

ESTUDO COMPARATIVO DA TROCA TÉRMICA EM TROCADORES DE CALOR DOS TIPOS CASCO/TUBOS E DE PLACAS

Antonio Carlos Ferreira*

Resumo

O trocador de calor é um equipamento que realiza a troca de calor entre dois fluidos em diferentes temperaturas. Eles podem ser de diferentes tipos, neste trabalho os mais comuns são os trocadores de casco e tubos e os trocadores de placa. Neste trabalho, montou-se uma bancada experimental onde foram instalados e instrumentados um trocador de calor do tipo casco e tubos, e um trocador do tipo placas, com áreas de troca térmica praticamente iguais, com a finalidade de se avaliar o desempenho destes para diferentes vazões de água fria e quente. Assim, a água quente foi obtida com o uso de uma resistência elétrica e as vazões de água foram medidas com um rotâmetro instalado na linha de água quente. Para cada vazão de água quente e fria, foram obtidas a capacidade da troca de calor, a eficiência e o coeficiente global da troca térmica para cada um dos trocadores de calor testados. Os resultados mostraram que o calor trocado foi maior para o trocador do tipo placas e que quanto maior a vazão de água fria, maior é o calor trocado. Pode-se mostrar também que à medida que a vazão de água quente aumenta, a quantidade de calor trocado diminui. Ainda, para uma mesma vazão de água quente, o calor trocado é maior quando a vazão de água fria é mais elevada. Em relação à eficiência dos trocadores de calor, pode-se constatar que o trocador com melhor eficiência é o de placas e que a eficiência dos trocadores diminui conforme a vazão de água quente é aumentada e a vazão de água fria permanece abaixo ou igual à vazão de água quente. Também se constatou que aumentando a vazão de água quente, a eficiência aumenta se a vazão de água fria for superior à vazão de água quente, e que quando a vazão de água fria é maior que a vazão de água quente, maior é a eficiência do trocador se a vazão fria for aumentando. Ainda, se a vazão da água fria é menor que a de água quente, quanto menor a vazão de água fria, maior é a eficiência dos trocadores. Em relação ao coeficiente de troca térmica global U , pode-se observar que à medida que a vazão de água quente é aumentada, quanto maior é a vazão de água fria, maior é o valor desse coeficiente. Ainda, para uma mesma vazão de água quente, os valores de U são maiores no trocador a placas. Ao término deste trabalho, pôde-se concluir que o trocador de calor a placas, para uma mesma vazão de fluido quente, troca mais calor que o trocador de casco e tubos e esta troca é mais intensa à medida que a vazão de fluido frio é aumentada. Também observou-se que a eficiência dos trocadores é fortemente influenciada pelas vazões dos fluidos quente e frio, estando ligadas ao valor da capacidade térmica C_{\min} dos fluidos, em cada teste realizado, fazendo a eficiência diminuir ou aumentar em decorrência deste valor. Por fim, conclui-se que o coeficiente global de troca térmica é maior em maiores vazões e com valores absolutos mais elevados no trocador a placas, como esperado.

Palavras-chave: Trocador de calor casco e tubo. Trocador de calor de placas.

1 INTRODUÇÃO

No mundo atual, a preocupação com a economia de energia se tornou um dos assuntos mais relevantes para as indústrias e empresas em geral. Por esse motivo, elas buscam melhorar a cada dia a eficiência dos equipamentos utilizados em seus processos.

Nesse contexto, os trocadores de calor merecem uma atenção especial, pois neles ocorrem trocas de energia vitais para o bom funcionamento dos processos instalados. Uma pergunta que sempre surge é: qual tipo de trocador de calor é mais eficiente? Para responder a esta questão foi idealizado este projeto. São testados dois trocadores novos existentes no laboratório de Ciências Térmicas da Unoesc, de áreas de troca térmica quase iguais. Um dos trocadores, o de casco e tubo, é de um passe no casco e dois passes nos tubos e tem área de troca térmica igual a $1,21 \text{ m}^2$ e o outro, o de placas, tem área de $1,16 \text{ m}^2$. Os testes tiveram como objetivo avaliar o desempenho dos trocadores no que diz res-

* Professor da Universidade do Oeste de Santa Catarina; antonio.ferreira@unoesc.edu.br

peito à capacidade de troca térmica, eficiência de troca de calor e comportamento do coeficiente global de transferência de calor, quando operando com diferentes vazões de água fria e quente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TROCADORES DE CALOR

Segundo Incropera e De Witt (2002), um processo de troca térmica ocorre entre dois fluidos que estão a diferentes temperaturas e separados por uma parede sólida. O equipamento utilizado para efetuar esta troca é denominado trocador de calor.

Sabino (2008) define os trocadores de calor como equipamentos não sujeitos a chamas, onde dois ou mais fluidos realizam troca de calor sem que ocorra contato direto entre eles, em condições normais de operação.

Conforme Incropera e De Witt (2002, p. 452) “Trocadores de calor são tipicamente classificados de acordo com o arranjo do escoamento e tipo de construção.” Também podem ser classificados como contato direto ou contato indireto. Nos trocadores de calor de contato indireto, os fluidos permanecem separados por uma parede e o calor é transferido continuamente através dessa parede. “Nos trocadores de transferência direta, os dois fluidos se misturam. As aplicações comuns deste tipo de trocador envolvem a transferência de massa além de transferência de calor; aplicações que envolvem somente a transferência de calor são raras.” (BRAGA FILHO, 2004, p. 548).

Os trocadores de calor são classificados também pelo seu tipo de construção. Os principais são os tubulares, chamados de casco e tubos, e os de placas. Os trocadores de calor casco e tubos são constituídos com tubos e uma carcaça; um dos fluidos passa por dentro dos tubos e o outro pelo espaço entre a carcaça e os tubos. Quando o fluido que entra nos tubos circula em seu interior e retorna para a entrada, o trocador é chamado de multipasses. “Existe uma grande variedade de modelos desses trocadores, dependendo da transferência de calor desejada, do desempenho, da queda de pressão, da facilidade de limpeza, de suportar pressões operacionais e temperaturas altas, de controlar corrosão, etc.” (BRAGA FILHO, 2004, p. 549).

Segundo Ribeiro (1984, p. 1):

O trocador de calor casco e tubo é o tipo de trocador mais amplamente usado, devido à sua construção resistente, à flexibilidade de projeto e de adaptação às condições de processo, tais como condensação, vaporização e troca de calor sem mudança de fase, posicionamento na horizontal ou vertical, ampla faixa de pressão e operação (desde o vácuo até os altos valores de pressão) e ampla faixa da variação da perda de carga permitida.

Rosa (2009, p. 2) diz: “Os principais componentes de um trocador de calor casco e tubo são o casco, o feixe de tubos, o cabeçote de entrada e o cabeçote de saída.”

Conforme Braga Filho (2004, p. 551), “O trocador de calor de placas é geralmente constituído com placas planas lisas ou com alguma forma de ondulações. Esse trocador geralmente não pode suportar pressões muito altas, se comparado ao trocador tubular equivalente.”

De acordo com Ordoñez (1987), o trocador de calor de placas consiste de superfícies de troca térmica obtidas pela junção de camadas alternadas de lâminas corrugadas de alta uniformidade feitas de alumínio entre placas planas também de alumínio, de modo a formar passagens definidas de fluxo; algumas vantagens obtidas com este tipo de trocador são a compactabilidade e a leveza.

Para Sabino (2008), neste tipo de trocador, as placas com relevos específicos, são posicionadas consecutivamente de forma a criar mais canais para a circulação dos fluidos de troca térmica. Como limitação, estes trocadores de calor necessitam de materiais especiais e ainda possuem pressões de operação limitadas em virtude dos problemas de vedação entre suas placas ou tampo plano.

2.2 O COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Incropera e De Witt (2002, p. 454) citam que “Uma parte essencial, e às vezes incerta, da análise de qualquer trocador de calor é a determinação do coeficiente global de transferência de calor U .” Eles afirmam que o coeficiente global de transferência de calor pode ser determinado tendo conhecimento dos coeficientes de convecção dos fluidos quente e frio e dos parâmetros geométricos apropriados. Segundo os autores, para trocadores não aletados e com espessura da parede que separa os fluidos de troca de calor desprezível, este coeficiente pode ser calculado em decorrência do coeficiente de convecção do lado externo do tubo ou placa, h_e , e do coeficiente de convecção do lado interno do tubo ou placa, h_i , como:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad (1)$$

Obtendo-se o valor de U , o calor Q trocado entre os fluidos quente e frio é determinado por:

$$Q = U.A.\Delta T_{ml} \quad (2)$$

Na equação anterior, A é a área de troca de calor e ΔT_{ml} é a diferença de temperatura média logarítmica entre os fluidos, obtida como:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (3)$$

Onde ΔT_1 e ΔT_2 são as diferenças de temperatura das correntes de fluidos na entrada e na saída do trocador.

2.3 ANÁLISE DE TROCADORES DE CALOR PELO USO DA MÉDIA LOGARÍTIMA

Segundo Incropera e De Witt (2002, p. 456):

Para conseguir projetar ou prever o desempenho de um trocador de calor, é essencial relacionar a taxa total de transferência de calor a grandezas tais como as temperaturas de entrada e saída do fluido, o coeficiente global de transferência de calor e a área total da superfície para a transferência de calor.

Se ocorrer dos fluidos não estarem sofrendo mudança de fase e os calores específicos forem considerados constantes, o calor trocado entre os fluidos pode ser calculado também como:

$$Q = m_h c_{p,h} (T_{h'e} - T_{h's}) \quad (4)$$

ou

$$Q = m_c c_{p,c} (T_{c's} - T_{c'e}) \quad (5)$$

onde:

m : vazão mássica do fluido, em kg/s.

c_p : calor específico do fluido, em J/kg.k.

Nessas equações, os subíndices “h” e “c” referem-se aos fluidos quente e frio, respectivamente. Já os subíndices “e” e “s” referem-se às posições de entrada e saída do trocador de calor.

As equações anteriores se aplicam a qualquer trocador de calor e, portanto, podem ser utilizadas para arranjos de correntes de fluidos em paralelo e contracorrente. Porém, para serem utilizadas em trocadores de calor casco e tubos de múltiplos passes, usa-se um fator de correção f multiplicando o valor ΔT_{ml} , fornecendo:

$$\Delta T_{ml \text{ corrigido}} = f \cdot \Delta T_{ml} \quad (6)$$

e

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T_{ml \text{ corrigido}} \quad (7)$$

Segundo Incropera e De Witt (2002, p. 459), “Expressões algébricas para o fator de correção f foram desenvolvidas para várias configurações de trocadores de calor casco e tubo e correntes cruzadas.” Anotações são feitas para T e t e são utilizadas para especificar as temperaturas dos fluidos. A variável t sempre corresponde ao lado do fluido que passa internamente no tubo. Com essa característica, não importa se é o fluido quente ou frio que esta escoando através do casco ou dos tubos. Com os coeficientes T e t , obtém-se os coeficientes R e P , necessários para determinação de f nas equações mostradas nas referências utilizadas neste trabalho. Tem-se que:

$$R = (T_c - T_s)/(t_s - t_c) \quad (8)$$

e

$$P = (t_s - t_c)/(T_c - t_c) \quad (9)$$

Conforme Incropera e De Witt (2002, p. 459), “Se a variação da temperatura de um dos fluidos for desprezível, ou P ou R é zero e f é 1. Logo, o comportamento do trocador de calor é independente da configuração específica.”

2.4 ANÁLISE DE TROCADORES DE CALOR PELO MÉTODO DA EFETIVIDADE NUT

O método da temperatura média logarítmica para análise de trocadores de calor é simples de se utilizar quando as temperaturas de entrada do fluido são conhecidas e as temperaturas de saída são especificadas ou determinadas. Entretanto, quando não se sabe ou não se conhece as temperaturas de saída dos fluidos, este método necessita de um processo iterativo, o que dificulta seu uso. Uma alternativa é usar o método da efetividade ou o NUT (INCROPERA; DE WITT, 2002, p. 463).

A razão entre a taxa real de transferência de calor Q e a taxa máxima de transferência de calor para um trocador de calor, Q_{max} , é chamada de efetividade ϵ , ou seja:

$$\epsilon = Q/Q_{max} \quad (10)$$

Na determinação da efetividade de um trocador de calor, primeiro determina-se a taxa máxima de transferência de calor Q_{max} , para o trocador. Para a obtenção desta taxa máxima de transferência de calor, deve-se fixar o coeficiente C_{min} , que é o menor valor entre os “ C_s ” das equações 11 e 12, onde :

$$C_h = m_h \cdot c_h \quad (11)$$

e

$$C_c = m_c \cdot c_c \quad (12)$$

Na sequência, escreve-se :

$$Q_{max} = C_{min} \cdot (T_{h,e} - T_{c,e}) \quad (13)$$

3 METODOLOGIA EMPREGADA

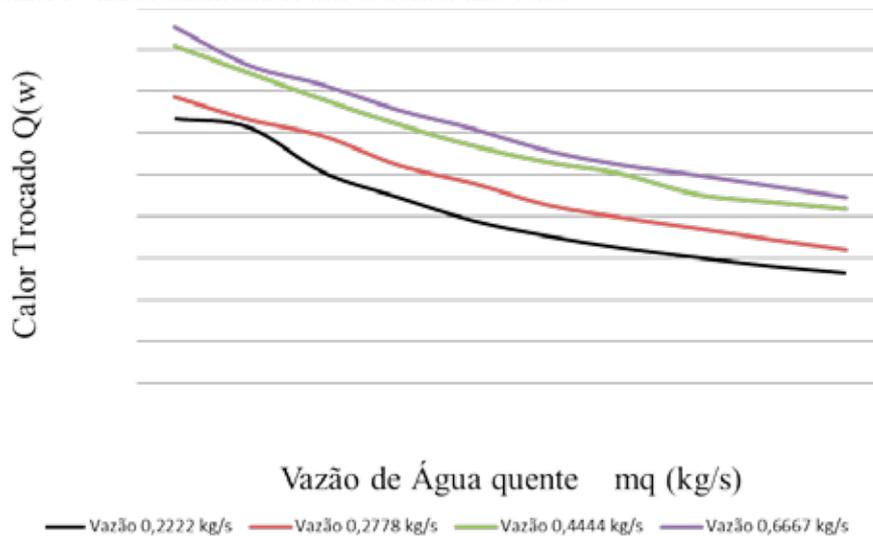
Para analisar o comportamento dos trocadores de casco e tubos e de placas, para diferentes vazões de água fria e água quente, montou-se uma bancada experimental contendo os dois trocadores, um medidor de vazão, uma resistência elétrica para obtenção de água quente e um medidor de temperaturas dos fluidos constituído de termopares. Dessa forma, foram escolhidas quatro vazões de água fria: 0,2222 kg/s, 0,2778 kg/s, 0,4444 kg/s e 0,6667 kg/s e dez vazões de água quente, iniciando em 0,2222 kg/s e terminando em 0,6667 kg/s, com intervalos regulares entre uma medida e outra. Para cada vazão de água fria, variava-se a vazão de água quente no intervalo citado e, depois de atingido o regime permanente, anotava-se as temperaturas da água quente e da água fria na entrada e saída de cada trocador.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados aqui os resultados dos testes obtidos com os trocadores de calor casco e tubos e do tipo placas, para cada uma das vazões utilizadas neste trabalho.

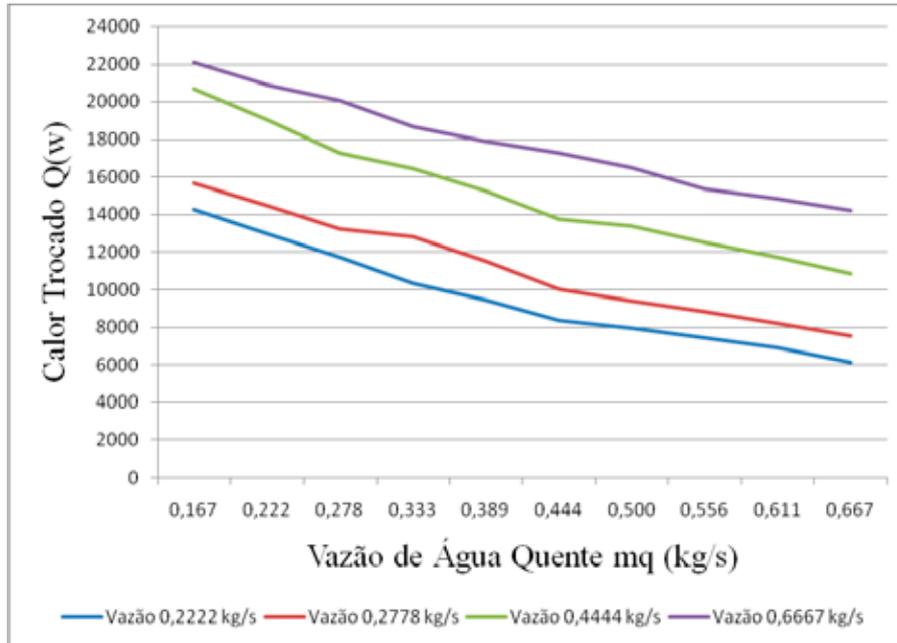
Os Gráficos 1 e 2 fornecem a capacidade de troca térmica ou o calor trocado entre os fluidos em razão das vazões de água fria e quente, para cada um dos trocadores testados.

Gráfico 1 – Taxa de transferência de calor do trocador casco e tubo



Fonte: os autores.

Gráfico 2 – Taxa de transferência de calor do trocador do tipo placas



Fonte: os autores.

Observa-se que o calor trocado foi maior para o trocador do tipo placas. Isso pode ser explicado da seguinte maneira: como no trocador de placas a água passa entre as suas placas respectivamente, ali há a formação de películas de água, ou seja, a água escoou com uma pequena camada entre as placas, facilitando a troca térmica.

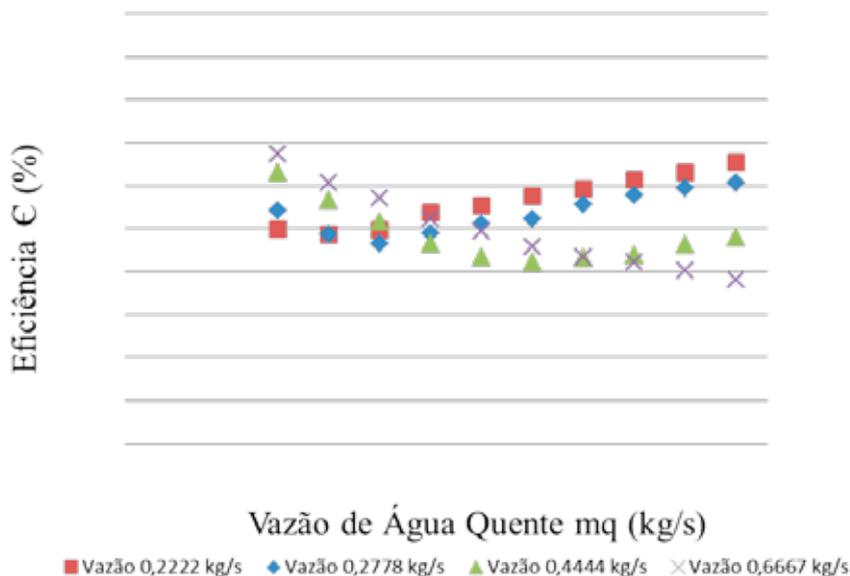
Outra observação é em relação ao aumento da vazão de água fria. Verifica-se que quanto maior é a vazão de água fria, maior é o calor trocado, explicado pela intensificação dos efeitos de turbulência dos trocadores à medida que a vazão é aumentada.

Nota-se, também, que à medida que a vazão de água quente aumenta, a quantidade de calor trocado diminui. Isto também é esperado, pois à medida que a vazão de água quente aumenta, ela sai com uma temperatura menor das resistências elétricas, diminuindo o ΔT_{ml} entre a água quente e fria, o que reduz a quantidade de calor trocado entre os fluidos.

Por fim, pode-se ver que para uma mesma vazão de água quente, o calor trocado é maior quando a vazão de água fria é mais elevada, pois os efeitos de turbulência são mais elevados, melhorando a capacidade de troca.

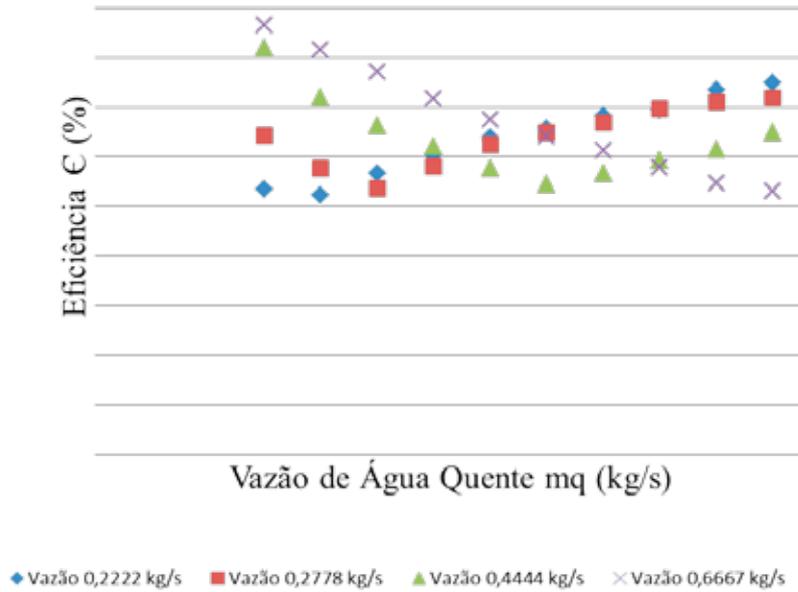
Em relação às eficiências dos trocadores de calor, os Gráficos 3 e 4 apresentam as curvas obtidas para cada vazão de água quente e fria.

Gráfico 3 – Eficiência do trocador casco e tubo



Fonte: os autores.

Gráfico 4 – Eficiência do trocador de calor tipo placas



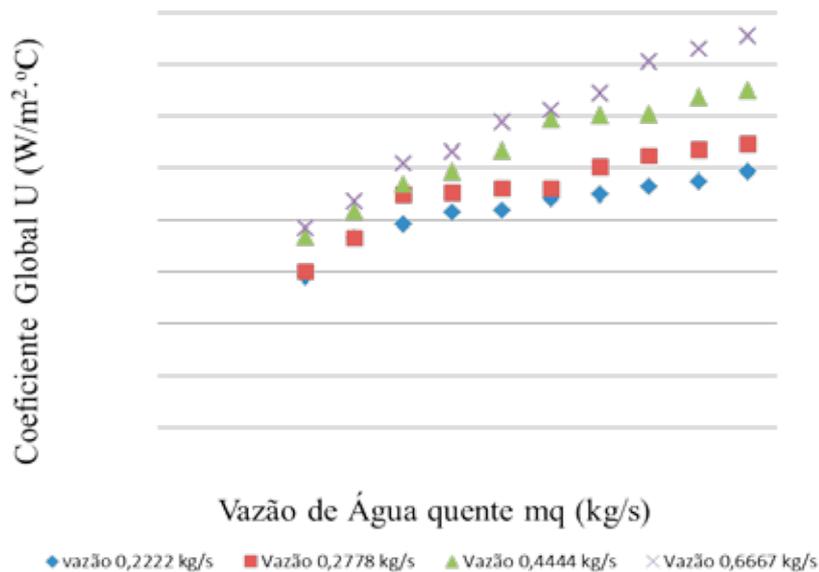
Fonte: os autores.

Como pode ser observado, para estas condições de vazões, o trocador com melhor eficiência é o de calor tipo placas. Ele é mais eficiente que o casco e tubos em decorrência do fato de as placas possuírem camadas alternadas de alta uniformidade, de modo a formar passagens definidas de fluxo. Com isso, no trocador de placas formam-se películas de água entre elas, o que é favorável à troca de calor entre os fluidos, enquanto que no tipo casco e tubos isso não se verifica, dificultando um pouco a troca de calor. É por isso que neste último tipo de trocador existem chicanas que intensificam os efeitos de turbulência do escoamento, ajudando no processo de troca térmica.

Verifica-se, também, que a eficiência dos trocadores diminui conforme se aumenta a vazão de água quente, e a vazão de água fria permanece abaixo ou igual à vazão de água quente. Por outro lado, aumentando-se a vazão de água quente, a eficiência aumenta se a vazão de água fria for superior à de água quente. Pode-se observar ainda que, quando a vazão de água fria é maior que a de água quente, maior é a eficiência do trocador se a vazão fria for aumentando. Ainda, se a vazão da água fria é menor que a de água quente, quanto menor a vazão de água fria, maior a eficiência dos trocadores. Isso acontece porque, quando do cálculo da eficiência dos trocadores, o termo C_{\min} muda ora para o fluido quente ora para o fluido frio.

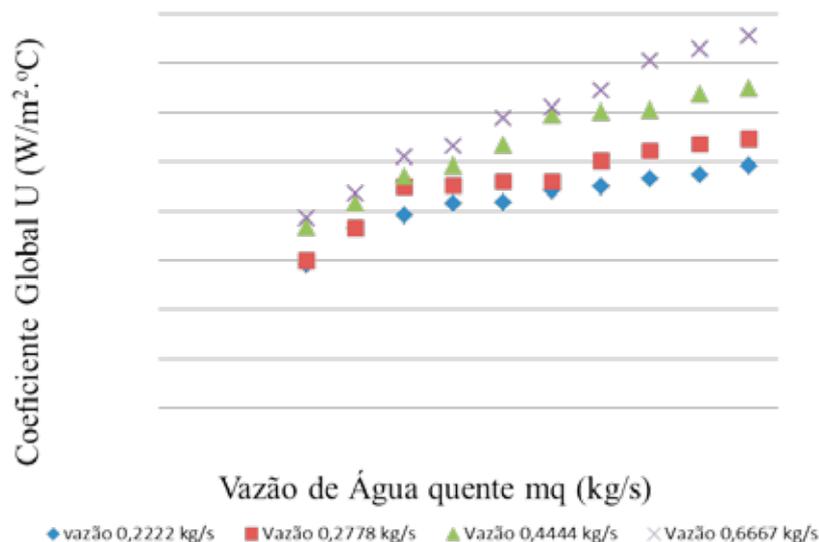
Em relação ao coeficiente de troca térmica global U , os Gráficos 5 e 6 apresentam os valores obtidos para cada um dos testes realizados.

Gráfico 5 – Coeficiente global de transferência de calor para o trocador casco e tubo



Fonte: os autores.

Gráfico 6 – Coeficiente global de transferência de calor para o trocador de placas



Fonte: os autores.

Pode-se observar que à medida que aumenta a vazão de água quente, quanto maior a vazão de água fria, maior é esse coeficiente. Isso é esperado, pois como mencionado anteriormente, vazões maiores implicam maior turbulência dos fluidos no interior dos trocadores, aumentando o coeficiente de troca térmica. Ainda, para uma mesma vazão de água quente, os valores de U são maiores no trocador a placas.

5 CONCLUSÃO

Ao término deste trabalho, pôde-se afirmar que todos os objetivos elencados foram atingidos. Em linhas gerais, mostrou-se que o trocador de calor a placas, para uma mesma vazão de fluido quente, troca mais calor que o trocador de casco e tubos, troca essa, maior, se a vazão de fluido frio for aumentada.

Pôde-se mostrar também que a eficiência dos trocadores é fortemente influenciada pelas vazões dos fluidos quente e frio, estando ligadas ao valor C_{\min} dos fluidos em cada teste realizado, fazendo a eficiência diminuir ou aumentar em razão deste valor.

Por fim, observou-se que o coeficiente global de troca térmica é maior em maiores vazões e com valores absolutos mais elevados no trocador de calor de placas, como esperado.

Comparative study of thermal exchange in shell/tubes and plate heat exchangers

Abstract

Heat exchanger is an equipment which executes a heat transfer between two fluids at different temperatures. They may be of different types; the most common one are the shell and tubes exchangers and the plate exchangers. The shell and tubes heat exchanger is comprised of a substrate with inner tubes, where a fluid passes through inner tubes, and the other passes through the spaces between the housing and the tubes. The plate heat exchanger consists of smooth plates or with some curly shape, which can withstand high pressures. Its area of heat exchange depends on the number of cards it has. In the present study it was compared the thermal performance of these two types of heat exchangers for different flows of hot and cold water. For each flow rate obtained - if for each exchanger, the capacity of heat exchange efficiency is the overall heat transfer coefficient. The results showed that the heat exchanger plate is higher in all items evaluated. This is related to the aspect of their construction, so that the water passing in the form of water films on the board, providing a better heat exchange between fluids, besides the fact that the plates have corrugations that work serve as fins, providing a better heat exchange.

Keywords: Shell and tube heat exchanger. Plates heat exchanger.

REFERÊNCIAS

BRAGA FILHO, Washington. *Transmissão de Calor*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

INCROPERA, Frank P.; DE WITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

ORDOÑEZ, Jonhson Francisco. **Trocadores de calor criogênicos (refrigeradores/liquefatores de ciclo stirling)**. 1987. 61 p. Tese (Mestrado)–Faculdade de Engenharia de Campinas, Campinas, 1987.

RIBEIRO, Celina Maria Cunha. **Comparação de métodos de cálculo termo-hidráulico para trocadores de calor casco e cubo, sem mudança de fase**. 1984. 220 p. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica)–Unicamp, Campinas, 1984.

ROSA, Ricardo Badek. **Análise da viabilidade da substituição dos tubos de um trocador de calor casco e tubos de vidro por carbeto de silício**. 2009. 20 p. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2009.

SABINO, Ricardo Schayer. **Inspeção de Feixes Tubulares de Trocadores de Calor**. 2008. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)–Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.

