



TRANSMISSÃO DE CALOR II

Prof. Eduardo C. M. Loureiro, DSc.

TROCADORES DE CALOR

ANÁLISE TÉRMICA

Determinação da área requerida para transferir o calor, numa determinada quantidade por unidade de tempo, dadas as velocidades de escoamento e as temperaturas dos fluidos.

PROJETO MECÂNICO

Considerações sobre pressões e temperaturas de operação, características corrosivas dos fluidos, expansões térmicas relativas e consequentes tensões térmicas e a relação do Trocador de calor com os demais equipamentos.

PROJETO DE FABRICAÇÃO

Tradução das características e dimensões físicas em um trocador de calor que possa ser construído a baixo custo, Seleção de materiais, vedações, invólucros e arranjo mecânico e especificação dos processos de fabricação.

TROCADORES DE CALOR

LINHAS DE FABRICAÇÃO PADRÃO  ECONOMIA



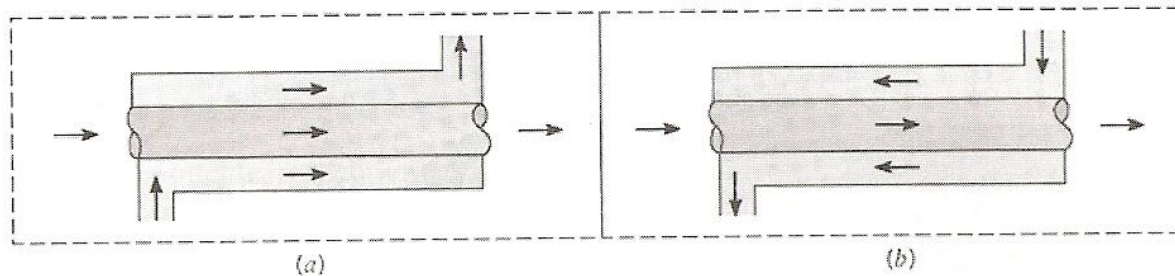
TROCADORES DE CALOR

TROCADORES DE TUBO CONCÊNTRICO

Neste tipo de trocador, os fluidos quente e frio se movem no mesmo sentido (a) ou em sentidos opostos (b).

Na configuração **paralela**, os fluidos entram pela mesma extremidade, escoam no mesmo sentido e deixam o equipamento também na mesma extremidade.

Na configuração **contracorrente**, os fluidos entram por extremidades opostas, escoam em sentidos opostos e deixam o equipamento por extremidades opostas.

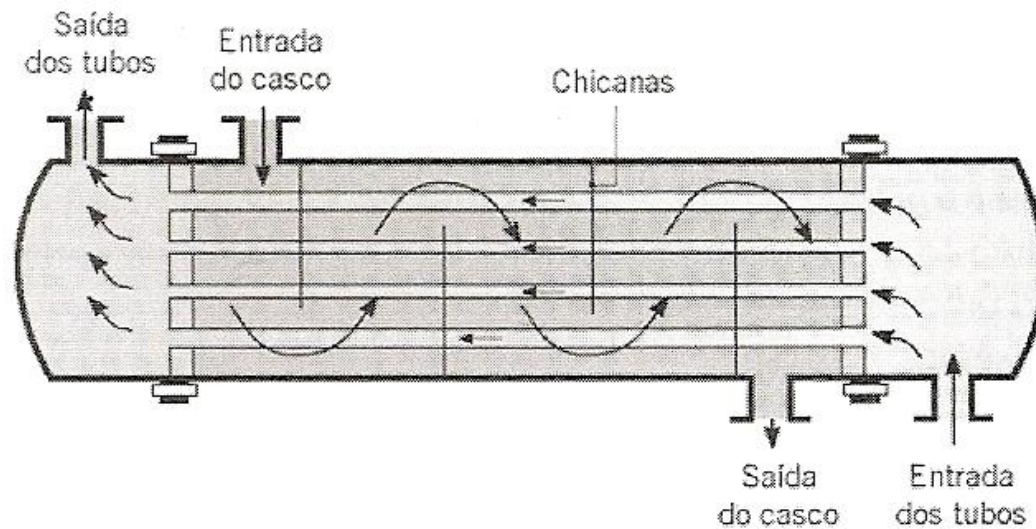


TROCADORES DE CALOR

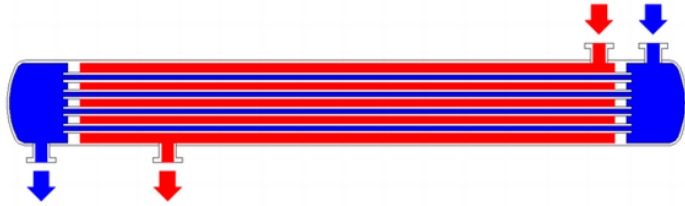
Uma configuração comum é o trocador de **casco e tubos**. Sua forma mais simples envolve um único passe nos tubos e uma passe também no casco.

São instaladas chicanas para aumentar o coeficiente convectivo do fluido no lado do casco, induzindo turbulência e um componente de velocidade no sentido do escoamento cruzado.

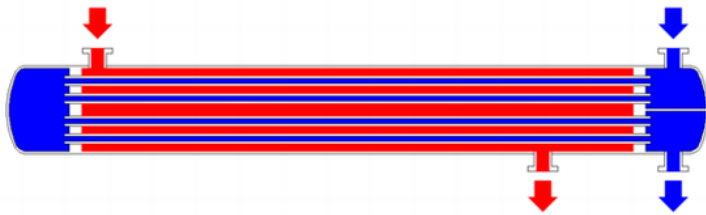
As chicanas também apóiam fisicamente os tubos reduzindo a vibração induzida pelo escoamento.



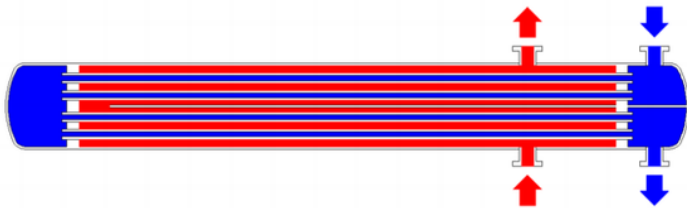
TROCADORES DE CALOR



Um passe na carcaça e um passe nos tubos



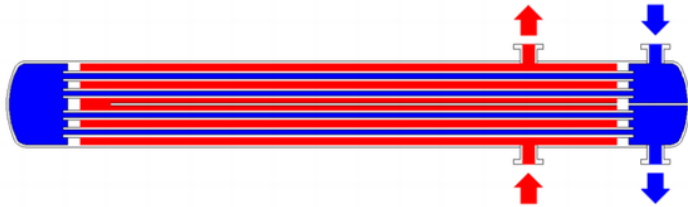
Um passe na carcaça e dois passes nos tubos



Dois passes na carcaça e dois passes nos tubos



TROCADORES DE CALOR



Normalmente, a decisão de qual fluido escoar no casco e qual escoar nos tubos é feita para minimizar custos com bombeamento.

Por exemplo, se você usa água para resfriar óleo, o óleo que é mais viscoso deve escoar pelo casco.

A corrosão, incrustação e problemas de limpeza dos tubos também pesa muito nesta decisão.

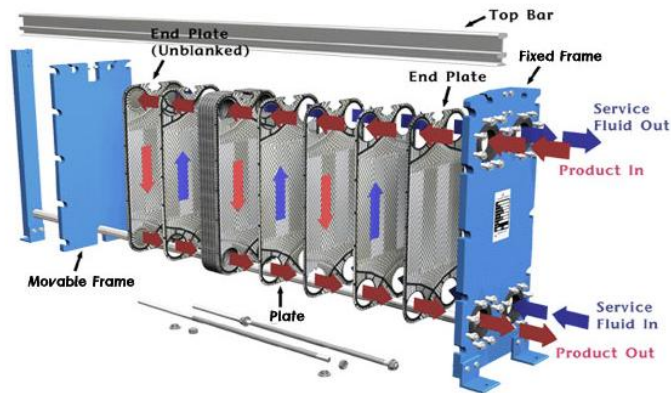


TROCADORES DE CALOR

TROCADOR DE CALOR DE PLACAS

Vantagens:

- É compacto. Proporciona maior área superficial de troca de calor em menor volume e alto coeficiente global de transferência devido às passagens estreitas e superfícies corrugadas;
- Flexibilidade.
- Baixos custos de fabricação, grande resistência à corrosão;
- Facilidade de limpeza. Pode ser facilmente desmontado para inspeção e limpeza e as placas podem ser substituídas com facilidade.

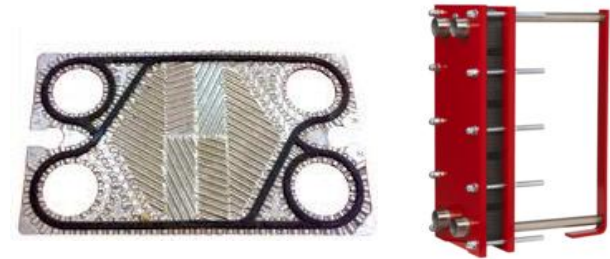
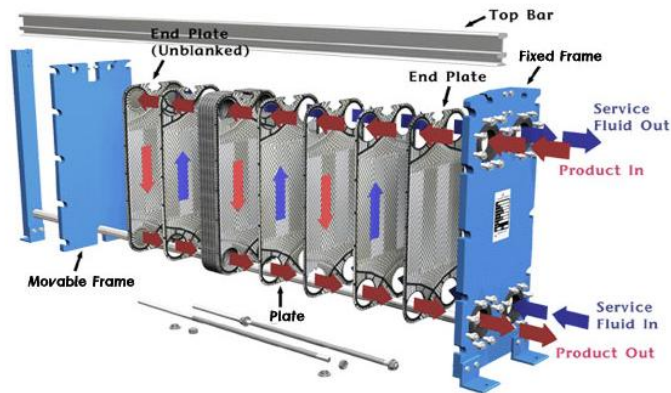


TROCADORES DE CALOR

TROCADOR DE CALOR DE PLACAS

Desvantagens:

- O ponto fraco é a necessidade de longas gaxetas para manter as placas juntas. Embora estas gaxetas sejam consideradas frágeis, os trocadores de calor deste tipo têm boa performance com altas temperaturas e pressões;
- A diferença de pressão é relativamente alta e os custos de um sistema de bombeamento devem ser considerados;
- O estreito espaço entre as placas pode ser bloqueado por contaminantes particulados no fluido. Por esta razão a maioria dos fabricantes garantem apenas 12 meses de operação.



TROCADORES DE CALOR

O COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Esse coeficiente é definido em função da resistência térmica total à transferência de calor entre dois fluidos.

$$q = UA\Delta T$$

$$R_{TOT} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{UA}$$

Durante a operação pode ocorrer a deposição de impurezas do fluido, oxidação e outras reações entre o material que compõe o fluido e a superfície da parede.

A formação de um filme ou de incrustações pode aumentar significativamente a resistência à transferência de calor entre os fluidos.

Para os trocadores de calor não aletados:

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R''_{d,i}}{A_i} + \frac{\ln(D_e/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R''_{d,e}}{A_e} + \frac{1}{h_e A_e}$$

| Fluido | R_d'' (m ² K/W) |
|--|------------------------------|
| Água do mar e água de alimentação tratada para caldeira (abaixo de 50°C) | 0,0001 |
| Água do mar e água de alimentação tratada para caldeira (acima de 50°C) | 0,0002 |
| Água de rio (abaixo de 50°C) | 0,0002-0,0001 |
| Óleo combustível | 0,0009 |
| Líquidos de refrigeração | 0,0002 |
| Vapor d'água (sem arraste de óleo) | 0,0001 |

TROCADORES DE CALOR

O COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

EXEMPLO:

Em uma caldeira flamotubular, produtos de combustão quentes, escoando através de uma matriz de tubos com paredes finas, são utilizados para ferver água escoando sobre os tubos. Quando da instalação, o coeficiente global de transferência de calor era igual a $400 \text{ W/m}^2\text{K}$. Após um ano de uso, há deposição sobre as superfícies interna e externa dos tubos, correspondendo a fatores de deposição de $R_{d,i}'' = 0,0015 \text{ m}^2\text{K/W}$ e $R_{d,e}'' = 0,0005 \text{ m}^2\text{K/W}$, respectivamente. A caldeira deveria ser parada para serviço de limpeza da superfície dos tubos?

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{d,i}''}{A_i} + \frac{\ln(D_e/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R_{d,e}''}{A_e} + \frac{1}{h_e A_e}$$



TROCADORES DE CALOR

O COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

EXEMPLO:

Em uma caldeira flamotubular, produtos de combustão quentes, escoando através de uma matriz de tubos com paredes finas, são utilizados para ferver água escoando sobre os tubos. Quando da instalação, o coeficiente global de transferência de calor era igual a $400 \text{ W/m}^2\text{K}$. Após um ano de uso, há deposição sobre as superfícies interna e externa dos tubos, correspondendo a fatores de deposição de $R_{d,i}'' = 0,0015 \text{ m}^2\text{K/W}$ e $R_{d,e}'' = 0,0005 \text{ m}^2\text{K/W}$, respectivamente. A caldeira deveria ser parada para serviço de limpeza da superfície dos tubos?

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{d,i}''}{A_i} + \frac{\ln(D_e/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R_{d,e}''}{A_e} + \frac{1}{h_e A_e}$$

No início das operações, como a parede é fina e $A_i = A_e$:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{R_{d,i}''}{A_i} + \frac{\ln(D_e/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R_{d,e}''}{A_e} + \frac{1}{h_e} = \frac{1}{400}$$

Após 1 ano de operação:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + R_{d,i}'' + R_{d,e}'' = \frac{1}{400} + 0,0015 + 0,0005 = 0,0045 \text{ m}^2\text{K/W} \quad \Rightarrow \quad U = 222 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$