

USP - Escola de Engenharia de Lorena

OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

TROCADORES DE CALOR COM MUDANÇA DE FASE

Prof. Antonio Carlos da Silva

- 
- **TORRES DE RESFRIAMENTO**
 - **REFERVEDORES**
 - **CONDENSADORES**
 - **CALDEIRAS**

- 
- **TORRES DE RESFRIAMENTO**
 - REFERVEDORES
 - CONDENSADORES
 - CALDEIRAS

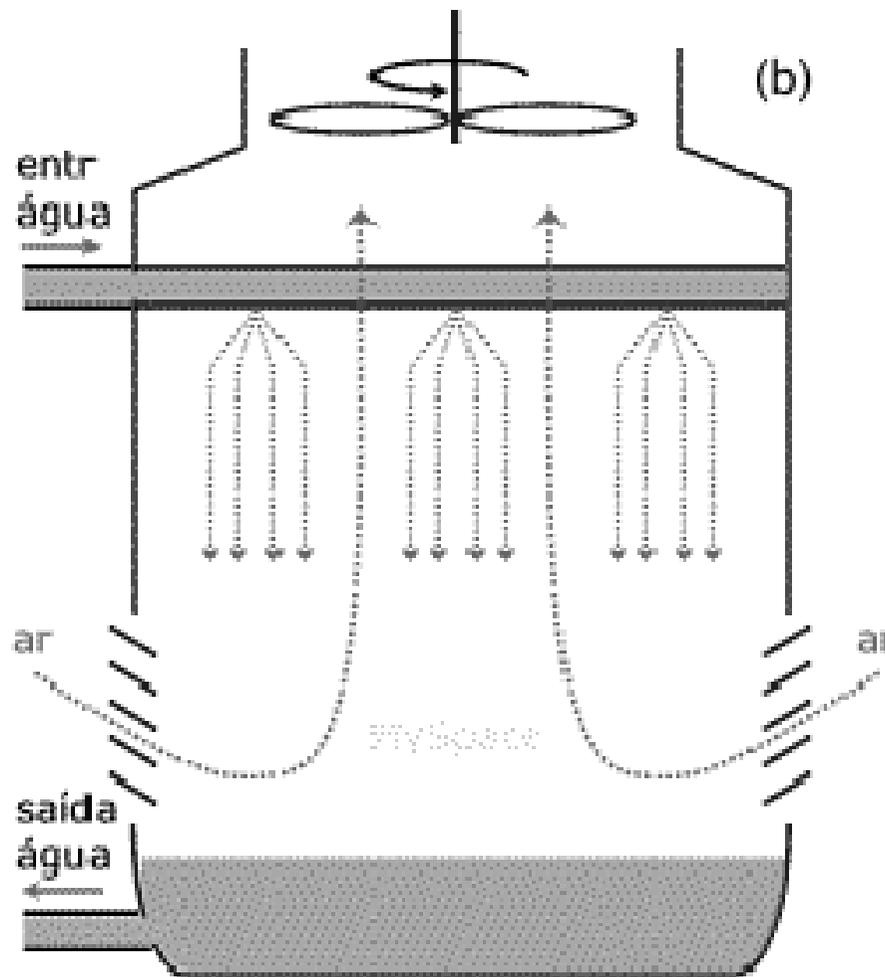
TORRES DE RESFRIAMENTO

- **FINALIDADE:**
- Uma **torre de resfriamento** ou **torre de arrefecimento** é um dispositivo de remoção de calor usado para transferir calor residual de processo para a atmosfera. As torres de resfriamento podem utilizar a evaporação da água para remover o calor de processo e resfriar o fluido de trabalho para perto da temperatura de bulbo úmido ou utilizar somente ar para resfriar o fluido de trabalho para perto da temperatura de bulbo seco.
- As aplicações mais comuns incluem o resfriamento da água que circula nas refinarias de petróleo, indústrias químicas, estações de energia e refrigeração do edifício.

TORRES DE RESFRIAMENTO

- Torres de resfriamento são um tipo especial de trocador de calor. No trocador convencional, os fluidos são separados. Nas torres, ambos os fluidos - ar e água - estão fisicamente em contato. Nessa condição, a troca se dá principalmente por evaporação, o que se mostra mais eficiente.
- O princípio de funcionamento é bastante simples. Um ventilador no topo provoca um fluxo ascendente de ar que encontra o fluxo descendente da água. Na prática existem outros arranjos e também recursos para maximizar o contato do ar com a água, como chapas, colméias e outros.
- Em muitos casos, torres formam uma espécie de central de resfriamento, isto é, os fluidos de vários equipamentos são resfriados por água que passa por trocadores tubulares e a água aquecida é resfriada por uma ou várias torres de resfriamento.

TORRES DE RESFRIAMENTO



TORRES DE RESFRIAMENTO

- Na torre de resfriamento, o contato direto entre água e ar produz duas parcelas de troca de calor: a sensível devido ao aumento de temperatura do ar e a latente devido à evaporação da água.
- Considera-se uma torre de resfriamento ideal. Nela, não há troca através das paredes e o ar evapora o máximo possível de água, isto é, na saída ele tem a máxima quantidade de vapor d'água que pode conter, significando que está saturado.

TORRES DE RESFRIAMENTO

Mistura ar e vapor d'água

A mistura de ar e vapor d'água é um caso particularmente importante no estudo e cálculos de torres de resfriamento.

A quantidade máxima de água que o ar pode conter sob uma determinada temperatura equivale à quantidade de vapor d'água com pressão parcial igual à pressão de saturação da água nesta temperatura. Nessas condições, o ar é dito **saturado**. Se a quantidade é menor, o ar é dito não saturado e o vapor d'água está no estado **superaquecido**.

TORRES DE RESFRIAMENTO

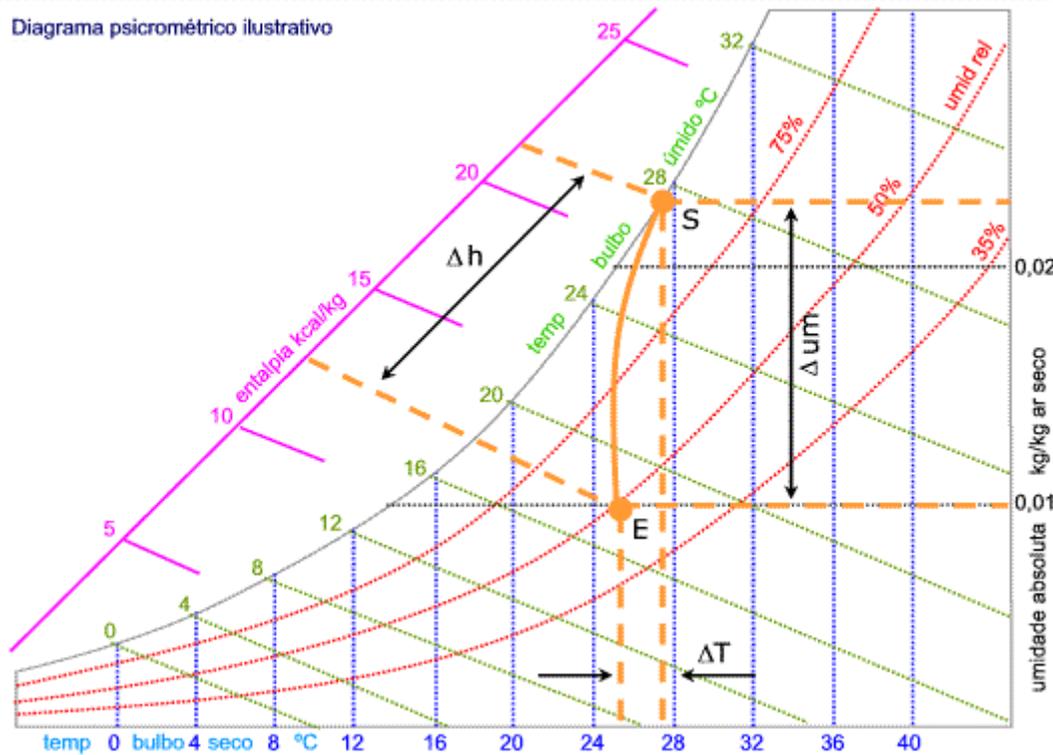
Mistura ar e vapor d'água

Várias propriedades são consideradas para a mistura ar-vapor d'água:

- **Temperatura de bulbo seco:** é a temperatura indicada por um termômetro comum.
- **Temperatura de bulbo úmido:** é a temperatura indicada por um termômetro cujo bulbo está envolto por um pavio molhado.
- **Umidade absoluta:** massa de vapor d'água por unidade de massa de ar seco.
- **Umidade relativa:** relação entre a pressão parcial do vapor d'água e a pressão de saturação do vapor na mesma temperatura.

TORRES DE RESFRIAMENTO

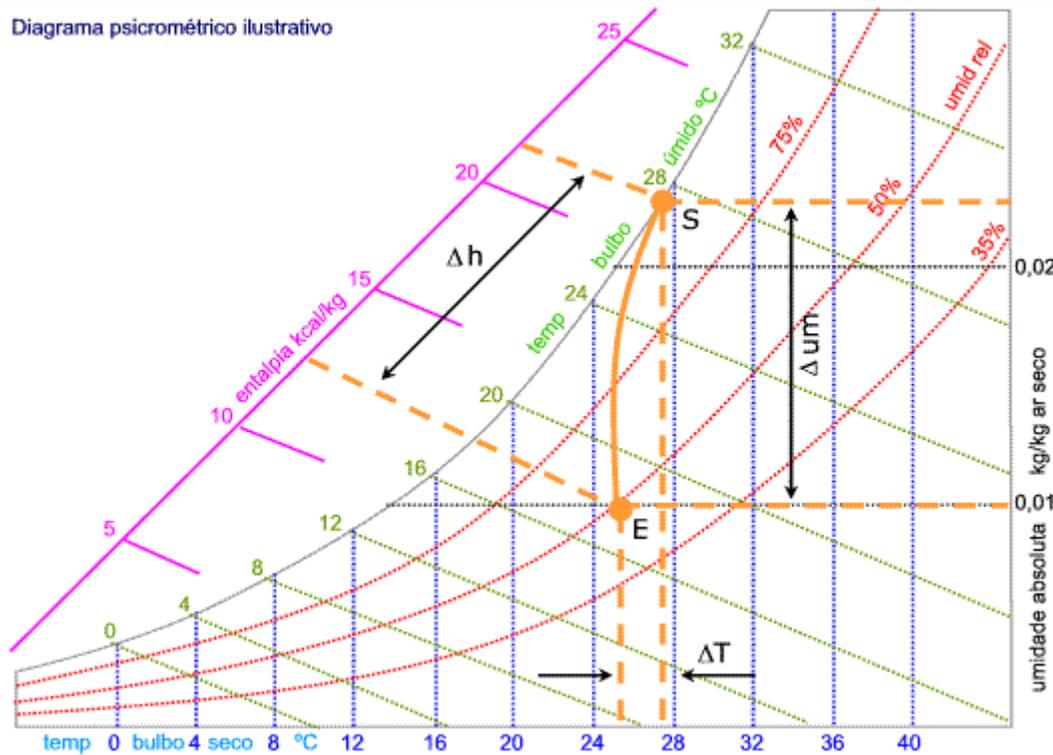
Diagrama psicrométrico ilustrativo



No diagrama, estão indicadas as variações das condições térmicas do ar ao passar pela torre ideal. Na entrada, ponto E, ele está nas condições do ambiente. Na saída, ponto S, ele está saturado (umidade relativa 100%).

TORRES DE RESFRIAMENTO

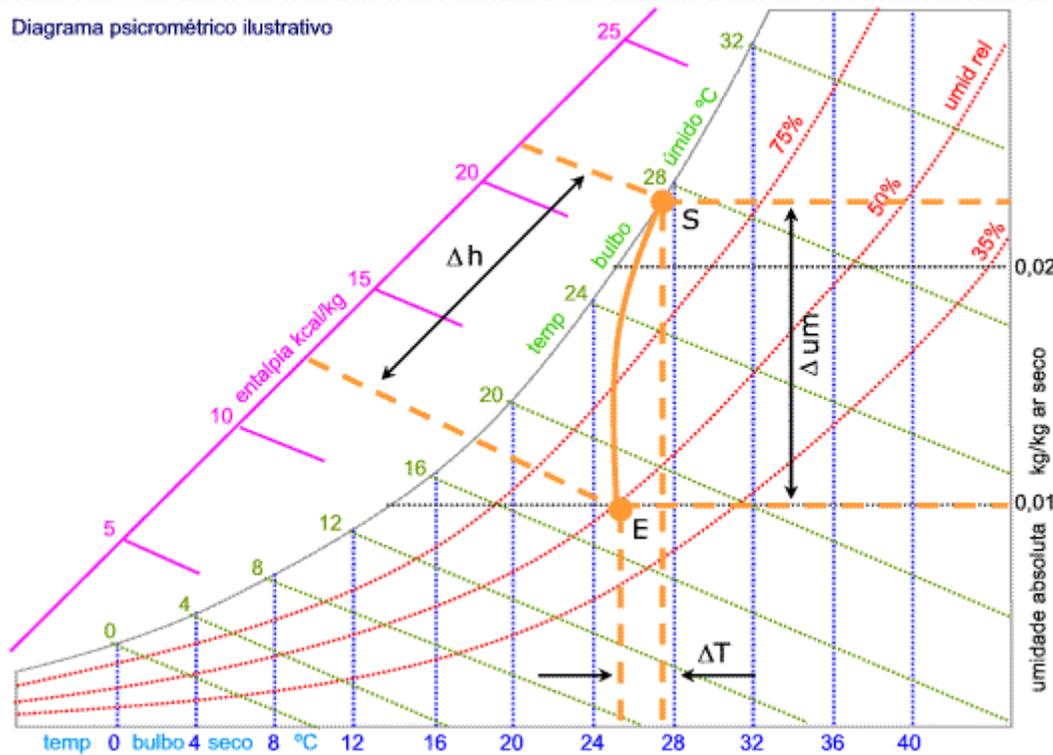
Diagrama psicrométrico ilustrativo



Então, o aumento de entalpia Δh corresponde à quantidade total de calor trocado com a água. O aumento de temperatura de bulbo seco ΔT é devido à parcela de calor sensível trocada e o aumento de umidade absoluta Δum , à parcela de calor latente removido da água.

TORRES DE RESFRIAMENTO

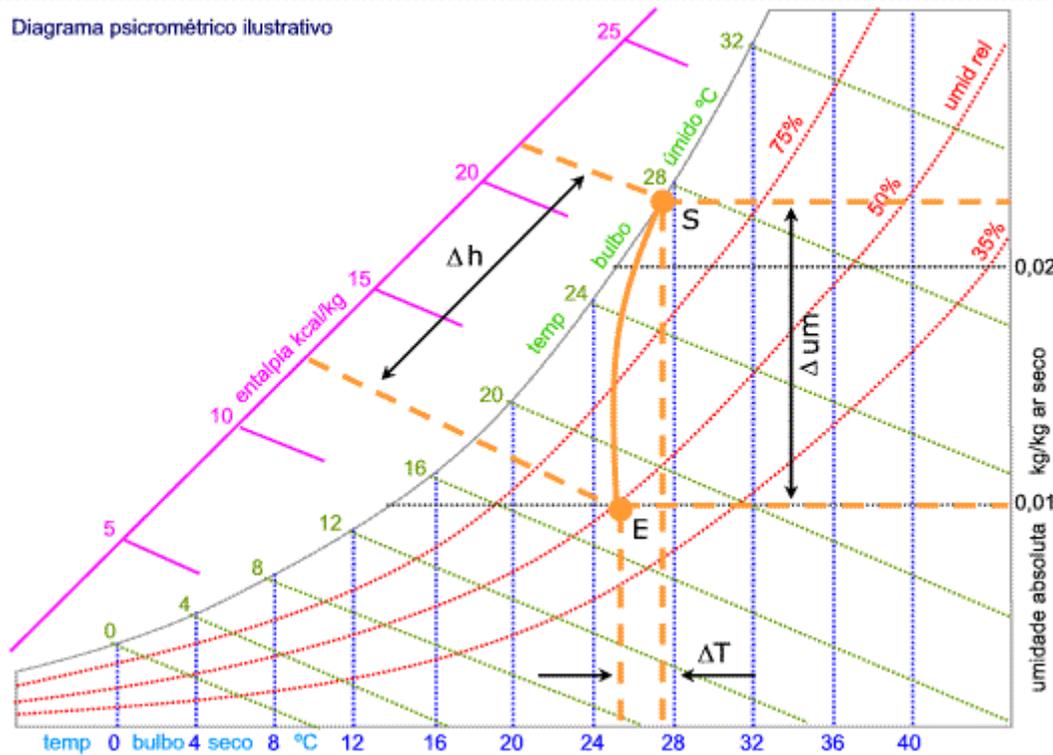
Diagrama psicrométrico ilustrativo



Então, o aumento de entalpia Δh corresponde à quantidade total de calor trocado com a água. O aumento de temperatura de bulbo seco ΔT é devido à parcela de calor sensível trocada e o aumento de umidade absoluta Δum , à parcela de calor latente removido da água.

TORRES DE RESFRIAMENTO

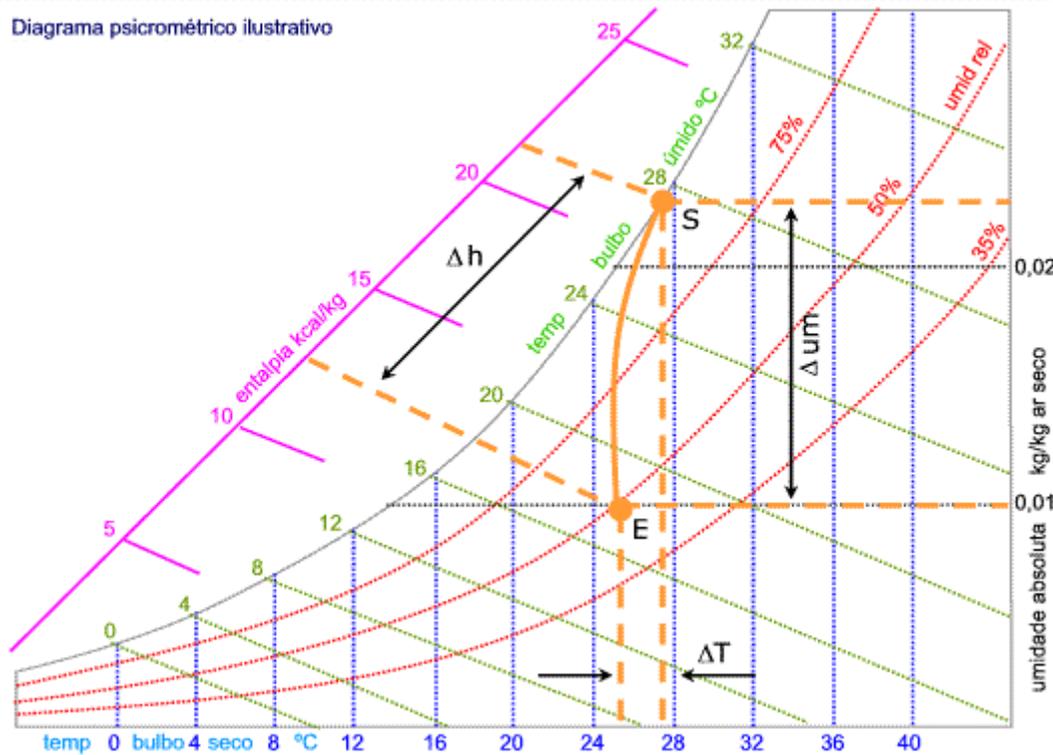
Diagrama psicrométrico ilustrativo



Em princípio, pode parecer que o projeto de uma torre é bastante simples. Mas não é bem assim. Só pelas variáveis psicrométricas, não dá para estabelecer, por exemplo, uma relação entre o calor trocado e as dimensões físicas da mesma. Deve-se considerar que a água evaporada precisa ser reposta e, portanto, a saída de água será uma mistura desses dois fluxos.

TORRES DE RESFRIAMENTO

Diagrama psicrométrico ilustrativo

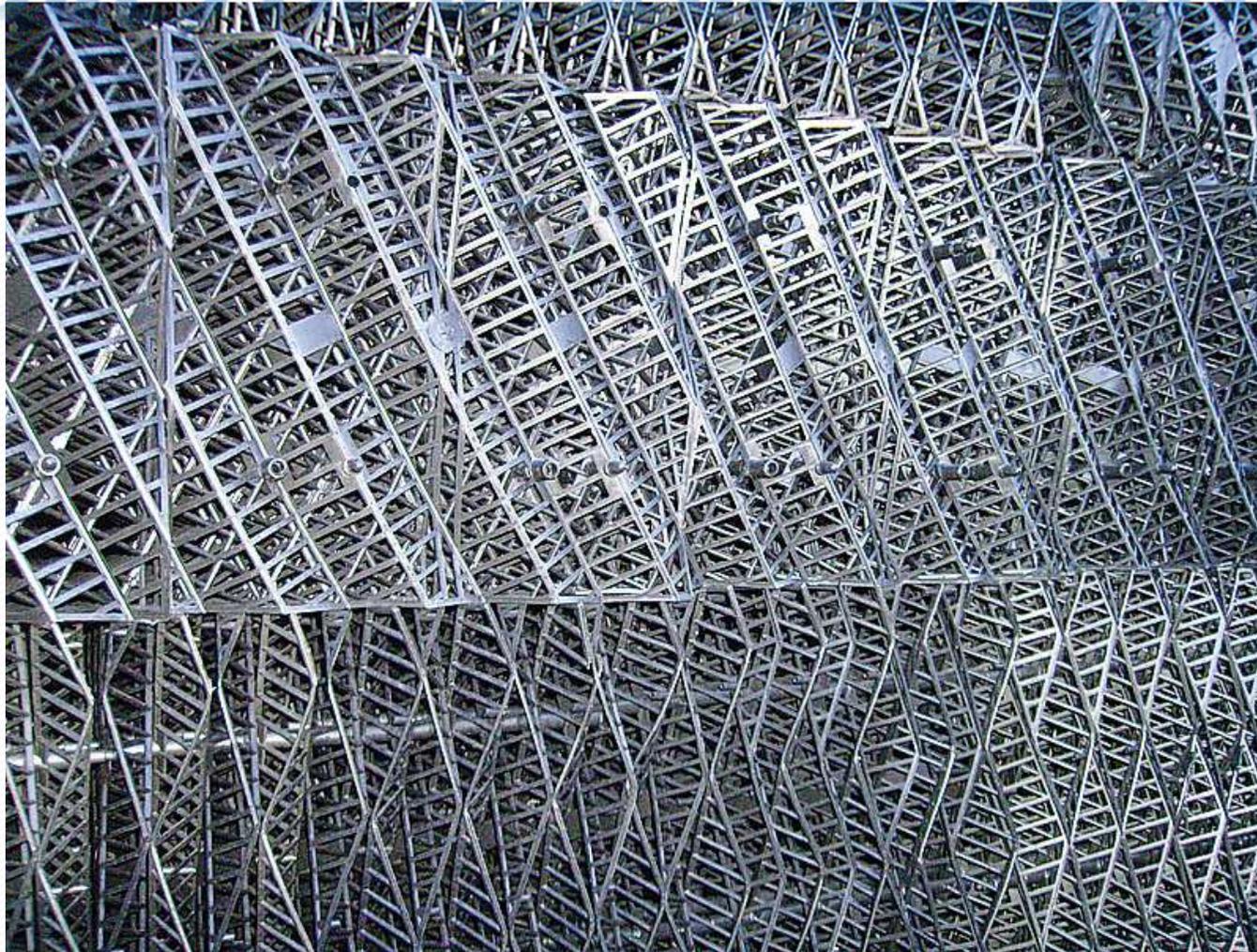


Nas torres reais, o ar na saída não está 100% saturado, uma parte da água é arrastada em forma de gotículas, isto é, não é evaporada e também deve ser reposta.

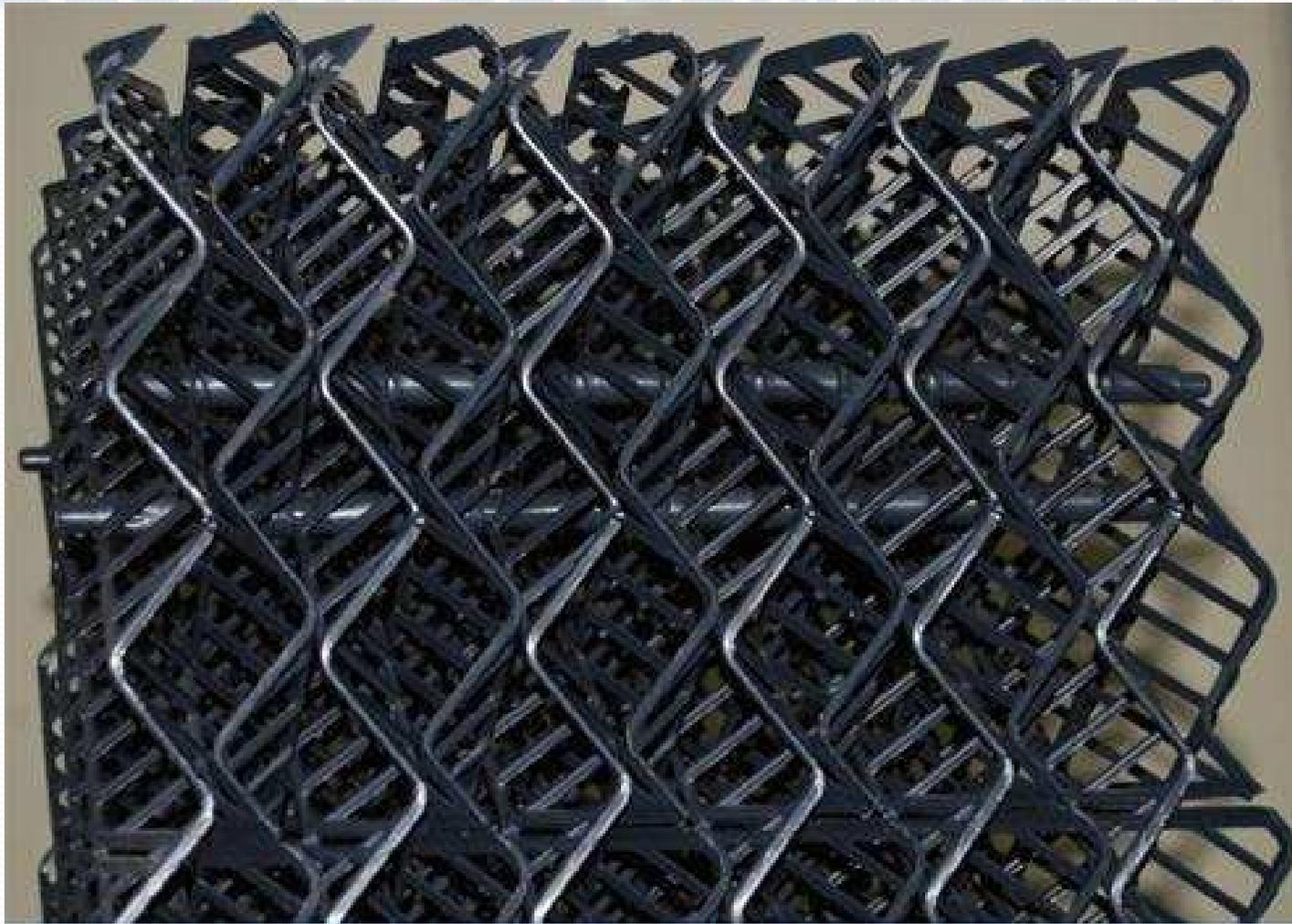
TORRES DE RESFRIAMIENTO



TORRES DE RESFRIAMIENTO



TORRES DE RESFRIAMIENTO



TORRES DE RESFRIAMENTO

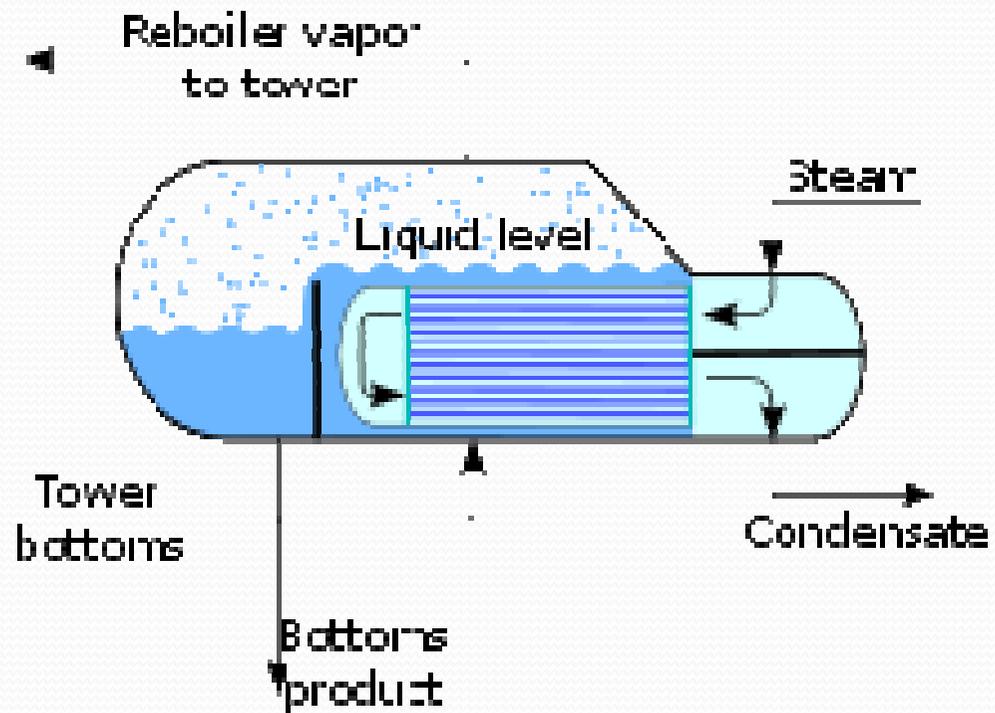


TORRES DE RESFRIAMIENTO

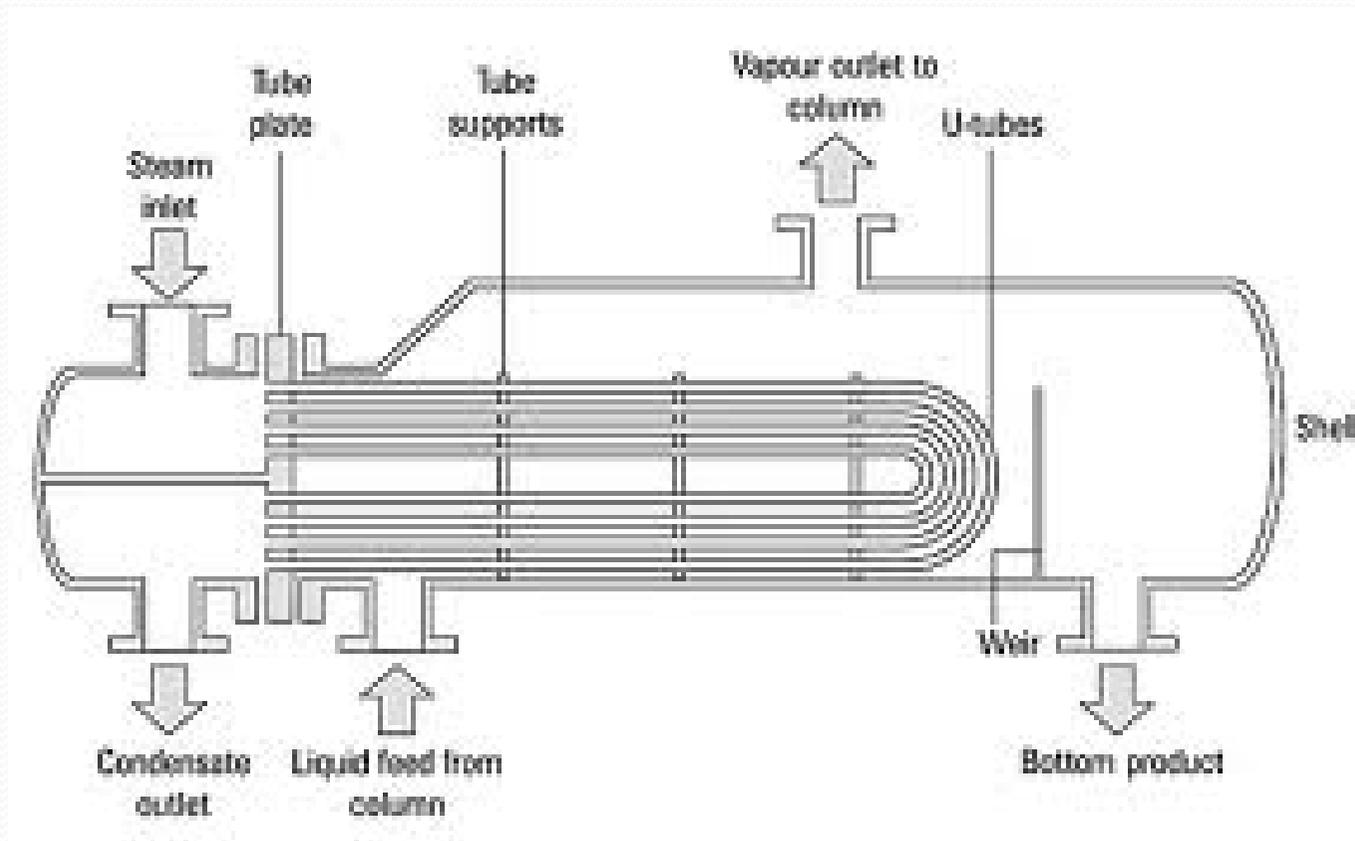


- 
- TORRES DE RESFRIAMENTO
 - **REFERVEDORES**
 - CONDENSADORES
 - CALDEIRAS

REFERVEDORES



REFERVEDORES

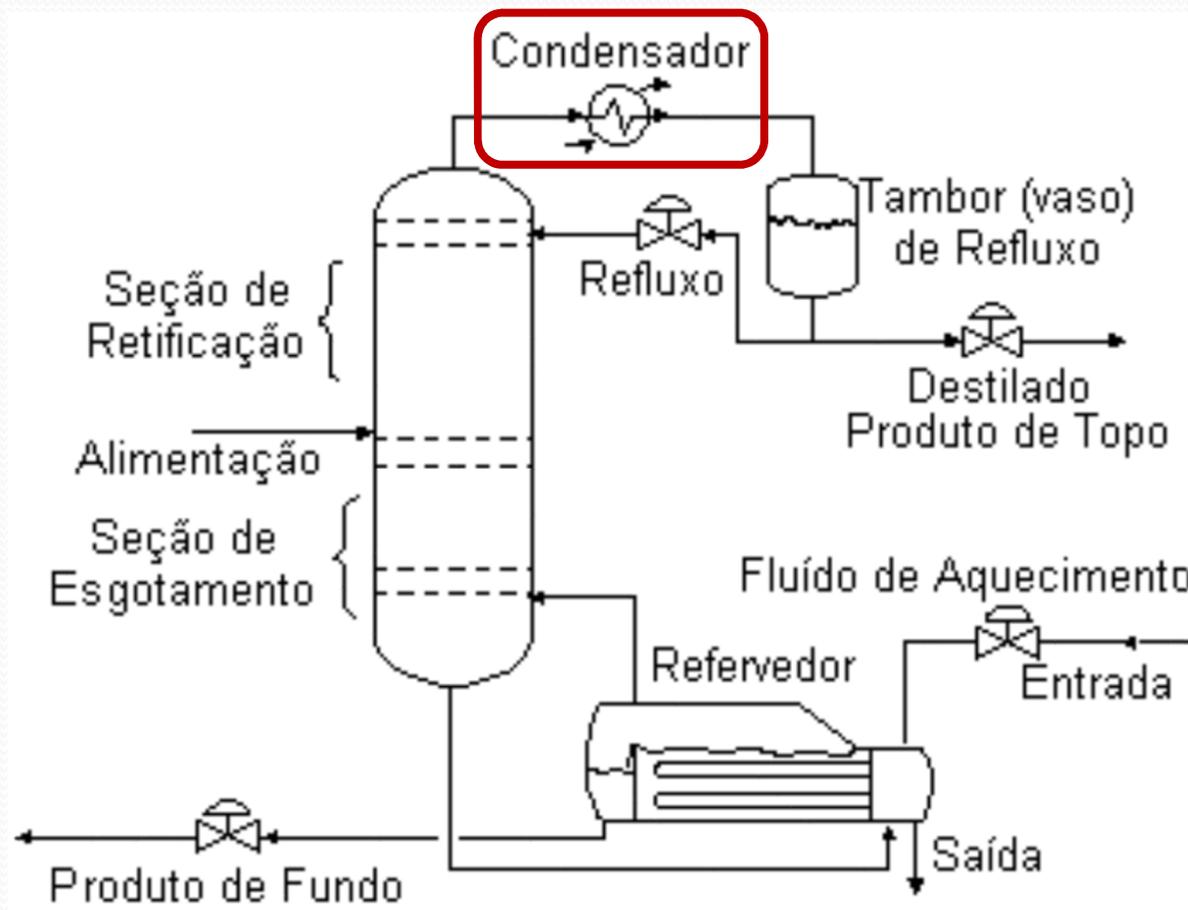


REFERVEDORES



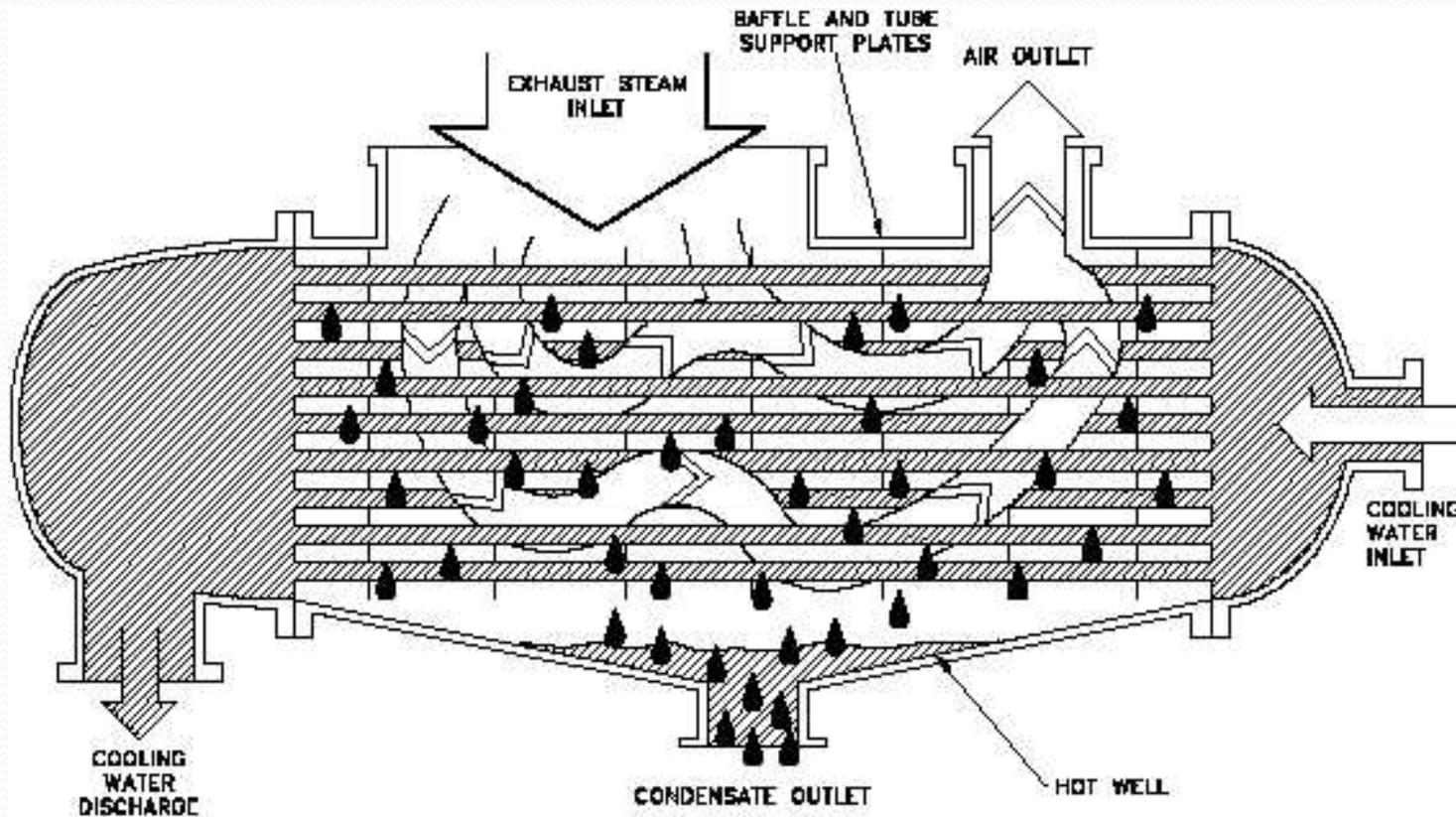
- 
- TORRES DE RESFRIAMENTO
 - REFERVEDORES
 - **CONDENSADORES**
 - CALDEIRAS

CONDENSADOR

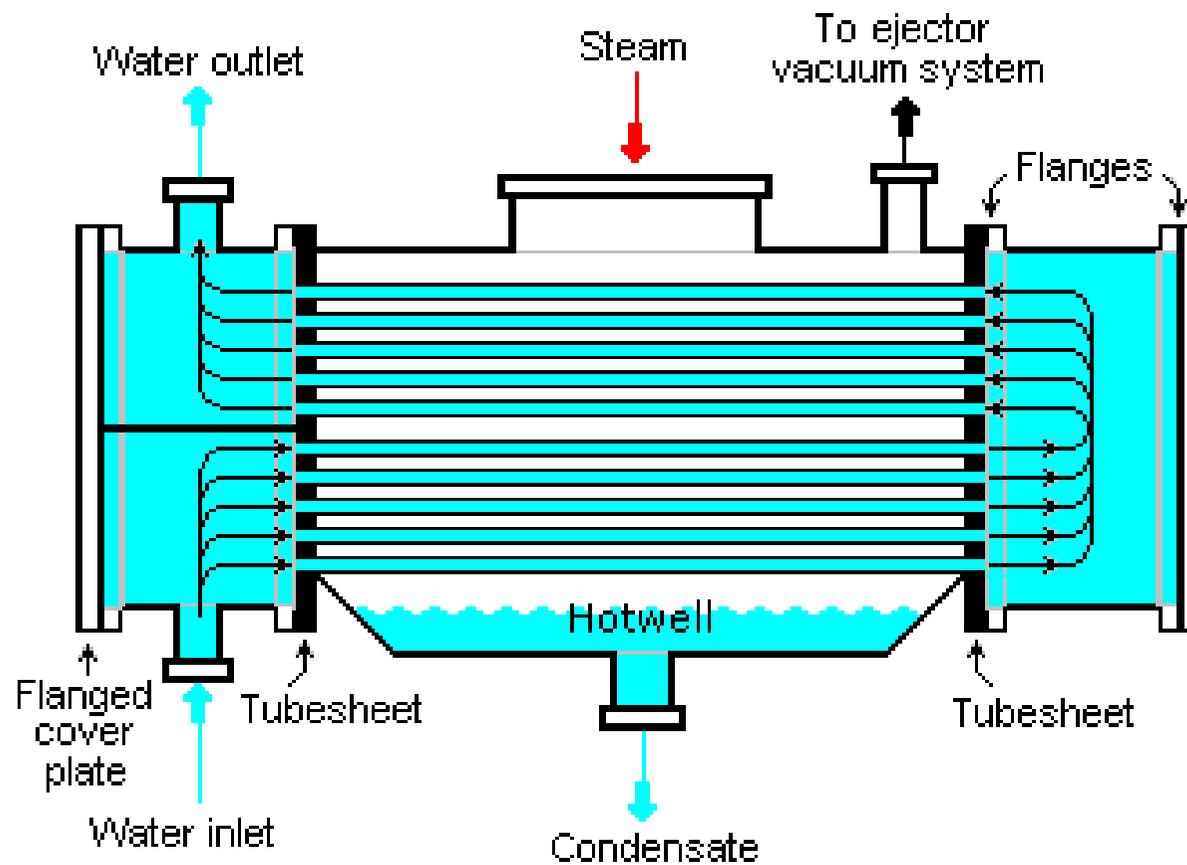


**Destilação
com
retificação**

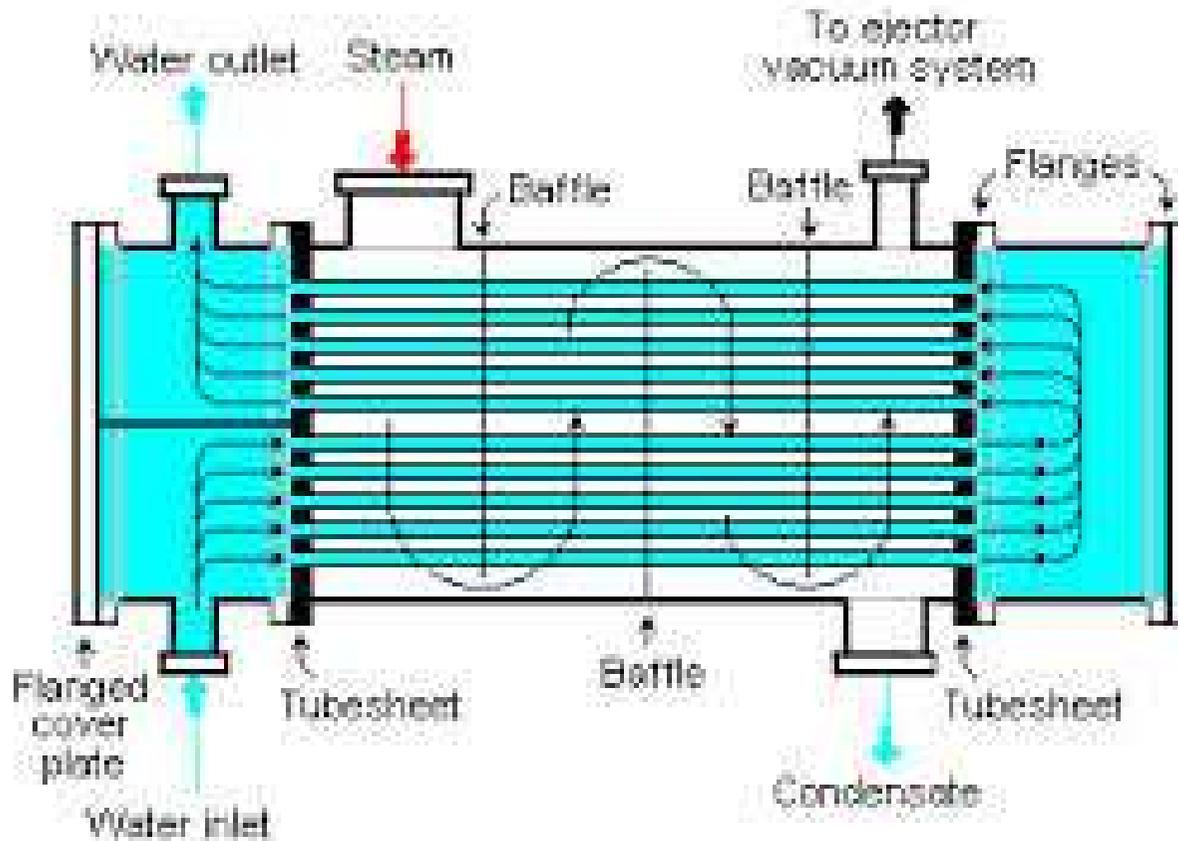
CONDENSADOR



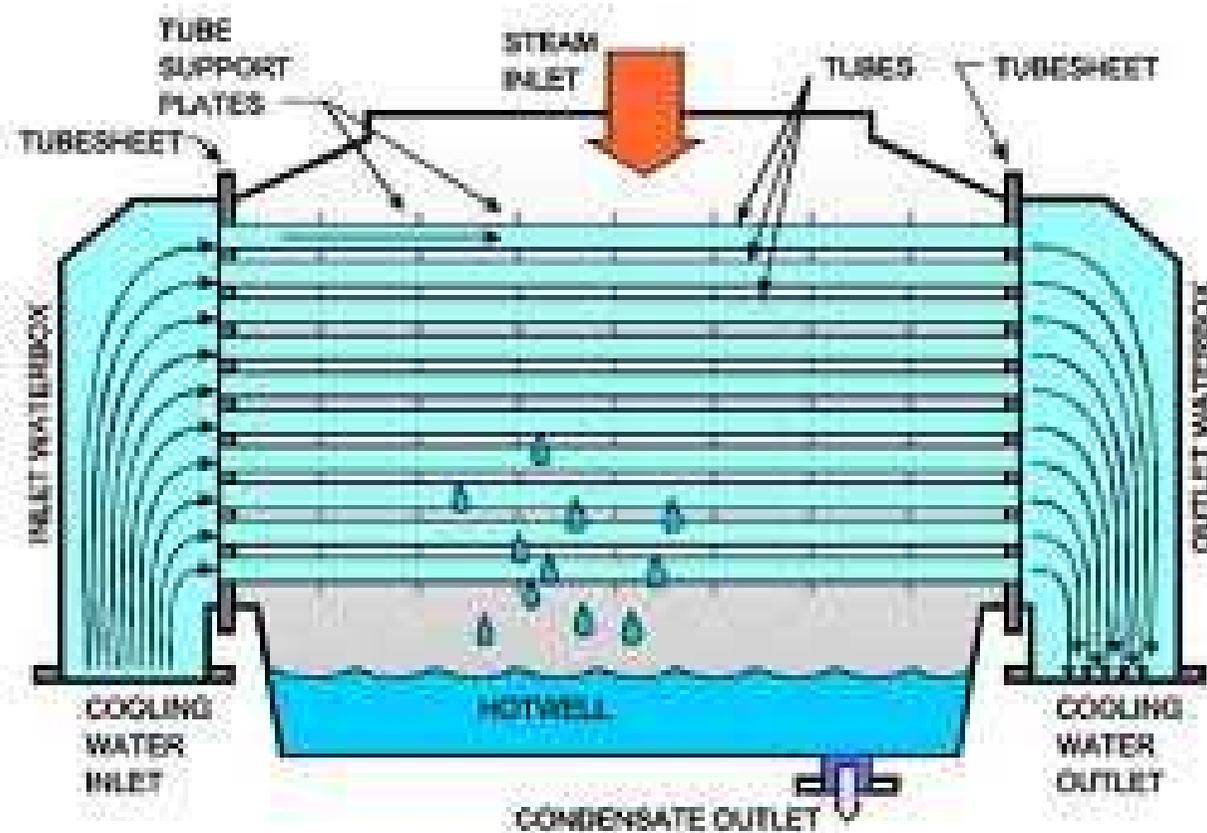
CONDENSADOR



CONDENSADOR



CONDENSADOR



CONDENSADOR

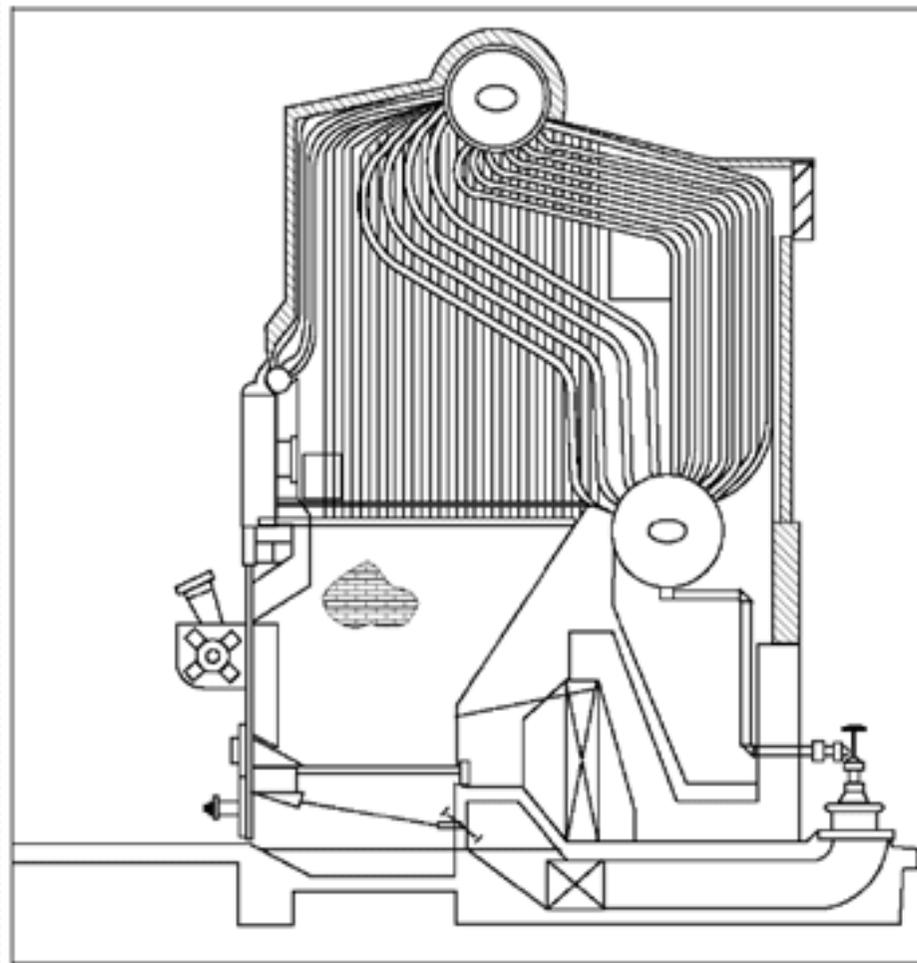


CONDENSADOR



- 
- **TORRES DE RESFRIAMENTO**
 - **REFERVEDORES**
 - **CONDENSADORES**
 - **CALDEIRAS**

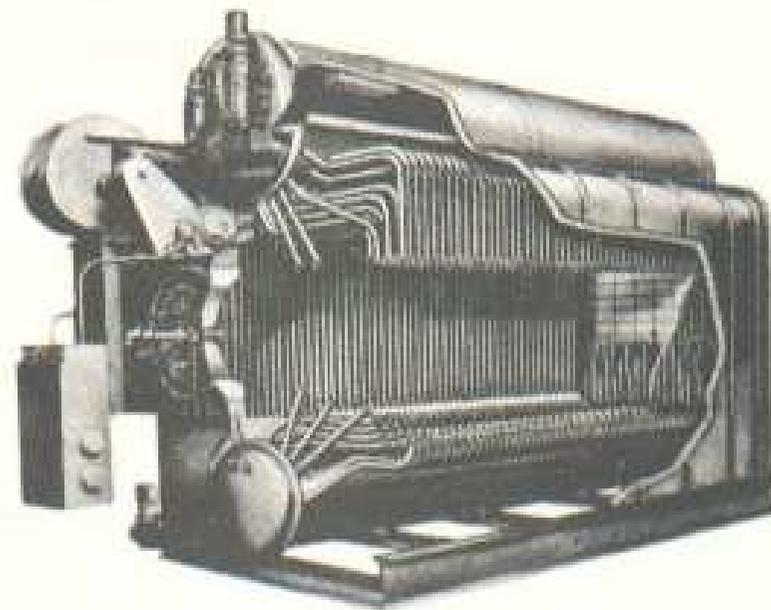
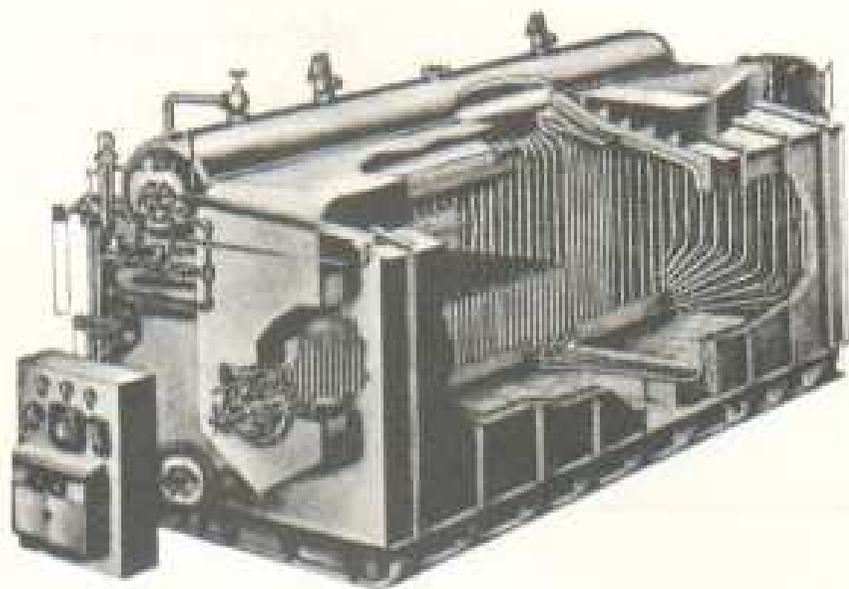
CALDEIRAS AQUATUBULARES



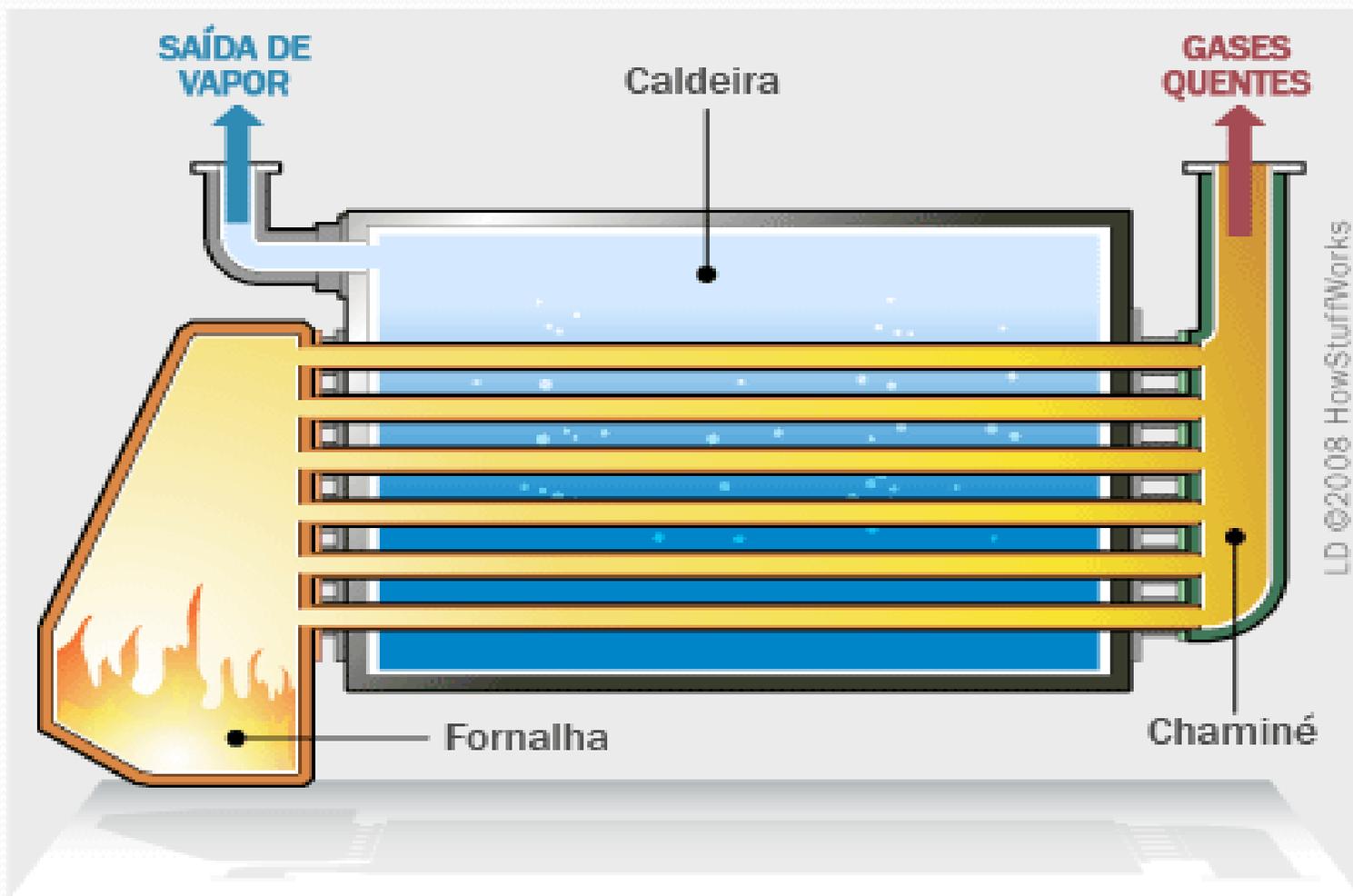
CALDEIRAS AQUATUBULARES



CALDEIRAS AQUATUBULARES



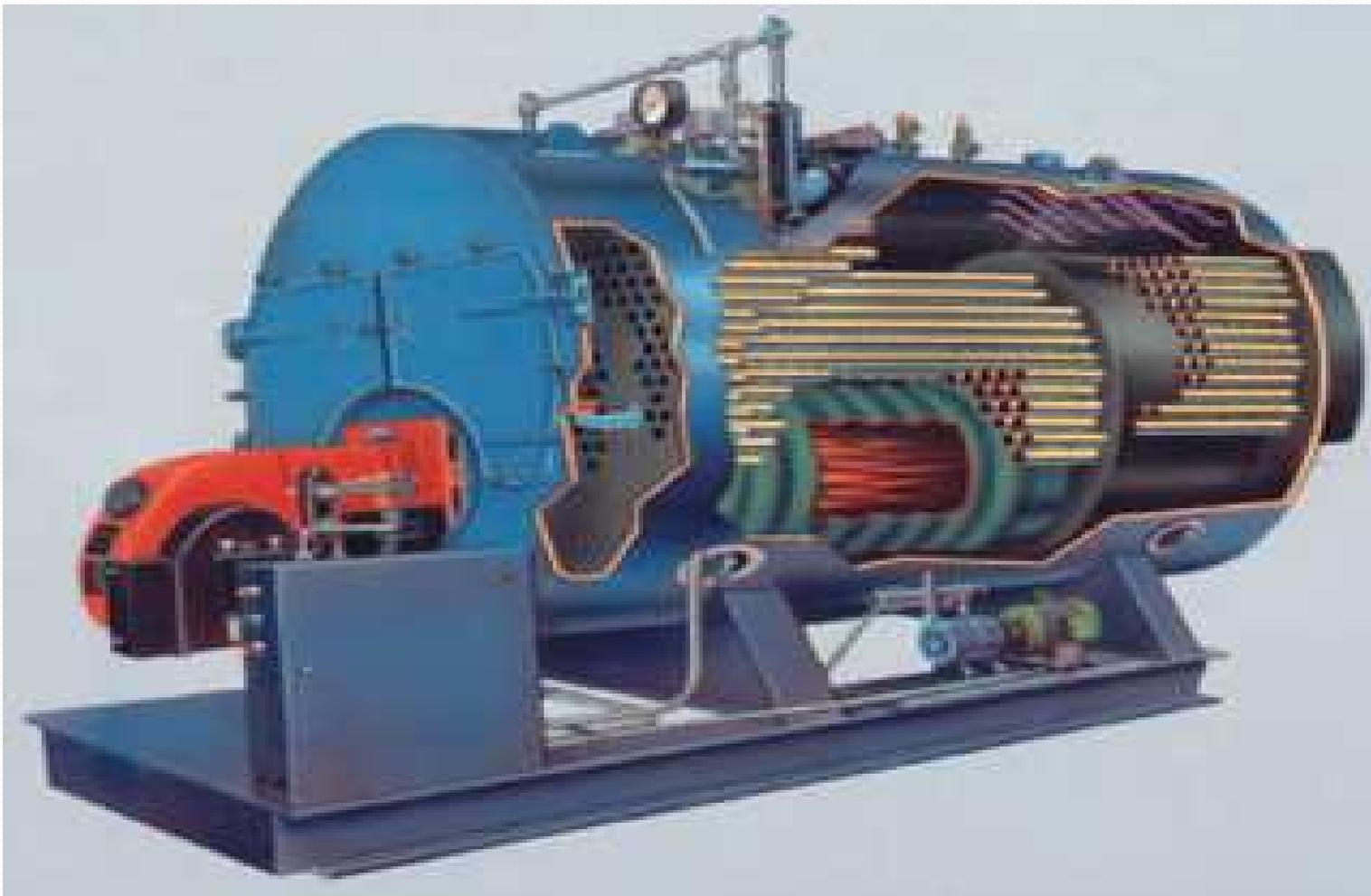
CALDEIRAS FLAMOTUBULARES



CALDEIRAS FLAMOTUBULARES



CALDEIRAS FLAMOTUBULARES



CALDEIRAS FLAMOTUBULARES





EEL-USP

Escola de Engenharia de Lorena - USP



Escola de Engenharia de Lorena - USP