Torres de Resfriamento
Cálculos & Aplicação

Jurandir Primo
Copyright @ 2019
1ª edição – janeiro de 2020
Revisão - 2023

Capa: Jurandir Primo – Sorocaba/SP

Primotech - Engineering Manuals

Torres de Resfriamento, HVAC, Ar Condicionado, Resfriamento de Água

Índice para pesquisas: Resfriamento de Água

ISBN:

Livro no sistema de auto-publicação cuja edição, revisão, diagramação e capa foram selecionadas pelo próprio autor, para diminuir custos e facilitar a todos os interessados em engenharia e tecnologia.

O autor permite que todas as partes do livro possam ser copiadas ou reproduzidas para fundamentos educacionais, instrutivos e treinamento técnico.

Para adquirir esta ou outras publicações do autor, enviar solicitação para:

primotechcourses@hotmail.com

An Approved PDHOnline Continuing Education Provider (USA)

Torres de Resfriamento
Cálculos & Aplicação



Indice:

1. Introdução:

2. Principais Propriedades da Psicrometria:

3. Aproximação e Tamanho da Torre de Resfriamento:

4. Escolha de uma Torre de Resfriamento:

5. Cálculos de Transferência de Calor:

6. Demanda e Característica da Torre - KaV/L:

7. Arranjos de Fluxo de Ar:

8. Perda por Evaporação:

9. Estimativas de Projeto de uma Torre:

10. Altura Manométrica de Bombeamento:

11. Chillers e Equipamentos de Tratamento de Ar (AHU):

12. Refrigerantes para Resfriamento:

13. Softwares e Simuladores:

14. Links e Referências:

1. Introdução:

Para projetar Torres de Resfriamento, há uma floresta de requisitos, atividades de construção de orientação e fórmulas técnicas. Todos os dias um estudante ou um profissional procura um manual curto e oportuno, com informações práticas e cálculos completos, de forma que possa concluir um trabalho sem perder muito seu precioso tempo. Este é o assunto principal deste esboço.

As torres de resfriamento são uma parte muito importante de muitas empresas, edifícios, aeroportos, condomínios e grandes empresas químicas e petroquímicas. A principal tarefa de uma torre de resfriamento é ***rejeitar*** o calor na atmosfera. Eles representam um meio relativamente barato e confiável de remover calor de baixa qualidade da água de resfriamento. Seguindo as regras aqui descritas, alguém pode facilmente calcular um processo para uma torre de resfriamento de tiragem mecânica básica.

Tipos de Torre de Resfriamento: As torres de resfriamento se enquadram em duas categorias principais: Tiragem Natural e Tiragem Mecânica.

Torres de Tiragem Natural: Usam ***chaminés*** de concreto muito grandes para introduzir o ar através do meio ambiente. Devido ao grande tamanho dessas torres, geralmente são utilizadas para vazões de água acima de ***45.000 m^3/h***. Esses tipos de torres são usados apenas por usinas de energia elétrica.

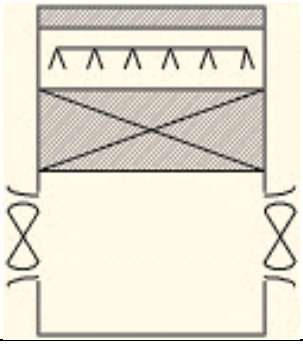
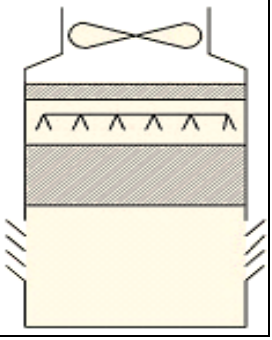
Torres de Tiragem Mecânicas: Utilizam grandes ventiladores para forçar ou sugar o ar através da água circulada. A água cai sobre as superfícies de preenchimento, o que ajuda a aumentar o tempo de

contato entre a água e o ar - isso ajuda a maximizar a transferência de calor entre os dois. Uma torre de resfriamento de circuito aberto é um trocador de calor especializado no qual dois fluidos (ar e água) são colocados em contato direto um com o outro para afetar a transferência de calor. As torres mecânicas de tiragem estão disponíveis nos seguintes arranjos de fluxo de ar:

1. Contrafluxo - tiragem induzida ou forçada;
2. Fluxo Cruzado - tiragem induzida ou forçada.

a) Contrafluxo: Neste projeto típico, a ***água quente*** entra pela ***parte superior***, enquanto o ar é introduzido na parte inferior e sai pela parte superior conforme a água quente desce. São usados ventiladores de tiragem forçada e induzida. Devido à necessidade de plenums de admissão e descarga prolongados; o uso de sistemas de pulverização de alta pressão e as perdas de pressão de ar normalmente mais altas, algumas das torres de contrafluxo menores são fisicamente maiores; exigem mais cabeça de bomba e utilizam mais potência do ventilador do que suas contrapartes de fluxo cruzado.

b) Fluxo Cruzado: Neste tipo de projeto, mas comum, *o ar flui horizontalmente, através da queda d'água*. O ar, porém, é introduzido por um lado (torre de fluxo único) ou lados opostos (torre de fluxo duplo). Um ventilador de tiragem induzida ou forçada puxa o ar através do preenchimento úmido e o expele pelo topo da estrutura enquanto a água desce em cascata pela torre. Muitas torres de resfriamento são conjuntos de duas ou mais torres de resfriamento individuais ou "***células***". As torres de várias células, como uma torre de oito células, podem ser lineares, quadradas ou redondas, dependendo da forma das células individuais e se as entradas de ar estão localizadas nas laterais ou na parte inferior das células.

Ventiladores horizontais de tiragem forçada.	Ventiladores axiais de tiragem induzida.
	

Make-up: A fonte comum chamada de "*água de reposição*" é usada para repor a ***água perdida*** por evaporação. A água quente dos trocadores de calor é enviada para a torre de resfriamento. A água sai da torre de resfriamento e é enviada de volta para outras unidades para outras condições de processo.

Componentes das Torres de Resfriamento: Os componentes básicos de uma torre evaporativa são: Estrutura e revestimentos, enchimento, reservatório de água fria, eliminadores de respingos, entrada de ar, persianas, bicos e ventiladores.

Estrutura e Revestimentos: A maioria das torres possui estruturas que suportam os revestimentos externos (invólucros), motores, ventiladores e outros componentes. Alguns designs menores, como unidades de fibra de vidro, a caixa pode ser essencialmente a estrutura.

Preenchimentos: A maioria das torres emprega preenchimentos (feitos de plástico ou madeira) para facilitar a transferência de calor, maximizando o contato com a água e o ar. O preenchimento pode ser do tipo "splash ou filme". Com o preenchimento por respingo, a

água cai sobre camadas sucessivas de barras de respingo horizontais, quebrando-se continuamente em gotas menores, ao mesmo tempo em que molha a superfície de preenchimento. O preenchimento de respingos de plástico promove uma melhor transferência de calor do que o preenchimento de respingos de madeira.

Preenchimentos tipo Filme: Esses componentes consistem em camadas plásticas finas e espaçadas sobre as quais a água se espalha, formando um ***filme fino*** em contato com o ar. Essas superfícies podem ser ***planas, onduladas, alveolares*** ou outros padrões. O tipo de preenchimento de filme é mais eficiente com transferência de calor em um volume menor do que o preenchimento por respingo.

Bandeja de Água Fria: Está localizada na parte inferior da torre ou próximo a ela, recebe a água resfriada que desce pela torre e enche. A bandeja geralmente tem um poço ou ponto baixo para a conexão de descarga de água fria. Em muitos projetos de torres, a bandeja de água fria fica abaixo de todo o preenchimento.

Em alguns projetos de contrafluxo de tiragem forçada, no entanto, a água na parte inferior do preenchimento é canalizada para uma calha de perímetro que funciona como uma bandeja de água fria. Ventiladores de hélice são montados abaixo do preenchimento para soprar o ar através da torre. Com este projeto, a torre é montada sobre pés, facilitando o acesso aos ventiladores e seus motores.

Eliminadores de Respingos: Captam as gotas de água retidas na corrente de ar que, de outra forma, seriam perdidas para a atmosfera.

Entrada de Ar: Este é o ponto de entrada para o ar que entra em uma torre. A entrada pode ocupar um lado inteiro de um projeto de

fluxo cruzado em torre ou estar localizada na parte inferior do lado ou na parte inferior de projetos de fluxo contrário.

Persianas: Geralmente, as torres de fluxo cruzado têm persianas de entrada. A finalidade das persianas é equalizar o fluxo de ar no pre-enchimento e reter a água dentro da torre. Muitos projetos de torres de contrafluxo não requerem as venezianas.

Bocais: Fornecem os jatos de água para molhar o enchimento. A distribuição uniforme da água no topo do aterro é essencial para atingir a umidade adequada de toda a superfície do aterro. Os bicos podem ser fixados no lugar e ter padrões de pulverização redondos ou quadrados ou podem fazer parte de um conjunto rotativo, como encontrado em algumas torres de seção transversal circular.

Ventiladores: Ventiladores axiais (tipo hélice) e centrífugos são usados em torres. Geralmente, os ventiladores de hélice são usados em torres de tiragem induzida e tanto os ventiladores de hélice quanto os centrífugos são encontrados em torres de tiragem forçada. Os ventiladores de hélice são fabricados em plástico reforçado com fibra de vidro moldado, alumínio ou galvanizado.

Fibra de Vidro: Também é amplamente utilizada para carcaças e bandejas de torres de resfriamento, proporcionando longa vida útil e proteção contra os efeitos nocivos de muitos produtos químicos.

Plásticos: São amplamente utilizados para preenchimento, incluindo PVC, polipropileno e outros polímeros. O preenchimento de respingos de madeira tratada ainda hoje é especificado para torres de madeira, mas o preenchimento de respingos de plástico é o mais usado amplamente, principalmente quando as condições da água exigem o uso de preenchimento de respingos.

Preenchimento de Filme Plástico: Por oferecer maior eficiência de transferência de calor, é o preenchimento de escolha para aplicações onde a água circulante geralmente está livre de detritos que possam obstruir as passagens de preenchimento. Os plásticos também encontram ampla utilização como materiais de bocais. Muitos bocais estão sendo feitos de PVC, ABS, polipropileno e nylon com fibra de vidro. Alumínio, fibra de vidro e aço galvanizado por imersão a quente são materiais comumente usados para ventiladores.

Conceitos de Psicrometria: Psicrometria ou psicrometria são termos usados para descrever o campo da engenharia preocupado com a determinação de propriedades físicas e termodinâmicas de misturas gás-vapor. O termo deriva do grego "***psuchron***" que significa "***frio***" e "***metron***" que significa "**meio de medição**".

A psicrometria lida com as propriedades termodinâmicas do ar úmido para analisar as condições e processos que envolvem o ar úmido. O ar atmosférico contém muitos componentes de gases, bem como vapor de água e contaminantes diversos (por exemplo, fumaça, pólen e poluentes gasosos). A massa molecular aparente ou peso molecular médio ponderado de todos os componentes, para ar seco é 28,9645, com base na escala de carbono-12.

A constante de gás para ar seco, com base na escala de carbono-12 é 1545,32/28,9645 = ***53,352 pés lbf / lbm °R***.
O peso molecular da água é ***18,01528*** na escala de carbono-12.
A constante do gás para o vapor de água é 1545,32/18,01528 = ***85,778 pés lbf / lbm °R***.

A temperatura e a pressão barométrica do ar atmosférico variam consideravelmente com a altitude, bem como com as condições geográficas e climáticas locais. Ao nível do mar, a temperatura padrão é de

59°F; pressão barométrica padrão é 29,921 polegadas Hg (A atmosfera inferior é assumida como constante de ar seco que se comporta como um gás perfeito. A gravidade também é considerada constante no valor padrão, 32,1740 pés/s^2.

2. Principais Propriedades da Psicrometria:

Temperatura de bulbo-seco (DBT) é de uma amostra de ar, conforme determinado por um termômetro comum, com o bulbo do termômetro seco. As unidades SI para temperatura são Kelvin ou graus Celsius; outras unidades são graus Fahrenheit e graus Rankine.

A temperatura de bulbo úmido (WBT) é de uma amostra de ar depois de ter passado por um processo de saturação adiabática ideal de pressão constante, ou seja, depois que o ar passou por uma grande superfície de água líquida em canal isolado. Quando a amostra de ar estiver saturada com água, o WBT lerá o mesmo que o DBT. A inclinação da linha de WBT constante reflete o calor de vaporização da água necessária para saturar o ar com uma dada umidade relativa.

A temperatura do ponto de orvalho (DPT) é a temperatura na qual uma amostra de ar úmido na mesma pressão atingiria a "saturação" do vapor de água. Neste ponto, a remoção adicional de calor resultaria na condensação do vapor de água em névoa de água líquida ou (se abaixo de zero) geada sólida.

A umidade relativa (UR) é a razão entre a fração molar de vapor de água e a fração molar de ar úmido saturado na mesma temperatura e pressão. RH é adimensional e geralmente é expresso como uma porcentagem. Linhas de UR constante refletem a física do ar e da água: elas são determinadas por meio de medições experimentais. A taxa de umidade (também conhecida como teor de umidade ou