ISSN: 2594-6153

Determinação do Coeficiente Externo de Convecção em Trocador de Calor Duplo Tubo

Thyrson Niênio Rodrigues Sousa[1]; Marcelo Yamaguti[1]; Luis Felipe Collacio Messias[1]; Pedro Pereira Torga[1]; Pedro Wanderley Ventura[1]; Rodrigo Rolim Coutinho e Silva[1]; Murilo Antunes Alves Lucindo[2]; Vitor da Silva Rosa[1]

[1]Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Santa Cecília – UNISANTA, Santos, Brasil.
[2]Power Platform Developer, MODEC, Santos, Brasil.

E-mail: thyrson@uol.com.br

Resumo: Trocadores de calor são equipamentos responsáveis pela transferência de calor entre fluidos. O objetivo do trabalho foi determinar empiricamente o coeficiente de convecção externo de um trocador do tipo duplo tubo com chicanas. Os ensaios foram realizados, com vazões de fluido frio variando entre 5 e 30 LPM, enquanto a vazão do fluido quente foi mantida constante. Os resultados mostraram que a presença das chicanas aumentou significativamente o coeficiente de convecção externa (h_o) variando de 757 W/m²°C a 1968 W/m²°C, em comparação com o valor esperado de 483 W/m²°C sem chicanas. Além disso, observou-se uma diminuição no LMTD com o aumento da vazão do fluido frio. Conclui-se que chicanas em trocadores de calor de duplo-tubo são eficazes para melhorar a eficiência térmica.
Palavras-chave: Trocador de calor; Convecção; Chicanas; Eficiência Térmica.

Determination of External Convection Coefficient in Double Tube Heat Exchanger

Abstract: Heat exchangers are equipment responsible for transferring heat between fluids. The aim of this study was to empirically determine the external convection coefficient of a double-pipe heat exchanger with baffles. The tests were conducted with cold fluid flow rates varying between 5 and 30 LPM, while the hot fluid flow rate was kept constant. The results showed that the presence of the baffles significantly increased the external convection coefficient (h_o), ranging from 757 W/m²°C to 1968 W/m²°C, compared to the expected value of 483 W/m²°C without baffles. Additionally, a decrease in LMTD was observed with the increase in the cold fluid flow rate. It is concluded that baffles in double-pipe heat exchangers are effective in improving thermal efficiency.
Keywords: Heat Exchanger; Convection; Baffles; Thermal Efficiency.

Introdução

Os trocadores de calor são dispositivos essenciais que facilitam a transferência de calor entre dois fluidos em diferentes temperaturas [1], encontrando aplicações tanto em processos industriais quanto em ambientes domésticos, como em aparelhos de ar-condicionado e aquecedores a gás. Na indústria química, desempenham um papel crucial na recuperação de energia, aquecendo fluidos ao recuperar calor disponível em outras etapas do processo.

Existem diversos tipos de trocadores de calor empregados na indústria, como os compactos trocadores a placas e os tradicionais trocadores de casco e tubo. Um modelo didático é o trocador de calor do tipo duplo-tubo, composto por dois tubos concêntricos de diferentes

ISSN: 2594-6153

diâmetros, onde um fluido escoa pelo tubo interno e o outro pelo tubo externo ou casco. A transferência de calor nesses dispositivos geralmente envolve convecção em cada fluido e condução através da parede que os separa [2]. Compreender esses processos é fundamental para um projeto eficiente, especialmente na determinação do coeficiente de convecção, h, que depende do escoamento do fluido, suas propriedades físicas e a geometria do sistema [3]. Para geometrias simples, o coeficiente h pode ser calculado analiticamente, enquanto para geometrias complexas são necessários métodos empíricos ou numéricos.

Objetivos: Este trabalho teve por objetivo determinar empiricamente o valor do coeficiente de convecção para o escoamento no interior do casco de um trocador do tipo duplo tubo, contendo chicanas. A escolha do método empírico se deu pela complexidade da geometria do casco.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em um trocador de calor casco-tubo (Figura 1). Uma bomba de engrenagens foi utilizada para bombear o fluido frio (H_2O) para um aquecedor, onde a temperatura do fluído foi mantida a 35°C. O fluido frio aquecido foi então direcionado para o tubo interno do trocador de calor, saindo posteriormente para uma torre de resfriamento e um tanque de coleta. No sentido inverso, a água à temperatura ambiente foi bombeada por uma bomba centrífuga, entrando pelo tubo externo e percorrendo seu interior através das chicanas instaladas. A vazão de entrada do fluido quente foi fixada em 5 LPM, e a vazão de entrada do fluido frio variou entre 5, 10, 15, 20, 25 e 30 LPM. As leituras de temperaturas em quatro pontos distintos foram coletadas em intervalos de 1 minuto através de termopares, que foram registradas em um analisador digital.

O trocador de calor possui um casco fabricado em aço inox com diâmetro de 76,50 mm e comprimento de 2000 mm, e um tubo interno também em aço inox com diâmetro de 38,10 mm e comprimento de 2295 mm. O casco possui duas conexões para entrada e saída de água. O tubo interno é equipado com chicanas distribuídas ao longo de seu comprimento e é fixado em sua posição por duas flanges, que são acopladas nas duas extremidades do casco e vedadas com juntas e O-rings. Nas extremidades do tubo interno, existem conexões para as linhas de entrada e saída de fluido.

Foram realizados seis ensaios com a vazão de fluido quente constante. As propriedades do fluido quente foram calculadas com base na temperatura média entre a entrada e a saída do trocador de calor e para o coeficiente de troca térmica no tubo interno foi empregada a equação de Gnielinski.

ISSN: 2594-6153

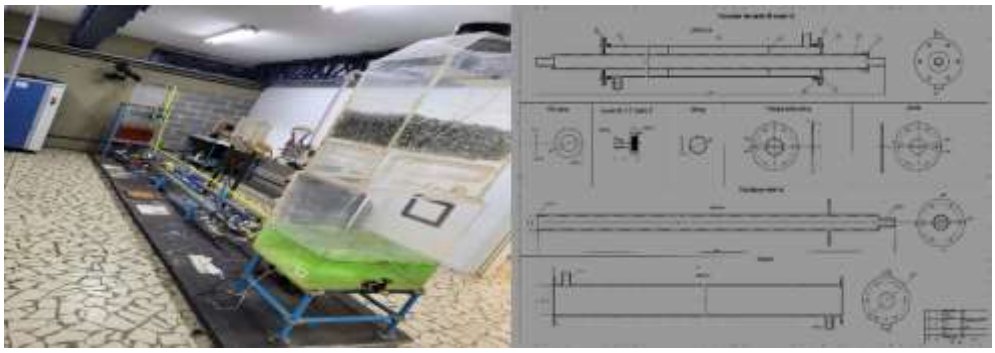

Figura 1 – Unidade Experimental de trocador de calor casco-tubo.

Resultados

A Tabela 1 mostra os resultados coletados nos ensaios de laboratório (E1 a E6), bem como resultados dos cálculos que permitem obter, indiretamente, o coeficiente de troca térmica em investigação, ou seja, do espaço anular entre tubo interno e externo do trocador de calor de duplo tubo.

Tabela 1 – Resultados coletados nos ensaios e valores calculados

	Unidade	E1	E2	E3	E4	E5	E6
V_{FQ}	[LPM]	5	5	5	5	5	5
V_{FF}	[LPM]	5	10	15	20	25	30
T_1	[°C]	40,2	40	39,9	39,8	39,8	39,9
T_2	[°C]	37,8	37,4	37,3	37,3	37,3	37,3
T_3	[°C]	27,9	28,2	28,7	29,4	29,8	30,4
T_4	[°C]	30,6	29,8	29,8	30,2	30,5	30,8
T_{mFQ}	[°C]	39	38,7	38,6	38,55	38,55	38,6
T_{mFF}	[°C]	29,25	29	29,25	29,8	30,15	30,6
ρ_{FQ}	[kg/m3]	988,3	988,4	988,5	988,5	988,5	988,5
cp_{FQ}	[J/kg°C]	4.190	4.190	4.190	4.190	4.190	4.190
μ_{FQ}	[Pa.s]	0,000688	0,000692	0,000693	0,000694	0,000694	0,000693
k_{FQ}	[W/m°C]	0,676	0,676	0,675	0,675	0,675	0,675
Pr_{FQ}	[--]	4,26	4,29	4,30	4,31	4,31	4,30
Q_{FQ}	[W]	828,2	897,3	897,4	862,9	862,9	897,4
LMTD	[°C]	9,75	9,69	9,33	8,72	8,37	7,95
U	[W/m²°C]	309,2	337,1	350,1	360,1	375,4	410,9
Re_{FQ}	[--]	4.841	4.813	4.804	4.799	4.799	4.804
h_{ii}	[W/m²°C]	632,1	629,1	628,1	627,6	627,6	628,1
h_{io}	[W/m²°C]	522,6	520,1	519,3	518,9	518,9	519,3

ISSN: 2594-6153

h_o	[W/m²°C]	757	958	1075	1.177	1.357	1.968

Os valores de h_o assim obtidos estão representados em gráfico em função da vazão do fluido frio conforme Figura 2.

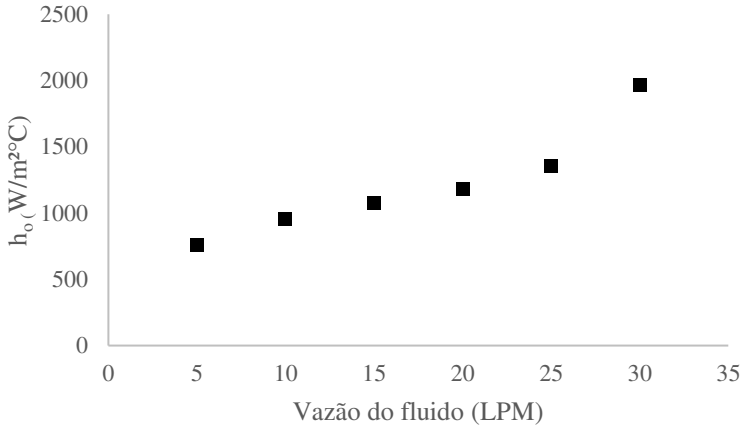

Figura 2 – Coeficiente de troca térmica na seção anular em função da vazão

O comportamento da curva sugere que o coeficiente de troca térmica pode ser representado por uma equação exponencial. Sendo assim, as constantes "a" e "b" foram determinadas por regressão linear após a aplicação dos logaritmos aos dois membros da equação. Portanto, utilizando a ferramenta de regressão de dados do Excel, obteve-se a expressão para o coeficiente de troca térmica (Equação 1), tendo um R² de 0,85.

$$h_o = 340.{V_{FF}}^{0,45} \qquad \text{[Eq. 01]}$$

Discussão

Observa-se que a variação das vazões dos fluidos, tanto do fluido quente (mantido constante em 5 LPM) quanto do fluido frio (variando de 5 a 30 LPM), impactou significativamente as temperaturas terminais dos fluidos e os respectivos coeficientes de troca térmica. O aumento da vazão do fluido frio resultou em uma maior taxa de transferência de calor, refletida pelo aumento progressivo do coeficiente global de troca térmica (U).

A análise dos coeficientes de convecção externa, mostrou um padrão crescente com o aumento da vazão do fluido frio, variando de 757 W/m²°C a 1968 W/m²°C. Utilizando equações da literatura, e.g. equação de Monrad e Pelton (1942) para o cálculo do coeficiente de troca na

ISSN: 2594-6153

seção anular, foi possível comparar os coeficientes de troca obtidos experimentalmente com aqueles esperados para um trocador de calor de duplo-tubo convencional sem chicanas. A análise mostrou que os valores obtidos experimentalmente são significativamente maiores devido à presença das chicanas. Por exemplo, para uma vazão de 10 LPM, o coeficiente determinado pelas equações sem chicanas é de 483 W/m²°C, enquanto o coeficiente obtido experimentalmente com as chicanas é de 958 W/m²°C. Esses resultados evidenciam a eficácia das chicanas em melhorar a troca térmica no sistema. Além disso, os valores obtidos para o *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) diminuíram à medida que a vazão do fluido frio aumentou, indo de 9,75°C no Ensaio 1 para 7,95°C no Ensaio 6. Esta diminuição é atribuída ao maior gradiente de temperatura na entrada, que reduz o impacto na diferença de temperatura média.

Conclusões

Conclui-se que a implementação de chicanas em um trocador de calor do tipo duplo-tubo aumenta significativamente a eficiência térmica do sistema. A dependência do coeficiente de troca térmica com a vazão do fluido frio foi demonstrada, com um coeficiente de convecção externa (h_o) que aumenta com a vazão, seguindo a relação apresentada na equação 01. Este incremento é particularmente relevante em aplicações industriais onde a maximização da eficiência térmica é essencial. Portanto, a inclusão de chicanas no trocador de calor do tipo duplo-tubo é uma estratégia eficaz para melhorar a transferência de calor, tornando-o uma opção viável para aprimoramento nos processos industriais e outros sistemas de troca térmica que exigem alta eficiência.

Referências

1. Çengel,Y.A.; Ghajar, A.J. Transferência de calor e massa. 4. Ed.Mc Graw Hill, 2012
2. Incropera, F.P.; Dewitt, D.P. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 6. ed. LTC, 2008.
3. Miranda EJP, Gonçalves RS. Determinação experimental do coeficiente de transferência de calor por convecção. Revista Ifes Ciência; 2016 2(1):53-71