

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DE COEFICIENTE DE TROCA DE CALOR EM UM GERADOR DE PASTA DE GELO

Epifanio Mamani Ticona

emt@mec.puc-rio.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Marquês de São Vicente 225, Rio de Janeiro, RJ – 22453-900 – Brasil

Sergio Leal Braga

slbraga@mec.puc-rio.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Marquês de São Vicente 225, Rio de Janeiro, RJ – 22453-900 – Brasil

Resumo. Um gerador de pasta de gelo foi desenvolvido para aplicações de condicionamento de ar e resfriamento de processos. O sistema usa um evaporador orbital de haste, um trocador de calor vertical do tipo tubo e carcaça com intensificação mecânica de transferência de calor. A pasta de gelo é produzida continuamente sem acumulação no evaporador e é compatível com unidades condensadoras convencionais, tanques de armazenamento e bombas. Soluções aquosas diluídas ou soluções inorgânicas de salmoura promovem a formação de cristais de gelo, a pasta de gelo resultante pode ser bombeada ou por gravidade alimentar um tanque de armazenamento. O circuito hidráulico de refrigeração (carga térmica) pode ser desacoplado da produção do gelo utilizando-se o tanque de armazenamento. O armazenamento da pasta de gelo fornece temperaturas consistentemente baixas à medida que se derrete o gelo, que por sua forma pode ser derretido também muito rapidamente. Com suas altas temperaturas características de evaporação e elevados fluxos do calor, os sistemas de geração de gelo líquido apresentam potencial para reduzir significativamente os custos de capital inicial e operação, quando comparados com tecnologias de sistemas estáticos de gelo ou “ice harvesting”.

Palavras-chave: Evaporador de película descendente, refrigeração, evaporador de haste orbital, pasta de gelo, termoacumulação.

1. INTRODUÇÃO

O uso racional de energia tem sido alvo de um grande número de pesquisas, face à importância que o tema assumiu nos últimos anos. A refrigeração é hoje responsável por grande parte do consumo de energia elétrica e, por este motivo, tem sido também frequentemente alvo de novos estudos. A termoacumulação é hoje uma das alternativas mais estudadas para reduzir custos operacionais em instalações de condicionamento ambiental e a “pasta de gelo” é a inovação tecnológica mais recente na área e tem potencial para alcançar consideráveis benefícios tanto ambientais como também econômicos. Qualquer refrigerante primário convencional pode ser usado para produção de pasta de gelo. A capacidade de refrigeração de uma solução de pasta de gelo pode ser de quatro a seis vezes maior do que a da água gelada convencional, dependendo, da fração de gelo. Há muitos sistemas de pasta de gelo que já operam pelo mundo. Quando a termoacumulação se faz com mudança de fase, a grande maioria se baseia em armazenamento de gelo, onde a água de retorno aquecida é usada para derreter o gelo. Dentro dos estudos realizados anteriormente, Kim et al., (2001), fizeram um estudo teórico e experimental sobre a produção de pasta de gelo por pulverização de uma solução aquosa em um meio refrigerado. Bel e Lallemand (1998), estudaram o comportamento térmico de pasta de gelo com soluções aquosas de etanol, fazendo um estudo do coeficiente interno de troca de calor de um gerador de pasta tipo raspador helicoidal. Neste trabalho é apresentada uma correlação para o coeficiente de troca de calor. Bounopane e Huang (1991), estudaram as características de transferência de calor e escoamento do fluido num evaporador orbital de tubo empregado em dessalinização.

2. ABORDAGEM EXPERIMENTAL

2.1. Aparelho Experimental

Foi construído um protótipo experimental de geração de pasta de gelo que é mostrado nas Fig. 1 e 2. Os principais componentes são: o gerador de pasta de gelo (G), a unidade condensadora com R22 como fluido refrigerante, o sistema de aquisição de dados, bomba de deslocamento positivo, variadores de frequência, banho térmico e tanque de armazenamento (T).

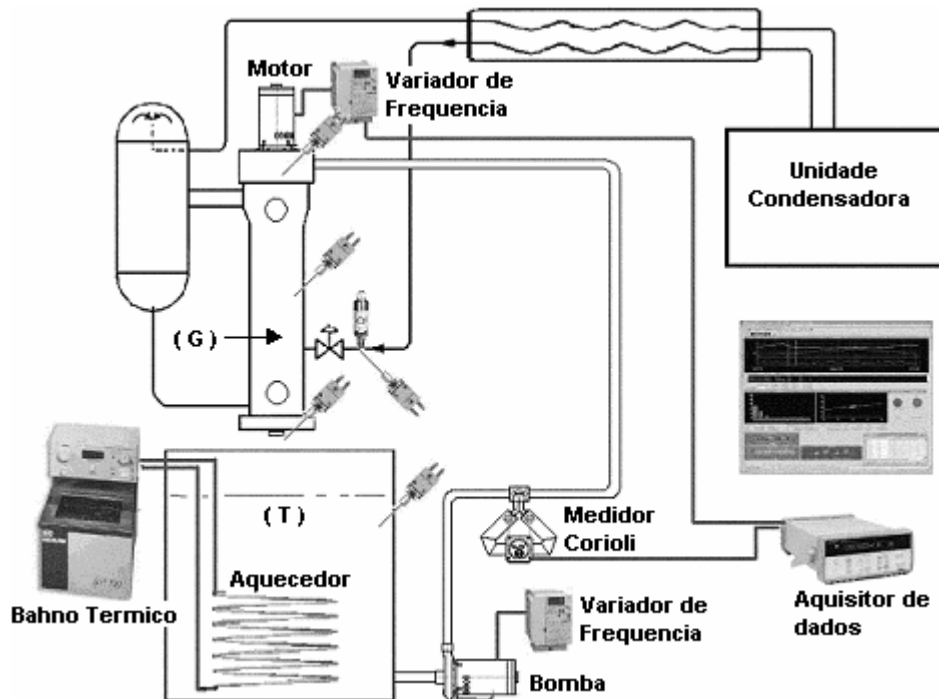


Figura 1. Diagrama esquemático do sistema de geração de pasta de gelo



Figura 2. Fotografia do gerador de pasta de gelo.

2.2. Procedimento Experimental

O sistema de geração de pasta de gelo é colocado em funcionamento, determinando-se a velocidade de rotação do mecanismo raspador e a temperatura de evaporação do fluido refrigerante. Logo depois espera-se a atingir o regime permanente.

Uma solução aquosa de 8% em massa de propileno glicol, inicialmente à temperatura ambiente, é bombeada ao sistema de geração. A vazão mássica da mistura é determinada e medida com um medidor de efeito CORIOLIS.

Os dados relacionados à transferência de calor do fluido refrigerante e a solução aquosa são coletados através do sistema de aquisição de dados. Para cada regime de operação esperava-se que o sistema atingisse o regime permanente. Esta condição era alcançada em aproximadamente 10 minutos.

Logo depois é tomada uma amostra de pasta de gelo em cada experiência. Em um calorímetro (figura 3), a pasta é fundida por meio de uma resistência elétrica e são tomados os seguintes dados: massa, energia elétrica liberada e temperaturas inicial e final da amostra.

As propriedades termo-físicas da solução aquosa são obtidas da literatura técnica disponível. A área de transferência de calor é calculada com base nos dados construtivos do gerador.

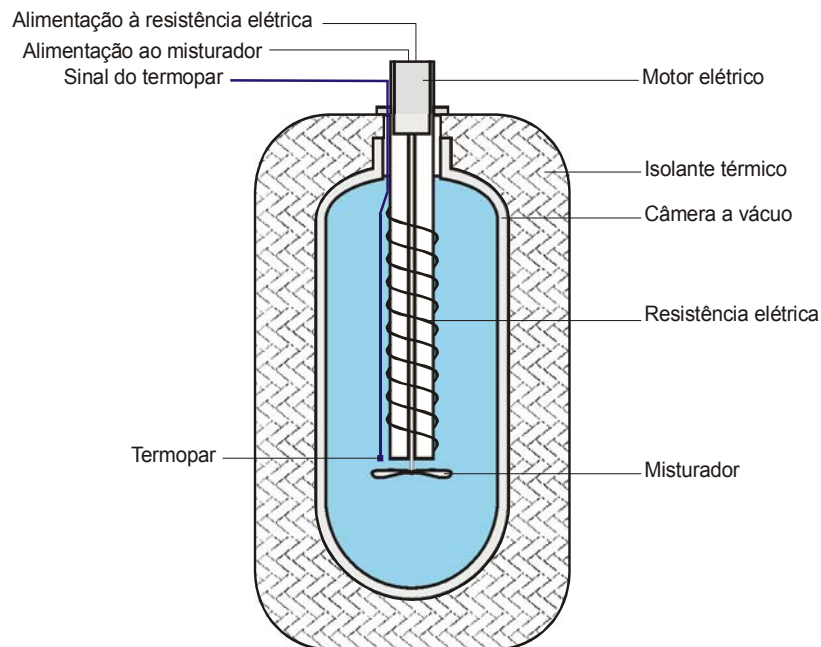


Figura 3. Esquema do calorímetro.

3. REDUÇÃO DE DADOS

3.1. Coeficiente Global de Transferência de Calor

O coeficiente global de transferência de calor pode ser determinado experimentalmente aplicando-se a equação de conservação de energia.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{pasta\ gelo} \cdot (h_{ent} - h_{pasta\ gelo}) \quad (1)$$

Nesta expressão temos a entalpia de entrada da solução aquosa ao ingressar no gerador, a vazão mássica da mistura e a entalpia da pasta de gelo na saída.

A entalpia da pasta de gelo é determinada pelo balanço de energia, segundo a seguinte equação:

$$h_{pastagelo} = ((1 - x_{gelo}) \cdot c_{p,fp} + x_{gelo} c_{p,gelo}) \cdot (T_{pastagelo} - 273.16) - h_{ls} \cdot x_{gelo} \quad (2)$$

baseado nas propriedades de substância pura e temperatura de referência de 273.16 K, a entalpia é composta por dois termos: calor sensível e calor latente. O termo x_{gelo} corresponde à fração de gelo na pasta e é determinado a partir do método de calorimetria Torben e Kauffeld (2001), segundo:

$$E_{liber} = \int_0^t q \, dt = m(h(T_{pastagelo}) - h(T_f)) \quad (3)$$

A entalpia de entrada da solução aquosa, h_{ent} , é determinada a partir da equação:

$$h_{ent} = c_{p,fp} \cdot (T_{ent} - 273.16) \quad (4)$$

O coeficiente global de transferência de calor é determinado finalmente por:

$$U = \frac{\dot{Q}}{A \cdot \Delta T} \quad (5)$$

ΔT é a diferença média de temperatura de referência, baseada na diferença média de temperatura logarítmica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Temperatura da Pasta de Gelo

A temperatura da pasta de gelo varia com a composição da solução aquosa. Conseguiu-se obter com êxito pasta de gelo com soluções aquosas de etileno glicol, propileno glicol e etanol. Do mesmo modo é possível usar água de mar para produzir pasta de gelo. Isto é possível com uma apropriada correção do índice de salinidade, representando uma grande vantagem, pois a pasta pode ser aplicada diretamente sobre pescados, podendo ser usado na indústria de pesca em alto mar.

A variação na temperatura está compreendida na faixa de 0 até -40°C e depende da concentração inicial da solução aquosa. A figura 4 mostra a variação da temperatura com a fração de gelo Ticona (2003).

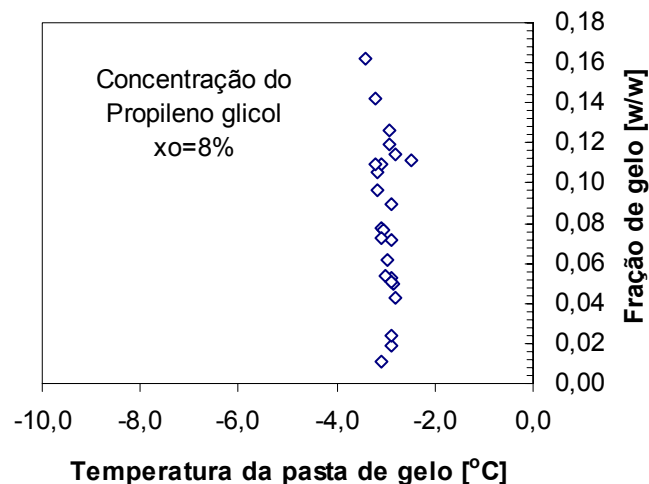


Figura 4. Variação da fração de gelo com a temperatura da pasta de gelo.

4.2. Efeito da Velocidade de Rotação do Raspador

Foi observado, como era de se esperar, que a fração de gelo da pasta aumenta com a redução da vazão mássica da solução que passa pelo evaporador (Fig. 5). Também se observa que a fração de gelo aumenta com o acréscimo da rotação do mecanismo raspador do gerador. Este mecanismo é muito importante porque intensifica a transferência de calor Ticona (2003).

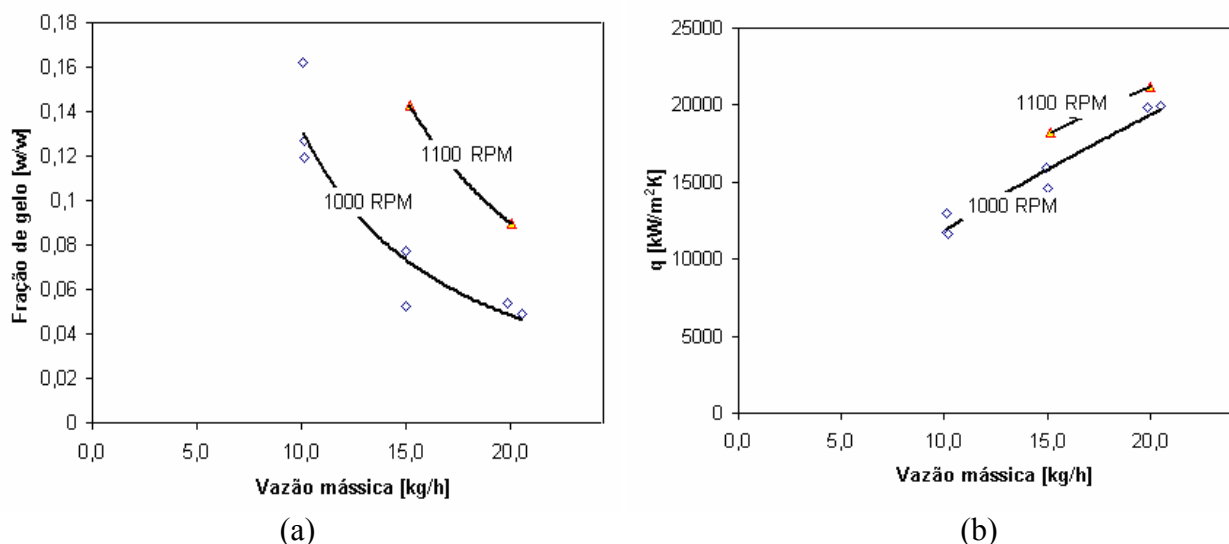


Figura 5. (a) Variação da fração de gelo, (b) fluxo de calor; a diferentes vazões mássicas e diferentes rotações do mecanismo raspador.

4.3. Coeficiente Global de Transferência de Calor

A figura 6 mostra a variação do coeficiente global de transferência de calor com a velocidade de rotação do mecanismo raspador para três diferentes vazões mássicas da solução acuosa que passa pelo gerador.

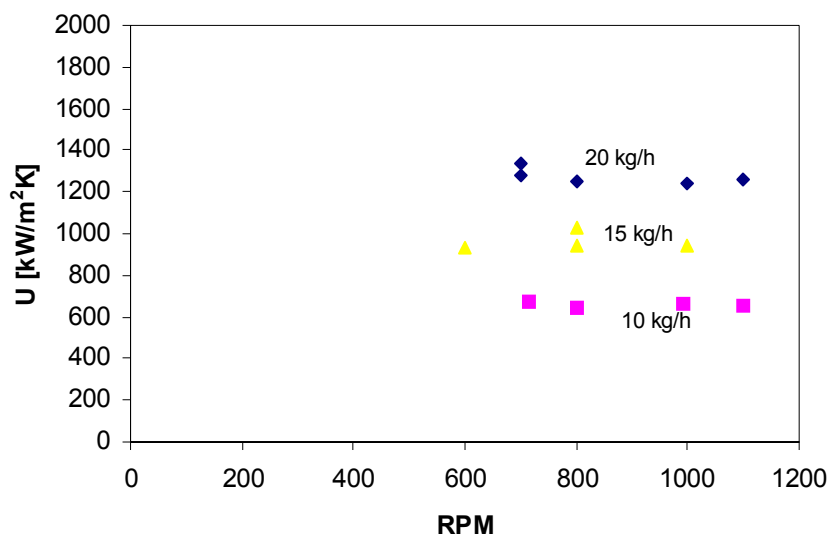


Figura 6. Coeficiente global de transferência de calor versus velocidade angular do mecanismo raspador e vazão mássica da solução.

5. CONCLUSÃO

Foi desenvolvido um gerador de pasta de gelo para estudar suas características de transferência de calor. Na superfície do gerador, a transferência de calor envolve mudança de fase líquido-sólido.

Dos resultados obtidos chega-se às seguintes conclusões:

- O super-resfriamento da solução aquosa é fundamental na formação da pasta de gelo, é o que possibilita esta formação. É importante ressaltar que fenômenos complexos estão presentes neste processo (exemplo: a nucleação).
- A agitação é a principal responsável pelo incremento da transferência de calor no resfriamento da solução aquosa (sem geração de pasta de gelo).
- Demonstrou-se que o mecanismo agitação tem forte influência no processo de geração de pasta de gelo.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho de pesquisa foi financiado pela CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Os autores agradecem a Torben M. Hansen do Danish Technological Institute -Energy pelas informações recebidas.

7. REFERÊNCIAS

- Buonopane, R.A., Huang, H.D., Zhang, L., 1991, "Orbital Tube Evaporators-Characteristics of Fluid Flow and Heat Transfer", presented at the Second World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics, Dubrovnik, Yugoslavia.
- Kim, B.S., Shin, H.T., Lee, Y.P. and Jurng, J., 2000, "Study on Ice Slurry Production by Water Spray", International Journal of Refrigeration, Vol. 24, pp. 176-184.
- Bel. O., and Lallemand A., 1999, "Etude d'un fluide frigoporteur diphasique. Caractéristiques thermophysiques intrinsèques d'un coulis de glace", International Journal of Refrigeration., Vol. 22, pp. 164-167.
- Li, E.T., Ho I.C., 1987, "Orbital Tube Evaporator and Distillation Systems", Desalination, Volume 65, pp. 87-99, Elsevier Science Publishers, B.U. Amsterdam, Netherlands.
- Ticona E.M., 2003, "Determinação Experimental do Coeficiente de Troca de Calor num Gerador de Pasta de Gelo", Dissertação de Mestrado, Puc-rio.
- Torben M. Hansen., Michael Kauffeld., Ph.D., 2001, "Measuring Principles for the Determination of Ice Concentration em Ice Slurry". ASHRAE Trans.

HEAT TRANSFER CHARACTERISTIC IN ICE SLURRY GENERATOR

Epifanio Mamani Ticona

emt@mec.puc-rio.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Marquês de São Vicente 225, Rio de Janeiro, RJ – 22453-900 – Brasil

Sergio Leal Braga

slbraga@mec.puc-rio.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Marquês de São Vicente 225, Rio de Janeiro, RJ – 22453-900 – Brasil

Abstract

New ice crystal slurry thermal energy storage (TES) system has been developed for both HVAC and process cooling applications. The system uses a scraped-surface orbital rod evaporator (ORE), a vertical shell-and-tube heat exchanger with mechanical heat transfer augmentation, as a dynamic ice maker to generate “liquid ice”. Ice forms continuously without accumulation inside the ORE and it is compatible with conventional condensing units, storage tanks and pumps. Dilute glycol or inorganic brine solutions promote the formation of ice crystals, and the resulting “liquid ice” may be pumped or gravity fed to a storage tank. The cooling load circuit can be hydraulically decoupled from ice production at the storage tank. Stored ice slurry provides consistently low temperatures over significant portions of the ice melt period and may be melted very rapidly due to the large surface area. With its characteristic high evaporator temperatures and high heat fluxes, ORE TES systems have the potential to significantly reduce the capital and operating costs, when compared with static ice or ice harvesting technologies.

Keywords. *Falling film evaporator, ice slurry, ice crystal slurry, scraped-surface, phase change, thermal storage*