

PRÁTICA 5 – TROCADOR DE CALOR, DIFERENTES CONFIGURAÇÕES

LUIZ AUGUSTO DEMBICKI FERNANDES¹; PEDRO FRANCISCO DUARTE²; MANOELA SABRINE VIEIRA³,
VICTOR GUSTAVO DURAU⁴; THIAGO ZAGONEL DE LINHARES⁵

Prof. Luis Ricarso S. Kanda

Fenômenos de Transporte Experimental II – TQ084

Universidade Federal do Paraná

¹Discentes do curso de Engenharia Química da UFPR

Grupo F-2

Resumo

Este artigo diz respeito a análise de trocadores de calor, através de arranjos contracorrentes e paralelo. Foi feita a medição das temperaturas das correntes quente e fria em diferentes pontos experimentais em situação contracorrente e paralelo. Por meio dos dados coletados foi possível determinar o coeficiente global de troca térmica para os dois arranjos. Em arranjo contracorrente obteve-se uma maior eficiência de troca térmica.

Palavras-chave: Trocadores de calor; Troca de calor, Contracorrente, Paralelo.

Abstract

This article concerns the analysis of heat exchangers, through countercurrent and parallel arrangements. The temperature of the hot and cold streams was measured at different experimental points in a countercurrent and parallel situation. Through the data collected, it was possible to determine the global coefficient of thermal exchange for the two arrangements. In a countercurrent arrangement, a higher thermal exchange efficiency was obtained.

Keywords: Heat exchangers, Heat exchange, Countercurrent, Parallel flow.

1. Introdução

Trocadores de calor desempenham um papel crucial em uma ampla gama de aplicações industriais, haja vista que a sua função é realizar a troca térmica entre dois ou mais fluidos que possuam temperaturas distintas, ou seja, eles possuem a capacidade de alterar a temperatura de correntes, bem como o estado físico dos seus fluidos. Aliás, é justamente essa variação de temperatura entre os fluidos que é a força motriz desse fenômeno. Então, o estudo de trocadores arranjos em cocorrente e contracorrente é de suma importância para o entendimento e aprimoramento de transferência de calor, visando maximizar a eficiência energética e otimizar o desempenho dos equipamentos em processos químicos.

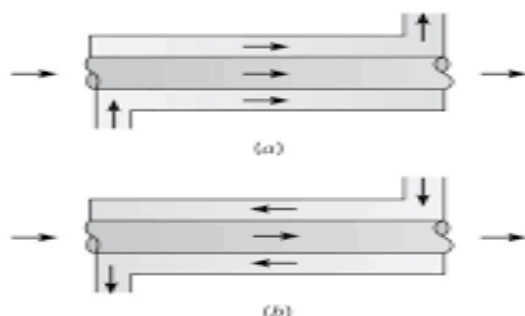
O rendimento energético de trocadores costuma ser bastante alto em razão da

espontaneidade da transferência de energia de fluidos quentes a fluidos frios, mas também, no caso dos arranjos em cocorrente e contracorrente, em razão do coeficiente convectivo que descreve a troca térmica em interfaces fluido-superfície ou fluido-fluido da linha serem muito superiores aos observados entre o sistema e o meio. Consequentemente, menos energia é perdida para o meio do que trocada entre os fluidos da linha. Ainda, como a diferença de temperatura é a força motriz desse fluxo energético, uma das preocupações é acentuar a diferença de temperatura entre os fluidos a fim de favorecer a troca térmica.

Como foi mencionado, os trocadores de calor podem ser classificados em função da configuração do escoamento e do tipo de construção. No trocador de calor mais simples, os fluidos quentes e frios se movem no mesmo sentido ou em sentidos opostos em uma construção com tubos concêntricos, ou bitubular, conforme ilustra a FIGURA 1, disposta abaixo. Na configuração

paralela da FIGURA 1 dada pelo arranjo em cocorrente, os fluidos quente e frio entram pela mesma extremidade e escoam no mesmo sentido. Já na configuração em contracorrente da FIGURA 1, os fluidos entram por extremidades opostas, escoam em sentidos opostos e deixam os equipamentos em extremidades opostas (SMITH, 2000).

FIGURA 1 – Trocadores bitubulares arranjados em cocorrente (a) e contracorrente (b)



FONTE: JANNA, W. S (2016).

Alternativamente, os fluidos podem se mover em escoamento cruzado (um fluido esco perpendicularmente ao outro), como ilustrados pelos trocadores de calor tubulares com e sem aletas. (JANNA, W. S, 2016)

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Observar e avaliar o sistema de troca térmica do trocador de calor do tipo bitubular disposto em diferentes arranjos de fluxos corrente e contracorrente.

2.2. Objetivos específicos

Depois de coletar os dados de temperatura nos termopares apropriados e a vazão, determinar o coeficiente global de troca térmica na disposição cocorrente e contracorrente, utilizando água como fluido quente e frio.

3. Materiais e métodos

3.1. Material

Aquecedor de água, refrigerador, régua, manômetro, Computador para medir as temperaturas.

3.2. Procedimento experimental

A prática teve início com o aquecimento da esfera soldada na ponta do termopar por meio da utilização de um soprador térmico. Em seguida, a esfera ficou em contato com o ar a fim de ser resfriada e, consecutivamente, limpa, haja vista que o procedimento precisou ser repetido também para a água e o óleo, nessa ordem. O resfriamento foi filmado com o celular e as medidas de tempo e temperatura foram extraídas do vídeo.

TABELA 1 – POSIÇÃO DAS VÁLVULAS

Nº	Tag da válvula	Escoamento paralelo	Escoamento contracorrente
1	F-X	aberta	fechada
2	F-1	aberta	aberta
3	F-2	aberta	fechada
4	F-3	fechada	aberta
5	F-4	fechada	aberta
6	F-5	fechada	aberta
7	Q-X	aberta	aberta
8	Q-1	aberta	aberta
9	Q-2	aberta	aberta
10	Q-3	aberta	aberta
11	Q-4	fechada	fechada
12	Q-7	aberta	aberta
13	Q-8	fechada	aberta
14	Q-9	aberta	fechada

FONTE: Os autores (2023).

4. Resultados

4.1. Arranjo com corrente paralela

Primeiramente, a fim de determinar a temperatura de saída da corrente fria ($T_{f,s}$) no escoamento em cocorrente, foram igualados os calores sensíveis das correntes de água fria e quente, tendo em mente que o escoamento era estacionário e as demais temperaturas de entrada e saída foram aferidas pelos termopares e estão dispostas na TABELA 2 que segue, na qual $T_{f,e}$, $T_{q,e}$ e $T_{q,s}$ são, nessa ordem, as temperaturas de entrada da corrente fria e entrada e saída da corrente quente. No entanto ao observar os dados da planilha com as temperaturas, observou-se que temperatura na saída da corrente, aferida pelo TI (1.3), era superior a temperatura da entrada, aferida pelo TI (1.2), o que não possui sentido físico, portanto, optou-se por inverter as

temperaturas para realizar cálculos coerentes, apesar do resultado ser virtual.

TABELA 2 – Temperaturas aferidas pelos termopares

	T _{f,e}	T _{q,e}	T _{q,s}
T (°C)	22,38	32,49	33,35
Termopar	1.1	1.2	1.5

FONTE: Os autores (2023).

Ainda, é importante mencionar que as capacidades caloríficas, viscosidades, coeficientes de troca térmica e o número adimensional de Prandtl da água nas temperaturas de filme das correntes quente e fria foram aglomerados na TABELA 3 a fim de que fosse realizado o cálculo do coeficiente global de troca térmica.

TABELA 3 – DADOS INTERPOLADOS DA TABELA A.6 PARA TEMPERATURA MÉDIA DE CADA FLUIDO

	C _p (J/kg)	Viscosidade (N s/m ²)	k (W/m K)	Pr
Água quente (32,6°C)	4069,2	0,00073581	0,62296	4,8064
Água fria (22,8°C)	4074,2	0,00091385	0,60902	6,1134

FONTE: Os autores (2023).

Foi utilizado aceleração da gravidade de 9,78 m/s² e densidades para a água e para o mercúrio correspondentes a 998 Kg/m³ e 13555 Kg/m³, respectivamente.

Assim, tendo que a taxa de calor sensível é calculada por meio da expressão

$Q_i = m_i \cdot C_{p_i} \cdot (T_{i,e} - T_{i,s})$	(1)
---	-----

em que C_p é a capacidade calorífica da água, m_f e m_q, são as vazões mássicas das correntes fria e quente, respectivamente. Vale ressaltar que as vazões mássicas foram calculadas por meio da diferença de pressão proporcionada por uma placa de orifício, conforme segue. Foram utilizadas a altura 0,017 m para a parte quente e 0,014 m para a fria aferidas por manômetros de mercúrio.

$m_i = 0,08788 \cdot \sqrt{\Delta P_i} + 1,969 \cdot 10^{-3}$	(2)
---	-----

Em que i pode assumir q ou f, para correntes quente ou fria, respectivamente.

Foi obtido que a temperatura de saída foi definida por

$T_{f,s} = T_{f,e} + \frac{m_q \cdot C_{p_q}}{m_f \cdot C_{p_f}} \cdot (T_{q,e} - T_{q,s})$	(3)
---	-----

para a qual a temperatura de saída obtida é 30,84 °C.

Isto posto, o calor trocado pelos fluidos foi calculado pela expressão de calor sensível (1) para a corrente quente.

Consecutivamente, foi calculado o coeficiente global de troca térmica por meio da expressão

$\frac{1}{UA} = \frac{1}{(hA)_f} + R_p + \frac{1}{(hA)_q}$	(4)
--	-----

na qual, EXPLICAR TERMOS. Para o cálculo dos coeficientes convectivos foram os seguintes parâmetros.

Reynolds:

$ReD = \frac{4 \cdot m_f}{\pi \cdot D_i \cdot \mu_f}$	(5)
---	-----

Nusselt:

$Nu = 0,023 \cdot ReD^{(4/5)} \cdot Pr^{0,4}$	(6)
---	-----

Outrossim, os diâmetros hidráulicos para os fluidos quente e frio foram calculados por meio das expressões $D_h = D_i$ e $D_h = D_i + D_e$, respectivamente. Enfim, foi possível calcular o coeficiente convectivo por meio da expressão

$h_f = Nu_f \frac{k_f}{D_i}$	(7)
------------------------------	-----

$h_q = Nu_q \frac{k_q}{D_e}$	(8)
------------------------------	-----

em que, o subscrito f indica que se trata de atributo do fluido frio, subscrito q indica fluido quente. Para o qual os D_h é igual ao D_i para o fluido quente e igual a $D_e - D_i$ para o fluido frio.

Por fim, foi possível calcular o comprimento do trocador de calor por meio de um rearranjo da eq. (9).

$Q = U \cdot \pi \cdot D_i \cdot \Delta T_{ml} \cdot L$	(9)
---	-----

	$L = \frac{Q}{U \cdot \pi \cdot D_i \cdot \Delta T_{ml}}$	(10)
--	---	------

Na qual, a temperatura média logarítmica (ΔT_{lm}) foi calculada da seguinte forma.

	$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{q,e} - T_{f,s}) - (T_{q,s} - T_{f,e})}{\ln \left[\frac{(T_{q,e} - T_{f,s})}{(T_{q,s} - T_{f,e})} \right]}$	(11)
--	--	------

Então L foi definido como 0,46 metros.

Para arranjos em contracorrente, a temperatura média logarítmica seria distinta, à medida que as temperaturas nas entradas e saídas do trocador seriam alteradas, mas não é possível fazer os cálculos para esse arranjo em razão de não ter sido

	$E(\%) = \frac{ Valor_{real} - Valor_{teórico} }{Valor_{real} \times 100\%}$	(12)
--	--	------

O erro obtido foi de 60%.

5. Discussão

O experimento foi realizado de forma a isolar o efeito da direção da corrente, ou seja, a configuração de um trocador de calor, é perceptível que a configuração afeta diretamente na troca de calor, já que esta é movida por gradiente de temperatura, isto é exemplificado pelos valores de temperatura média logarítmica (ΔT_{lm}) de cada escoamento, sendo demonstrado um valor maior para contracorrente e por consequência uma força motriz de troca de calor maior.

E com uma eficiência de troca térmica maior o trocador pode ocupar uma área menor e finalmente um volume menor, economizando espaço na planta, principalmente em locais de processo.

No cálculo realizado para determinar o comprimento do tubo a partir do U obtido, chegou-se a um valor de L de 0,46m, com um erro percentual de 60% para baixo. Isso provavelmente

se deve a um problema na obtenção dos dados. Na planilha de dados a T na entrada da corrente quente era inferior a T na saída desta. Esse dado pode ser resultado de um erro de medida do termopar 1.5, visto que termopares podem apresentar mal contato e marcar valores incorretos. Outra possibilidade seria um erro na leitura dos dados durante o experimento, tendo anotado incorretamente a posição dos termopares. Como não seria possível corrigir um erro de medida optou-se por inverter as duas medidas, para poder realizar o cálculo com os valores obtidos

6. Conclusões

Nesta prática foi feita a análise de trocadores de calor e suas configurações, a limitação foi a quantidade de configurações (só foram testadas 2) e o tempo de prática não foi suficiente para que fossem obtidos os dados de ambas as configurações. Assim, não foi possível visualizar, na prática, a maior eficiência do arranjo em contracorrente. Contudo, foi possível notar a simplicidade no funcionamento do equipamento e os princípios de seu funcionamento.

Referências

CHASE M.W., Jr. NIST-JANAF Thermochemical Tables, Fourth Edition, **J. Phys. Chem. Ref. Data.** 9 ed, 1998, p. 1-1951.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa.** 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

JANNA, W. S.; **Projetos de sistemas fluidotérmicos.** São Paulo: Cengage Learning, 4 ed. 2016.

SMITH, J.M.; VAN NESS, H.C.; ABBOTT, M.M. **Introdução à termodinâmica da engenharia química.** 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

CALLISTER, W. D.; **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.