

## Funcionamento de uma Torre de Resfriamento de Água

Giorgia Francine Cortinovis (EPUSP)

Tah Wun Song (EPUSP)

### 1) Introdução

Em muitos processos, há necessidade de remover carga térmica de um dado sistema e usa-se, na maioria dos casos, água como o fluido de resfriamento. Devido à sua crescente escassez e preocupação com o meio ambiente, além de motivos econômicos, a água "quente" que sai desses resfriadores deve ser reaproveitada. Para tanto, ela passa por um outro equipamento que a resfria, em geral uma torre chamada torre de resfriamento evaporativo ("evaporative cooling tower"), e retorna ao circuito dos resfriadores de processo. A Figura 1 mostra o esquema típico de um sistema de água de resfriamento, composto por torre de resfriamento e trocadores de calor:

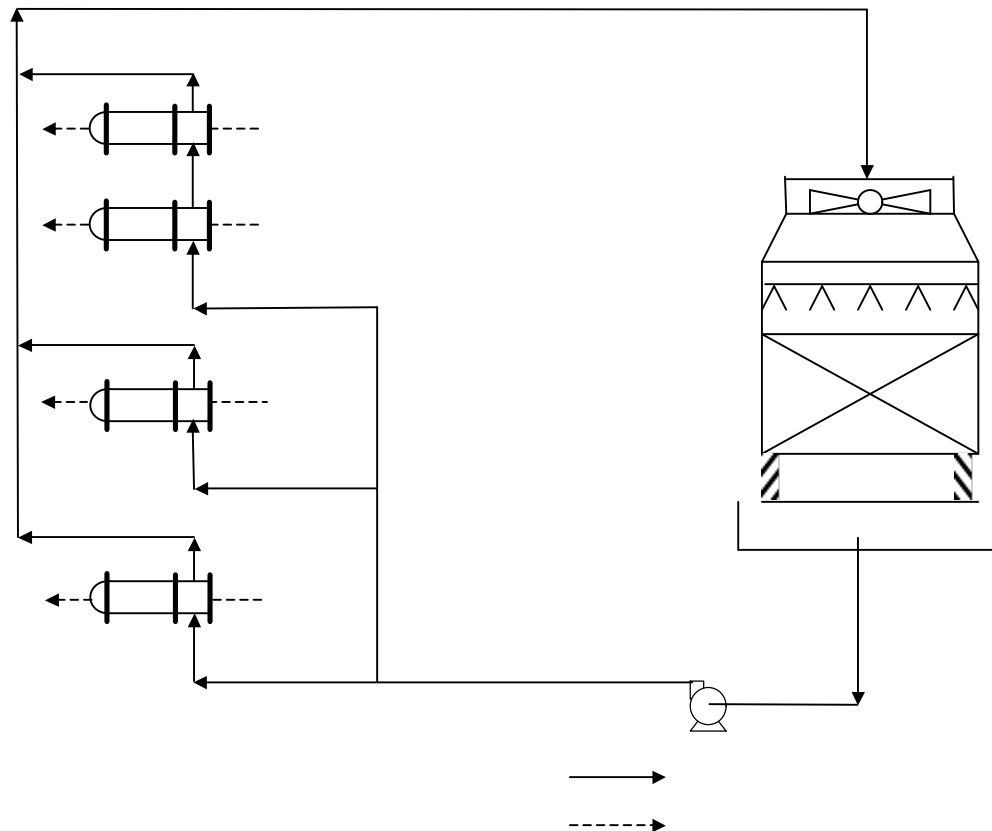


Figura 1 – Sistema de resfriamento

A água que sai dos resfriadores de processo é alimentada e distribuída no topo da torre de resfriamento, constituída de um enchimento interno para melhor espalhar a água. Ar ambiente é insuflado através do enchimento, em contracorrente ou corrente cruzada com a água que desce. Por meio desse contato líquido gás, parte da água evapora e ocorre o seu resfriamento. O princípio de funcionamento da torre será descrito no item 2.

Em uma planta química ou petroquímica, a pressão de operação nos condensadores das colunas de destilação ou nos evaporadores de sistemas de concentração é estabelecida a partir da temperatura da água de resfriamento. Para que os condensadores de produtos voláteis possam operar com água de resfriamento, são necessárias pressões de operação suficientemente elevadas. A temperatura da água de resfriamento é um dado muito importante para o projeto de um condensador de topo de uma coluna de resfriamento e também para o dimensionamento da própria coluna de destilação.

Variações na temperatura da água de resfriamento influenciam diretamente na operação dos condensadores de topo de uma coluna de destilação e conseqüentemente a operação da própria coluna. Este é um exemplo interessante de como a temperatura da água de resfriamento é uma informação decisiva não só na operação de uma planta, mas também na fase de projeto de um equipamento (trocador de calor, colunas, reatores).

Na prática, há outros sistemas de resfriamento de água. Por exemplo: lagoa de resfriamento (água quente entra num lado da lagoa e após atravessar a sua extensão, sai resfriada no outro lado da lagoa), torres de resfriamento não evaporativo (usadas em usinas nucleares), etc. Mas, o sistema mais comum é a torre de resfriamento a ser apresentada no presente trabalho. Ela é usada não só em processos industriais, mas também em prédios com sistema central de ar condicionado, como "shopping centers".

## 2) Princípio de funcionamento

Antes de estudar como funciona uma torre de resfriamento, é fundamental entender muito bem o conceito das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar.

A temperatura de bulbo seco do ar é a própria temperatura do gás (o bulbo do termômetro usado na medição está "seco").

A temperatura de bulbo úmido é medida com o bulbo do termômetro envolto com uma gaze umidificada com água, com outros cuidados específicos que não serão descritos aqui. Por definição, é a temperatura atingida, em regime permanente (não de equilíbrio termodinâmico), por uma pequena porção de água, em contato com uma corrente contínua de ar, em condições adiabáticas (só há troca térmica entre o ar e essa massa de água), desprezando-se os efeitos de radiação térmica nessa troca.

A temperatura de bulbo úmido é menor ou no máximo igual em relação à temperatura de bulbo seco. Isso ocorre porque, exposta a uma corrente de ar não saturado (umidade relativa menor do que 100 %), parte da água presente na gaze evapora e com isso, a temperatura abaixa. Para entender esse fenômeno de resfriamento devido à evaporação, pode-se mencionar dois exemplos quotidianos. Quando você sai da piscina, tem uma sensação repentina de frio, pois vaporiza parte da água impregnada na sua pele. Quando você toma água guardada numa moringa de barro, ela é mais fresca, pois como o barro é poroso, parte da água armazenada exsuda (transpira) pelas paredes (a superfície externa da moringa parece "suada"), evapora no ar e com isso, resfria a água da moringa.

Numa torre de resfriamento, a principal contribuição para o resfriamento da água é dada pela evaporação de parte dessa água que recircula na torre. A evaporação da água – transferência de massa da fase líquida (água) para a fase gasosa (ar) – causa o abaixamento da temperatura da água que escoia ao longo da torre de resfriamento. Isso ocorre porque a água para evaporar precisa de calor latente, e esse calor é retirado da própria água que escoia ao pela torre. Vale lembrar que a transferência de massa da água para o ar ocorre porque as duas fases em contato tendem a entrar em equilíbrio. A evaporação de parte da água é responsável por aproximadamente 80% do resfriamento da água. A diferença de temperatura entre o ar e a água é responsável pelos outros 20 % do resfriamento.

As vazões mais altas de ar e água provocam, até um determinado limite, uma convecção mais intensa, elevando os coeficientes globais de transferência de calor e massa. O aumento das vazões de ar e água causa um aumento da turbulência, o que favorece a transferência de calor e massa. No entanto, a partir de um determinado ponto, quando as vazões de água e ar tornam-se muito altas, o contato entre a água e o ar torna-se ineficiente, podendo ocorrer, por exemplo, excessivo arraste de água pela corrente de ar ou a dificuldade de se formar filmes na superfície do recheio que favorecem a transferência de massa. As vazões de água e ar da torre são limitadas pelo tipo de recheio empregado.

### 3) Variáveis de processo e especificação da torre de resfriamento

O *range* de uma torre de resfriamento é definido como a diferença entre a temperatura da água quente (alimentação da torre) e a temperatura da água fria (saída da torre). O range de uma torre varia conforme as condições climáticas e a vazão da água de resfriamento na torre.

O *approach* de uma torre de resfriamento é a diferença entre a temperatura da água fria (saída da torre de resfriamento) e a temperatura de bulbo úmido do ar na entrada da torre. Para torres de resfriamento industriais, o *approach* gira em torno de 5 °C, sendo também um critério do projeto. Fazendo-se uma analogia com trocadores de calor, da mesma forma que seria necessária uma área infinita de troca térmica para que a temperatura do fluido quente seja a mesma do fluido frio na saída do trocador, seria necessária uma torre de resfriamento de altura infinita para que a água atinja a temperatura de bulbo úmido do ar.

A vazão de água de resfriamento que recircula na torre, juntamente com o range e approach, são as variáveis de processo necessárias para o dimensionamento de uma torre de resfriamento. Outro dado necessário ao dimensionamento da torre é o parâmetro de desempenho da torre, definido como o produto entre o coeficiente global de transferência de massa e a área específica do recheio da torre. O parâmetro de desempenho da torre depende do tipo de recheio e das vazões de água e ar empregadas. Nos catálogos dos fabricantes de torres de resfriamento o parâmetro de desempenho para o dimensionamento

não é mostrado de forma explícita, sendo substituído por gráficos e ábacos que relacionam as demais variáveis necessárias (range, approach e vazão).

#### 4) Aspectos operacionais

O desempenho de uma torre de resfriamento varia, entre outros fatores, conforme a temperatura do ar ambiente, umidade do ar, temperatura de bulbo úmido, ou seja, com o clima. No inverno, a temperatura do ar cai e a temperatura de saída da água também cai, caso a carga térmica seja mantida constante. Para manter a temperatura da água de saída constante, pode-se diminuir a vazão de água que recircula no sistema de refrigeração. No verão, ocorre o inverso; a temperatura de saída da água aumenta, comprometendo a operação de um condensador em uma coluna de destilação, por exemplo. Pode-se aumentar a vazão de água no sistema, visando compensar o aumento de temperatura. Em países de clima quente como o Brasil, os principais problemas de queda de desempenho na operação de torres de resfriamento ocorrem durante o verão.

A direção dos ventos deve ser considerada durante o projeto e instalação de uma torre de resfriamento. Fontes de calor próximas às torres de resfriamento podem influenciar sua operação. Problemas de recirculação e interferência são os mais comuns em torres de resfriamento. A recirculação ocorre quando o ar quente e úmido que deixa a torre contamina o ar que está entrando na torre. Esta situação pode ocorrer devido à direção dos ventos, dificuldades de dispersão do ar de saída e formação de neblina (fog). A interferência ocorre quando o ar que sai de uma torre contamina o ar de entrada de outra torre próxima; a direção dos ventos causa problemas de interferência. A formação de neblina (fog) ocorre quando parte do vapor de água que sai da torre condensa em pequenas gotas, devido ao contato com o ar ambiente mais frio, tornando-se o ar supersaturado. A formação de neblina ocorre com mais frequência no inverno, dificultando a dispersão do ar quente que sai da torre.

A pressão na tubulação de distribuição de água de resfriamento é importante para que se garanta que todos os consumidores recebam a vazão de água necessária e também do ponto

de vista de segurança operacional. Por exemplo, em um trocador de calor tipo casco-tubo a água de resfriamento (que geralmente passa nos tubos) está a uma pressão de 5 kfg/cm<sup>2</sup> man e o fluido processo, que é tóxico, passa no casco a uma pressão de 2 kfg/cm<sup>2</sup> man. Caso ocorra um furo em um dos tubos do trocador, a água (que está a uma pressão mais alta) vazará para o lado do casco, contaminando o fluido de processo. Caso a pressão do fluido de processo fosse mais alta que a da água de resfriamento, ocorreria o inverso, e todo o sistema de resfriamento estaria contaminado, o que implicaria em riscos maiores do ponto de vista de segurança operacional e meio ambiente.

Os sais dissolvidos, sólidos e matéria orgânica em suspensão dissolvidos na água de resfriamento são fatores que contribuem para a formação de um meio favorável à proliferação de algas, bactérias e fungos, que por sua vez, prejudicam não só a operação da torre de resfriamento, mas também o desempenho térmico da rede de trocadores de calor. A formação de algas e fungos pode provocar a queda de eficiência, deformação e desprendimento do recheio da torre de resfriamento. O tratamento químico da água de resfriamento para o controle de dureza, pH, condutividade e DBO é importante não só para o desempenho da torre de resfriamento, mas também da rede de trocadores de calor.

Por outro lado, por se tratar de uma instalação não integrante do processo (a torre de resfriamento faz parte das “utilidades”) e porque em geral fica topograficamente afastada das unidades produtivas da fábrica, o sistema de resfriamento, muitas vezes, tem sido relegado nos estudos. Porém, em face da importância das interações envolvidas com as unidades, a torre e o circuito da água de resfriamento merecem uma atenção especial na análise sistêmica de um processo industrial e, às vezes, a solução de alguns problemas operacionais pode ser encontrada ao ampliar o foco do seu estudo para as utilidades da fábrica.