

USO DE BOMBAS DE CALOR EM PROCESSOS INDUSTRIAIS

Rafael Martinez Lima Guilhermetti

rafaelmlg@gmail.com

Resumo. Este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho energético de bombas de calor que operam segundo um ciclo de compressão de vapor. Esta análise busca a otimização de alguns processos do setor industrial, os quais apresentam potencial para tal aplicação. Esta avaliação energética permite que sejam determinados para uma bomba de calor operando em regime permanente, os valores do coeficiente de eficácia, a potência consumida no compressor, as taxas de troca de calor no evaporador e condensador, as temperaturas de condensação e evaporação, além do fluido refrigerante mais indicado. A análise econômica é baseada na pesquisa de fabricantes dos componentes da bomba de calor, obtendo uma estimativa do investimento inicial e do custo de implantação desse projeto e sua posterior economia ao longo do tempo. Com isso, identifica-se a possível aplicação da bomba de calor na indústria.

Palavras chave: *Bomba de calor, Coeficiente de eficácia, Fluido refrigerante, Secagem de papel.*

1. Introdução

A bomba de calor é um sistema termodinâmico capaz de retirar energia na forma de calor de um meio a temperatura inferior, chamado de fonte fria, e de fornecer energia útil, na forma de calor, a um meio de temperatura superior, chamado de fonte quente, à custa de um consumo de energia.

De acordo com a segunda lei da termodinâmica, o calor não pode espontaneamente fluir de uma posição mais fria para uma posição mais quente, é requerido trabalho para conseguir isto. As bombas de calor podem essencialmente ser pensadas como motores de calor que operam no reverso. Um motor de calor permite que a energia flua de uma fonte quente, como visto anteriormente, para uma fonte fria, “dissipador”, extraindo uma fração dela como trabalho no processo.

Inversamente, uma bomba de calor requer trabalho para mover a energia térmica de uma fonte fria para um dissipador de calor mais quente.

Este trabalho apresenta quatro exemplos de aplicação de bombas de calor em processos industriais. Os setores industriais abordados têm grande potencial para a utilização de bombas de calor e se afigura como uma opção atrativa para a conservação de energia. A escolha tanto dos equipamentos como dos fluidos refrigerante se baseiam na utilização do mercado.

Estas bombas de calor, que operam segundo o ciclo de compressão de vapor, são analisadas com relação ao seu desempenho energético e econômico.

O desempenho energético engloba a determinação dos valores de coeficiente de eficácia, potência consumida do compressor, taxas de troca de calor no condensador e evaporador, temperaturas de condensação e evaporação além do fluido refrigerante escolhido.

O desempenho econômico leva em conta o custo inicial do equipamento e as taxas e o tempo de retorno deste investimento.

2. Ciclo de compressão de vapor

O ciclo consiste em 4 estágios:

- compressão isentrópica de 1 a 2, isto é, o compressor realiza trabalho sobre o vapor, transfere potência a ele;
- troca de calor isobárica de 2 a 3, com condensação do vapor;
- expansão isentálpica de 3 a 4, ocorre numa válvula termostática ou em um tubo capilar;
- troca de calor isobárica e isotérmica de 4 a 1, com evaporação do líquido.

A figura 1 representa o ciclo de compressão de vapor que é o ciclo mais utilizado pelas bombas de calor existentes devido a sua simplicidade e eficiência.

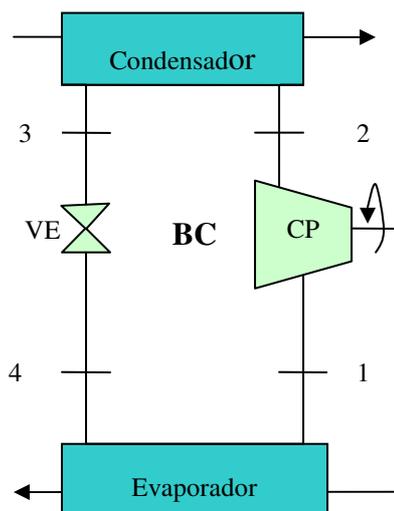


Figura 1: Ciclo de compressão de vapor.

3. Bombas de calor

Os componentes deste ciclo são: evaporador, compressor, condensador, uma válvula de expansão além do fluido refrigerante, os quais são conectados para dar forma a um circuito fechado.

3.1. Fluido refrigerante

O fluido de trabalho de uma bomba de calor é o elemento que transfere a energia removida no evaporador acrescida da energia de compressão para o condensador.

O que se leva em conta nessa escolha são suas propriedades termodinâmicas, como a pressão de saturação nas temperaturas de condensação e evaporação, entalpia específica de vaporização nas temperaturas de condensação e evaporação, temperatura e pressão crítica, temperatura de descarga do compressor, volume específico, toxicidade, inflamabilidade e estabilidade térmica.

3.1.1. Fluidos refrigerantes utilizados

A escolha dos fluidos refrigerantes neste trabalho foi determinada pela sua utilização em equipamentos nos dias atuais.

Para baixas temperaturas tem sido utilizado R-134a (1,1,1,2-tetrafluoretano) e para altas temperaturas tem sido utilizado R-236fa (1,1,1,3,3,3-hexafluorpropano).

Dentre os refrigerantes que atendem as características ambientais contra a destruição da camada de ozônio e de aquecimento global estão os hidrocarbonetos. Estes refrigerantes ainda não tinham sido considerados uma alternativa de substituição, pois são inflamáveis.

Em algumas partes do mundo, principalmente na Europa, existem sistemas operando com hidrocarbonetos como fluido refrigerante.

Para baixas temperaturas as pesquisas indicam R-600a (isobutano) e para altas temperaturas R-600 (butano).

A tabela 1 faz a comparação entre os fluidos refrigerantes utilizados para duas propriedades termodinâmicas, pressão crítica e temperatura crítica.

Tabela 1: Propriedades termodinâmicas dos fluidos refrigerantes utilizados.

	R-12	R-114	R-600a	R-600	R-134a	R-236fa	
T crítica	112,0	145,7	134,7	152,0	101,1	124,9	°C
P crítica	41,4	32,6	36,3	38,0	40,6	32,0	bar

3.2. Compressores

O compressor é o principal equipamento da bomba de calor, sendo responsável pelo coeficiente de eficácia e está diretamente ligado à movimentação do refrigerante no sistema e pelo aumento da pressão do refrigerante.

3.3. Condensadores

O condensador permite a transferência de calor do refrigerante para o fluido que deve ser aquecido.

3.4. Evaporadores

O evaporador é responsável pela transferência de calor para o refrigerante.

3.5. Dispositivos de expansão

Para aplicações industriais o dispositivo mais utilizado é a válvula de expansão termostática. Esta válvula reduz a pressão do refrigerante de condensação para a de evaporação e controla sua vazão de forma que o evaporador receba a quantidade necessária que pode ser evaporada.

4. Avaliação do desempenho de bombas de calor

O afastamento da compressão isentrópica pode ser avaliado através do rendimento isentrópico do compressor que é dado por:

$$\eta_{ise} = (h_{2s} - h_1) / (h_{2r} - h_1) \quad (1)$$

Onde h_{2s} é entalpia do ponto 2 no ciclo de compressão isentrópico e h_{2r} é entalpia do ponto 2 no ciclo de compressão real.

Ou seja, é a relação entre trabalho de compressão isentrópico e trabalho de compressão real.

O coeficiente de eficácia do ciclo de compressão ideal é dado por:

$$\epsilon_i = (h_{2s} - h_4) / (h_{2r} - h_1) \quad (2)$$

O trabalho que é utilizado para o acionamento de bomba de calor é dado por:

$$\omega = (h_{2s} - h_1) / (\eta_{ise} \eta_m \eta_t \eta_e) \quad (3)$$

Onde η_{ise} é o rendimento isentrópico, η_m é o rendimento mecânico, η_t é o rendimento da transmissão e η_e é o rendimento do motor de acionamento.

O coeficiente de eficácia do ciclo de compressão real pode ser relacionado com o coeficiente de eficácia do ciclo ideal pela expressão:

$$\epsilon_{bc} = 1 + \eta_{ise}(\epsilon_i - 1) \quad (4)$$

O coeficiente de eficácia da bomba de calor real pode ser definido como:

$$\epsilon_r = \epsilon_{bc} \eta_m \eta_t \eta_e \quad (5)$$

A figura 2 mostra o circuito de uma bomba de calor, onde,

T_{ee} = Temperatura de entrada do evaporador;
 T_{se} = Temperatura de saída do evaporador;
 T_{ec} = Temperatura de entrada do condensador;
 T_{sc} = Temperatura de saída do condensador;
 m_1 = vazão mássica do fluido que passa pelo condensador;
 m_2 = vazão mássica do fluido que passa pelo evaporador;
 T_{cd} = Temperatura de condensação do fluido refrigerante;
 T_{ev} = Temperatura de evaporação do fluido refrigerante.

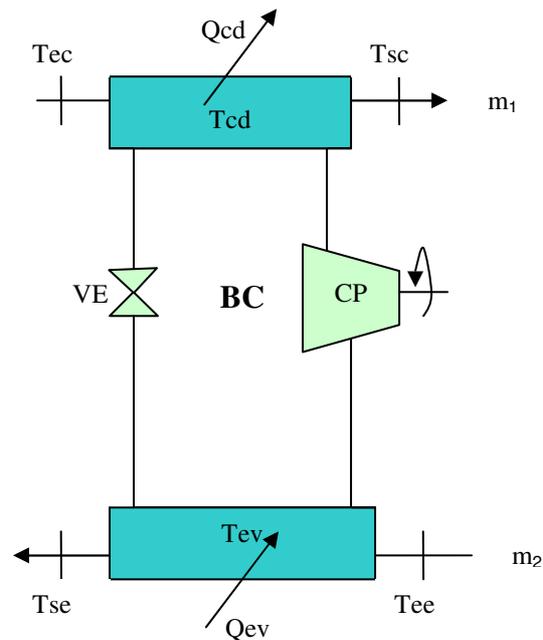


Figura 2: Esquema de uma bomba de calor.

$$Q_{cd} = m_1(h_{sc} - h_{ec}) \quad (6)$$

$$Q_{ev} = m_2(h_{se} - h_{ee}) \quad (7)$$

Da primeira lei da termodinâmica tem-se que:

$$\omega_{bc} = Q_{cd} - Q_{ev} \quad (8)$$

Onde ω_{bc} é a potência efetivamente fornecida ao refrigerante.

Relacionando ω_{bc} e ω_{cp} , que é a potência do compressor:

$$\omega_{bc} = \eta_m \omega_{cp} \quad (9)$$

Sendo o coeficiente de eficácia (ϵ_{bc}) do ciclo real de compressão dado por:

$$\epsilon_{bc} = Q_{cd} / \omega_{bc} \quad (10)$$

E o coeficiente de eficácia (ϵ_i) do ciclo ideal:

$$\epsilon_i = Q_{cd} / \omega_i \quad (11)$$

Onde ω_i é a potência fornecida ao refrigerante na compressão isentrópica.

$$\omega_i = \eta_{ise} \omega_{bc} \quad (12)$$

O coeficiente de eficácia do ciclo de Carnot operando entre T_{cd} e T_{ev} é dado por:

$$\varepsilon_c = T_{cd} / (T_{cd} - T_{ev}) \quad (13)$$

E o rendimento do ciclo de compressão ideal:

$$\eta_i = \varepsilon_i / \varepsilon_c \quad (14)$$

O coeficiente de eficácia real (ε_r) é dado por:

$$\varepsilon_r = Q_{cd} / \omega_e \quad (15)$$

Considerando o acionamento por um motor elétrico, o coeficiente de eficácia real pode ser escrito como função dos rendimentos:

$$\varepsilon_r = [1 + \eta_{ise} (\varepsilon_c - 1)] \eta_m \eta_e \quad (16)$$

Sendo $T_{cd} - T_{sc} = \theta_1$ e $T_{se} - T_{ev} = \theta_2$ são recomendados (OLIVEIRA Jr., 1985) os seguintes valores de acordo com o fluido da fonte fria e do utilizador de energia:

- condensador: $\theta_1 = 5$ K para água e 10 K para ar.
- evaporador: $\theta_2 = 5$ K para água e 10 K para ar.

4.1. Avaliação econômica

Para o cálculo do investimento inicial, tem-se a cotação pela SULZER, de compressores alternativos com as respectivas potências exigidas.

Sendo que para esses compressores pode-se utilizar a relação entre o custo total dos compressores / custo da bomba de calor = 0,30. Obtém-se o investimento (I).

Para o cálculo das economias obtidas e o tempo de retorno do investimento, utilizou-se a economia bruta anual EBA, que é simplesmente a diferença de energia gasta antes e depois da implantação da bomba de calor.

Tendo-se a potência elétrica consumida, o número de horas trabalhadas, a diferença do gasto de energético substituído, obtém-se o valor de EBA.

Tem-se a economia líquida anual ELA, que pode ser obtida através da economia bruta anual (OLIVEIRA Jr., 1985) e o tempo de retorno de investimento n.

$$ELA = EBA - r (EBA - I/v) \quad (17)$$

$$n = \ln(ELA / (ELA - ir)) / (\ln(1 + i)) \quad (18)$$

Onde,

r = taxa de imposto de renda (%).

v = vida útil do equipamento (anos).

i = taxa anual de juros (%).

5. Aplicações

Em indústrias que tem grande dispêndio energético, o rejeito pode ser revertido como insumo energético para bombas de calor. Já existem sistemas de regeneração de calor, sendo que a bomba de calor seria utilizada para esse mesmo fim.

Poucas bombas de calor são instaladas atualmente na indústria, em comparação com as residenciais. Entretanto, à medida que as regulamentações ambientais se tornam mais restritas, as bombas de calor industriais podem transformar-se em uma tecnologia importante para reduzir emissões de fluidos que degradem a camada de ozônio, além disso, melhorar a eficiência do sistema.

As aplicações industriais mostram uma variação grande no tipo de energia, de tamanho, de condições de operação, de fontes de calor e do tipo de aplicação de uma bomba de calor.

As bombas de calor industriais são usadas principalmente para:

- Aquecimento e refrigeração de espaços;
- Aquecimento e refrigeração de processos industriais;
- Aquecimento de água para lavagem e limpeza;

- Produção do vapor;
- Secagem e desumidificação;
- Evaporação;
- Destilação;
- Concentração.

Os setores químicos, petroquímicos, alimentos e bebidas, celulose e papel e têxtil consistem em um enorme campo para utilização das bombas de calor, devido aos processos supracitados, pois para destes processos nestas indústrias, a faixa de temperatura utilizável é condizente com as condições de operação das bombas de calor atualmente existentes

6. Resultados

6.1. Indústria de papel e celulose – Estudo de caso I

A análise foi feita para o processo de secagem a pressão 12,5 bar e temperatura de 220°C, sendo que o vapor utilizado para o fornecimento de energia (fonte fria) para tal processo vem do excesso de produção de vapor para consumo da linha de pressão 4 bar e temperatura de 165°C, com vazão de processo de 71.700 kg/h.

Como as temperaturas em questão são mais altas do que as comumente empregadas pelas bombas de calor convencionais, não havendo fluido refrigerante com tais propriedades, tem-se a possibilidade do emprego de água, no caso vapor, como refrigerante, sendo, portanto um fluido não convencional. A figura 3 apresenta o esquema deste circuito com a bomba de calor.

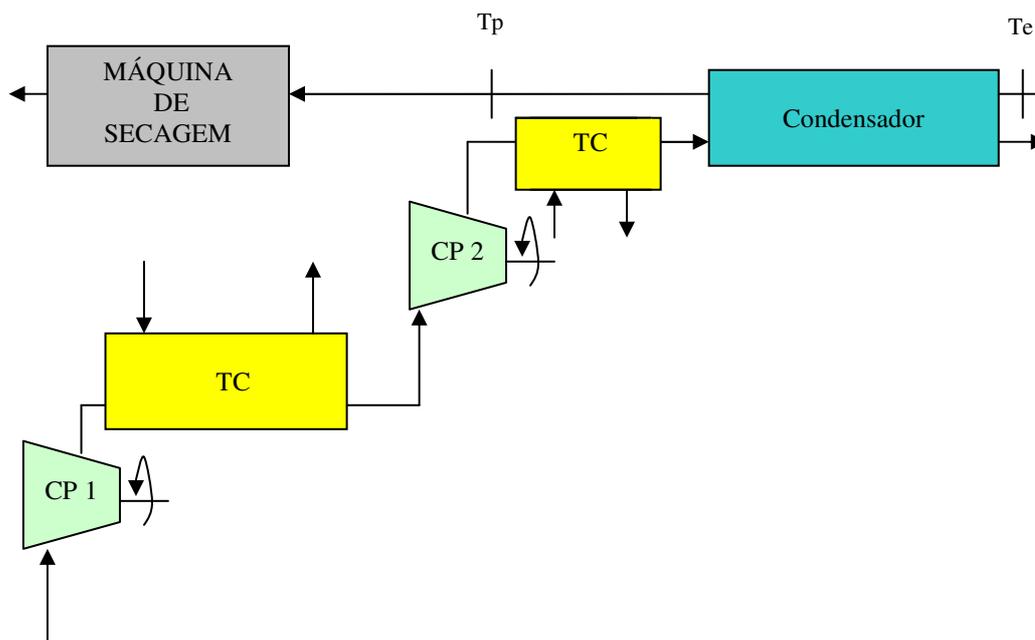


Figura 3: Esquema da bomba de calor no processo de secagem por recompressão mecânica de vapor.

Onde,

CP = compressor.

TC = trocador de calor.

Tp = Temperatura de processo.

Te = Temperatura de entrada da água de alimentação.

Obteve-se como resultado uma potência requerida pelos compressores de aproximadamente 6 MW, com rendimento de 70%..

Com isso, conclui-se até o momento, que não é possível a realização deste método, pois a potência do compressore de vapor d'água é extremamente grande, não possuindo equipamento disponível no mercado.

6.2. Indústria de papel e celulose – Estudo de caso II

Nesta outra indústria de papel e celulose, dentre os vários processos existentes, o sistema de secagem apresenta maior interesse para a aplicação de bombas de calor. O fluxograma abaixo descreve esse processo:

Os valores dos parâmetros de processo utilizados são:

- vazão média de água de alimentação: 8.000 kg/h.
- temperatura de água de alimentação: T_{sc} : 35°C.
- temperatura da água na entrada da máquina de secagem: T_p : 100°C.
- temperatura de rejeito da máquina de secagem: T_{ee} : 90°C.

São propostos quatro sistemas de bombas de calor para o processo em análise. O sistema 1 é formado por uma bomba de calor, um recuperador de calor para preaquecer o fluxo de alimentação, e também opera consumindo vapor. A fonte fria da bomba de calor é o próprio fluxo de rejeito da máquina de secagem. No sistema 2 foi feita a inversão de posições da bomba de calor com o aquecedor com vapor. No sistema 3 há duas bombas de calor em série e ainda mantém-se uma parte do consumo de vapor e o recuperador de calor. O sistema 4, mostrado na fig. 4 é similar ao sistema 3, porém sem o recuperador de calor.

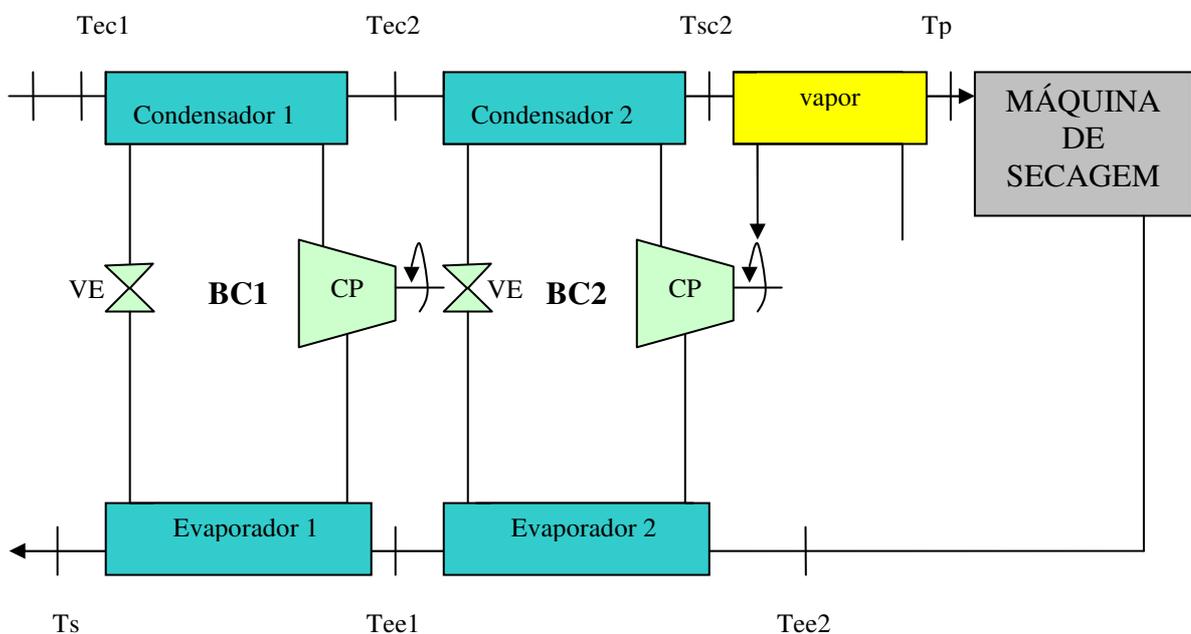


Figura 4: Esquema do Sistema 4.

Analisando os resultados, os sistemas 1 com R-600 e o sistema 4 com R-600a para BC1 e R-600 para BC2 são os mais indicados neste processo, e visto que a diferença entre o tempo de retorno destas opções 1 e 4 são apenas de alguns meses, o sistema 4 se afigura como mais atrativo devido ao seu alto coeficiente de eficácia de cerca de 7,45 e $n = 2,54$ (31 meses).

6.3. Indústria de alimentos

Foi feito um estudo em uma indústria de laticínios, que produz leite, queijo, iogurte e manteiga.

Entre os processos envolvidos estão a separação, a desnatação, a clarificação, a homogeneização, a mistura, a centrifugação, a evaporação, a coagulação, a hidratação, a desidratação, a fermentação, o corte, a solidificação, a prensagem, a desmoldagem, a salga, a secagem, a maturação, a moagem, a lavagem, o empacotamento, a armazenagem, o transporte entre outros. Dependendo do produto, cada procedimento requerido é feito em uma determinada ordem, utilizando certo conjunto de equipamentos e demandando uma série de utilidades específicas

Foi analisado o processo de hidratação de proteínas, na área de recepção do leite, pois demanda uma considerável parcela de energia e as temperaturas de processo estão numa faixa de acordo para uma possível implantação de uma bomba de calor

Os valores dos parâmetros de processo utilizados são:

- vazão média de água de alimentação: 12.000 kg/h.
- temperatura de água de alimentação: $T_{sc}: 18^{\circ}\text{C}$.
- temperatura da água na entrada da hidratação de proteínas: $T_p: 60^{\circ}\text{C}$.
- temperatura de rejeito da hidratação: $T_{ee}: 48^{\circ}\text{C}$.
- vazão de água de retorno da hidratação: 10.800kg/h.

São propostos dois sistemas de bombas de calor para o processo em análise, o sistema 1, mostrado na fig. 5, é formado por uma bomba de calor e mantém-se ainda uma parte do consumo de vapor. A fonte fria da bomba de calor é o próprio fluxo de rejeito do processo de hidratação de proteínas. O sistema 2 foi feita a inversão da bomba de calor com o aquecedor

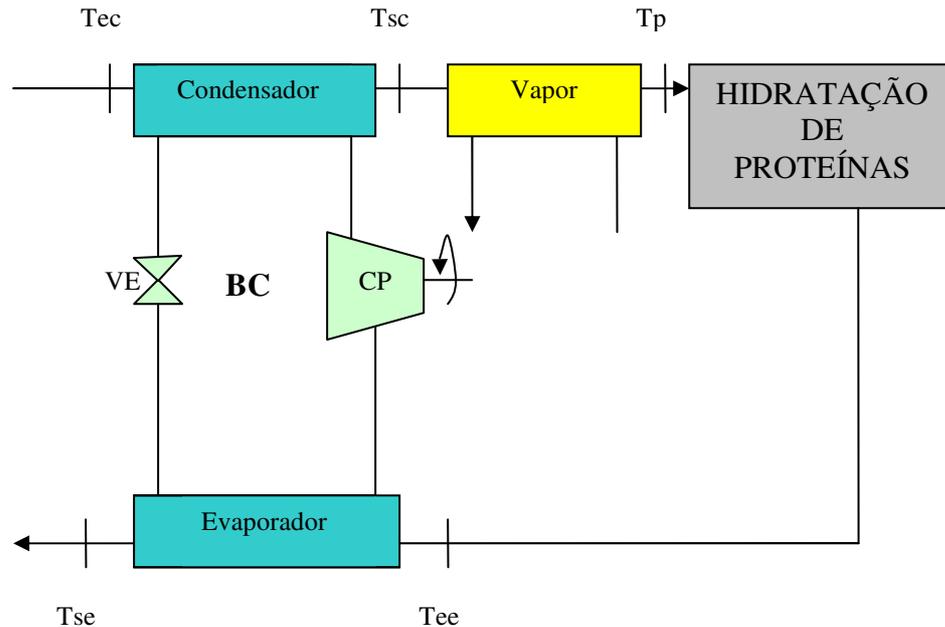


Figura 5: Esquema do Sistema 1.

Para os cálculos utilizaram-se somente os refrigerantes R-600a e R-134a, pois a temperatura de processo é baixa, 60°C . Consequentemente a temperatura de condensação do fluido refrigerante é baixa.

Analisado os resultados, pode-se concluir que o maior $\epsilon_r = 6,23$ e o menor $n = 2,52$ (31 meses), estão no sistema 1 com fluido refrigerante R-600a, além de ter os maiores EBA e ELA, o que indica esta ser a melhor alternativa para o emprego de bomba de calor neste processo.

6.4. Indústria têxtil

Outra indústria estudada foi uma empresa que produz vários tipos de tecidos. Uma etapa desta produção consiste na lavagem destes tecidos.

Os valores dos parâmetros de processo utilizados são:

- vazão média de água de alimentação: 15.000 kg/h.
- temperatura de água de alimentação: $T_{sc}: 21^{\circ}\text{C}$.
- temperatura da água na entrada da máquina de lavagem: $T_p: 90^{\circ}\text{C}$.
- temperatura de rejeito da máquina de lavagem: $T_{ee}: 72^{\circ}\text{C}$.

São propostos dois sistemas de bombas de calor para o processo em análise. O sistema 1, mostrado na fig. 6 é formado por uma bomba de calor, recuperador de calor para preaquecer o fluxo de alimentação, e também opera consumindo vapor. A fonte fria da bomba de calor é o próprio fluxo de rejeito da máquina de lavagem. O sistema 2 foi feita a inversão da bomba de calor com o aquecedor com vapor.

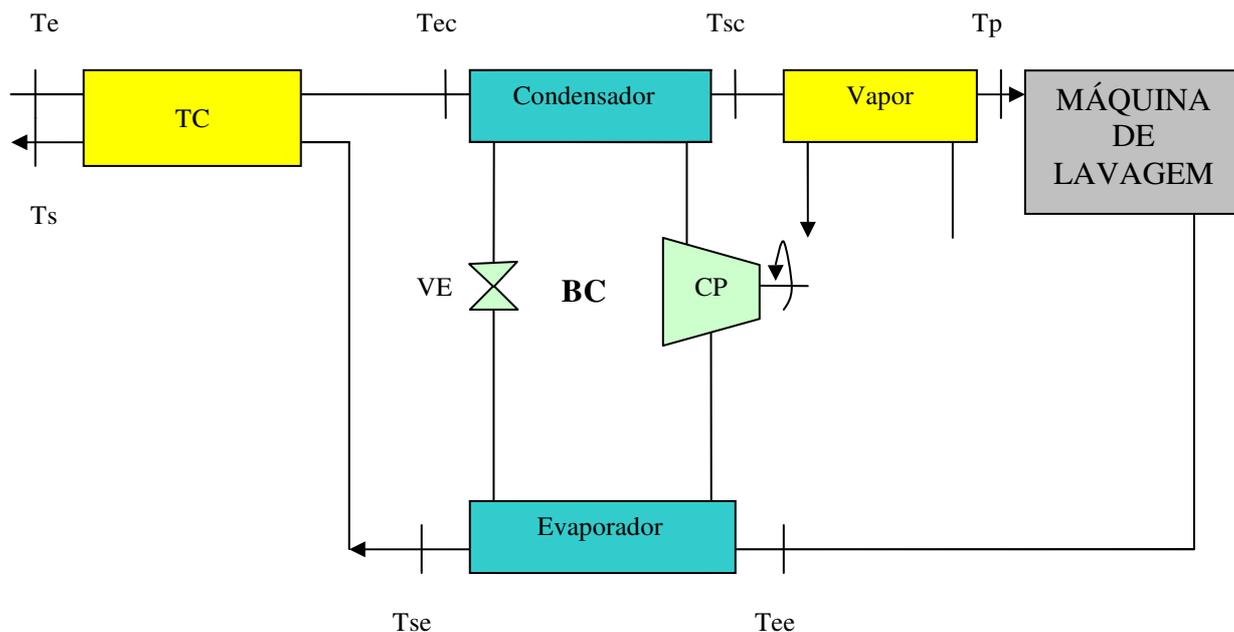


Figura 6: Esquema do Sistema 1.

No sistema 1 a bomba de calor utiliza R-600a ou R-134a, e no sistema 2 emprega-se como fluido refrigerante R-600 ou R-136fa.

Analisado os resultados, pode-se concluir que o maior $\epsilon_r = 8,01$ e o menor $n = 0,95$ (12 meses), estão no sistema 1 com fluido refrigerante R-600a, além de ter os maiores EBA e ELA, o que indica esta ser a melhor alternativa para o emprego de bomba de calor neste processo.

7. Conclusão

Visto o coeficiente de eficácia, tem-se que para maximizar seu valor, portanto devem-se analisar os seguintes parâmetros de trabalho:

- características do fluido de trabalho;
- as temperaturas de condensação e evaporação;
- sub-resfriamento do líquido;
- superaquecimento do vapor no evaporador;
- a possibilidade de incorporar um trocador intermediário;
- rendimentos do compressor, motor e sistema de transmissão;
- possibilidade de resfriar o motor do compressor.

Analisando o desempenho energético, e posteriormente avaliando o desempenho econômico, tem-se como resultado a determinação da bomba de calor e sua funcionalidade.

Em suma, as bombas de calor podem ser utilizadas em inúmeros processos industriais, aumentando a eficiência dos mesmos, pois, o calor liberado que iria ser jogado fora, é então reutilizado.

Foi analisada a utilização de bombas de calor em quatro processos industriais, dois na indústria de papel e celulose, no processo de secagem de papel, um na indústria de laticínios, no processo de hidratação de proteínas e um na indústria têxtil, no processo de lavagem de tecidos.

A aplicação de bombas de calor em processos industriais apresenta potencialidade em setores que se utilizam de fluidos a uma temperatura máxima por volta de 120°C . Estes setores são o de celulose e papel, têxtil, alimentos, petroquímico entre outros. Os quais são setores de grande participação no consumo de energéticos do setor industrial.

Pode-se salientar que quando o energético consumido é energia elétrica, a bomba de calor possui uma determinada atratividade, porém, este atrativo não ficou determinado para outros tipos de energéticos.

Além disso, pode-se observar que quanto maior o número de horas em operação, mais vantajoso é o emprego deste equipamento.

O refrigerante empregado na bomba de calor para baixa temperatura, era o R-12, tem sido substituído pelo R-134a (chega a temperaturas de condensação de cerca de 70°C). Já o refrigerante empregado na bomba de calor para alta temperatura era o R-114, tem sido substituído pelo R-236fa (chega a temperaturas de condensação de cerca de 120°C). Esta mudança ocorreu devido às restrições impostas pelos protocolos e ambientalistas com objetivo de diminuir a destruição da camada de ozônio.

Porém os hidrocarbonetos estão sendo visto como o futuro dos fluidos refrigerantes, pois além de não destruírem a camada de ozônio, não tem potencial de aquecimento global.

Ainda, hoje, a principal função das bombas de calor é o aquecimento de piscinas, porém já está sendo usado em larga escala em processos industriais, principalmente no exterior, onde já estão utilizando hidrocarbonetos como fluidos refrigerantes para essas bombas de calor.

Com relação às análises de aplicação de bombas de calor, os valores obtidos de coeficiente de eficácia, economias e tempos de retorno, atestam que é possível se ter sistemas de bombas de calor extremamente eficientes e com boa atratividade econômica.

8. Referências bibliográficas

- Ashrae Handbook – Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1997.
- Brodowicz K.; Dyakowski T. 1993; Heat Pumps, Inglaterra, 210p., Butterworth-Heinemann.
- Kemler E. N.; Oglesby Jr. S. 1950; Heat Pump Applications, Estados Unidos, 300p., McGraw-Hill Book Company, INC..
- Larrazábal M. L. G. Análise termoeconômica do emprego de cogeração com gás natural na indústria colombiana de laticínios. Vol. 1. 119 p. Dissertação (Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- Oliveira Jr, S. 1985; Aplicações Industriais de bombas de calor – Metodologia para avaliação de desempenho, São Paulo, 172p. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Velázquez S. M. S. G. A cogeração de energia no segmento de papel e celulosa: contribuição à matriz energética do Brasil. 191p. Dissertação (Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- Embraco.; Informativo técnico – Refrigerantes hidrocarbonos como substituto ao R-12. Ago 2005. Disponível em : <http://www.embraco.com.br/portugue/ produtos/93650.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2007.
- França F.; Ciclo de refrigeração. 2006. 21pags. Disponível em: <www.fem.unicamp.br/~em672/Ciclo_Refrigeracao_Refrigerantes.doc>. Acesso em: 01 mai. 2007.
- Wikipedia, The free Encyclopedia.. Disponível em: <[en.wikipedia.org/wiki/ Heat_pump](http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pump)>. Acesso em: 2 mai. 2007.
- Carrier. Disponível em: <<http://www.residential.carrier.com/products/acheatpumps/heatpumps/index.shtml>>. Acesso em 9 de jun. 2007.
- Heat Pump centre. Disponível em: <www.heatpumpcentre.org/About_heat_pumps/HP_working_fluids.asp>. Acesso em 11 de jun. 2007.
- Texas Industries of Future. Disponível em: <[http://texasiof.ces.utexas.edu/PDF /Documents Presentations/Roundtables/RoundTable_0307.pdf](http://texasiof.ces.utexas.edu/PDF/Documents/Presentations/Roundtables/RoundTable_0307.pdf)>. Acesso em 12 de jun. 2007.
- UK Heat Pump Network. Disponível em: <www.heatpumpnet.org.uk>. Acesso em 13 de jun. 2007.

9. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

HEAT PUMPS IN INDUSTRIAL PROCESS.

Rafael Martinez lima Guilhermetti

rafaelmlg@gmail.com

Abstract. The present work analyzes the energetic performance of heat pumps that operate according to the vapor compression cycle. This analysis seeks the improvement of some industrial processes that present potential for application. This energetic evaluation permits the determination of the coefficient of performance, the compressor power, the boiler's and condenser's rates of heat exchange, the condensing and evaporating temperatures and the most indicated refrigerants fluids. The economic analysis is based on the research for heat pumps components manufacturers, obtaining the initial investment and the pay-back period. Thus, the possible application for the heat pumps in the industry can be identified.

Key-words: Heat pump, Coefficient of performance, Refrigerant fluid, Drying paper.