

## Permutadores de calor

**P**ermutadores de calor são equipamentos em que dois fluidos com temperaturas diferentes trocam calor através de uma interface metálica. Esta troca térmica é empregada para atender às necessidades do processo e/ou economizar a energia que seria perdida para o ambiente. No processo de troca térmica pode haver ou não mudança de fase (condensação ou evaporação) dos fluidos envolvidos.



Conjunto de permutadores de calor

## Classificação geral dos permutadores quanto à finalidade

### PERMUTADORES PARA AQUECIMENTO

#### ■ **AQUECEDOR OU PRAQUECEDOR** (*heater, preheater*)

Aquece um fluido do processo, recebendo calor sensível normalmente de vapor d'água, ou de outro fluido quente disponível. Pode haver ou não condensação do fluido quente.

#### ■ **REFERVEDOR** (*reboiler*)

Vaporiza um líquido, recebendo calor normalmente de vapor d'água, ou de outro fluido quente disponível.

Opera em conjunto com torres de processamento, vaporizando parte dos seus produtos de fundo.

#### ■ **GERADOR DE VAPOR** (*steam generator*)

Gera vapor d'água, recebendo calor de outro fluido quente disponível no processo.

### PERMUTADORES PARA RESFRIAMENTO

#### ■ **RESFRIADOR** (*cooler*)

Resfria fluidos do processo, cedendo calor para água.

#### ■ **CONDENSADOR** (*condenser*)

Condensa vapores, cedendo calor para água. É empregado para recuperação de vapores de colunas de destilação, bem como para condensação do vapor exausto de turbinas, reduzindo a pressão de descarga das mesmas.

### PERMUTADOR OU INTERCAMBIADOR (*exchanger*)

Troca calor entre dois fluidos de processo. Aproveita a energia de um fluido que precisa ser resfriado e a transfere para outro que necessita ser aquecido, reduzindo perdas e melhorando o rendimento energético da unidade.

## Tipos construtivos de permutadores de calor

Os permutadores de calor em unidades de processo, notadamente refinarias, devem atender a exigências de grandes vazões dos fluidos e/ou condições severas de temperatura e pressão. Os tipos mais utilizados são:

- **CASCO E TUBOS**
- **TROCADORES TIPO TUBO DUPLO OU BITUBULARES**
- **RESFRIADORES A AR**
- **TROCADORES DE PLACAS**
- **PERMUTADORES ESPIRAIS**

Na escolha dos tipos de permutador entram fatores como características dos fluidos, custo, facilidade de manutenção e a experiência do projetista. Apenas alguns dos tipos (e subtipos) apresentados são amplamente utilizados. Os de casco e tubos são o principal tipo de permutador encontrado em refinarias e serão tratados com mais detalhes (observe a Figura 16).

### CASCO E TUBOS (SHELL AND TUBE)

#### ■ DESCRIÇÃO GERAL

Resumidamente, consiste em um casco que contém no seu interior um feixe de tubos. Um dos fluidos passa pelo casco (fluido do lado casco) e o outro pelo feixe de tubos (fluido do lado tubos),

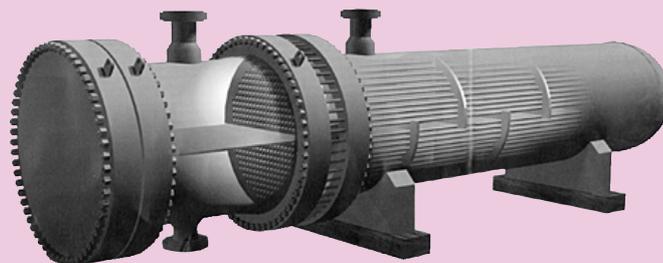
sendo a troca térmica realizada através das paredes dos tubos do feixe.

#### ■ PARTES PRINCIPAIS

##### **Feixe de tubos**

É um conjunto de tubos presos por suas extremidades a duas placas, denominadas espelhos. O feixe atravessa chapas metálicas chamadas de chicanas, colocadas espaçadamente entre os espelhos e fixadas por tiran-

FIGURA 16 PERMUTADOR DE CALOR (CASCO E TUBOS)



tes, visando evitar a flexão dos tubos e melhorar a troca térmica, o que aumenta o tempo de residência e a turbulência do fluido que passa no casco.

Os tubos são fabricados de diversas ligas de materiais metálicos ferrosos e não-ferrosos. Podem ser dos seguintes tipos:

#### **Lisos**

São os mais usados, de 3/4" a 2" e espessuras BWG

#### **Aletados**

Para aplicações específicas

FIGURA 17 EXEMPLO DE PERMUTADOR DE CALOR (CASCO E TUBOS)

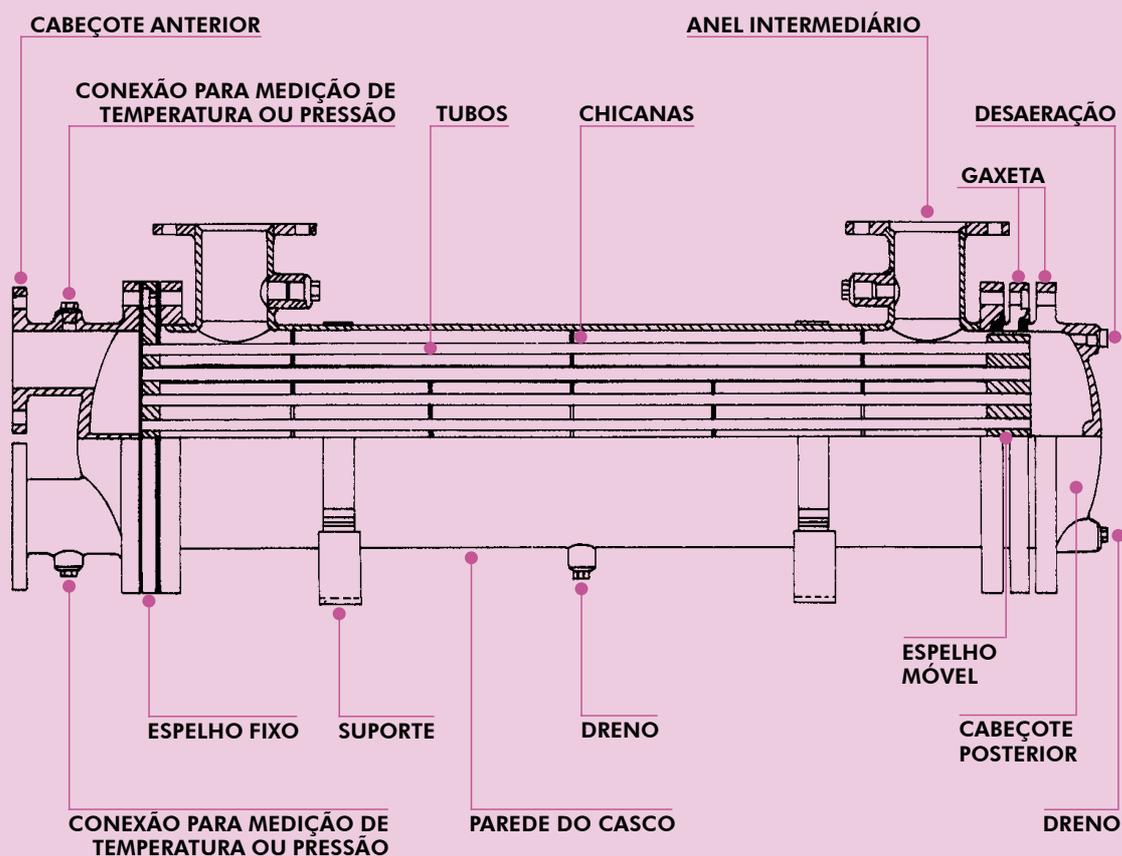
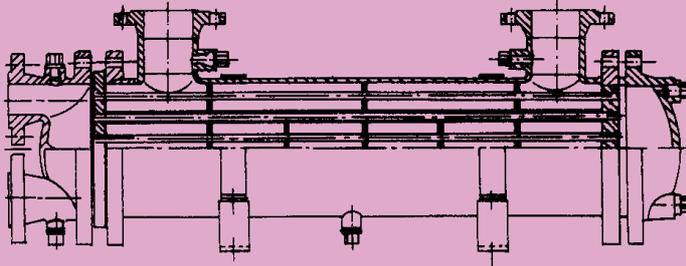
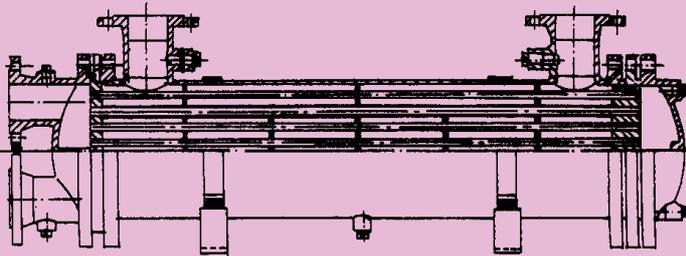


FIGURA 18 VÁRIOS TIPOS DE PERMUTADORES DE CALOR

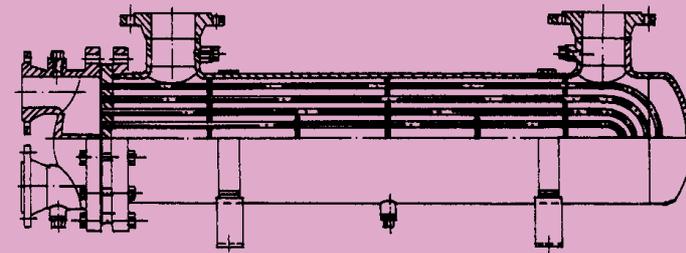
Feixe tubular desmontável, com apenas uma gaxeta. Trocador de calor para ser usado como esfriador ou preaquecedor para todas as finalidades



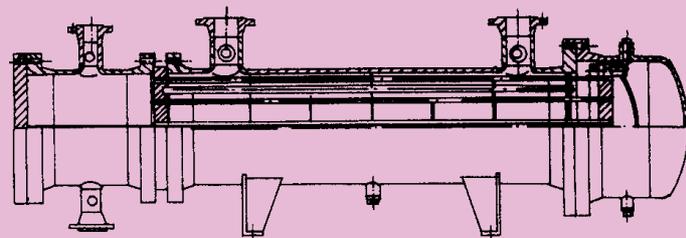
Feixe tubular desmontável, com gaveta dupla. Uso como Tipo N, com melhor separação entre os dois meios de transferência de calor



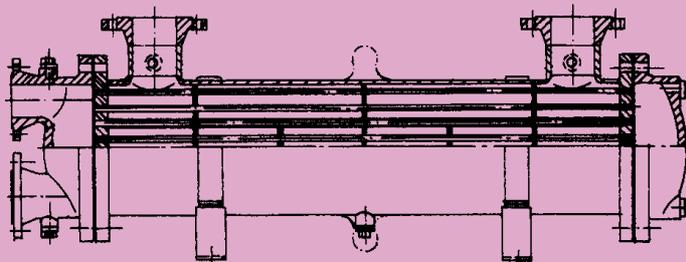
Feixe tubular desmontável, com tubos em forma de U. Usado para preaquecimento ou resfriamento de líquidos



Feixe tubular desmontável, com cabeçote flutuante, para máximas seguranças operacionais e melhores condições de manutenção. Construção conforme Norma Tema



Feixe tubular fixo, usado quando existirem gases puros e líquidos limpos nas superfícies externas dos tubos



### **Tubos dobrados em U**

Para uso com cabeçotes de retorno. Deseja-se obter o maior número possível de tubos na seção do casco e, ao mesmo tempo, prover espaço para a passagem do fluido no casco. A disposição dos tubos no feixe pode ser:

**Passo triangular** – Melhora a troca, mas só é usado para fluidos limpos

**Passo quadrado** – Usado em refinarias devido à facilidade de limpeza externa.

As chicanas podem ser de três tipos:

- De orifícios anulares
- Tipo disco e anel
- Segmentadas

### **■ CASCO E CABEÇOTES**

O casco, normalmente cilíndrico, é o invólucro do permutador, envolvendo o feixe de tubos e o fluido que passa por fora destes (do lado casco).

O casco é fechado nas extremidades pelos cabeçotes, que formam com os espelhos câmaras de entrada e saída do fluido do lado tubos. Os cabeçotes são denominados de estacionário e de retorno, pois o fluido do lado tubos pode ter mais de uma passagem, indo e voltando pelo feixe, e um dos cabeçotes teria a função de promover o retorno do fluido.

Quando os dois fluidos percorrem o permutador na mesma direção, diz-se que estão em paralelo, e quando em direções opostas, diz-se que estão em contracorrente. Este último é o fluxo normalmente utilizado.

No fluxo em contracorrente, a temperatura do fluido frio pode ultrapassar a menor temperatura do fluido quente, o que não pode ocorrer no fluxo em paralelo. O casco pode ser construído a partir de tubos com até 24" de diâmetro nominal, ou de chapas calandradas e soldadas a partir de 13" de diâmetro. Fabricados normalmente em aço-carbono, também podem ser feitos em aço-liga e ligas de alumínio, quando de tubo, e em aço-liga, ligas de níquel e ligas de cobre, quando de chapa.

O casco possui dois ou mais bocais para entrada e saída do fluido do lado casco, e os cabeçotes têm bocais para entrada e saída do fluido do lado tubos. Se um dos cabeçotes é de retorno, então este não possui bocal. Os bocais de entrada e saída ficam no cabeçote estacionário.

## ■ CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS PERMUTADORES CASCO E TUBOS

A Tema (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*) publica normas para projeto e construção de permutadores de casco e tubo. Estas especificações servem para três classes de permutadores:

### **Classe R**

Para condições severas de processamento de petróleo e produtos químicos, serviços rigorosos, em que se deseja obter segurança e durabilidade.

### **Classe C**

Para condições moderadas de operação, tendo em vista a máxima economia e o mínimo tamanho, condizentes com as necessidades de serviço.

### **Classe A**

Para condições severas de temperatura e fluidos altamente corrosivos.

Os permutadores são classificados pela Tema de acordo com a forma dos cabeçotes e do casco. A determinação das formas, a indicação do diâmetro nominal do casco e o comprimento dos tubos caracterizam um permutador.

### **Tipos de cabeçote estacionário**

- A** Tampo e carretel removíveis
- B** Tampo boleado
- C** Feixe de tubos removíveis e carretel integrado ao espelho e tampo removível
- D** Especial para alta pressão

### **Tipos de casco**

- E** Uma passagem
- F** Duas passagens com defletor longitudinal
- G** Fluxo dividido por defletor
- H** Fluxo duplamente dividido por defletores
- J** Fluxo dividido
- K** Caldeira (*kettle*)

### Tipos de cabeçote de retorno

- L** Espelho fixo igual ao cabeçote estacionário A
- M** Espelho fixo igual ao cabeçote estacionário B
- N** Espelho fixo igual ao cabeçote estacionário C
- P** Cabeçote flutuante engaxetado externamente
- S** Cabeçote flutuante com anel bipartido
- T** Cabeçote flutuante com tampo preso no espelho
- U** Tubo em U
- W** Cabeçote flutuante engaxetado internamente

Os tipos **A** e **B** podem ser retirados sem mexer no resto do equipamento, o que não acontece com **C** e **D**. Os tipos **A** e **C** permitem inspeção dos tubos sem a remoção de todo o cabeçote, o que não acontece com o tipo **B**. O tipo **C** é solidário ao feixe de tubos. Em refinarias, os cascos do tipo **E** são os mais comuns. Os de fluxo dividido (**G**, **H** e **J**) são usados para diminuir a perda de carga do fluido no casco. E os de tipo **K** são muito utilizados como refeedores e refrigeradores. Os cabeçotes flutuantes ou para tubos em **U** (**S**, **T** e **U**) são utilizados para grandes diferenciais de temperatura. Os de cabeçotes de retorno engaxetados (**P** e **W**) não são usados em refinarias.

### ■ ESCOLHA DO FLUIDO

Não há regras fixas que estabeleçam que tipo de fluido deve passar pelos tubos. A escolha do fluido que passa pelos tubos ou pelo casco deve atender às melhores condições para o processo, menor custo de construção e à facilidade de manutenção.

De maneira geral, passam pelos tubos:

#### **Fluidos mais sujos**

Com depósitos, coque, sedimentos, catalisadores etc. É mais fácil remover a sujeira dos tubos do que do casco.

#### **Fluidos mais corrosivos**

Mais econômico usar tubos resistentes à corrosão do que um casco com a mesma propriedade e mais fácil substituir tubos furados do que o casco.

**Fluidos com maior pressão**

Porque o casco tem menor resistência em virtude do seu maior diâmetro.

**Fluidos menos viscosos**

A menos que a perda da pressão deva ser muito baixa.

**Água de resfriamento**

Facilidade de limpeza.

**Fluidos de menor vazão volumétrica**

Em vista de o casco oferecer mais espaço.

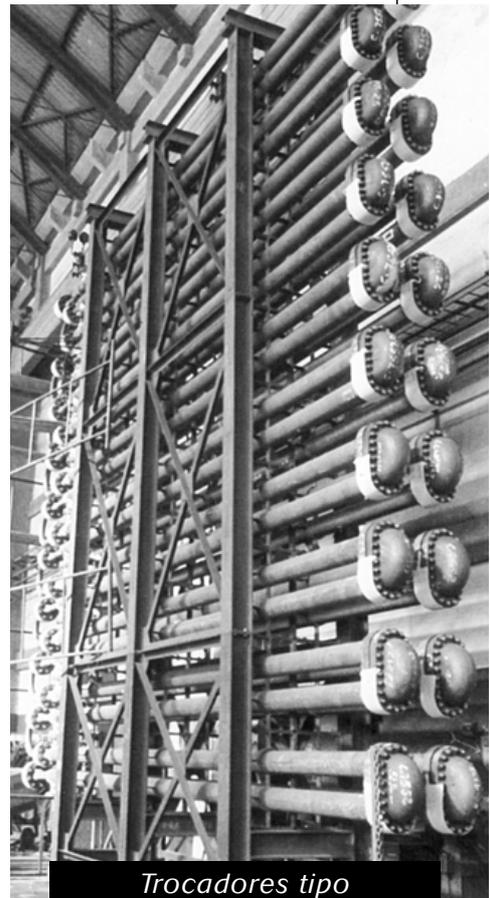
Entre líquidos de propriedades semelhantes, devem passar pelos tubos aqueles de maior pressão e maior temperatura.

**TROCADORES TIPO TUBO DUPLO OU BITUBULARES**

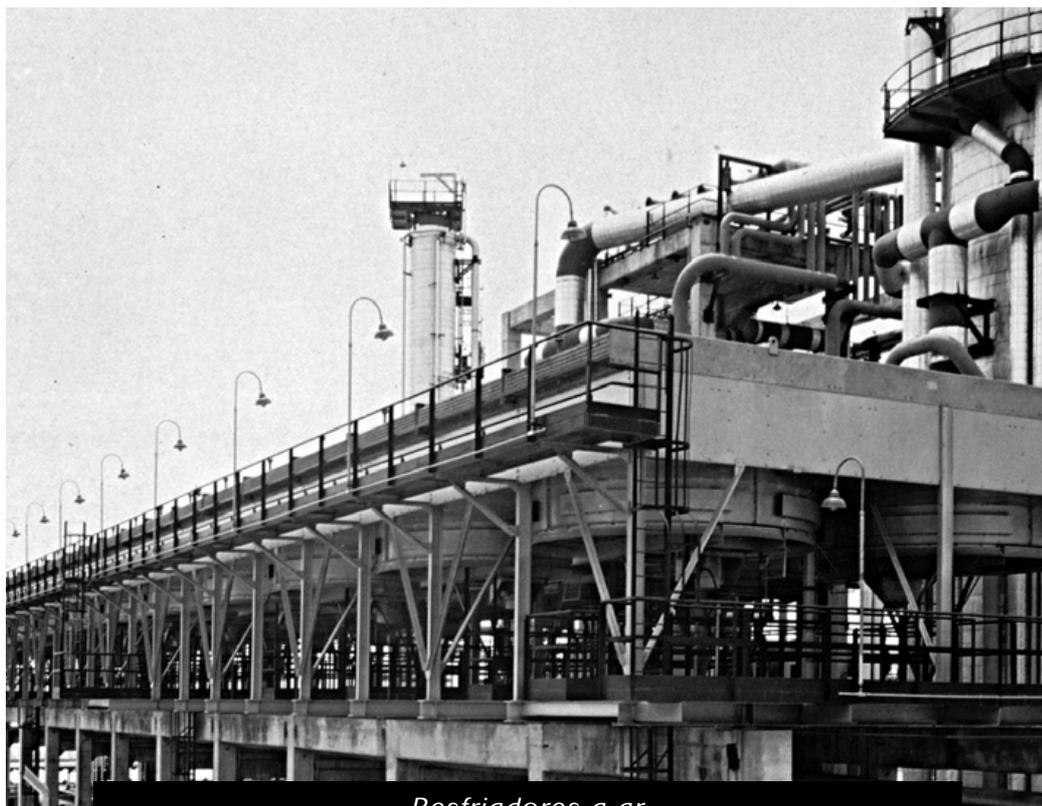
Consiste na montagem de dois tubos concêntricos. Um fluido passa pelo tubo interno e o outro pelo anel formado entre os dois tubos. Geralmente o tubo interno é aletado e são montadas seqüências de trechos retos em série, unidos por curvas em **U**. Usado para vazões menores. Veja na foto ao lado algumas das características apontadas no texto que você acabou de ler.

**RESFRIADORES A AR**

Consistem em serpentinas de tubos com aletas transversais e coletores nas duas extremidades dos tubos. O ar de refrigeração é suprido por um ou mais ventiladores, soprado (forçado) ou sugado (induzido) na ascendente, passando pelo feixe montado na horizontal. O conjunto é instalado em uma estrutura ou sobre a ponte de tubulação (*pipe-rack*). Veja na foto da página ao lado como são os resfriadores a ar.



Trocadores tipo tubo duplo ou bitubulares

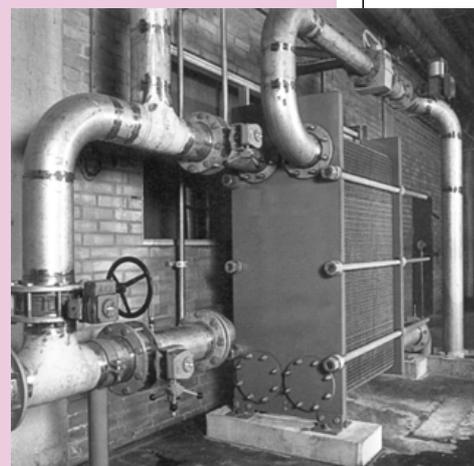
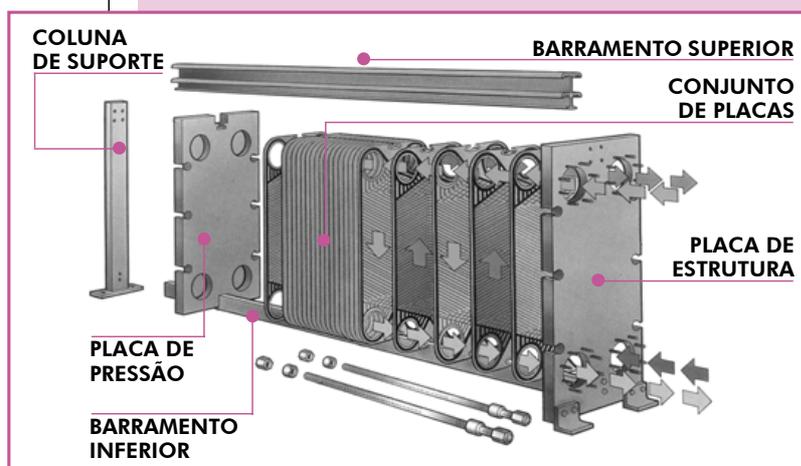


*Resfriadores a ar*

### TROCADORES DE PLACAS

Consistem em um conjunto de placas corrugadas montadas em série, com gaxetas. Os fluidos trocam calor, passando em contracorrente, alternadamente, pela seqüência de placas. Têm grande eficiência na troca térmica (Figura 19).

FIGURA 19 TROCADORES DE PLACAS



## PERMUTADORES ESPIRAIS

Consistem em duas longas chapas lisas enroladas em torno de canais centrais, criando dois canais espirais concêntricos. O fluido quente entra por um canal central, percorrendo um dos canais elípticos até a saída na periferia do casco. O fluido frio entra pela periferia do casco, percorrendo o outro canal elíptico até a saída no último canal central, trocando calor em contracorrente. Muito usados para fluidos viscosos ou sujos, como asfalto. Veja a Figura 20.

FIGURA 20 PERMUTADORES ESPIRAIS



## Cuidados na operação

Na partida, entra primeiro o fluido mais frio. Se o fluido mais frio está ligeiramente quente, deixa-se o mesmo, então, entrar de forma lenta. Quanto mais quente o fluido, mais lenta deve ser a sua penetração no permutador de calor. Na parada, bloqueia-se primeiramente a entrada do fluido mais quente. Se isto não for observado, podem ocorrer vazamentos nos tubos.

Tanto na partida como na parada, os permutadores de calor devem ser aquecidos ou resfriados lentamente. Isto é em particular importante quando as temperaturas de operação são elevadas. A rápida entrada de um líquido à alta temperatura pode provocar desigualdades de expansão nos tubos, causando vazamentos nos mesmos e deformação do feixe.

Falhas no suprimento de água para um resfriador podem trazer sérias conseqüências. Quando o fluido a resfriar é muito quente, a interrupção da água provoca um grande aquecimento do equipamento. Se a água voltar, então, a circular, haverá um resfriamento brusco do permutador. Esta mudança rápida de temperatura afrouxa parafusos e abre as juntas.

Deve-se sempre drenar a água de um refervedor ou aquecedor para evitar o fenômeno chamado martelo hidráulico, que ocorre conforme descrito a seguir. Suponha

### ATENÇÃO

Permutador sujo e condições de operação diferentes daquelas para as quais o permutador de calor foi projetado provocam perda de eficiência na troca térmica

água acumulada nos tubos do refeedor. Abrindo-se a válvula do vapor d'água, este vai conduzir a água a uma grande velocidade até encontrar um obstáculo, onde provoca um violento choque. Este impacto severo, o martelo hidráulico, pode causar ruptura do material.

## **Manutenção**

A eficiência do permutador de calor depende da limpeza dos tubos. Durante a operação são acumulados, dentro e fora dos tubos, depósitos de sais, oxidação, coque, areia, pó de coque, folhas, fibras vegetais, camadas de graxa, corpo de microorganismos etc., prejudicando grandemente a troca de calor e a perda de carga do fluido.

O permutador de calor que durante a operação diminui sua eficiência deve ser inspecionado e limpo durante a parada da unidade, ou mesmo imediatamente, caso seja possível.

### **PRINCIPAIS PROCESSOS DE LIMPEZA**

#### **Limpeza por água em contracorrente**

Para condensadores e resfriadores que utilizam água salgada não tratada como fluido refrigerante. O processo consiste em inverter o fluxo d'água nos tubos, com o equipamento em operação, possibilitando a remoção dos detritos presos aos tubos, através de dreno apropriado.

#### **Limpeza por vapor** (*steam out*)

O permutador de calor é retirado de operação sem ser desmontado. Alinha-se vapor pelo casco e pelos tubos, de forma a entrar por um respiro e carregar a sujeira por um dreno. Este método é eficiente para remover camadas de graxa ou depósitos nos tubos e no casco do permutador.

#### **Limpeza química**

Consiste na circulação, em circuito fechado, de uma solução ácida adicionada de um inibidor de corrosão. A solução desagrega os resíduos, e o inibidor impede o ataque do metal pela solução. Após a limpeza, é feita a neutralização mediante tratamento com uma solução alcalina fraca, seguido de abundante circulação de água.

### **Limpeza mecânica**

O pessoal de manutenção desmonta os carretéis. Camadas de graxa, lama e sedimentos podem ser removidos dos tubos por meio de arames, escovas ou jatos d'água. Se os tubos estão entupidos por sedimentos muito agregados, então são usadas máquinas perfuratrizes. Estas constam, essencialmente, de um eixo metálico que, girando dentro dos tubos, expulsa os detritos.

### **Testes**

Após a parada para inspeção e manutenção dos permutadores de calor, há necessidade de submetê-los a teste de pressão a fim de verificar a resistência mecânica das juntas soldadas, da mandrilagem dos tubos nos espelhos e a estanqueidade dos dispositivos de vedação.

Os testes de pressão podem ser efetuados com água (hidrostático). Quando isso não for possível, poderá ser feito o teste pneumático. As pressões de teste são definidas pelo código ASME. O casco e o feixe deverão ser testados separadamente.

No teste do casco, poderão, em geral, ser localizados os seguintes vazamentos:

- **MANDRILAGEM DOS TUBOS**
- **JUNTA ENTRE CASCO E ESPELHO FIXO**
- **TUBOS**
- **CASCO E SUAS CONEXÕES**

O teste do feixe permite, geralmente, localizar vazamentos nos seguintes pontos:

- **JUNTA DA TAMPA DO CARRETEL**
- **JUNTA ENTRE CARRETEL E ESPELHO FIXO**
- **JUNTA DA TAMPA FLUTUANTE**
- **CARRETEL, SUA TAMPA E CONEXÕES**

## PERMUTADORES DE CALOR

### DEFINIÇÃO

Permutadores de calor são equipamentos em que dois fluidos com temperaturas diferentes trocam calor através de uma interface metálica.

### 1 CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS PERMUTADORES QUANTO À FINALIDADE

- Aquecedor ou preaquecedor (*heater, preheater*)
- Refervedor (*reboiler*)
- Gerador de vapor (*steam generator*)
- Resfriador (*cooler*)
- Condensador (*condenser*)
- Permutador ou Intercambiador (*exchanger*)

### 2 DESCRIÇÃO GERAL DOS PERMUTADORES CASCO E TUBOS (*shell and tube*)

Consiste em um casco que contém no seu interior um feixe de tubos. Um dos fluidos passa pelo casco e o outro pelo feixe de tubos.

As principais partes dos permutadores casco e tubos são:

#### FEIXE DE TUBOS

É o conjunto de tubos presos por suas extremidades a duas placas, chamadas espelhos.

Os tubos podem ser lisos, aletados ou dobrados em U, com arranjo em passo triangular ou quadrado.

As chicanas podem ser de orifícios anulares, tipo disco e anel, e segmentadas.

#### CASCO E CABEÇOTES

O casco, normalmente cilíndrico, é o invólucro do permutador, envolvendo o feixe de tubos e o fluido que passa por fora destes. O casco é fechado nas extremidades pelos cabeçotes. O fluxo dos fluidos pode ser paralelo ou em contracorrente. Este último é o fluxo normalmente utilizado. O casco possui dois ou mais bocais para entrada e saída do fluido do lado casco, e os cabeçotes têm bocais para entrada e saída do fluido do lado tubos.

### 3 TIPOS CONSTRUTIVOS DE PERMUTADORES DE CALOR

- Casco e tubos
- Trocadores tipo tubo duplo ou bitubulares
- Resfriadores a ar
- Trocadores de placas
- Permutadores espirais

### 4 CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS PERMUTADORES CASCO E TUBOS (TEMA)

#### CLASSE R

Para condições severas de processamento de petróleo e produtos químicos, serviços rigorosos, em que se deseja obter segurança e durabilidade.

#### CLASSE C

Para condições moderadas de operação, tendo em vista a máxima economia e o mínimo tamanho, condizentes com as necessidades de serviço.

#### CLASSE A

Para condições severas de temperatura e fluidos altamente corrosivos.

### 5 TIPOS DE CABEÇOTE ESTACIONÁRIO

- **A** Tambo e carretel removíveis
- **B** Tambo boleado
- **C** Feixe de tubos removíveis e carretel integrado ao espelho e tambo removível
- **D** Especial para alta pressão

## PERMUTADORES DE CALOR

## 6 TIPOS DE CASCO

- E** Uma passagem
- F** Duas passagens com defletor longitudinal
- G** Fluxo dividido por defletor
- H** Fluxo duplamente dividido por defletores
- J** Fluxo dividido
- K** Caldeira (*kettle*)

## 7 TIPOS DE CABEÇOTE DE RETORNO

- L** Espelho fixo igual ao cabeçote estacionário **A**
- M** Espelho fixo igual ao cabeçote estacionário **B**
- N** Espelho fixo igual ao cabeçote estacionário **C**
- P** Cabeçote flutuante engaxetado externamente
- S** Cabeçote flutuante com anel bipartido
- T** Cabeçote flutuante com tampo preso no espelho
- U** Tubo em **U**
- W** Cabeçote flutuante engaxetado internamente

## 8 ESCOLHA DO FLUIDO A PASSAR PELOS TUBOS

- Fluidos mais sujos
- Fluidos mais corrosivos
- Fluidos com maior pressão
- Fluidos menos viscosos
- Água de restrição
- Fluidos de menor vazão volumétrica

## ATENÇÃO

Entre líquidos de propriedades semelhantes, devem passar pelos tubos aqueles de maior pressão e maior temperatura

## 9 TROCADORES TIPO TUBO DUPLO OU BITUBULARES

Dois tubos concêntricos. Geralmente o tubo interno é aletado e são montadas seqüências de trechos retos em série, unidos por curvas em **U**. Usado para vazões menores.

## 10 RESFRIADORES A AR

Serpentinas de tubos com aletas transversais e coletores nas duas extremidades dos tubos. O ar de refrigeração é forçado ou induzido na ascendente, passando pelo feixe.

## TROCADORES DE PLACAS

Conjunto de placas corrugadas montadas em série com gaxetas ou brasadas. Os fluidos trocam calor, passando em contracorrente, alternadamente, pela seqüência de placas.

## PERMUTADORES ESPIRAIS

Duas chapas lisas enroladas em torno de canais centrais, criando dois canais espirais concêntricos. O fluido quente entra por um canal central, e o fluido frio entra pela periferia do casco, trocando calor em contracorrente.

## CUIDADOS NA OPERAÇÃO

Na partida, entra primeiro o fluido mais frio, lentamente. Na parada, bloqueia-se de início a entrada do fluido mais quente. Tanto na partida como na parada, os permutadores de calor devem ser aquecidos ou resfriados lentamente. Falhas no suprimento de água para um resfriador podem trazer sérias conseqüências. Deve-se sempre drenar a água de um refeedor ou aquecedor para evitar o fenômeno chamado martelo hidráulico. Permutador sujo e condições de operação diferentes daquelas para as quais foi projetado provocam perda de eficiência na troca térmica.

## MANUTENÇÃO

A eficiência do permutador de calor depende da limpeza dos tubos. O permutador de calor que durante a operação diminui sua eficiência deve ser inspecionado e limpo durante a parada da unidade, ou mesmo imediatamente, caso seja possível.

## PRINCIPAIS PROCESSOS DE LIMPEZA

- Limpeza por água em contracorrente
- Limpeza por vapor (*steam out*)
- Limpeza química
- Limpeza mecânica

## TESTES

Após a parada para inspeção e manutenção, há necessidade de submetê-los a teste de pressão hidrostático ou pneumático. As pressões de teste são definidas pelo código ASME. O casco e o feixe deverão ser testados separadamente.

