

# **P23 – Desenvolver Bomba de Calor por Ciclo de Absorção de Pequeno Porte Para Eficientização de um Sistema de Aquecimento de Água - Ciclo 2007/2008**

André Schiavon Perez Ortigosa<sup>1</sup>, Eli Wilfredo Zavaleta Aguilar<sup>1</sup>, Felipe Canineo Preter<sup>1</sup>, Ricardo Luiz Labozetto<sup>1</sup>

1 PME/EPUSP

**Resumo** – Cada vez mais a refrigeração e o condicionamento de ar tomam lugar de destaque na sociedade em que vivemos seja na indústria para a armazenagem de produtos perecíveis, no controle de qualidade ou para o conforto ambiental. A maioria dos ciclos de obtenção do “frio” se baseia no ciclo de compressão mecânica de vapor, os quais necessitam de um compressor para comprimir vapor do fluido refrigerante. Por outro lado, um tipo de ciclo que gradualmente vem ganhando espaço são os sistemas de refrigeração por absorção que se utilizam de uma fonte quente para a obtenção de frio. Apesar de, em geral, apresentar um desempenho térmico menor que a dos ciclos de compressão de vapor, os sistemas de absorção vêm aumentando sua viabilidade graças ao menor consumo de energia elétrica e a possibilidade de aproveitamento de fontes de calor, muitas vezes rejeitadas para o ambiente, como os casos dos produtos de combustão, o que os torna particularmente viáveis para os sistemas de cogeração de energias térmica e elétrica. Os sistemas de refrigeração por absorção, por sua vez, se baseiam no comportamento do equilíbrio químico de dois fluidos distintos que não reagem quimicamente entre si e que possuam propriedades termodinâmicas particularmente adequadas para ciclos de refrigeração. Os pares água-brometo de lítio e água-amônia são, atualmente, os únicos que têm largo emprego comercial e que satisfazem muitos critérios termodinâmicos e de operação. Entretanto, eles também possuem alguns inconvenientes.

Palavras-chave: Bomba de calor, aquecimento de água, fontes de calor, ar condicionado, Comgás

## **Introdução**

O par água-brometo de lítio pode apresentar formação de fase sólida, o que inviabiliza seu emprego em refrigeração, ficando restrito aos sistemas de ar condicionado apenas. Além disso, o brometo de lítio pode se cristalizar em valores moderados de concentração e, normalmente, os sistemas baseados nesta tecnologia são mais volumosos, já que a água é o fluido refrigerante a qual possui elevado volume específico da fase vapor para baixas pressões. Por outro lado, o par água-amônia pode operar em sistemas de refrigeração, em temperaturas subzero. Os registros históricos indicam que a primeira patente de um sistema de refrigeração por absorção comercial foi obtida em 1860 por Ferdinand Carré, nos Estados Unidos. Tratava-se de um ciclo de amônia-água e tinha como finalidade o uso na área de refrigeração. Mais recentemente, a partir de 1960, o seu uso tem sido mais generalizado, inclusive com uso para ar condicionado residencial. O princípio de funcionamento do ciclo de absorção é, por

assim dizer, tão interessante que o próprio Einstein se interessou pelo mesmo. À época, havia um ciclo idealizado por Szilárd que, por último, acabou também sendo patenteado conjuntamente com Einstein em 1930 nos Estados Unidos. O problema da época era o excessivo vazamento que os ciclos mecânicos tinham, então Szilárd e Einstein propuseram um ciclo sem partes móveis.

## **Desenvolvimento**

O desenvolvimento do projeto divide-se em 4 etapas, e essas 4 etapas dividem-se no projeto em 4 capítulos. O Capítulo 1 apresenta a teoria de funcionamento do ciclo de absorção, seus componentes principais e princípio de funcionamento. As equações de conservação são apresentadas para cada componente do ciclo. No Capítulo 2 mostra-se todo o trabalho de documentação dos componentes e os testes realizados em um ciclo comercial existente no mercado. É digno de nota que este equipamento foi adquirido com verba orçada no presente projeto e atualmente encontra-se no

laboratório SISEA. O objetivo deste capítulo foi o de realizar testes laboratoriais de funcionamento do ciclo tendo em vista levantar os principais dados operacionais de um ciclo comercial com vistas a aferir e comparar os resultados esperados do modelo termodinâmico desenvolvido, o qual é o objeto de discussão detalhada no Capítulo 3. Para a execução da bateria de testes, foi preciso construir um sistema de simulação de carga térmica, em que foi possível fornecer uma carga térmica ao equipamento de forma controlada. Baseado no conhecimento adquirido foi realizado o projeto conceitual de um novo ciclo de absorção de calor, conforme descrito no Capítulo 4. Juntamente com o trabalho de modelagem, aqui residiu grande parte dos desafios desse projeto. Os diversos componentes do ciclo foram analisados e as diversas tecnologias que podem ser incorporadas ao ciclo. Uma análise detalhada de cada componente foi efetuada com vistas a se definir seu correto funcionamento. Por fim, nesse mesmo capítulo é apresentado o projeto executivo do ciclo. Todos os principais componentes foram dimensionados tanto do ponto de vista térmico, como mecânico e os desenhos de construção foram elaborados. No capítulo final de conclusões, justifica-se o porquê de o ciclo não ter sido construído, embora todos os componentes tenham sido dimensionados. Grande parte da dificuldade residiu na aquisição de componentes no mercado nacional, sobretudo da bomba de solução. Finalmente, no âmbito do presente projeto havia a previsão de adequação laboratorial. A documentação fotográfica e outros detalhes da implementação da reforma foram estudados e levantados.

## Resultados

O ciclo foi concebido numa fase inicial, que evoluiu para os testes de simulação, e posteriormente para o projeto executivo. Partes consideráveis do ciclo foram construídas, porém não foram completamente integradas, haja visto que todos os prazos de postergação obtidos junto ao órgão regulador já se expiraram. A seguir são apresentadas algumas das dificuldades encontradas e o estágio de construção do ciclo.

Um dos componentes importantes do ciclo é a bomba de mistura. Inicialmente, pensou-se em utilizar a bomba antiga da Robur. Depois de inúmeras tentativas de colocá-la em funcionamento, reparo de componentes internos e horas de bancada e testes, chegou-

se à conclusão de que isto não seria possível devido ao seu estado de deterioração. No passo seguinte tentou-se pôr em funcionamento uma segunda bomba antiga que foi disponibilizada. Retirada a bomba foram feitos testes de medição de vazão onde foi detectado seu funcionamento irregular. Quando aberta, esta apresentou um diafragma deformado e problemas em seu sistema de vedação, não sendo capaz de cumprir sua função. Somente após a troca do diafragma e alterações no sistema de vedação da mistura amônia- água é que foram iniciados os testes a fim de que fosse medida a sua vazão. Depois de alguns testes preliminares, observou-se alterações em seu nível de ruído e o surgimento de vazamentos de óleo hidráulico, o que impôs a necessidade de que fossem trocados os rolamentos e seus respectivos sistemas de vedação. Fazendo testes posteriores, comprovou-se que a bomba fornecia uma vazão muito baixa, além disso, a temperatura do óleo aumentava muito, na ordem de 130 °C. Uma intensiva procura pelo bom funcionamento da bomba foi feita, já que não era possível achar uma bomba no mercado que atingisse os requerimentos e fosse relativamente barata. Mas depois de procurar muitos fornecedores de bombas chegou-se a uma bomba ideal. Grande parte do equipamento foi construído. A Figura 1 mostra a câmara de aquecimento e pode-se ver o isolamento térmico que foi colocado internamente à câmara. O material do isolamento térmico é de fibra cerâmica.



**Figura 1** – Câmara de aquecimento

A Figura 2 mostra o condensador, absorvedor e o evaporador, feitos no laboratório de acordo com o projeto executivo.



**Figura 2** – Condensador, absorvedor e evaporador construídos

A Figura 3 mostra a câmara de aquecimento (ver Figura 1) montada ao gerador de vapor.



**Figura 3** – Visão geral do equipamento construído com o queimador montado

A Figura 4 mostra o conjunto de trocadores de calor e massa, assim como também a câmara de combustão montada em conjunto com suas ligações.



**Figura 4** – Condensador, evaporador e absorvedor construídos

### Conclusões e Contribuições

Em todo trabalho experimental existe um grande número de pessoas, empresas, técnicos e fornecedores envolvidos cada qual com suas condições de entrega, prazos e normas a serem seguidas o que muitas vezes dificultam e atrasam em suas prestações de serviços. Devido ao alto custo e longos prazos de entrega em se mandar fabricar os trocadores de calor, e trocadores de calor e massa (condensador, evaporador e absorvedor) sob medida, decidiu-se pela sua fabricação no próprio laboratório. Depois de uma pesquisa preliminar e uma série de visitas a fornecedores e construtores de trocadores de calor, deu-se início à compra do material necessário. Foram comprados tubos de 8", caps, tubos de menores diâmetros para conexões e cotovelos. Para a construção das serpentinas que foram usadas nos trocadores de calor, decidiu-se pelo uso de tubos de aço carbono com diâmetro externo de 10mm sem costura (devido às altas pressões envolvidas) o que foi muito complicado de achar. Além da dificuldade em encontrar este tipo de tubo para pronta entrega foi necessário esperar vários dias até que a compra fosse liberada.

No caso da bomba de mistura, por exemplo, quando da vinda do técnico especializado para dar a partida no equipamento antigo, foi obtida uma informação com relação ao óleo que deveria ser usado em seu sistema hidráulico. Por não ser o óleo correto houve um superaquecimento na bomba danificando seu diafragma e provavelmente em seu rolamento e sistema de vedação sendo necessário sua

reposição o que levou algum tempo até que tudo fosse reparado. Quando posta a funcionar, apresentou bombeamento de uma vazão menor, razão pela qual se comprou outra bomba.

### **Referências**

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers), Handbook Fundamentals Volume, Atlanta, USA, 1981.

Mc ADAMS, WILLIAM H. "Heat Transmission", 3ª Ed. McGraw-Hill, New York, 1954.

SONNTAG, R.E., BORGNAKKE, C., VAN WYLEN, G. J. "Fundamentos de Termodinâmica", 6ta edicion, Ed. Edgard Blucher Ltda, Brasil, 2003.

VARANI, C.M. 2001, "Avaliação Energética e Exergética de uma Unidade de Refrigeração por Absorção Água/Brometo de Lítio", UFP, Tese (Doutorado), João Pessoa/Pb.

VROMEN, B. H. "Ind. Eng. Chem.", 54, No 6, p. 20 (1962).