
TORRES DE RESFRIAMIENTO



Torres de Resfriamento

Introdução

Em muitos sistemas de refrigeração, ar condicionado e processos industriais, gera-se calor que deve ser extraído e dissipado. Geralmente utiliza-se água como elemento de resfriamento.

Se existe água disponível em quantidade suficiente e temperatura adequada, sem problemas econômicos ou ecológicos, basta utilizá-la de maneira contínua retirando, por exemplo, de um rio. Se esta solução não for possível ou for inviável economicamente ou ecologicamente, o procedimento mais comum é empregar uma torre de resfriamento que permite através da evaporação de uma pequena quantidade de água, transmitir calor para o ar de forma que água possa ser empregada novamente para resfriamento, devendo-se repor ao circuito apenas a parte de água perdida por evaporação. Assim, uma torre de resfriamento é uma instalação para resfriamento de água através do contato com o ar atmosférico, como mostra a Figura 1.

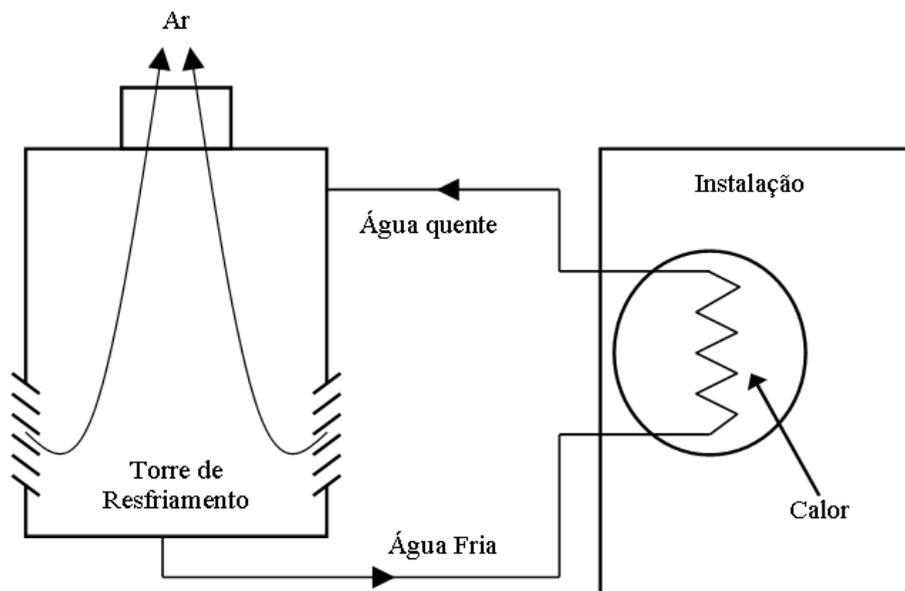


Figura 1: Instalação com torre de resfriamento.

Tipos de Torres de Resfriamento

Os métodos para expor a água à corrente de ar são numerosos, tendo cada um suas vantagens específicas que devem ser consideradas de acordo com a aplicação e o rendimento requeridos em cada caso.

Uma primeira classificação pode ser feita em função da forma com que a água é distribuída para se obter um bom contato com o ar ascendente. Existem dois métodos básicos: estender a água em finas camadas sobre superfícies ou produzir gotas através do choque da água em sua queda como mostra a Figura 2.

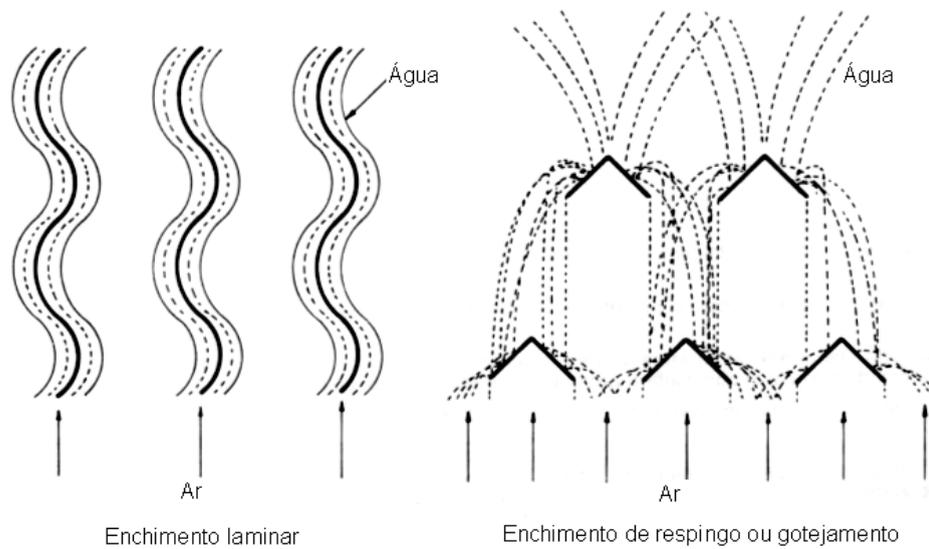


Figura 2: Sistemas de distribuição de água.

Uma segunda classificação é a que se baseia no fluxo relativo entre as correntes de água e ar (Figura 3). De acordo com esse critério tem-se:

- ✚ Torres de fluxo em contracorrente;
- ✚ Torres de fluxo cruzado.

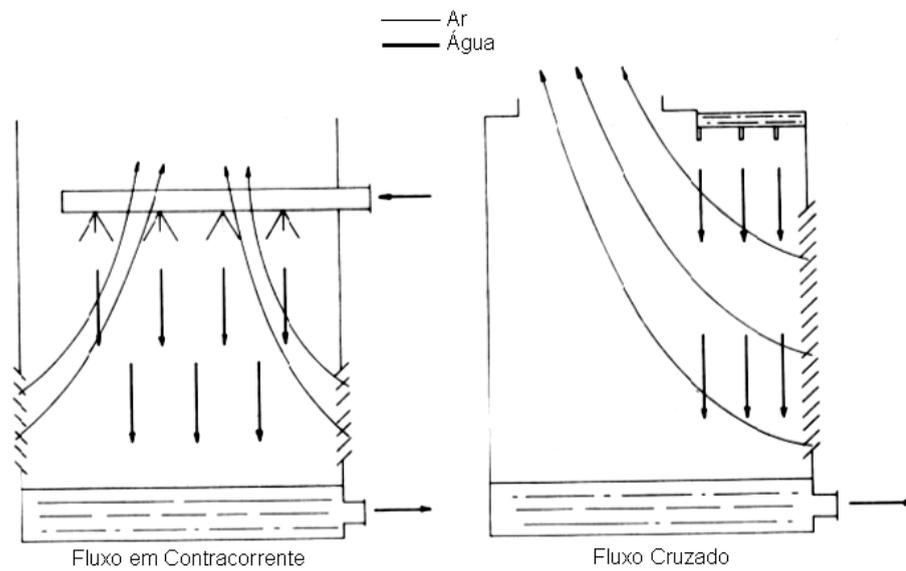


Figura 3: Relação entre os fluxos de água e ar

Comparação entre ambos os sistemas:

- ✚ Nas torres de fluxo em contracorrente a água mais fria entra em contato com o ar mais seco alcançando a máxima eficiência;
- ✚ Nas torres de fluxo cruzado o acesso aos elementos mecânicos e ao sistema de distribuição é mais fácil;
- ✚ Nas torres de fluxo cruzado a entrada de ar pode abranger toda a altura da torre, tendo como consequência torres mais baixas, reduzindo assim a potência de bombeamento;
- ✚ Nas torres de fluxo em contracorrente existe menor risco de recirculação de ar.

A classificação mais difundida e de maior importância na avaliação de torres de resfriamento é aquela baseada na forma de movimentação do ar através da mesma. De acordo com essa classificação têm-se quatro tipos de torres:

- ✚ Torres atmosféricas;
- ✚ Torres de tiragem mecânica forçada ou induzida.

Torres atmosféricas

Nesse tipo de torre a água cai em fluxo cruzado em relação ao movimento horizontal do ar, produzindo certo efeito de contracorrente devido as correntes de convecção produzidas pela água quente. O movimento do ar depende principalmente do vento.

Principais características:

- ✚ Alto tempo de vida com baixo os custos de manutenção;
- ✚ Não se produz recirculação do ar utilizado;
- ✚ A torre precisa ser localizada num espaço amplo;
- ✚ Devido a sua altura é preciso uma ancoragem segura contra o vento;
- ✚ A torre deve ser orientada na direção dos ventos dominantes;
- ✚ A temperatura da água varia com a direção e a velocidade do vento;
- ✚ Não é possível atingir uma pequena temperatura de aproximação;
- ✚ O custo é quase tão alto quanto o de uma torre com elementos mecânicos

Em relação a esse tipo de torre, pode-se distinguir entre as que não possuem enchimento e as que possuem enchimento de respingo (Figura 4). Estas últimas possuem um comportamento

muito melhor que as anteriores, porém, em qualquer caso, as torres atmosféricas estão ultrapassadas e constituem uma mínima parte das torres existentes.

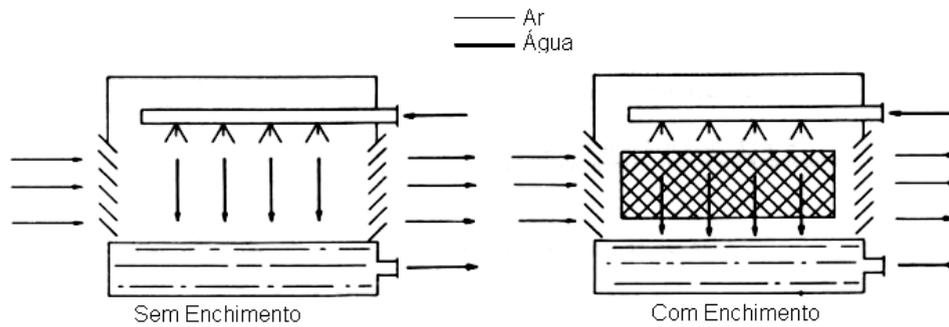


Figura 4: Torres atmosféricas.

Torres de Tiragem Mecânica

A utilização de ventiladores para mover o ar através da torre proporciona um controle total da entrada de ar. Podem ser de tiragem mecânica ou Induzida. As suas principais características são:

- + Compactas, necessitam de pouca superfície;
- + Controle fino da temperatura da água fria;
- + Menor altura de bombeamento;
- + A orientação da torre não é determinada pelos ventos dominantes;
- + As falhas mecânicas reduzem bastante a confiabilidade;
- + A potência de ventilação pode ser importante, aumentando os gastos de operação;
- + A recirculação do ar usado deve ser evitada, pois a eficiência é afetada;
- + Os custos de operação e manutenção são maiores que os das torres de tiragem natural;
- + Os ruídos e vibrações produzidos pelos ventiladores podem constituir um problema, dependendo da localização.

Torres de tiragem mecânica forçada

São torres nas quais os ventiladores são posicionados na entrada de ar, de tal forma que forcem o ar através do enchimento (Figura 5). As suas principais características são:

- + O equipamento mecânico se encontra no nível do solo;

-
- ✚ É mais eficiente que a corrente induzida (apresentada a seguir), já que a velocidade da corrente de ar é convertida em pressão estática, realizando um trabalho útil, além disso, o ventilador trabalha com ar frio com densidade maior que no caso da tiragem induzida;
 - ✚ Os equipamentos mecânicos se encontram situados em uma corrente de ar relativamente seca e são de fácil acesso para manutenção
 - ✚ O tamanho do ventilador é limitado, necessitando de um grande número de ventiladores pequenos e de maior velocidade, comparado com uma instalação de tiragem induzida. Conseqüentemente, o nível de ruído é maior;
 - ✚ Existe tendência de formação de gelo nos ventiladores durante as épocas frias com conseqüente obstrução da entrada de ar;
 - ✚ Alguns tipos apresentam problemas de recirculação de ar usado em direção a zona de baixa pressão criada pelo ventilador na entrada de ar, especialmente quando a velocidade de saída do ar é baixa.

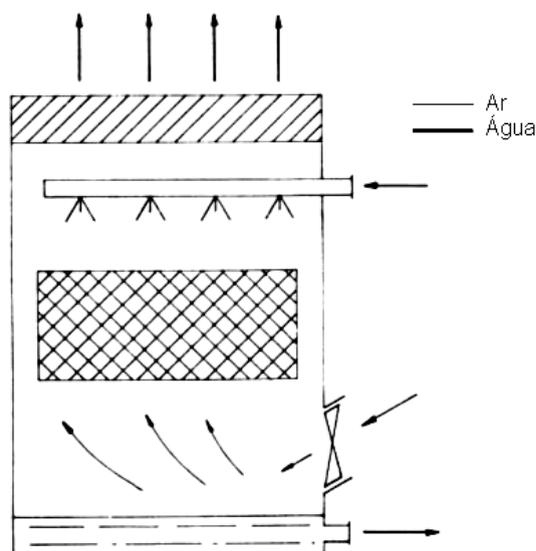


Figura 5: Torre de tiragem forçada.

Torres de tiragem mecânica induzida

São torres nas quais os ventiladores são posicionados na saída de ar, geralmente na parte superior da torre (Figura 6). As suas principais características são:

- ✚ É possível instalar grandes ventiladores, de forma que podem ser mantidas velocidades e níveis de ruído baixos;
- ✚ O ar entra a uma velocidade considerável, podendo arrastar consigo corpos estranhos.
- ✚ Podem ser instalados filtros de ar;

- + Devido às altas velocidades de saída do ar, os problemas de recirculação são bastante reduzidos;
- + Tendência a produzir vibrações devido a montagem do ventilador sobre a estrutura;
- + Os elementos mecânicos são de difícil acesso e encontram-se submergidos em uma corrente de ar úmido e quente;
- + Menor superfície ocupada que o sistema mecânico forçado, devido a ausência de ventiladores ao redor da torre.

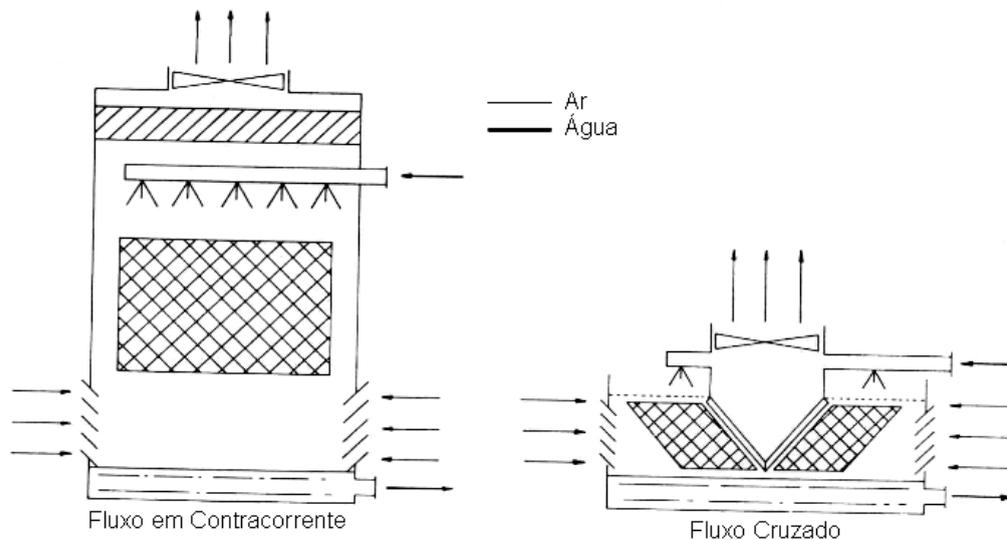


Figura 6: Torre de tiragem induzida.

Descrição dos sistemas vinculados a utilização de energia

Sistema de Distribuição de Água

Os sistemas de distribuição de água são classificados como:

- + Por gravidade;
- + Por pressão.

O sistema por gravidade é utilizado quase sempre com torres de fluxo cruzado, enquanto que em torres de contracorrente geralmente é utilizado o sistema por pressão.

Sistema por gravidade (Figura 7)

Sua principal vantagem consiste na pequena altura de bombeamento requerido, a qual conduz a baixos custos de operação. A regulação da vazão de água por célula, necessária para atingir a máxima eficiência, é feita mediante a simples inspeção visual e a conseguinte variação do nível de

água na bandeja. A manutenção das bandejas abertas não oferece problemas e pode ser realizada inclusive com a torre em operação.

Raramente se utiliza este sistema para torres com fluxo em contracorrente, devido às dificuldades de projeto e ajuste da distribuição de água. Ocorre interferência com o fluxo de ar.

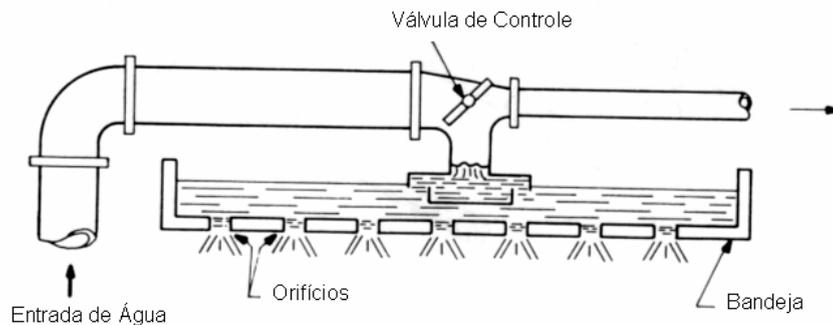


Figura 7: Sistema de distribuição por gravidade.

Sistema Por Pressão

A maior parte das torres com fluxo em contracorrente se encontram equipadas com sistemas de pulverização por pressão com os bicos voltados para baixo. Este sistema atua não só como distribuidor de água como também contribui diretamente com o rendimento da torre.

Os problemas associados com esse tipo de sistema são principalmente de manutenção e regulação do fluxo de água. A sujeira acumulada nos ramais e nos pulverizadores é de difícil limpeza, além disso, estes se encontram posicionados abaixo dos eliminadores de gotas. Existe ainda o problema de se igualar a vazão nas diferentes células, que é um requisito imprescindível para se conseguir o funcionamento adequado da torre.

A Figura 8 apresenta um sistema por pressão com distribuição através de tubulação fixa, enquanto a Figura 9 apresenta um sistema por pressão rotativo.

O primeiro é constituído por um coletor central, do qual parte uma série de ramais laterais, eqüidistantes e simétricos, de tal forma que a rede formada cobre a superfície da torre, repartindo a vazão de água de forma homogênea. A velocidade da água nos ramais oscilam entre 1,5 e 2,0 m/s.

Os distribuidores rotativos possuem um coletor vertical central com braços horizontais que cobrem diametralmente a planta da torre, que deve necessariamente ser circular. O movimento do braço é produzido devido a uma força de reação ao movimento de saída da água sob pressão através dos pulverizadores, que formam um determinado ângulo com a vertical.

Enchimento

O enchimento nas torres tem como missão acelerar a dissipação de calor. Isto é conseguido aumentando-se o tempo de contato entre a água e o ar, favorecendo a presença de uma ampla superfície úmida mediante a criação de gotas ou películas finas.

O enchimento deve ser de um material de baixo custo e de fácil instalação. Além de ser um bom transmissor de calor, deve oferecer pouca resistência a passagem de ar, proporcionar e manter uma distribuição uniforme de água e de ar durante todo o tempo de vida da torre. Também é importante que o material apresente uma boa resistência a deterioração.

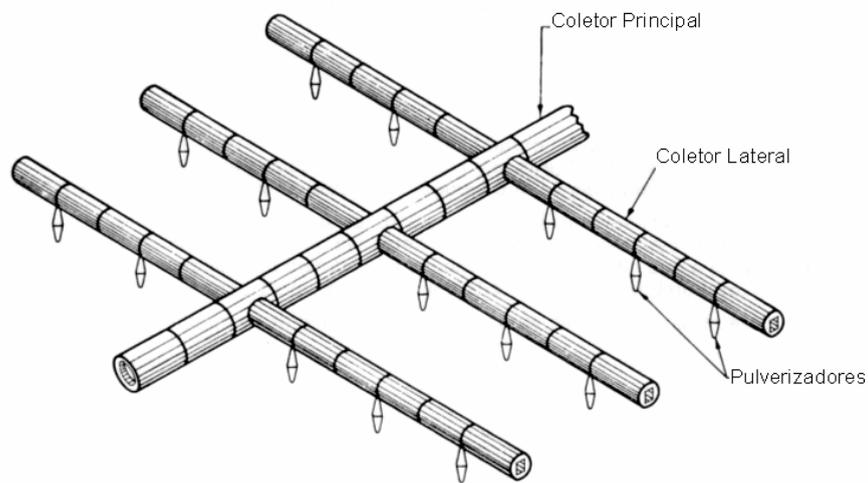


Figura 8: Sistema por pressão com distribuição através de tubulação fixa.

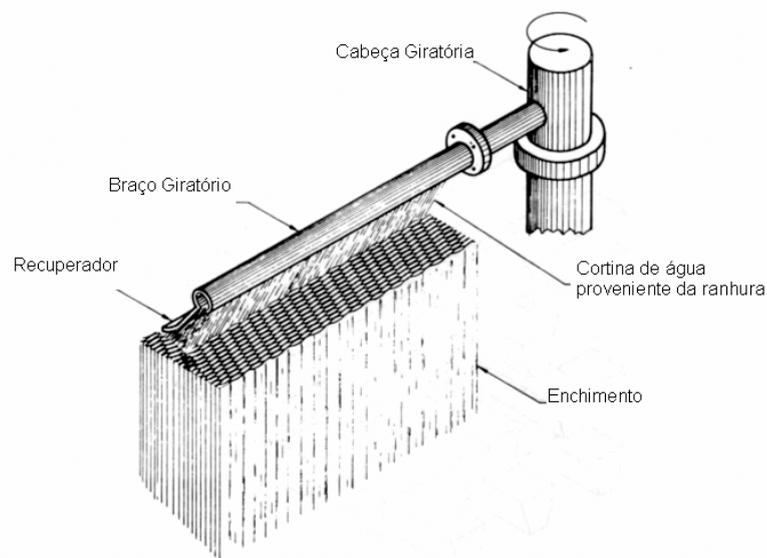


Figura 9: Sistema por pressão rotativo.

Os diferentes tipos de enchimento podem ser classificados dentro das seguintes categorias:

- ✚ De gotejamento ou respingo;
- ✚ De película ou laminar;
- ✚ Misto.

Enchimentos de gotejamento ou de respingo

Ainda que existam muitas disposições diferentes, o propósito básico consiste em gerar pequenas gotas de água, em cuja superfície se verifica o processo de evaporação (Figura 10). Este efeito é conseguido mediante a queda da água sobre uma série de camadas superpostas compostas por barras, enquanto o ar se movimenta no sentido horizontal (fluxo cruzado) ou vertical (fluxo em contracorrente). A água, ao cair, se quebra em gotas cada vez menores.

Um dos requerimentos mais importantes desse tipo de enchimento é o correto nivelamento das barras, pois de outro modo, a água escorreria ao longo destas, desequilibrando a distribuição da cortina de água e prejudicando o rendimento da torre. A altura do enchimento é superior a requerida pelos sistemas laminares e o arraste e gotas é importante, o que obriga a utilização de eliminadores de gota de alto rendimento.

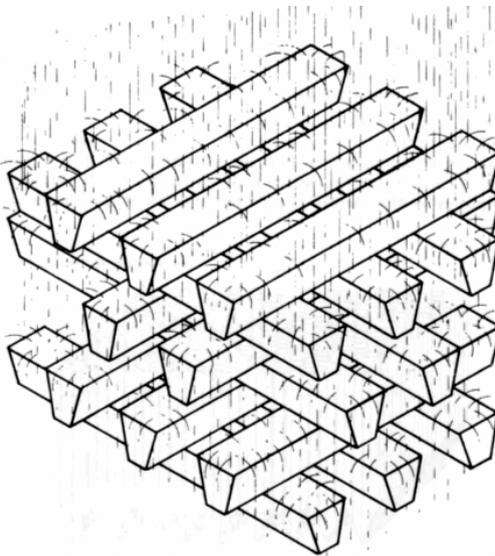


Figura 10: Enchimento por respingo ou gotejamento.

Enchimento de Película ou Laminar

Este tipo de enchimento proporciona uma maior capacidade de resfriamento, para um mesmo espaço ocupado, que o de gotejamento. A eficiência deste sistema depende de sua capacidade em

distribuir a água numa fina película que escoar sobre grandes superfícies, com o objetivo de proporcionar a máxima exposição da água a corrente de ar (Figura 11 e Figura 12).

Como este tipo é mais sensível as irregularidades da vazão de ar e a distribuição de água, o desenho da torre deve garantir sua uniformidade através de todo o enchimento.

Sua principal vantagem é a ausência de gotas, o que reduz enormemente as perdas por arraste e possibilita o aumento da velocidade da corrente de ar, que como consequência, conduz a diminuição da altura do enchimento e da altura de bombeamento. Dessa maneira os custos de operação são reduzidos.

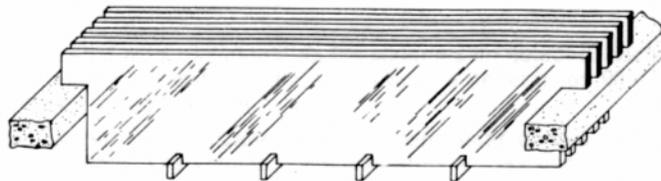


Figura 11: Enchimento de película ou laminar de placas de fibrocimento.

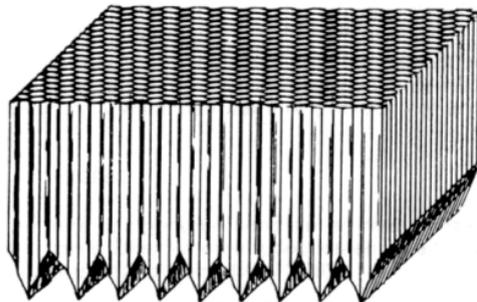


Figura 12: Enchimento de película ou laminar de placas onduladas.

O principal inconveniente dos enchimentos laminares é a sua tendência em acumular depósitos e sujeiras entre as placas paralelas que os constituem. Este fenômeno conduz a obstruções parciais e a formação de canais preferenciais por onde escorre a água, rompendo a homogeneidade da película.

Enchimento tipo misto

Os enchimentos mistos se baseiam em uma pulverização por gotejamento, porém com a formação de uma película nas superfícies laterais das barras, aumentando, dessa forma, o efeito conseguido pelo gotejamento (Figura 13).

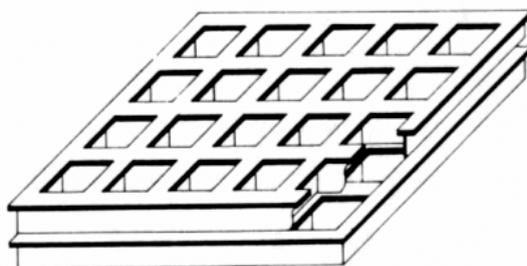


Figura 13: Enchimento tipo misto.

Materiais

A madeira é o material mais tradicional dos sistemas de gotejamento. A vida média, apesar do progresso nos métodos de tratamento, não supera em geral 20 anos de serviço. Sua utilização está em decadência.

Os enchimentos de metal tem sido utilizados em casos especiais em que se deseja uma alta relação entre área de contato e volume. Em condições normais não são competitivos devido ao alto custo.

O fibrocimento é utilizado principalmente nos enchimentos laminares de torres industriais, especialmente as de tiragem natural, apresenta boa resistência e não é atacado por matéria orgânica. Entre seus inconvenientes, podem ser citados seu elevado peso em relação ao volume e sua elevada sensibilidade as águas ácidas e aos íons sulfato.

Os plásticos apresentam um alto tempo de vida e sua utilização tem se estendido cada vez mais. São especialmente apropriados para enchimentos laminares em pequenas torres produzidas em série e para enchimentos mistos.

Defletores de Ar

São utilizados em torres de tiragem induzida, para conduzir o ar em direção ao interior de forma eficiente, e para prevenir as perdas de água devido a ação do vento. Também podem ser utilizados para eliminar os problemas de formação de gelo no inverno. A distribuição do ar e a retenção de água estão diretamente relacionadas com a inclinação, a largura e o espaçamento dos painéis.

Existem determinados projetos em que a inclinação dos painéis pode ser modificada, a fim de adaptar-se as condições climáticas existentes, podendo se chegar ao fechamento completo dos painéis devido a possibilidade de formação de gelo ou do arraste de água pelo ar a alta velocidade.

Eliminadores de Gotas

A função principal deste componente consiste em reter as pequenas gotas arrastadas pelo ar que abandona a torre. Basicamente, todos os eliminadores de gotas atuam provocando bruscas

mudanças de direção da corrente de ar (Figura 14). A força centrífuga resultante, separa as gotas de água, depositando as na superfície do eliminador para posteriormente caírem sobre o enchimento. A atuação do eliminador de gotas proporciona três efeitos positivos: diminui as perdas de água, evita possíveis danos aos equipamentos adjacentes a torre e limita a formação de névoa.

Um efeito secundário é a uniformização do fluxo de ar através do enchimento, como resultados da baixa pressão criada no espaço entre os eliminadores e os ventiladores devido a oposição que se faz ao fluxo de ar.

Os materiais utilizados devem resistir a atmosferas corrosivas e erosivas. Podem ser de madeira tratada, chapa galvanizada, alumínio. Atualmente existe uma tendência de utilização de lâminas de fibrocimento ou plástico (PVC).

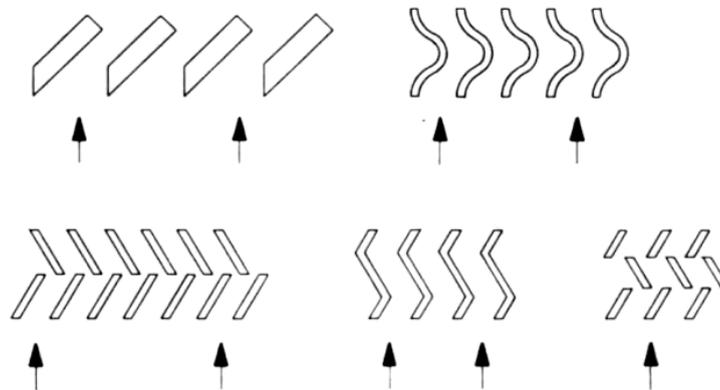


Figura 14: Tipos de eliminadores de gotas.

Ventiladores

Existem dois tipos fundamentais de ventiladores: axiais, nos quais o ar mantém a direção do eixo antes e após sua passagem pelo rotor, e centrífugos, nos quais o ar é descarregado na direção normal a direção de entrada.

Os ventiladores axiais são apropriados para movimentar grandes volumes de ar com um aumento de pressão pequeno, seu uso se encontra mais difundido em instalações industriais. São relativamente de baixo custo e podem ser utilizados em torres de qualquer tamanho. Com chaminés corretamente projetadas, os ventiladores axiais operam com eficiências de 80 a 85%. Os diâmetros podem alcançar 9 metros, ainda que oscilem entre 3 e 7 metros em instalações industriais. Em certos casos os ângulos de ataque das pás podem ser alterados pelo simples afrouxamento das braçadeiras de união ao cubo central. Geralmente se utilizam materiais metálicos, ainda que o uso de ventiladores com pás de plástico está se difundindo devido ao custo atraente e a boa resistência ao ataque químico.

Os ventiladores centrífugos são constituídos por uma carcaça e um rotor, podendo ser de simples ou dupla aspiração. Nas torres produzidas em série, para as que requerem baixos níveis sonoros, se utilizam normalmente ventiladores de dupla aspiração lateral. São particularmente adequados para fornecer pequenas vazões e pressões maiores que os ventiladores axiais.

Existem três tipos de ventiladores centrífugos: de pás radiais, de pás curvadas para frente e de pás curvadas para trás. Os ventiladores de pás curvadas para frente são os mais utilizados em torres de resfriamento, pois devido a alta velocidade do ar que abandona o rotor, este pode trabalhar com uma menor rotação com a conseqüente redução no nível de ruído. Além disso, para um dado serviço, são de menores dimensões e portanto mais econômicos. Os materiais utilizados são metálicos e não existe possibilidade de alteração na inclinação das pás.

Bombas

Os sistemas de bombeamento para recirculação de água na torre consomem uma fração importante da potência requerida para o sistema de resfriamento. Quase sempre são empregadas bombas centrífugas, de um ou vários estágios, dependendo da vazão e altura manométrica requeridas.

Em instalações importantes é comum a utilização de duas bombas em serviço e uma de reserva.

Motores

Os motores elétricos utilizados para acionar os ventiladores das torres de tiragem mecânica devem operar em condições adversas, já que se encontram expostos as condições do tempo, a atmosferas contaminadas e a alta umidade, conseqüência do funcionamento da torre. A colocação do motor fora da chaminé da torre evita que o ar de resfriamento da carcaça tenha quantidade elevada de umidade, além de facilitar a manutenção.

Os motores de duas velocidades são especialmente convenientes para o caso em que o período de operação se estenda ao longo de todo o ano. Com esse tipo de motores pode-se reduzir consideravelmente a potência consumida em períodos frios ou durante a noite.

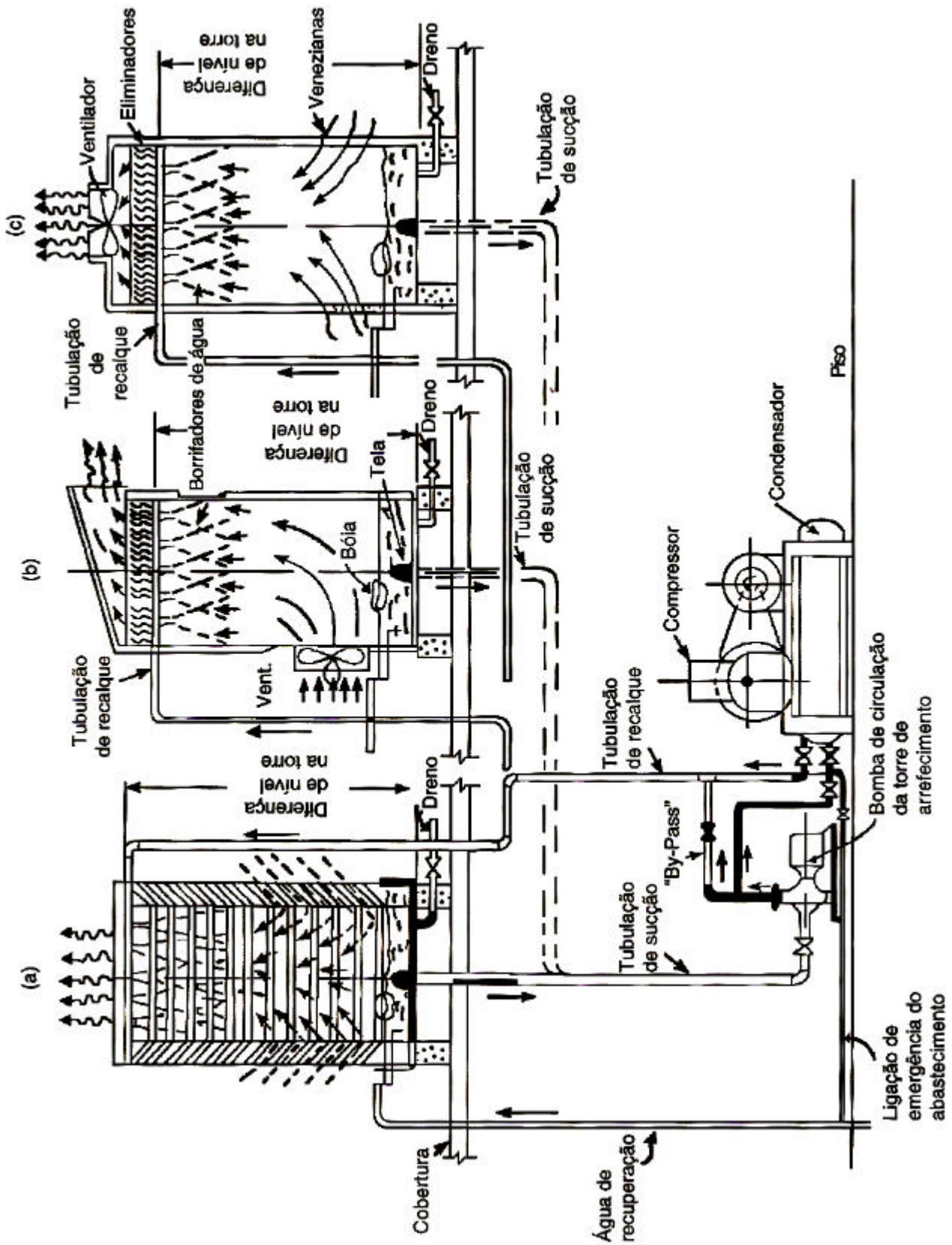
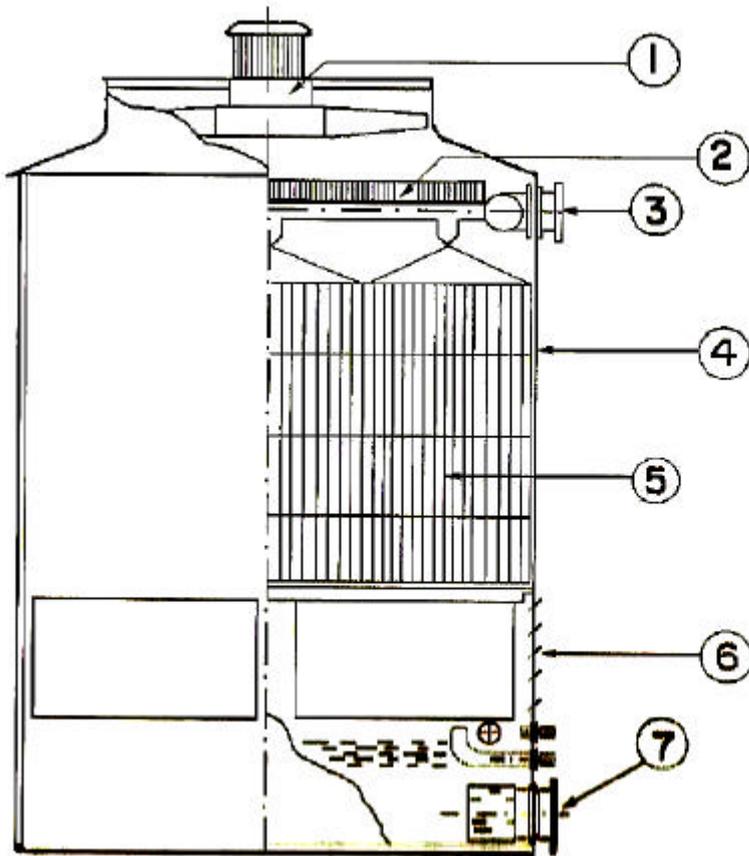


Fig. Tipos de torre de arrefecimento: (a) atmosférica; (b) corrente de ar forçada; (c) corrente de ar induzido.



1. Motor – Ventilador.
2. Eliminadores de gotas.
3. Entrada d'água.
4. Corpo da torre em fibra de vidro (*fiberglass*).
5. Enchimento fabricado em blocos compactos em plástico.
6. Venezianas.
7. Saída de água.

Componentes principais de uma torre de resfriamento