

USP - Escola de Engenharia de Lorena

# OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

## TROCADORES DE CALOR

Prof. Antonio Carlos da Silva

1

# TROCADORES DE CALOR

**Definição:**  
Trocadores de calor são equipamentos empregados para implementar a troca de calor entre dois fluidos ou mais sujeitos a diferentes temperaturas.

**Classificação de trocadores de calor:**  
Pode-se classificar os trocadores de diversas maneiras:

- I. Quanto ao modo de troca de calor;
- II. Quanto ao número de fluidos;
- III. Tipo de construção.

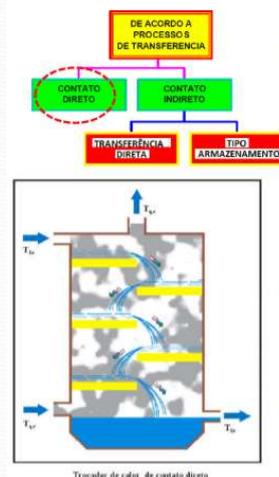
2

# TROCADORES DE CALOR



3

# TROCADORES DE CALOR



## Trocadores de calor de contato direto

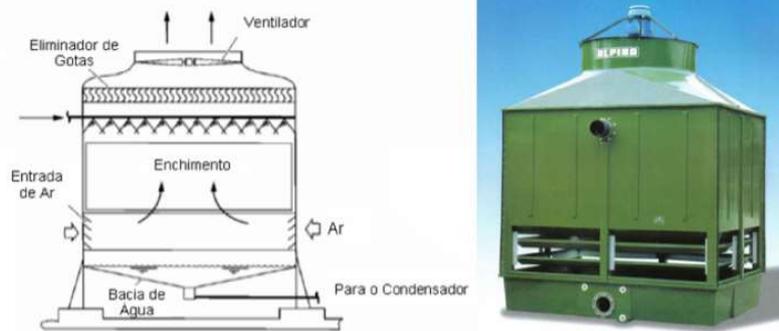
- Neste trocador, os dois fluidos se misturam.
- Aplicações comuns de um trocador de contato direto envolvem transferência de massa além de transferência de calor
- Comparado a recuperadores de contato indireto e regeneradores, são alcançadas taxas de transferência de calor muito altas
- Sua construção é relativamente barata.

4

# TROCADORES DE CALOR

## Trocadores de calor de contato direto

### Torres de resfriamento

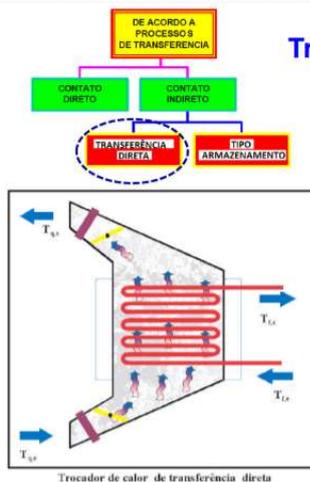


5

# TROCADORES DE CALOR

## Trocadores de calor de contato indireto

### Tipo de trocadores de transferência direta



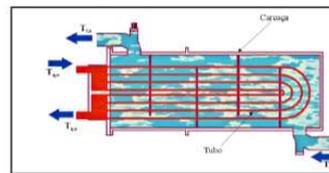
- Neste tipo, há um fluxo contínuo de calor do fluido quente ao frio através de uma parede que os separa.
- Não há mistura entre eles, pois cada corrente permanece em passagens separados.
- Este trocador é designado como um trocador de calor de recuperação, ou simplesmente como um **Recuperador**.

6

# TROCADORES DE CALOR

## Trocadores de calor de contato indireto

Tipo de trocadores de transferência direta



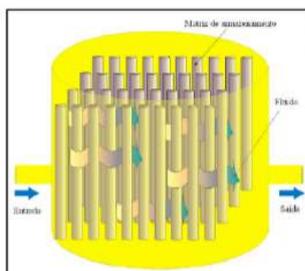
Trocador de calor - caroça e tubo

7

# TROCADORES DE CALOR

## Trocadores de calor de contato indireto

### Trocadores de armazenamento



- Em um trocador de armazenamento, os **ambos fluidos** percorrem **alternativamente as mesmas passagens de troca de calor**.
- A superfície de transferência de calor geralmente é de uma estrutura chamada **matriz**.
- Para aquecimento, **o fluido quente** atravessa a superfície de transferência de calor e a **energia térmica é armazenada na matriz**. Posteriormente, quando o **fluido frio passa pelas mesmas passagens**, a **matriz "libera" a energia térmica** (em refrigeração o caso é inverso).
- Este trocador também é chamado **regenerador**.
- Podem ser **dinâmicos** ou **estáticos**.
- Os **estáticos** não possuem partes móveis e consistem em uma matriz através da qual passa alternadamente os fluidos

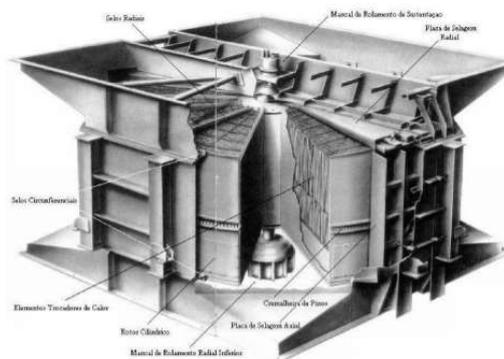
8

# TROCADORES DE CALOR

## Trocadores de calor de contato indireto

### Trocadores de armazenamento

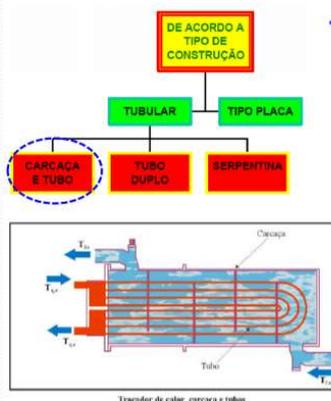
### Trocador de calor regenerativo dinâmico



9

# TROCADORES DE CALOR

## Classificação de trocadores de calor:



### Trocadores tubulares

#### Trocadores de carcaça e tubo

- Este trocador é construído com **tubos e uma carcaça**.
- Um dos fluidos passa por **dentro dos tubos**, e o outro pelo **espaço entre a carcaça e os tubos**.
- São os **mais usados para quaisquer capacidades e condições operacionais**, tais como pressões e temperaturas altas, atmosferas altamente corrosivas, fluidos muito viscosos, etc.

10

# TROCADORES DE CALOR

DE ACORDO A TIPO DE CONSTRUÇÃO

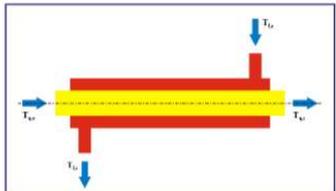
TUBULAR TIPO PLACA

CARCAÇA E TUBO TUBO DUPLO SERPENTINA

**Trocadores tubulares**

**Trocador tubo duplo**

- O trocador de tubo duplo consiste de **dois tubos concêntricos**.
- Um dos fluidos escoam pelo **tubo interno** e o outro pela **parte anular entre tubos**, em uma direção de contra fluxo.
- Este é talvez o **mais simples** de todos os tipos de trocador de calor pela **fácil manutenção envolvida**. É geralmente usado em aplicações de **pequenas capacidades**.



Trocador de calor tubo duplo

11

# TROCADORES DE CALOR

DE ACORDO A TIPO DE CONSTRUÇÃO

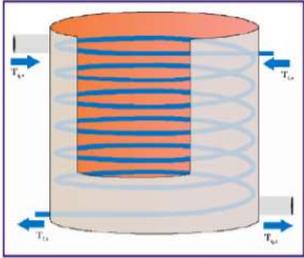
TUBULAR TIPO PLACA

CARCAÇA E TUBO TUBO DUPLO SERPENTINA

**Trocadores tubulares**

**Trocador de calor em serpentina**

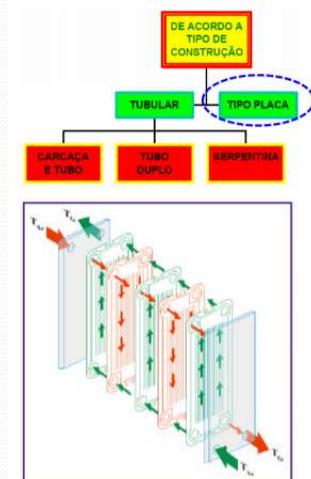
- Este tipo de trocador consiste em **uma ou mais serpentinas (de tubos circulares)** ordenadas em uma carcaça.
- Uma grande superfície pode ser acomodada em um determinado espaço utilizando as serpentinas.
- As **expansões térmicas** não são nenhum problema, mas a **limpeza é muito problemática**.



Trocador de calor de serpentina

12

# TROCADORES DE CALOR



## Trocadores de calor tipo placa

- Este tipo de trocador normalmente é construído com **placas planas lisas** ou com alguma **forma de ondulações**.
- Geralmente, este trocador **não pode suportar pressões muito altas**, comparado ao trocador tubular equivalente.
- São trocadores de calor **tipo compactos**.
  - A razão entre a área de superfície de transferência de calor e o volume do trocador é maior que  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .
  - Exemplo: radiadores de automóveis ( $A_s/V=1100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ).

13

# TROCADORES DE CALOR

## Particularidades:

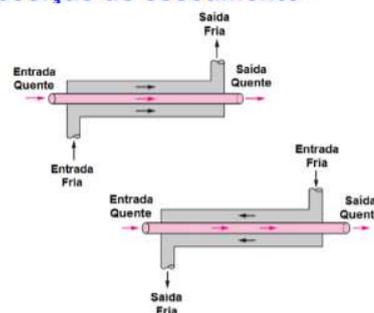
### Trocadores de calor de acordo com a disposição do escoamento

#### Trocadores de calor de correntes paralelas

- Os fluidos quente e frio entram na mesma extremidade do trocador de calor, fluem na mesma direção e deixam juntos a outra extremidade.

#### Trocadores de calor em contracorrente

- Os fluidos quente e frio entram em extremidades opostas do trocador de calor e fluem em direções opostas



14

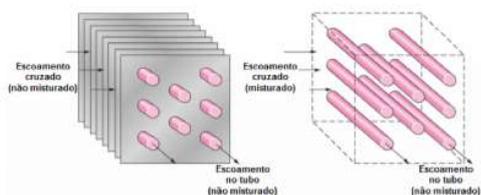
# TROCADORES DE CALOR

## Particularidades:

### Trocadores de calor de acordo com a disposição do escoamento

#### Trocadores de calor de correntes cruzadas

- Os fluidos, em geral, fluem perpendicularmente um ao outro.
- Na disposição em correntes cruzadas, o escoamento pode ser misturado ou não misturado.



15

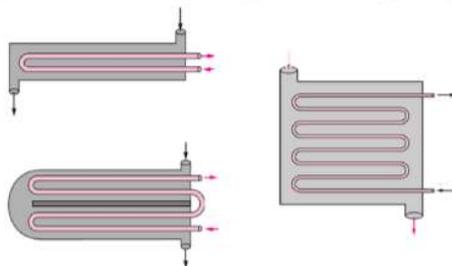
# TROCADORES DE CALOR

## Particularidades:

### Trocadores de calor de acordo com a disposição do escoamento

#### Trocadores de calor de escoamento em multipasse

- A configuração em passes múltiplos é frequentemente empregada em trocadores de calor por intensificar a troca térmica.
- É possível uma grande variedade de configurações.



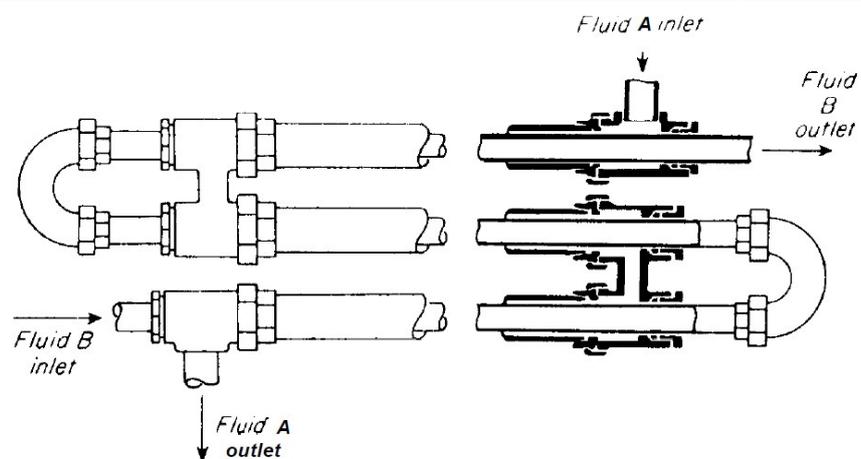
16

## PRINCIPAIS TROCADORES DE CALOR

- Trocador Tubular
- Trocador Aletado
- Radiador
- Torre de resfriamento
- Trocador de placas
- Trocador espiral
- Trocador de Casco e Tubos
- Evaporadores
- Serpentinhas e Camisas

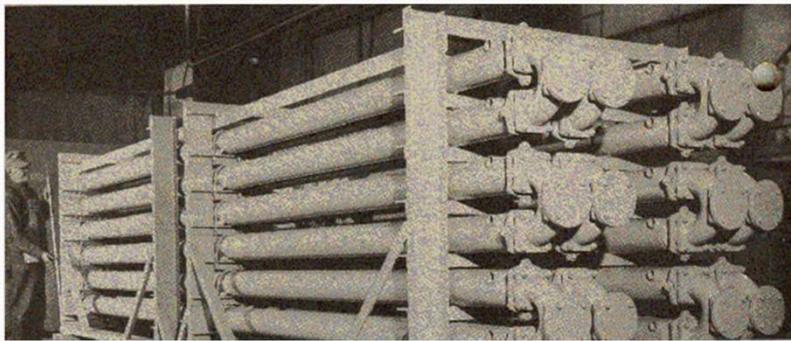
17

## TROCADOR DE CALOR TUBULAR



18

## TROCADOR DE CALOR TUBULAR



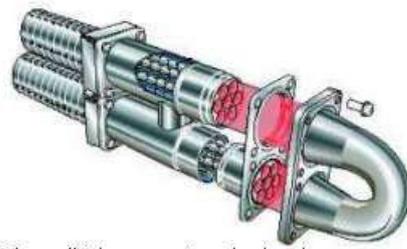
19

## TROCADOR DE CALOR TUBULAR



20

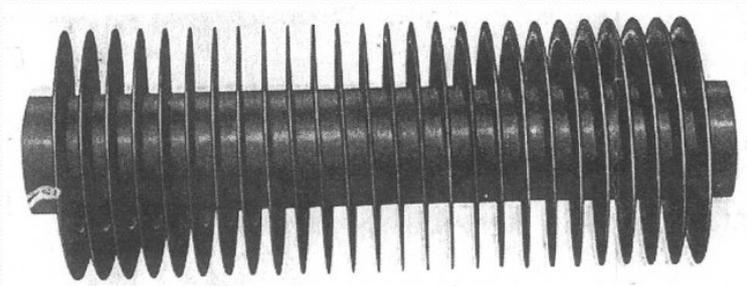
## TROCADOR DE CALOR TUBULAR



Tubos múltiplos em um trocador de calor  
(fonte: Tetra Pak)

21

## TROCADOR DE CALOR ALETADO



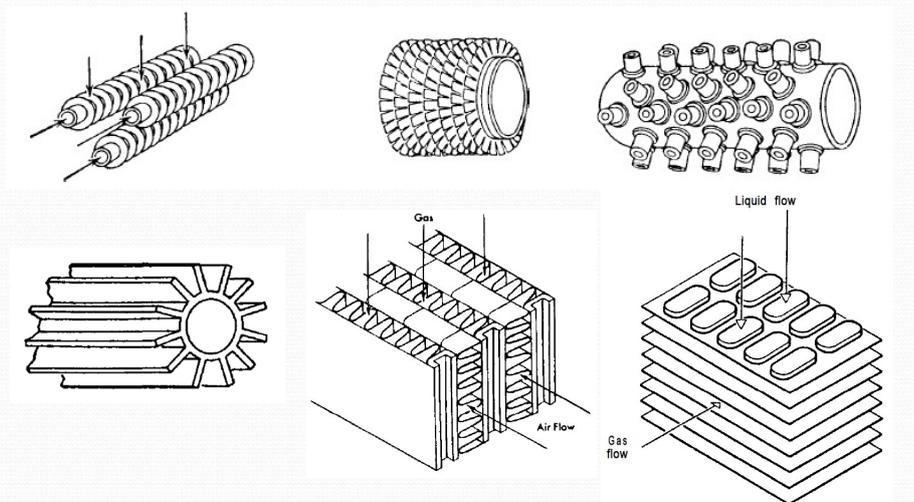
22

# TROCADOR DE CALOR ALETADO



23

# TROCADOR DE CALOR ALETADO



24

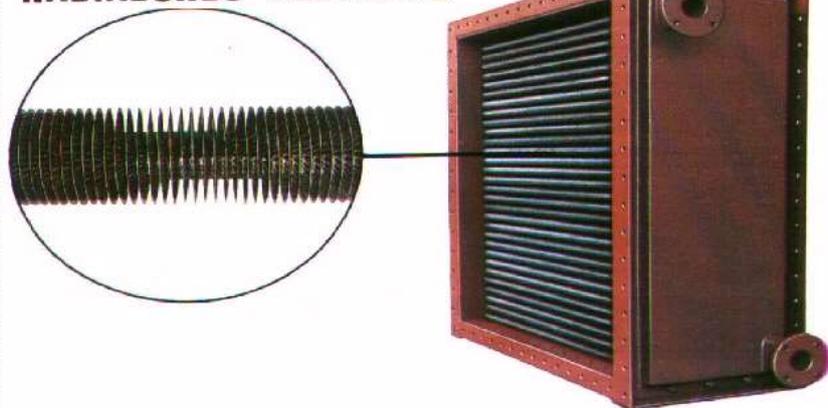
# RADIADORES



25

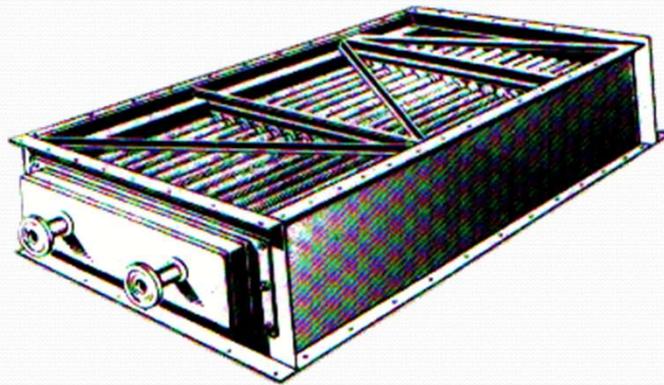
# RADIADORES

## RADIADORES ALETADOS



26

# RADIADORES



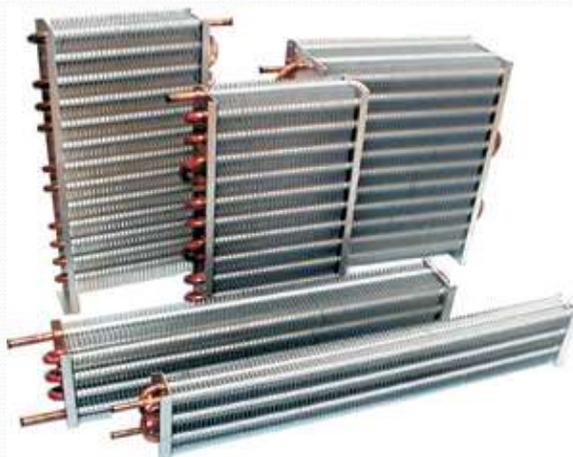
27

# RADIADORES



28

## CONDENSADORES



29

## TORRE DE RESFRIAMENTO



30

## TORRE DE RESFRIAMENTO



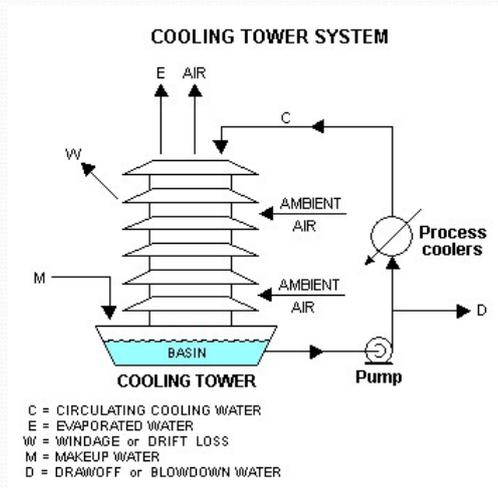
31

## TORRE DE RESFRIAMENTO



32

# TORRE DE RESFRIAMENTO



33

# TORRE DE RESFRIAMENTO



34

# TORRE DE RESFRIAMIENTO



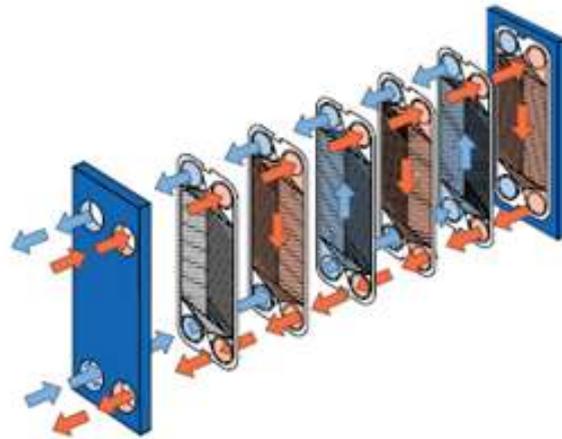
35

# TORRE DE RESFRIAMIENTO

**TORRE DE ENFRIAMIENTO  
PRESENTACION DE EQUIPO**

36

## TROCADOR DE PLACAS



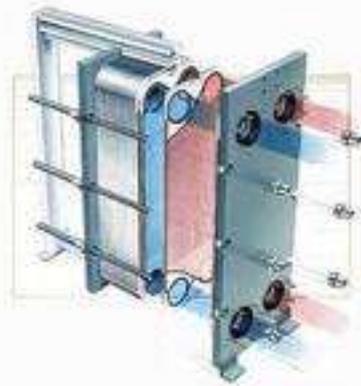
37

## TROCADOR DE PLACAS



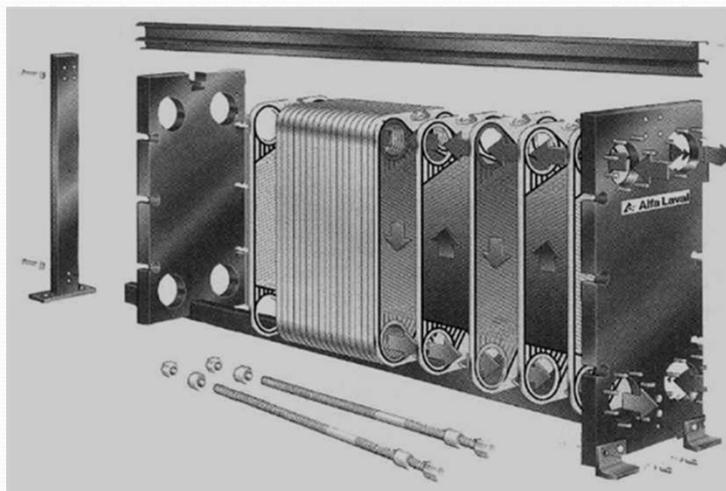
38

## TROCADOR DE PLACAS



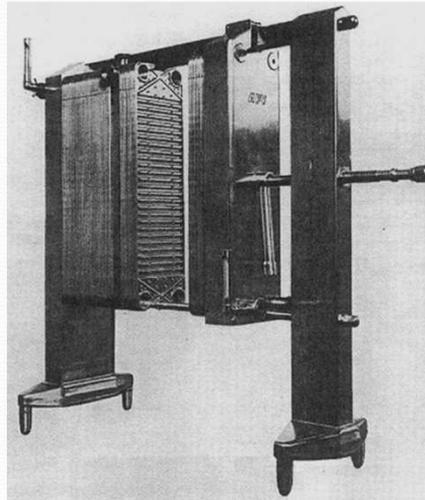
39

## TROCADOR DE PLACAS



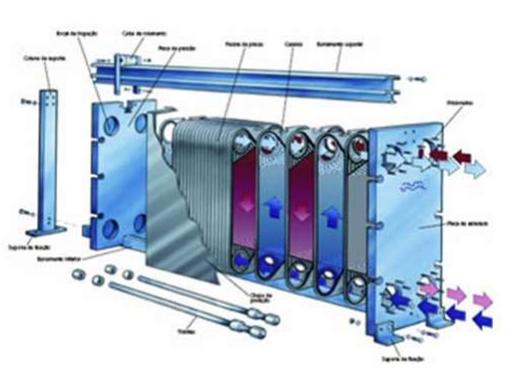
40

# TROCADOR DE PLACAS



41

# TROCADOR DE PLACAS



42

## TROCADOR DE PLACAS



43

## TROCADOR DE PLACAS



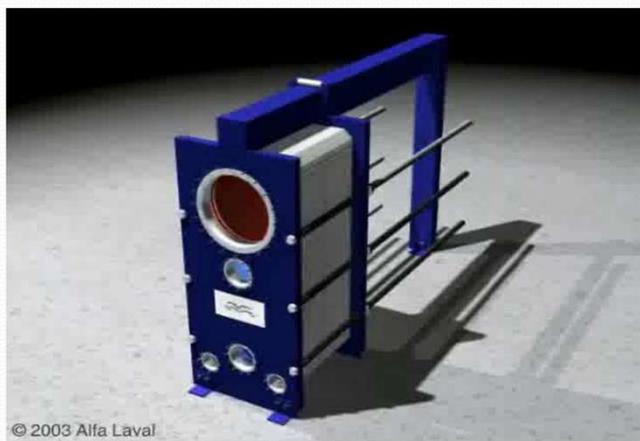
44

## TROCADOR DE PLACAS



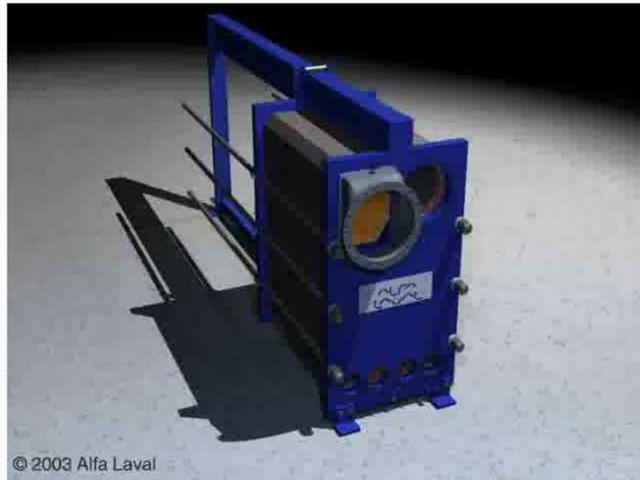
45

## TROCADOR DE PLACAS



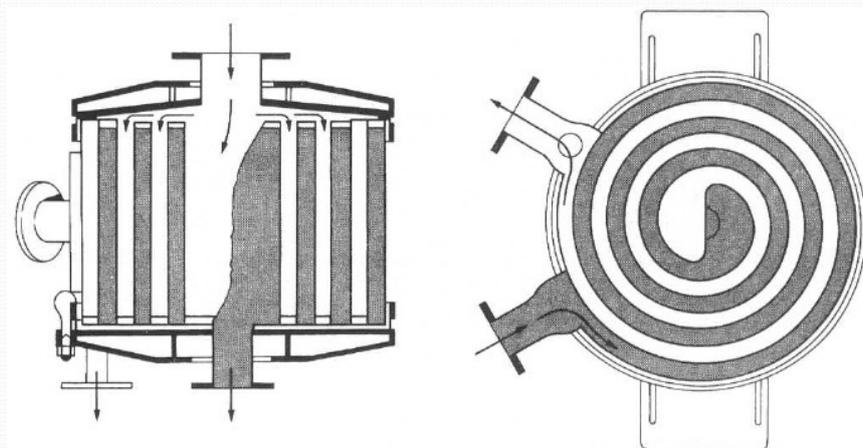
46

## TROCADOR DE PLACAS



47

## TROCADOR ESPIRAL



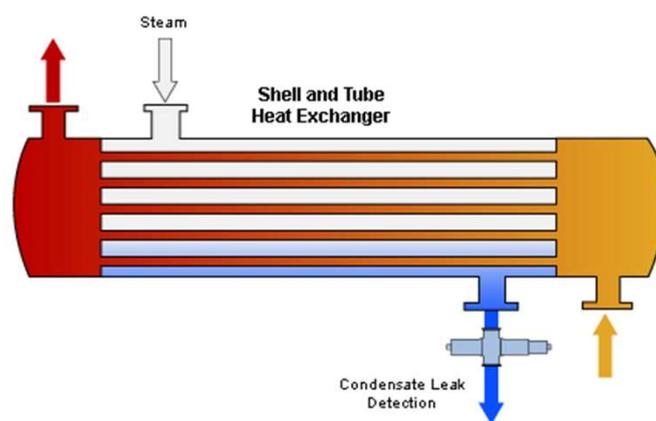
48

## TROCADOR ESPIRAL

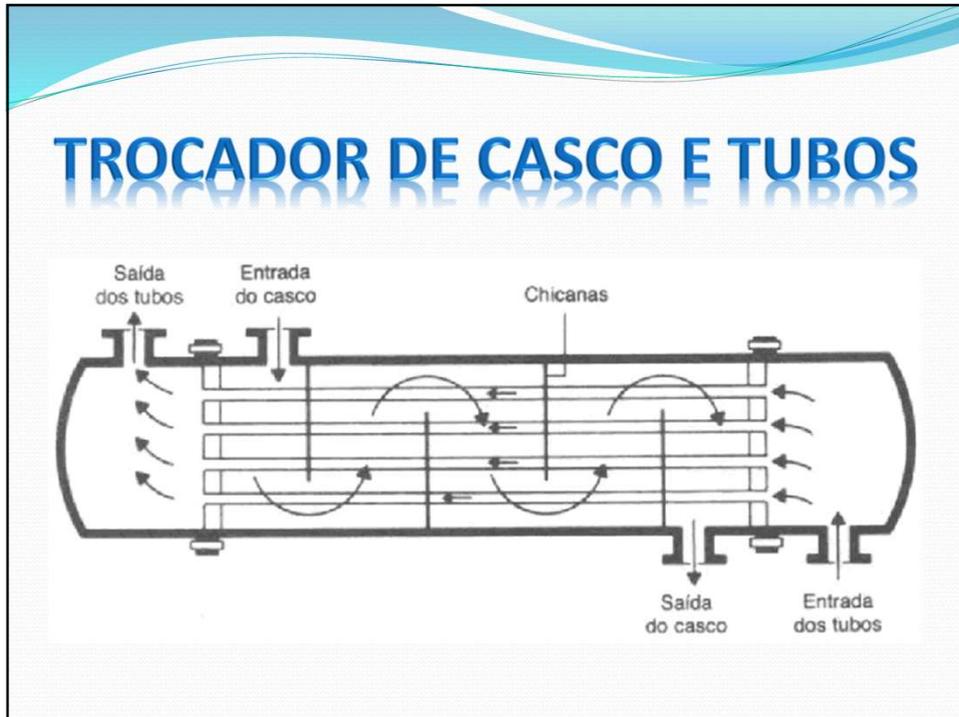


49

## TROCADOR DE CASCO E TUBOS



50

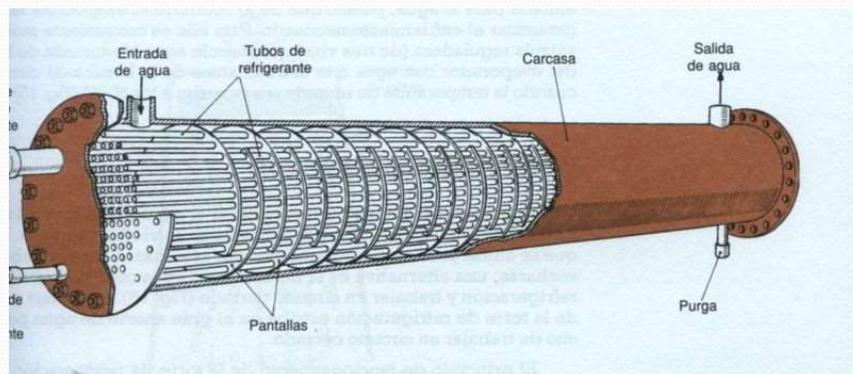


51



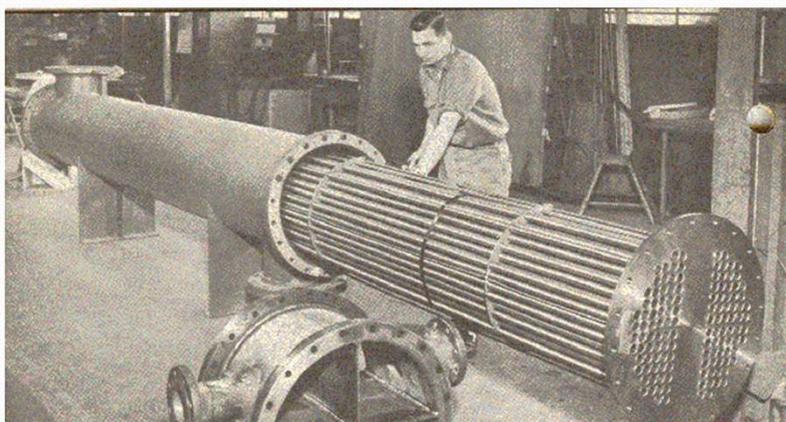
52

## TROCADOR DE CASCO E TUBOS



53

## TROCADOR DE CASCO E TUBOS



54



55



56

## TROCADOR DE CASCO E TUBOS



57

## TROCADOR DE CASCO E TUBOS



58

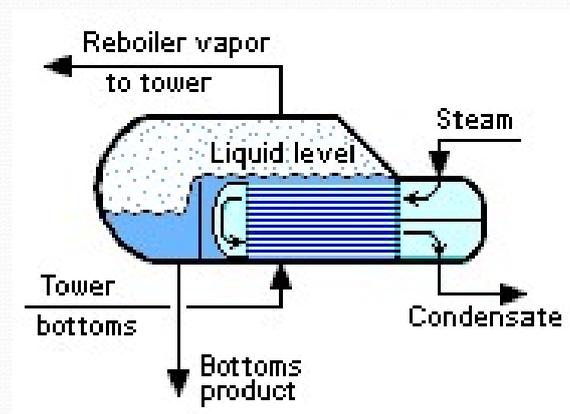
## TROCADOR DE CASCO E TUBOS



Limpeza - incrustações

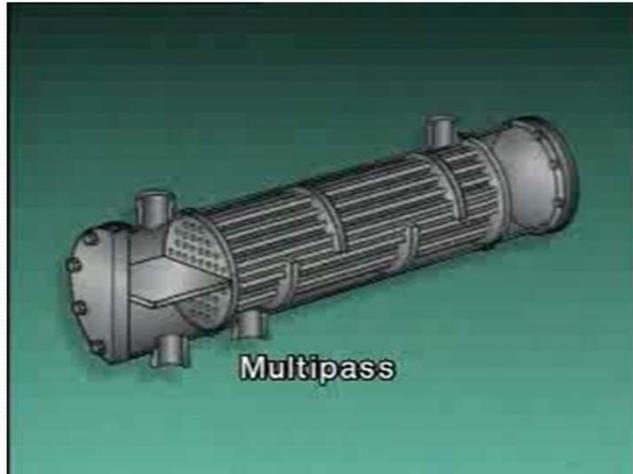
59

## TROCADOR DE CASCO E TUBOS



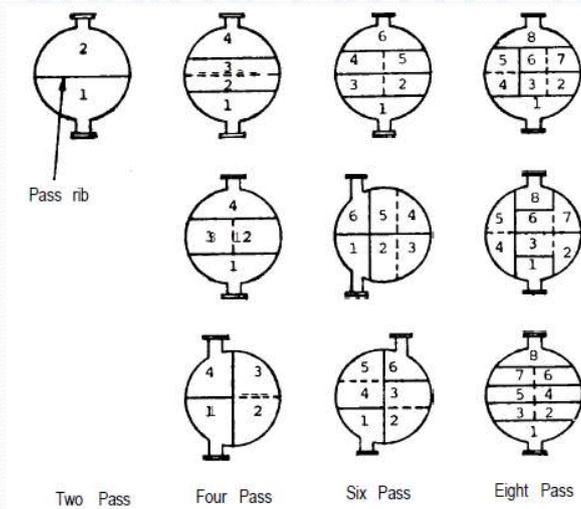
60

# TROCADOR DE CASCO E TUBOS



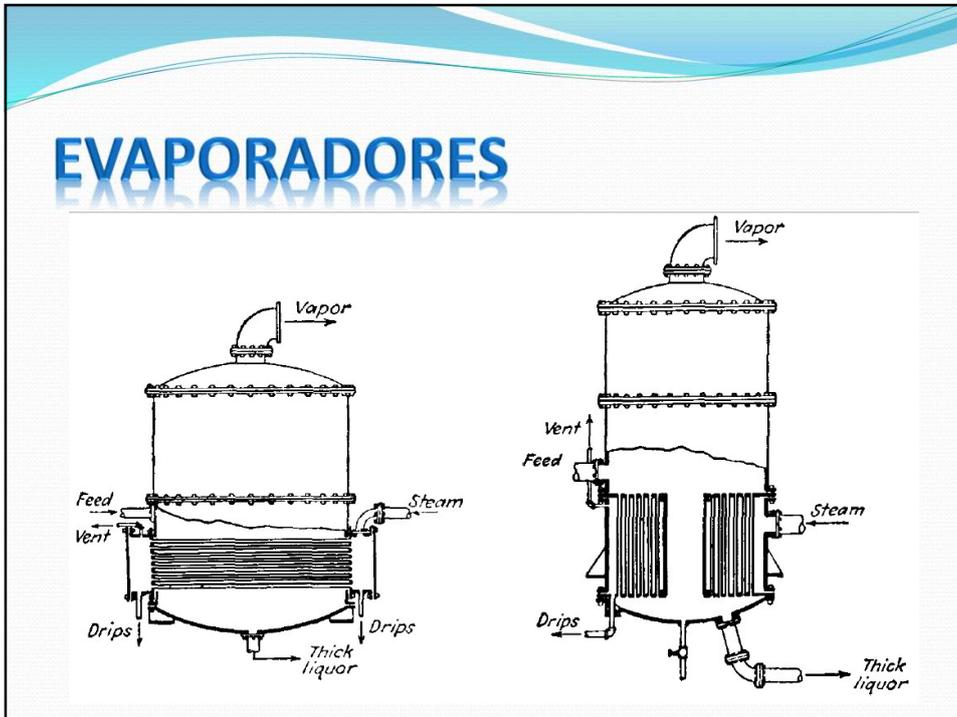
61

# TROCADOR DE CASCO E TUBOS



62

# EVAPORADORES



63

# CAMISAS E SERPENTINAS



64

## CAMISAS E SERPENTINAS



65