



1st
INTERNATIONAL WORKSHOP
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

IV SEMANA PAULISTA DE P+L
CONFERÊNCIA PAULISTA DE P+L

Análise da Influência dos Parâmetros: Temperatura de Evaporação, Pressão de Condensação, no Coeficiente de Eficácia de um Ciclo Frigorífico por Absorção Projetado para Resfriar uma Câmara Frigorífica Destinada à Armazenagem de Peixes que Utiliza como Fonte Quente a Queima de Biomassa

Carvalho. Paulo Sergio G. ^a ,

a. Universidade Paulista, São Paulo, psgc@uol.com.br

Resumo

Dentre as várias formas de se produzir frio destaca-se o ciclo frigorífico por absorção que é partir de uma ou mais fontes quentes é capaz de operar câmaras frigoríficas com temperaturas ao redor de -20°C. O presente trabalho visa analisar a influência da temperatura de evaporação, pressão de condensação, no coeficiente de eficácia (COP) de um ciclo frigorífico por absorção que opera utilizando como fonte quente o calor originado pela queima de biomassa e projetado para resfriar uma câmara frigorífica destinada à armazenagem de peixes. No desenvolvimento deste artigo será utilizado o programa computacional Engineering Equation Solver (E.E.S).

Palavras-chave: sistemas frigoríficos; conservação de peixes; ciclo frigorífico por absorção.

1.Introdução

O Brasil é um país com uma faixa litorânea muito extensa, ao longo da qual a pesca é praticada por várias pequenas comunidades que, muitas vezes, não têm a infraestrutura adequada no que se refere ao meio de transporte e nem mesmo energia elétrica para estocar os peixes frutos de árduas e arriscadas jornadas de trabalho. Segundo relatório do IBGE(2.002), no Brasil existe 7 milhões de pessoas sem acesso a energia elétrica da rede pública. Também, estas comunidades se vêem obrigadas a venderem seus peixes a preços vis a atravessadores que possuam um caminhão frigorífico e possam transportar para o centro consumidor em condições mais adequadas. Tal situação, ainda existente não remunera adequadamente o pescador e não satisfaz plenamente ao atravessador, pois, muitas vezes, este volta com seu caminhão frigorífico sem a carga completa, o que, evidentemente, é um prejuízo financeiro. Além disso, ocorre uma agressão ao meio ambiente, pois a necessidade de um maior número de viagens acarreta um grande gasto de combustível com emissão de grande massa de poluentes. Assim sendo, penaliza-se duplamente o

consumidor final, pois o peixe por ele adquirido, durante o tempo que esteve no barco pesqueiro não foi estocado em condições adequadas e ainda custa mais caro devido a não minimização do custo de transporte.

Tal situação pode ser amenizada se a comunidade de pescadores puder ter acesso a uma câmara frigorífica que gere condições adequadas de congelamento, empacotamento e estocagem.

Neste artigo é exibida uma modelagem que permite analisar a influência da pressão de condensação no coeficiente de eficácia (COP) de um ciclo frigorífico por absorção de simples efeito dimensionado para uma câmara frigorífica destinada à proporcionar condições adequadas de conservação de peixes marinhos sem o uso de energia elétrica, mas utilizando como fonte energética o calor proveniente da queima de biomassa. Na modelagem elaborada, o aumento de pressão da solução de água e amônia se dá pela circulação no interior de bomba centrífuga. A temperatura final do vapor refrigerante é obtida, pela passagem da solução água e amônia no gerador de vapor, cuja fonte quente é proveniente dos gases quentes oriundos da queima de biomassa.

2. Descrição do problema

Neste trabalho, após pesquisas, constatou-se a ausência de sistemas frigoríficos com a finalidade de produzir frio destinado à conservação de peixes, em várias comunidades pesqueiras ao longo da costa atlântica brasileira. A não disponibilidade de sistemas de refrigeração deve-se a inexistência de energia elétrica. Como opções têm-se o ciclo frigorífico por compressão de vapor e o ciclo frigorífico por absorção.

O ciclo de refrigeração por compressão de vapor, requer energia mecânica para acionamento do compressor. Essa energia mecânica é proveniente de motores elétricos ou de motores a combustão interna. O motor de combustão interna geralmente consome combustível fóssil, emitindo dióxido de carbono (CO₂) e o monóxido de carbono (CO). Um outro inconveniente no uso do motor de combustão interna é o baixo rendimento termodinâmico que está compreendido na faixa entre 25% a 30 % , segundo Heywood (1.988).

Devido as diversas perdas que acontecem quando o motor de combustão interna é utilizado no acionamento de um compressor frigorífico, usualmente a potência do motor de combustão interna é três vezes superior a potência do compressor do ciclo frigorífico. O emprego de motores de combustão interna no acionamento de ciclo frigorífico pode implicar numa eficiência termodinâmica do motor de combustão ainda menor, pois o regime de operação que atende ao compressor pode não ser coincidente com as condições de operações otimizadas do motor, sendo razoável imaginar rendimentos termodinâmicos na ordem de 7% a 15%. Um outro inconveniente é o nível de ruído emitido pelo motor de combustão interna que, somado ao ruído do compressor e ventiladores do sistema frigorífico, exigem um tratamento acústico para amenizar o problema e atender a legislação ambiental vigente. Apesar desses problemas, a tecnologia que utiliza motor de combustão interna é bastante empregada, por exemplo, em caminhões frigoríficos e câmaras frigoríficas que operam em localidades onde há escassez de energia elétrica.

Uma tecnologia alternativa para solucionar o problema de ruído, emissão de poluentes, e ausência de energia elétrica é o ciclo frigorífico por absorção, que pode aproveitar fontes que rejeitam calor como os gases provenientes de combustão. A opção pelo ciclo frigorífico por absorção é feita devido aos fatores:

1. São sistemas fáceis de fazer cogeração com outros sistemas termodinâmicos;
2. Apresentam custos de operação baixos em relação aos demais, em especial ao ciclo de compressão de vapor, principalmente pelo não consumo de energia elétrica e por utilizar calor como fonte de energia principal, que é normalmente mais barata que a energia elétrica além do fato que, sua eliminação é dispendiosa e representa um desperdício;
3. São mais inofensivos ao meio ambiente que os sistemas convencionais como, por exemplo, o ciclo frigorífico por compressão de vapor;
4. São

comercialmente encontrados para uso doméstico ou para potências relativamente elevadas, notando-se a falta de sistema que possam atender faixas intermediárias de potência; 5. São, no atual cenário tecnológico e energético valiosas ferramentas na busca de aumento do rendimento térmico de plantas industriais e comerciais, através de sua aplicação em sistemas de cogeração; 6. Permitem o uso de rede elétrica monofásica, mesmo para capacidades térmicas elevadas; 7. Consomem pouca energia para o acionamento de equipamentos acessórios como, por exemplo, bombas e ventiladores.

Como principais inconvenientes no uso do ciclo de absorção mencionam-se:

1. São sistemas que ocupam mais espaço quando comparados com os sistemas de compressão de vapor com a mesma capacidade térmica; 2. São sistemas que rejeitam muito calor; 3. São sistemas que operam com baixo coeficiente de eficácia, isto é, com valores típicos na ordem de 0,55, enquanto para um ciclo de compressão de vapor estão próximos de 3; 4. São sistemas pesados.

3. Funcionamento do ciclo frigorífico por absorção

O ciclo frigorífico por absorção proposto opera usando como fluido frigorífico a mistura homogênea de água e amônia, significando que suas propriedades termodinâmicas como a temperatura, pressão, massa específica são uniformes em todo o volume. Entretanto, diferentemente de uma substância pura, o estado termodinâmico é caracterizado por três propriedades sendo então introduzida o conceito de concentração ou fração mássica, usualmente simbolizada por x . Para o sistema proposto, utiliza-se amônia como refrigerante e água como absorvedor. Esta solução recebe calor de uma fonte externa, que pode ser resultante da queima de combustível como o querosene, gás natural, vapor a elevada temperatura, gases residuais de processos industriais, energia solar. O aumento da pressão do fluido oriundo do evaporador após a ocorrência do fenômeno da absorção no qual o vapor da amônia é absorvido pela água transformando-se em uma mistura homogênea na fase líquida é realizado por uma bomba. Considerando que o trabalho de compressão é proporcional à variação de volume, elevar a pressão de um líquido incompressível com uma bomba, requer pouca quantidade de energia. Numa fase posterior, haverá novamente a separação da amônia da água por meio do fornecimento de calor e processo de destilação. A **Fig. 1** ilustra os principais componentes do ciclo frigorífico por absorção.

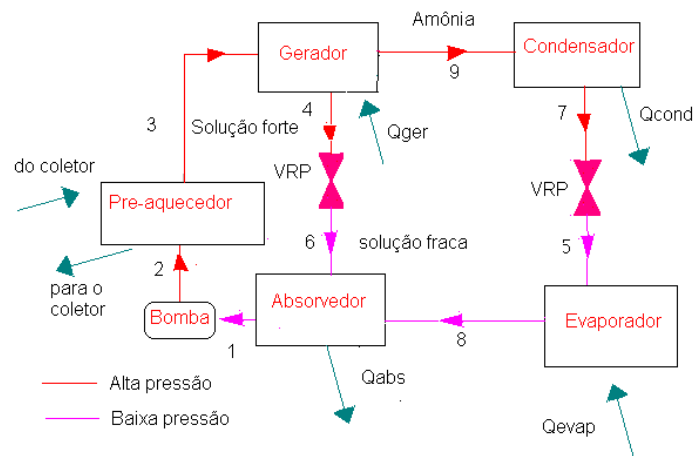


Fig. 1 - Esquema de funcionamento do ciclo de refrigeração por absorção.

4. Simulação do ciclo frigorífico

A análise dos parâmetros propostos neste artigo será viabilizada pelo uso de um programa de computador chamado por EES (*Engineering Equation Solver*). O ciclo proposto foi concebido de acordo com os objetivos a serem alcançados e então reproduzidos no computador para fazer a sua validação. Após a validação do equacionamento, tabelas paramétricas foram criadas, sendo que em cada uma delas, uma propriedade importante foi variada dentro dos valores típicos de operação e a partir destas, criados gráficos que permitem analisar como ocorre a evolução dos parâmetros em função do coeficiente de Eficácia (COP). Efetuada esta fase, pode-se determinar com certeza qual deve ser a melhor faixa operacional da temperatura de evaporação e da pressão de condensação, sempre com o intuito de se obter o máximo coeficiente de eficácia.

5. Equacionamento

As equações utilizadas neste artigo são escritas tomando como referencia a **Fig. 1**.

Parâmetros de projeto

Potência frigorífica ou carga térmica CT em TR ; título na saída do condensador (ponto 7) "

$q_7=0,004$; pressão de evaporação (ponto 7); temperatura na saída do absorvedor (ponto 1)

carga térmica (kW) ;Efetividade (E);Rendimento da bomba $R_b=1$

Cálculo das propriedades termodinâmicas na saída do evaporador considerado vapor saturado (ponto 8)

$T_{8abs}=273,15+t_8$; CALL NH3H2O(58; T_{8abs} ; P8; q_8 : T_{8abs} ; P8; x_8 ; h_8 ; s_8 ; u_8 ; v_8 ; q_8)

Cálculo das propriedades termodinâmicas na entrada do condensador considerado vapor saturado (ponto 9)

$p_9=p_7$; $q_9=1$; CALL NH3H2O(238; p_9 ; x_9 ; q_9 : T_{9abs} ; P9; x_9 ; h_9 ; s_9 ; u_9 ; v_9 ; q_9)

Determinação das propriedades termodinâmicas na saída do condensador considerando líquido saturado (ponto 7)

CALL NH3H2O(238; P7; x_7 ; q_7 : T_{7abs} ; P7; $_7$; h_7 ; s_7 ; u_7 ; v_7 ; q_7) $m_7=m_5$

Determinação das propriedades termodinâmicas na saída da válvula de expansão 1 (ponto 5)"

$h_5=h_7$; $m_5=m_8$

Determinação da vazão em massa no evaporador

$m_8=Q_{ev}/(h_8-h_5)$

Determinação das propriedades termodinâmicas na saída do absorvedor considerado líquido saturado (ponto 1)"

$T_{1abs}=273+T_{1C}$; $P_1=P_8$; $q_1=0$; CALL NH3H2O(58; T_{1abs} ; P1; q_1 : T_1 ; P1; x_1 ; h_1 ; s_1 ; u_1 ; v_1 ; q_1)

Determinação das propriedades termodinâmicas na saída da bomba (ponto 2)

$P_2=P_7$; $x_2=x_1$; $h_2=h_1+v_1*(P_2-P_1)*71,3$

CALL NH3H2O(234; P2; x_2 ; h_2 : T_{2abs} ; P2; x_2 ; h_2 ; s_2 ; u_2 ; v_2 ; q_2)

Balço de massa no absorvedor

$$m_8 + m_6 = m_1; \quad x_8 * m_8 + x_6 * m_6 = x_1 * m_1$$

Balço de massa no gerador

$$x_3 * m_1 = x_9 * m_9 + x_4 * m_4; \quad m_3 = m_9 + m_4; \quad m_8 = m_9; \quad x_3 = x_1$$

Determinação das temperaturas na saída do trocador de calor pelo conceito de efetividade

$$E = (T_{4abs} - T_{5abs}) / (T_{4abs} - T_{2abs})$$

Determinação das propriedades termodinâmicas na saída do trocador de solução (ponto 5)"

$$P_5 = P_2; \quad x_5 = x_4 \quad \text{CALL NH}_3\text{H}_2\text{O}(53; T_{5abs}; P_5; x_5; T_{5abs}; P_5; x_5; h_5; s_5; u_5; v_5; q_5)$$

Determinação das propriedades termodinâmicas na saída do gerador (ponto 9)

$$P_9 = P_7; \quad q_9 = 0; \quad \text{CALL NH}_3\text{H}_2\text{O}(238; P_9; x_9; q_9; T_{9abs}; P_9; x_9; h_9; s_9; u_9; v_9; q_9)$$

Determinação das propriedades termodinâmicas do (ponto 8)

$$P_8 = P_5; \quad q_8 = 0; \quad x_8 = x_1 \quad \text{CALL NH}_3\text{H}_2\text{O}(238; P_8; x_8; q_8; T_{8abs}; P_8; x_8; h_8; s_8; u_8; v_8; q_8)$$

Determinação das propriedades do ponto 7

$$t_{7abs} = t_{8abs}; \quad p_7 = p_2; \quad q_7 = 1 \quad \text{CALL NH}_3\text{H}_2\text{O}(58; t_{7abs}; p_7; q_7; T_{7abs}; P_7; x_7; h_7; s_7; u_7; v_7; q_7)$$

Potência da Bomba W_b :

$$W_b = m_1 * (P_2 - P_1) * v_2 * 71,3 / (0,01 * R_b)$$

Calor rejeitado no condensador QCD:

$$Q_{cd} = m_8 * (h_9 - h_7)$$

Fluxo de calor rejeitado no gerador Q_{abs}

$$Q_{abs} = m_8 * h_8 + m_6 * h_5 - m_1 * h_1$$

Fluxo de calor fornecido ao gerador desabsorvedor

$$Q_{des} = m_7 * h_7 + m_4 * h_4 - (m_3) * h_3 - m_8 * h_8$$

Coefficiente de eficácia – COP

$$COP = Q_{ev} / Q_{des}$$

6. Resultados

As equações acima resolvidas com o uso do EES resultam:

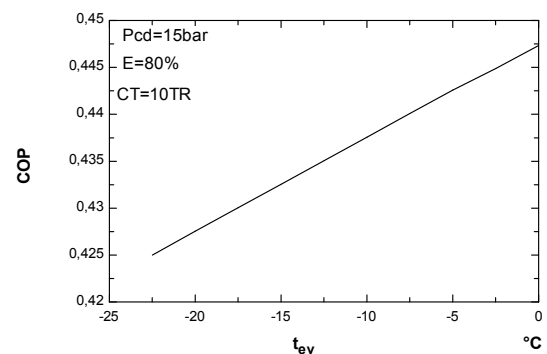
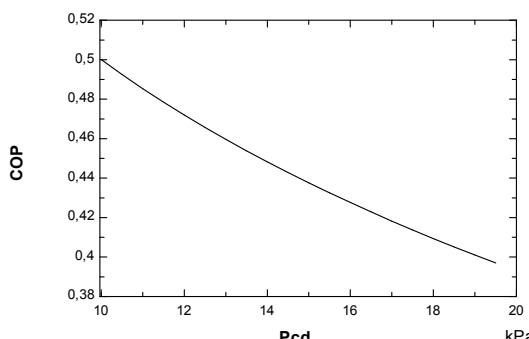


Fig. 2 – *Diagrama COP*
Pressão de condensação.

Fig. 3– *Diagrama COP x*
Temperatura de evaporação

7. Conclusões

A análise dos gráficos obtidos com o auxílio do E.E.S permite avaliar como a correta fixação dos parâmetros de projetos é de suma importância na maximização do COP. Se o processo de transferência de calor no condensador para ao meio ambiente ocorre a elevadas pressões, e como consequência a elevadas temperaturas, há uma redução no tamanho físico do condensador porém com menor eficácia. No caso da temperatura de evaporação, a eficácia diminui muito com o comportamento muito linear conforme há redução da temperatura de evaporação.

8. Referências

BEN Balanço Energético Nacional, DNDE/SNE/MME, 1995.

CORTEZ, L. A. Histórico e Considerações Sobre a Refrigeração Por Absorção, Estudos Técnicos e Economia de Energia em Refrigeração”, 1 .a Edição, Vol. 1, Editora: Universidade do Amazonas,Manaus, (1998).

HEROLD,K.E. AND RADERMACHER, R. Absorption chillers and heat pumps,CRC Press, Inc. 1996.

JABARDO, JOSÉ MARIA SAIZ Amônia em sistema frigoríficos, Revista ABRAVA, 137, pp. 17-32, São Paulo, SP, Brasil, 1994.

VARANI, C. M.R., 2001 Avaliação Energética e Exergética de uma unidade de Refrigeração por Absorção Água/Brometo de Lítio Utilizando Gás Natural UFPb. Tese de Doutorado.