

4 SISTEMAS DE ABSORÇÃO

O francês Ferdinand Carré inventou o sistema de absorção e tirou uma patente nos Estados Unidos em 1860. O primeiro uso do referido sistema nos Estados Unidos foi provavelmente feito pelos Estados Confederados durante a Guerra Civil para suprimento de gelo natural que havia sido cortado pelo norte.

O funcionamento da refrigeração por absorção se baseia no fato de que os vapores de alguns fluidos frigorígenos conhecidos são absorvidos a frio, em grandes quantidades, por certos líquidos ou soluções salinas.

Se esta solução binária assim concentrada é aquecida, verifica-se uma destilação fracionada na qual o vapor formado será rico no fluido mais volátil (fluido frigorígeno), podendo ser separado, retificado, condensado e aproveitado para a produção de frio, como nas máquinas de compressão mecânica.

Isto é possível, mesmo de uma maneira contínua, se o fluido frigorígeno vaporizado para a produção de frio é posto novamente em contato com o líquido que o absorvendo rapidamente, além de proporcionar o abaixamento necessário da pressão, dá origem à solução concentrada que pode ser aproveitada.

O ciclo de absorção é similar em certos aspectos ao ciclo de compressão de vapor. Um ciclo de refrigeração irá operar com o condensador, o dispositivo medidor e o evaporador, se o vapor de baixa pressão do evaporador puder ser transformado em vapor de alta pressão e entregue ao condensador. O sistema de compressão de vapor usa um compressor para realizar esta tarefa. O sistema de absorção primeiro absorve vapor de baixa pressão em um líquido absorvente apropriado. Incorporado no processo de absorção há a conversão de vapor em líquido, desde que esse processo é similar ao de condensação, o calor precisa ser rejeitado durante o processo. O passo seguinte é elevar a pressão do líquido com uma bomba, e o passo final é liberar o vapor líquido absorvente por adição de calor.

O ciclo de compressão a vapor é descrito como um ciclo operado a trabalho por que a elevação de pressão do refrigerante é conseguida por um compressor que requer trabalho. O ciclo de absorção, por outro lado, é referido como ciclo operado a calor porque a maior parte do custo de operação é associada com o fornecimento de calor que libera vapor do líquido de alta pressão. Na verdade existe a necessidade de algum trabalho para acionar a bomba no ciclo de absorção, mas a quantidade de trabalho para uma dada quantidade de refrigeração é mínima, comparada com aquela que seria necessária no ciclo de compressão a vapor.

Se o calor pode ser obtido a baixo custo, o sistema de absorção pode ser atrativo economicamente.

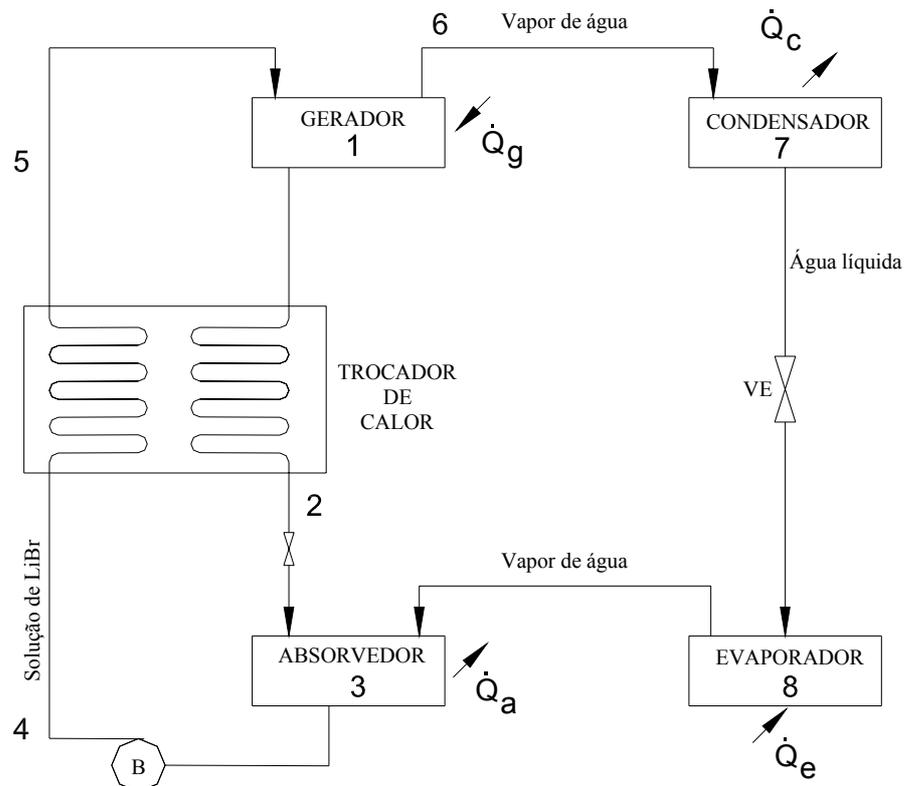
4.1 SISTEMA BrLi-ÁGUA

O ciclo de absorção com trocador de calor é mostrado na (fig. 35). O vapor de baixa pressão do evaporador é absorvido por uma solução líquida no absorvedor. Se esse processo de absorção fosse executado adiabaticamente, a temperatura da solução iria subir e eventualmente a absorção de vapor poderia cessar. Para perpetuar o processo de absorção o absorvedor é resfriado por água ou ar, que finalmente rejeita esse calor para a atmosfera. A bomba recebe o líquido

de baixa pressão do absorvedor, eleva a sua pressão, e o entrega ao gerador, passando pelo trocador de calor. No gerador, calor de uma fonte de alta temperatura expulsa o vapor que tinha sido absorvido pela solução. A solução líquida retorna para o absorvedor passando antes pelo trocador de calor e depois por uma válvula redutora de pressão cujo propósito é promover a queda de pressão para manter as diferenças de pressão entre o gerador e o absorvedor.

Os fluxos de calor nos trocadores de calor componentes do ciclo de absorção ocorrem da seguinte forma: o calor de uma fonte de alta temperatura entra no gerador, enquanto que o calor a baixa temperatura da substância que está sendo refrigerada entra no evaporador. A rejeição de calor do ciclo ocorre no absorvedor e condensador a temperaturas tais que o calor possa ser rejeitado para a atmosfera. Um trocador de calor foi acrescentado ao ciclo básico, para transferir calor entre as duas correntes de soluções. Este trocador de calor aquece a solução fria do absorvedor em seu caminho para o gerador e esfria a solução que retorna do gerador para o absorvedor.

FIGURA 35 - UNIDADE DE ABSORÇÃO COM TROCADOR DE CALOR



4.1.1 Composição das misturas

O fluido utilizado é usualmente uma mistura binária, isto é, mistura com dois componentes: refrigerante ou soluto mais absorvente ou solvente.

O estado termodinâmico de uma mistura não pode ser determinado somente através da pressão e temperatura, como no caso de substâncias puras. Existe a necessidade de se conhecer uma outra propriedade, a qual denomina-se concentração, X .

$$X = \frac{\text{massa de refrigerante}}{\text{massa de refrigerante} + \text{massa de absorvente}} = \frac{m_r}{m_r + m_a} \quad (24)$$

As duas misturas de grande uso comercial são:

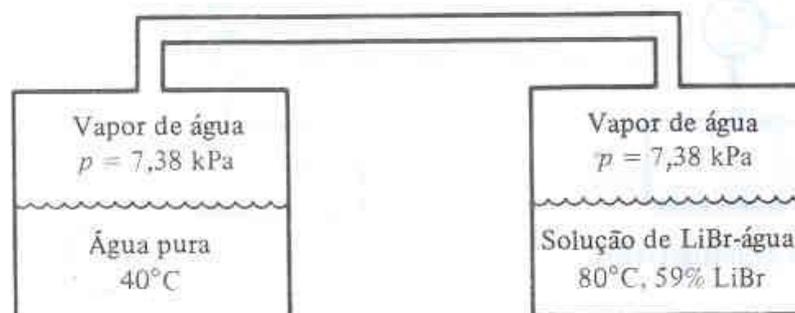
- em refrigeração, solução de amônia (refrigerante) + água (absorvente).
- em ar condicionado, solução de brometo de lítio (absorvente) + água (refrigerante), a qual é menos perigosa que a mistura anterior.

Onde a referência da concentração é dada pelo brometo de lítio e a amônia.

4.1.2 Propriedades de Temperatura-Pressão-Concentração de soluções saturadas

O brometo de lítio é um sal sólido cristalino; na presença de vapor de água ele absorve o vapor e torna-se uma solução líquida. A solução líquida exerce uma pressão de vapor de água que é função da temperatura e da concentração da solução. Se dois vasos forem conectados, como mostra a (fig. 36), um vaso contendo solução de LiBr-água e outro de água pura, cada líquido exerceria uma pressão de vapor. No equilíbrio as pressões de vapor de água exercidas pelos dois líquidos seriam iguais. Um exemplo de uma condição de equilíbrio é notado na (fig. 36).

FIGURA 36 - PRESSÃO DE EQUILÍBRIO DO VAPOR DE ÁGUA



Os diagramas temperatura-pressão-concentração mostram a temperatura da água que origina a mesma pressão de vapor da solução, numa dada temperatura e concentração. As cartas aplicam-se a condições saturadas onde a solução está em equilíbrio com o vapor de água.

Nos diagramas de propriedades para soluções de LiBr-água, aparecem as linhas de cristalização na seção inferior à direita, indicando que à direita e abaixo destas linhas ocorre a solidificação do LiBr. Assim uma queda para a região de cristalização indica a formação de uma lama, que pode bloquear o escoamento nos tubos e interromper a operação da unidade de absorção.

4.1.3 Análise termodinâmica do ciclo de absorção em regime permanente

Para realizar os cálculos térmicos sobre um ciclo de refrigeração por absorção, dados de entalpia precisam ser disponíveis para a substância de trabalho em todas as posições cruciais do ciclo. Água na forma líquida ou vapor escoam do condensador para o evaporador, assim suas entalpias podem ser determinadas nestes pontos através de uma tabela de propriedades da água. No gerador e absorvedor existem soluções para as quais a entalpia é uma função da temperatura e concentração da solução.

Desprezando-se as variações de energia cinética e energia potencial do sistema (fig.35) o balanço de calor e material para cada componente é dado por:

CONDENSADOR:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_6 (h_6 - h_7) \quad (25)$$

VÁLVULA DE EXPANSÃO:

$$h_8 = h_7 \quad (26)$$

EVAPORADOR:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_8 (h_8 - h_7) \quad (27)$$

ABSORVEDOR:

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_4 h_4 \quad (28)$$

BOMBA:

$$\dot{W}_b = \dot{m}_3 (h_4 - h_3) \quad (29)$$

onde

$h_4 \cong h_3$, diferença muito pequena (líquido)

TROCADOR DE CALOR:

$$\dot{m}_4 (h_5 - h_4) = \dot{m}_1 (h_1 - h_2) \quad (30)$$

GERADOR:

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_5 h_5 \quad (31)$$

COEFICIENTE DE PERFORMANCE:

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g} \quad (\text{desprezando a energia gasta na bomba}) \quad (32)$$

onde

\dot{Q}_c calor liberado pelo condensador, kJ/s

\dot{Q}_e capacidade de refrigeração, kJ/s

\dot{Q}_a calor rejeitado pelo absorvedor, kJ/s

\dot{Q}_g calor absorvido pelo gerador, kJ/s

\dot{W}_b potência da bomba, kJ/s

\dot{m} vazão mássica de refrigerante, kg/s

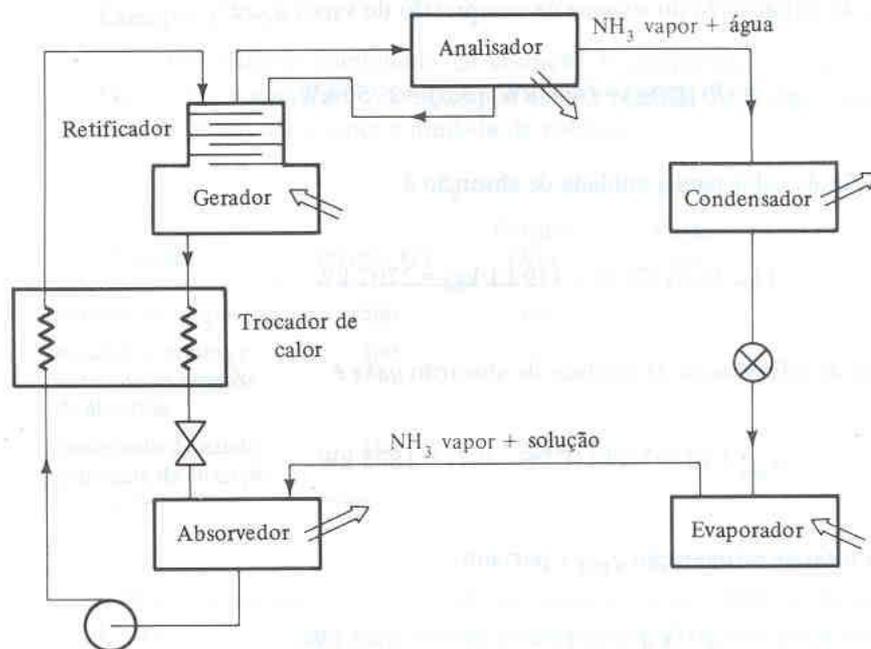
h entalpia, kJ/kg

COP coeficiente de performance da máquina frigorífica

4.2 SISTEMA ÁGUA-AMÔNIA

O sistema água-amônia mostrado esquematicamente na (fig. 37), consiste em todos os componentes previamente descritos: gerador, absorvedor, condensador, e trocador de calor da solução, mais um retificador e um analisador. A necessidade deles é ocasionada pelo fato de que o vapor de refrigerante liberado no gerador (a amônia) contém também vapor de água. Quando essa água se encaminha ao evaporador eleva a temperatura ali existente. Para remover o máximo de vapor de água possível, o vapor retirado do gerador primeiro flui em contra-corrente para a solução que entra no retificador. Em seguida a solução passa através do analisador, que é um trocador de calor resfriado a água que condensa algum líquido rico em água, o qual é drenado de volta ao retificador. Uma pequena quantidade de vapor de água escapa ao analisador e deve finalmente passar como líquido do evaporador para o absorvedor.

FIGURA 37 - SISTEMA DE ABSORÇÃO ÁGUA-AMÔNIA



O sistema água-amônia é capaz de atingir temperaturas de evaporação abaixo de 0°C , porém o sistema LiBr-água é limitado em unidades comerciais a temperaturas não inferiores a 3°C . O sistema água-amônia tem a desvantagem de requerer componentes extras e a vantagem de operar a pressões acima da atmosférica. O sistema LiBr-água opera a pressões abaixo da atmosférica, resultando em infiltrações inevitáveis de ar no sistema, que precisa ser purgado periodicamente. Inibidores especiais precisam ser incorporados aos sistemas LiBr-água para retardar a corrosão.

O maior inconveniente das máquinas de absorção é o seu consumo de energia (calor e bombas), muito mais elevado que o das máquinas de compressão mecânica. Por outro lado as máquinas de absorção têm a vantagem de utilizar a energia térmica em lugar da energia elétrica que é mais cara.

As máquinas de absorção permitem a recuperação do calor perdido no caso de turbinas e outros tipos de instalação que utilizam o vapor d'água, podem ser utilizadas em combinadas com máquinas de compressão a vapor.

Além das vantagens apontadas, as instalações de absorção se caracterizam, pela sua simplicidade, por não apresentarem partes internas móveis, o que lhes garante um funcionamento silencioso e sem vibração, além de se adaptarem bem às variações de carga.

4.3 EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

EXEMPLO 4.3.1: Uma grande máquina de brometo de lítio (fig.35) opera de acordo com as seguintes condições:

- carga de refrigeração, 1000 kW
- temperatura no evaporador (8), 5°C
- temperatura de equilíbrio no absorvedor (3), 42°C
- temperatura no condensador (7), 45°C
- temperatura do vapor refrigerante (6), 96°C
- temperatura da solução (1), 104°C
- temperatura da solução (5), 82,4°C

Calcular o COP do sistema.

EXEMPLO 4.3.2: Um sistema de absorção água-amônia (fig.38) opera de acordo com as seguintes condições:

- carga de refrigeração, 725 kW
- temperatura no gerador, 104°C
- pressão no condensador, 1167 kPa
- temperatura do vapor que deixa o evaporador, -6,7°C
- temperatura da solução forte, 32,2°C
- pressão no absorvedor, 236 kPa.

Calcular o COP do sistema.

FIGURA 38 - SISTEMA DE ABSORÇÃO ÁGUA-AMÔNIA

