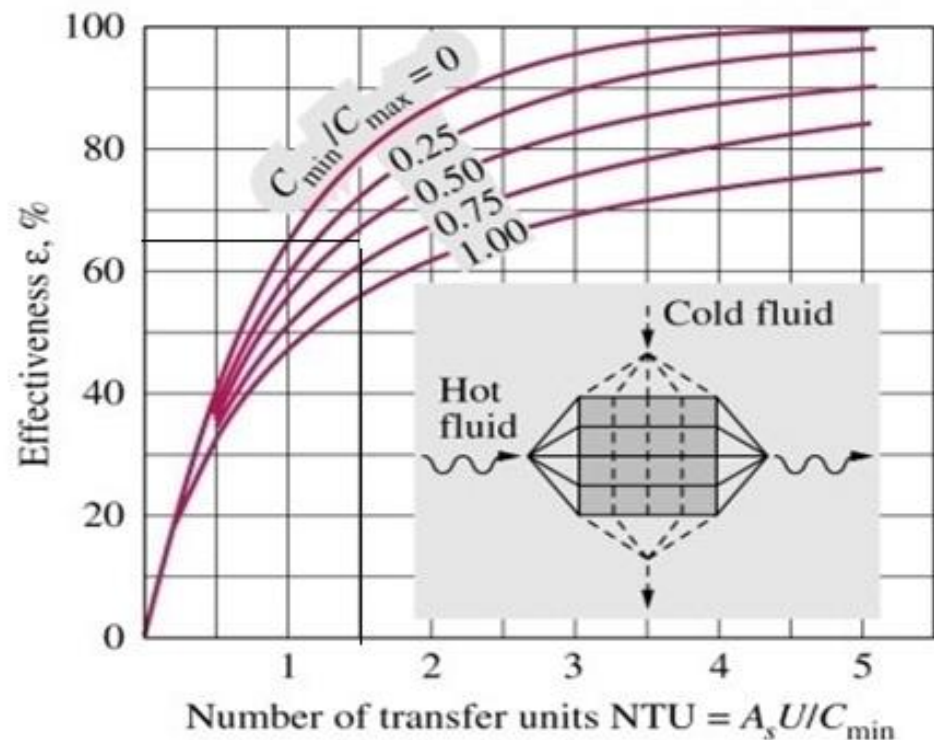
E a relação de capacidade calorífica será:

$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{9,09}{16,72} = 0,544$$

Problema -30.6 (Resolução II)

O número de unidade de transferência para $\varepsilon = 0,65$, para $C = 0,544$ e fluidos que não se misturam, determina-se da figura

$$NUT = 1,5$$



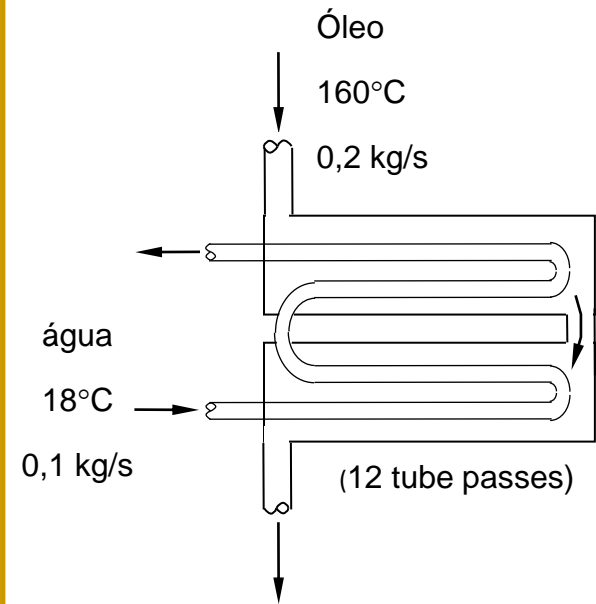
(e) Cross-flow with both fluids unmixed

A área de troca de calor será:

$$NUT = \frac{UA_s}{C_{min}} \longrightarrow A_s = \frac{NUT C_{min}}{U} = \frac{(1,5)(9,09 \text{ kW}/^\circ\text{C})}{0,260 \text{ kW}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = \mathbf{52,4 \text{ m}^2}$$

Problema -30.7

Óleo quente ($C_p = 2200 \text{ J/g } ^\circ\text{C}$) deve ser arrefecido por água ($C_p = 4180 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) num termopermutador de calor de duas passagens e 12 passes de tubos. O tubo feito de cobre tem de diâmetro 1,8 cm e o comprimento de cada tubo é de 3 m. O coeficiente global de transferência de calor é de $340 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. A água fluí pelos tubos com um fluxo total de $0,1 \text{ kg/s}$, e o óleo pela carcaça com um fluxo $0,2 \text{ kg/s}$. A água e o óleo entram as temperaturas de $18 \text{ }^\circ\text{C}$ e $160 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente. Determine o calor transferido no termopermutador e as temperaturas de saída da água e do óleo.



Problema -30.7 (Resolução I)

Assume-se:

1. Regime estacionário;
2. Desprezamos as perdas de calor para o ambiente;
3. As propriedades dos fluídos são constantes;
4. O tubo é de espessura fina e não existem incrustações;

As capacidades caloríficas da água e do óleo determinam-se de:

$$C_{\text{óleo}} = \dot{m}_h C_p = (0,2 \text{ kg/s})(2200 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}) = 440 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{água}} = \dot{m}_c C_p = (0,1 \text{ kg/s})(4180 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}) = 418 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

A capacidade calorífica mínima é da água:

$$C_{\min} = C_{\text{água}} = 418 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

E a relação de capacidade calorífica será:

$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{418}{440} = 0.95$$

Problema -30.7 (Resolução II)

O máximo de calor transferido calcula-se de:

$$\dot{Q}_{\max} = C_{\min} (T_{q,entr} - T_{f,entr}) = (418 \text{ W/}^\circ\text{C})(160^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) = 59.36 \text{ kW}$$

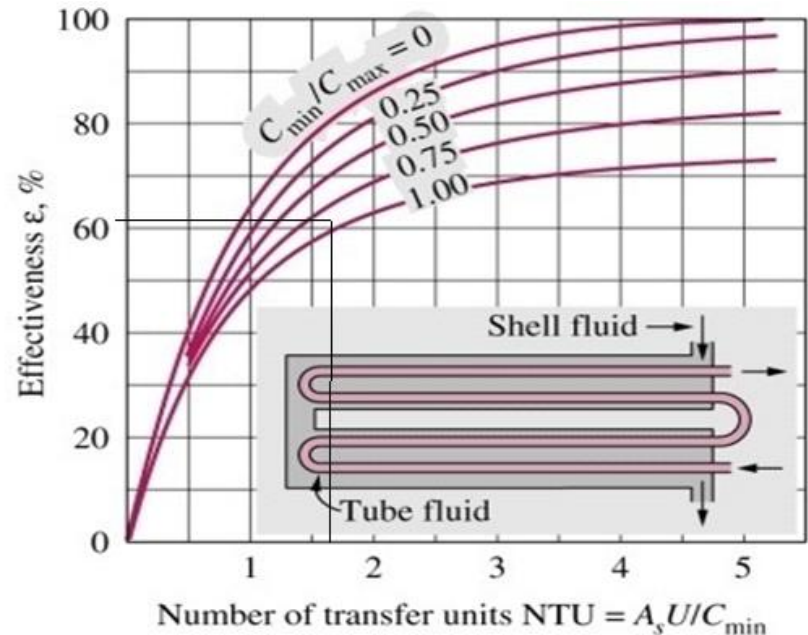
E a área de transferência de calor de:

$$A_s = n(\pi DL) = (12)(\pi)(0.018\text{m})(3\text{m}) = 2.04\text{m}^2$$

O número de unidades de transferência será:

$$NUT = \frac{UA_s}{C_{\min}} = \frac{(340 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})(2.04 \text{ m}^2)}{418 \text{ W/}^\circ\text{C}} = 1.659$$

E a efectividade do termopermutador $\varepsilon = 0.61$, para $C = 0,95$ e $NUT = 1,659$ determina-se da figura.



Problema -30.7 (Resolução III)

E resulta que o calor transferido é de:

$$\dot{Q} = \varepsilon \dot{Q}_{\max} = (0.61)(59.36 \text{ kW}) = \mathbf{36.2 \text{ kW}}$$

As temperaturas de saída da água e do óleo serão:

$$\dot{Q} = C_{\text{água}} (T_{\text{saída}} - T_{\text{entr}}) \longrightarrow T_{\text{saída}} = T_{\text{entr}} + \frac{\dot{Q}}{C_{\text{água}}} = 18^{\circ}\text{C} + \frac{36.2 \text{ kW}}{0.418 \text{ kW}/^{\circ}\text{C}} = \mathbf{104,6^{\circ}\text{C}}$$

$$\dot{Q} = C_{\text{óleo}} (T_{\text{entr}} - T_{\text{saída}}) \longrightarrow T_{\text{saída}} = T_{\text{entr}} - \frac{\dot{Q}}{C_{\text{óleo}}} = 160^{\circ}\text{C} - \frac{36,2 \text{ kW}}{0,44 \text{ kW}/^{\circ}\text{C}} = \mathbf{77,7^{\circ}\text{C}}$$

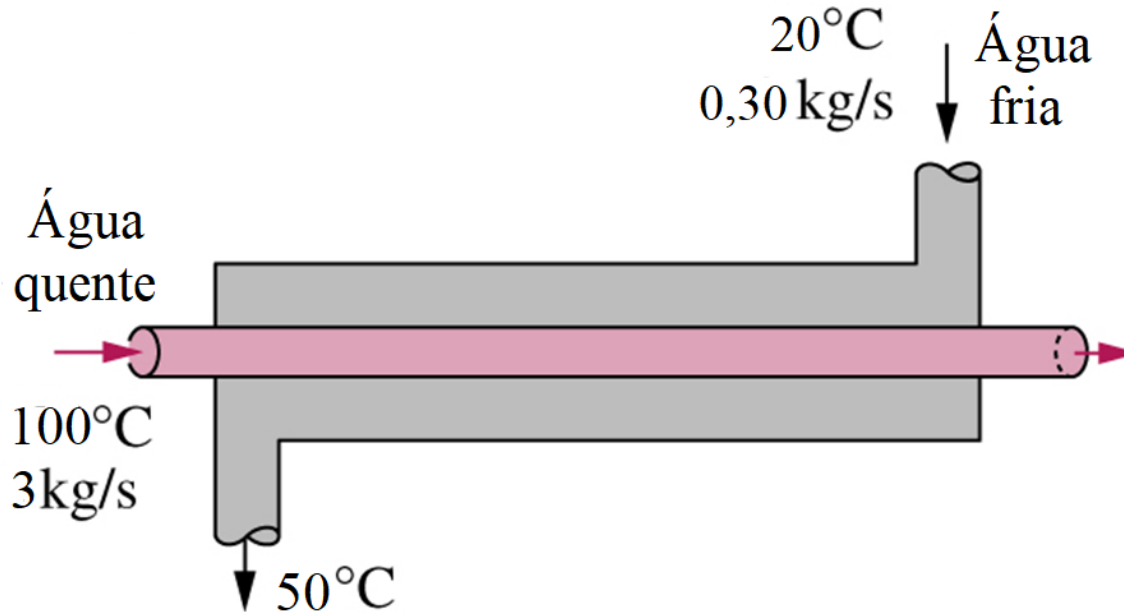


Trabalho Para Casa 11

Água fria ($C_p = 4180 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$) que vai a um chuveiro entra num trocador de calor de fluxo contra-corrente de tubo e carcaça de paredes finas a $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ e a uma taxa de $0,30 \text{ kg/s}$ e é aquecida até $50 \text{ } ^\circ\text{C}$ por água quente ($C_p = 4190 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$). Investigue os efeitos da temperatura de entrada da água quente e do coeficiente global de transferência de calor na taxa de transferência de calor e na área da superfície. Plote num mesmo gráfico a taxa de transferência de calor e a área da superfície fazendo a temperatura de entrada variar de $60 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $105 \text{ } ^\circ\text{C}$ com o incremento de $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ e o coeficiente global de transferência de calor fixo em $950 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ e num outro gráfico a taxa de transferência de calor e a área da superfície, fazendo o coeficiente global de transferência de calor variar de $750 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $1245 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ com o incremento de $55 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ e a temperatura da água quente fixa em $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ e apresente as conclusões.



Trabalho Para Casa 11



Enviar até a 0 hora da segunda-feira dia 10 de Junho de 2024 com o “subject”: TPC11.