

7 TORRES DE RESFRIAMENTO E CONDENSADORES EVAPORATIVOS

A maioria dos equipamentos dos sistemas de refrigeração rejeita calor para a atmosfera. Embora existam aplicações onde o calor rejeitado do ciclo é usado para outras aplicações, como em algumas bombas de calor, e outras aplicações onde o calor é rejeitado para uma massa de água, a maioria dos sistemas de refrigeração rejeita calor para o ar ambiente. Um tipo de equipamento para realizar a troca de calor é o condensador resfriado a ar, porém outra concepção é rejeitar para o ambiente pelo contato direto com a água, onde um processo combinado de transferência de calor e massa ocorre. A temperatura de condensação poder ser usualmente mantida em níveis mais baixos com um dos equipamentos evaporativos do que com um condensador resfriado a ar, porque a temperatura de condensação em uma torre de resfriamento ideal ou em um condensador evaporativo aproxima-se da temperatura de bulbo úmido do ar em contraste com o condensador resfriado a ar onde a temperatura de condensação aproxima-se da temperatura de bulbo seco do ar. As razões físicas também devem ser consideradas para escolha do equipamento.

7.1 TORRES DE RESFRIAMENTO

Em uma torre de resfriamento (fig. 71), a água quente entra na parte superior da torre, sendo uniformemente distribuída pelos canais abertos ou através de um sistema de tubos e bicos de pulverização, e por gravidade, desce à bacia da torre, passando através do enchimento de contato.

A água quente, em contato com o ar troca calor e massa, nesta região da torre, uma pequena parte de água é evaporada o que causa o resfriamento.

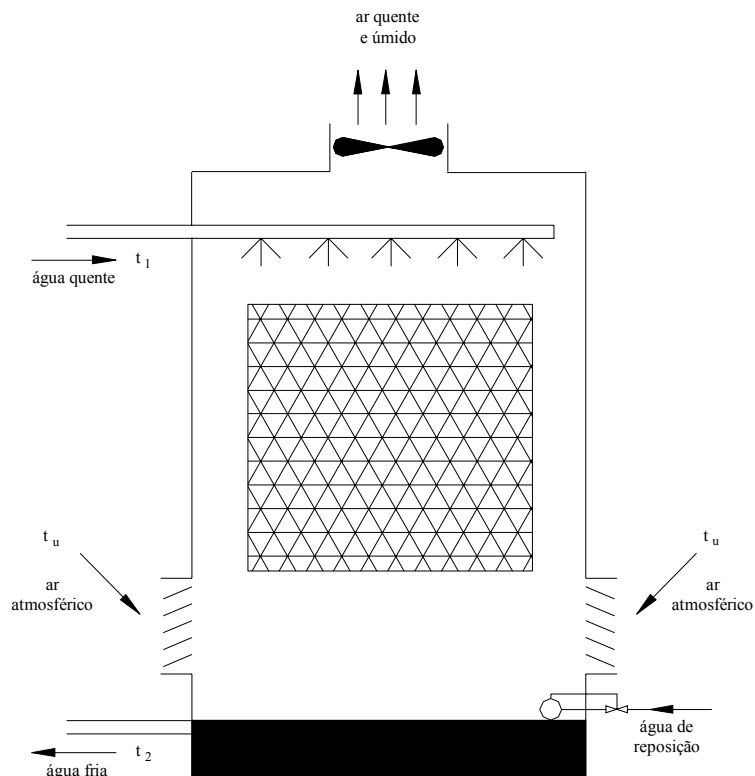
Instalado no topo da torre encontra-se um ventilador que provoca a retirada do ar saturado com vapor d' água.

Para que haja transferência de calor da água para o ar, é necessário que a temperatura de entrada da água na torre, t_1 seja maior que a temperatura de bulbo úmido do ar externo, t_u .

O ar em contato com a água eleva a temperatura de bulbo úmido, o que significa também que sai sob forma saturada. Este contato faz com que parte da água seja evaporada e deve ser repostada para não haver deficiência.

A torre deve ter uma ligação com a caixa d' água de abastecimento do prédio, que mantém o nível da bacia no fundo da torre, através de uma torneira-bóia.

FIGURA 71 - TORRE DE RESFRIAMENTO



As torres de resfriamento são empregadas em:

- instalações frigoríficas;
- instalações de ar condicionado;
- indústrias químicas;
- indústrias alimentícias;
- indústrias automotivas;
- indústrias em geral: compressores de ar, fundição de motores, processos com plásticos, transformadores, máquinas de solda, etc.

Conforme a maneira pela qual a corrente de ar entra em contato com a água as torres podem ser:

- ventilação natural (atmosférica);
- corrente de ar forçado;
- corrente de ar induzido.

A torre atmosférica (fig. 72a) é normalmente colocada na cobertura do prédio em instalações de ar condicionado e deve ficar localizada de modo a receber a incidência direta dos ventos dominantes, pois não possui ventiladores.

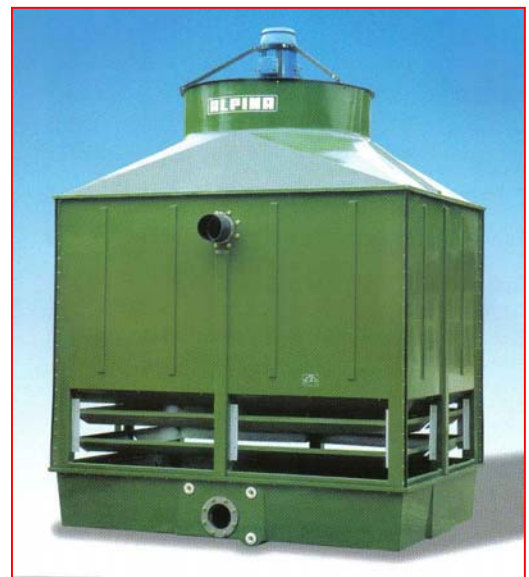
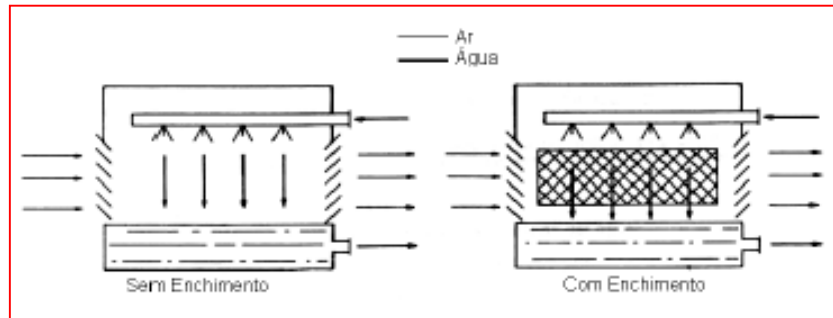
É constituída de venezianas de madeira ou de aço nos quatro lados, com pilares de ferro ou concreto nos cantos e uma bacia de madeira, aço, concreto ou alvenaria no fundo.

A torre de corrente de ar forçado (fig. 72b) pode ser colocada em qualquer ponto do prédio em contato com o exterior. Possui um ventilador lateral na parte inferior e pode ser fabricada de madeira, chapas metálicas ou fibra de vidro. Neste tipo de torre o ar é forçado contra a água borrifada que cai.

A torre de corrente de ar induzido (fig. 72c) deve ser instalada de preferência na cobertura do prédio. O ventilador fica localizado acima dos borrifadores.

A carcaça da torre pode ser de alvenaria, madeira ou fibra de vidro e deve possuir venezianas laterais para entrada do ar. A bacia fica localizada no fundo da torre.

FIGURA 72 - a) TORRE ATMOSFÉRICA - b) TORRE DE CORRENTE DE AR FORÇADA - c) TORRE DE CORRENTE DE AR INDUZIDO



No contato entre ar e água, esta cede calor ao ar ascendente por evaporação e convecção.

A quantidade de calor, dQ cedida ao ar por uma partícula de água com uma superfície, dS é dada pela equação de Merkel:

$$dQ = \delta(h - h_0)dS \quad (54)$$

onde,

dQ quantidade de calor, W

h entalpia do ar saturado (após o contato com a partícula), kJ/kg

h_0 entalpia do ar não saturado, kJ/kg

δ coeficiente de evaporação que depende das condições de escoamento na superfície-limite ar/água, $\frac{\text{kg}}{\text{m}_2} \times \text{h}$.

dS superfície da partícula, m^2

Os fatores δ e dS são dependentes das dimensões físicas do resfriador, portanto a capacidade de resfriamento, Q de uma determinada unidade é função das condições atmosféricas e da transferência de calor expressas por $(h - h_0)$.

O resfriador ideal seria aquele que lançasse na atmosfera o ar com temperatura igual à da água quente e completamente saturado, ou seja, $(h - h_0)$, sendo máximo.

A diferença entre as entalpias do ar na entrada e na saída depende da queda de temperatura da água na entrada e na saída e da relação dos volumes de água e do ar em jogo no sistema, ou seja:

$$h_2 - h_1 = \frac{V_w}{V_a} (t_{w1} - t_{w2}) \quad (55)$$

onde

h_1 entalpia do ar na entrada
 h_2 entalpia do ar na saída
 V_w volume da água pulverizada ou gotejada
 V_a volume do ar
 t_{w1} temperatura da água na entrada
 t_{w2} temperatura da água na saída

A temperatura de bulbo úmido do ar do ambiente é o limite físico mínimo ao qual pode ser resfriada a água em circulação no resfriador, por evaporação.

Assim, temos a definição de aproximação (approach):

$$a = (t_{w2} - t_u) \quad (56)$$

onde

t_{w2} temperatura da água resfriada, $^{\circ}\text{C}$
 t_u temperatura de bulbo úmido do ar do ambiente, $^{\circ}\text{C}$

Quanto menor o approach, a tanto menor pode ser o resfriador, pois maior será a diferença de entalpias do ar $(h - h_0)$.

A seleção correta da torre de resfriamento depende da:

- carga térmica;
- temperatura de entrada da água quente, t_{w1}
- temperatura de saída da água fria, t_{w2}
- temperatura de bulbo úmido do ar ambiente, t_u

De acordo com a experiência, nas instalações de ar condicionado ou frio industrial devem-se usar os seguintes valores:

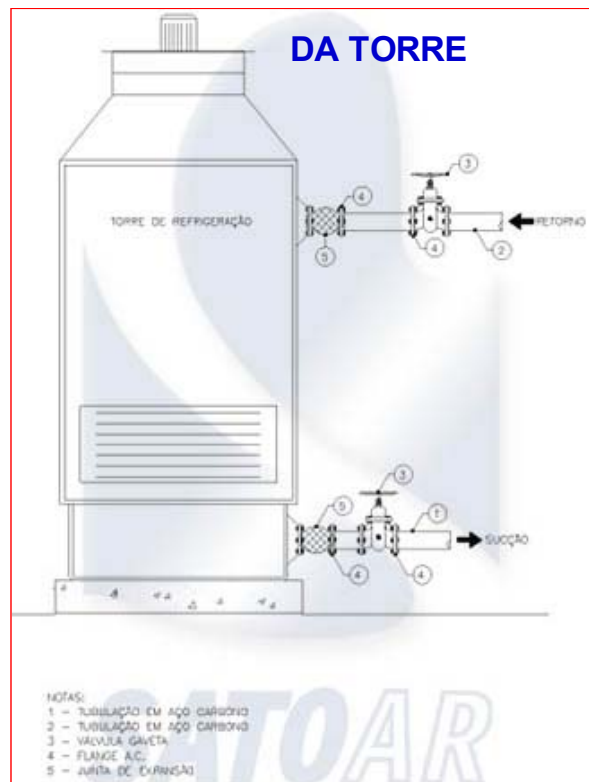
- $a = 3$ a $5,5^{\circ}\text{C}$
- $t_{w2} - t_{w1} = 4$ a $5,5^{\circ}\text{C}$
- água de circulação: 0,68 a 1,36 $\text{m}^3/\text{h}/\text{TR}$

Recomenda-se os seguintes cuidados com relação a localização e instalação das torres de resfriamento:

- o local deve ser bem ventilado, longe de influências de prédios vizinhos;
- a instalação da torre num determinado local não deve provocar problemas de ruídos em áreas vizinhas;
- o local deve estar protegido de gases de exaustão de altas temperaturas;
- o local não deve ser muito sujo;
- deve estar o mais próximo possível da máquina de refrigeração;
- deve apresentar fácil acesso para os serviços de instalação manutenção e inspeção.
- os parafusos de fixação devem estar firmemente chumbados na fundação;
- as torres devem estar perfeitamente niveladas;
- o tanque de água da torre deve estar num nível superior ao da sucção da bomba;
- cuidados devem ser tomados para não haver recirculação do ar de saída da torre;
- as torres de resfriamento devem estar distanciadas, entre si, de pelo menos 2 m e protegidas contra a propagação de incêndio;
- a distância entre uma torre de resfriamento e qualquer abertura (porta, janela, etc.) de um edifício deve ser superior a 3 m, a abertura deve ter uma porta contra incêndios.
- para o caso de torre construída no local deve-se prever um espaço adequado para os serviços de construção da fundação e da instalação, assegurando uma perfeita construção da torre.
- a torre de resfriamento deve ser protegida contra faíscas do serviço de soldagem em sua instalação.

A (fig. 73) ilustra as ligações hidráulicas típicas de uma torre de resfriamento.

FIGURA 73 - LIGAÇÕES TÍPICAS DE UMA TORRE DE RESFRIAMENTO

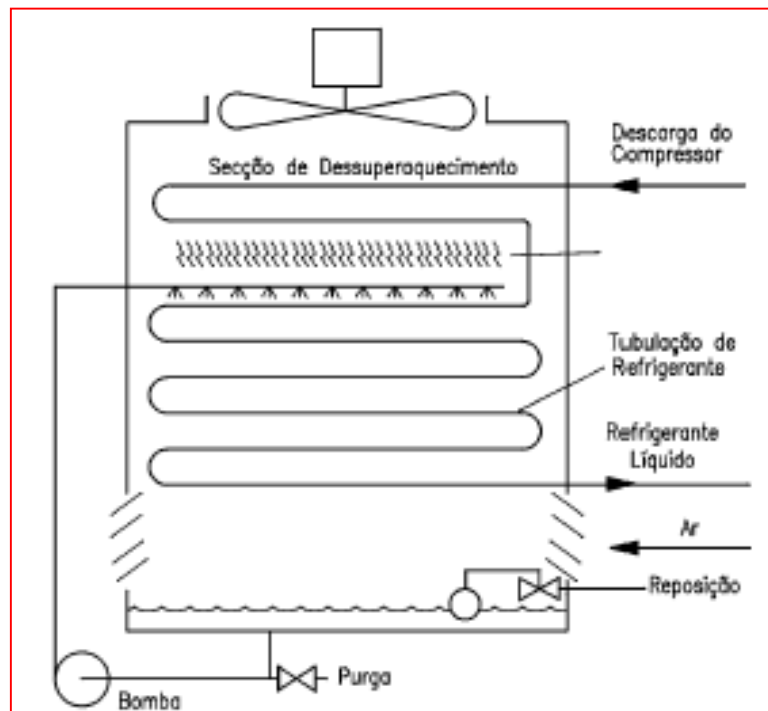


7.2 CONDENSADORES EVAPORATIVOS

O condensador evaporativo é uma composição de condensador e torre de resfriamento em um só equipamento. A (fig. 74), mostra os elementos de um condensador evaporativo. O gás quente oriundo do compressor passa pelas serpentinas de condensação, onde recebe a água borrifada; nessa região, o gás cede calor à água e ao ar e se condensa, sendo depositado no receptor do líquido em alta pressão. Do receptor, o fluido frigorífico se desloca para a válvula de expansão e daí às serpentinas de expansão direta (evaporador), onde circula o ar que é refrigerado. No evaporador, o fluido se torna gasoso e novamente é aspirado pelo compressor pela linha de sucção.

A bomba d'água recebe a água depositada na bandeja e pressiona-a no distribuidor de água e borrifadores. A água espargida é lançada sobre as serpentinas de condensação, provoca troca de calor com o fluido quente e se evapora (calor latente de vaporização). O ar circulando sob a ação do ventilador mantém contato com as serpentinas e a água que lhe cede calor, é lançado ao exterior sob a forma quente e úmida, ou seja, praticamente saturado. À semelhança da torre, a temperatura de bulbo úmido do ar nunca é atingida pela água de retorno situada na bandeja. Haverá sempre um approach, da ordem de 5°C.

FIGURA 74 - CONDENSADOR EVAPORATIVO



Uma vantagem do desempenho da torre de resfriamento sobre o condensador evaporativo é que a temperatura de condensação pode tender para a temperatura de bulbo úmido ambiente. Como a temperatura de bulbo úmido é sempre igual ou menor que a temperatura de bulbo seco, o sistema de refrigeração pode operar com uma temperatura de condensação menor e portanto conservar energia comparativamente ao condensador resfriado a ar. Uma desvantagem da torre de resfriamento é que os custos de manutenção são habitualmente maiores que os do condensador resfriado a ar, e deve-se prestar atenção para prevenir o congelamento de água na torre de resfriamento, caso seja necessária sua operação durante épocas frias.

Uma situação que recomenda o emprego de torre de resfriamento é quando se torna impraticável o bombeamento do vapor de refrigerante a alta pressão do compressor para o trocador de calor por causa da distância ou da tubulação de grande dimensão, como no caso com refrigerantes de baixa densidade usados em sistemas com compressor centrífugo.

O condensador evaporativo encontra a mais larga aceitação em sistemas de refrigeração industrial. Tem a vantagem de proporcionar temperaturas de condensação baixas em climas quentes, particularmente em regiões não úmidas. Os sistemas de refrigeração industrial usualmente operam o ano todo; em épocas frias a água é freqüentemente drenada e o condensador evaporativo opera seco, evitando problemas de congelamento da água.