ISSN: 2594-6153

Desempenho do Coeficiente Global de Transferência de Calor no Resfriamento da água em Tanques Agitados e Equipados com Chicanas Tubulares Verticais

Maurici Cunha Batista[1,2], Matheus Martins de Lima Alcântara[1], Deovaldo de Moraes Junior[1], Vitor da Silva Rosa[1]

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil
[2]Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus Registro -SP, Brasil

E-mail: maurici@ifsp.edu.br

Resumo: O resfriamento de líquidos em tanques agitados é um processo muito usado nas indústrias e no cotidiano das pessoas. Neste estudo foi utilizado como trocador de calor, chicanas tubulares verticais, no qual a literatura sobre o assunto é bem limitada. Este estudo tem como objetivo determinar e analisar o desempenho do coeficiente global de transferência de calor. Foi utilizado um tanque (50L) e um impulsor tipo turbina Smith. O fluido contido no tanque, foi resfriado em diferentes rotações, sendo usada a técnica transiente na transferência de calor. A potência gerada pela turbina foi medida de forma experimental em função do torque. A análise da troca térmica mostrou maior eficiência em função da turbulência causada no fluido.

Palavras-chave: Coeficiente Global de Transferência de Calor; Resfriamento; Chicanas Tubulares Verticais; Tanques Agitados.

Performance of the Global Heat Transfer Coefficient for Water Cooling in Agitated Tanks Equipped with Vertical Tubular Baffles

Abstract: The cooling of liquids in agitated tanks is a process widely used in industries and in people's daily lives. In this study, vertical tubular baffles were used as a heat exchanger, in which the literature on the subject is very limited. This study aims to determine and analyze the performance of the global heat transfer coefficient. A tank (50L) and a Smith turbine impeller were used. The fluid contained in the tank was cooled at different speeds, using the transient technique for heat transfer. The power generated by the turbine was measured experimentally as a function of torque. The thermal exchange analysis showed greater efficiency due to the turbulence caused in the fluid.

Keywords: Global Heat Transfer Coefficient; Cooling; Vertical Tubular Baffles; Agitated tanks.

Introdução

O resfriamento de líquidos é de grande importância nos processos industriais, podendo ser empregados nos mais diversos setores. A grande maioria dos líquidos agitados e misturados em tanques são soluções de polímeros, tintas, pastas minerais e alimentares, que exibem uma reologia [1]. O coeficiente global de transferência de calor é uma função da área superficial do trocador de calor, das propriedades físicas dos fluídos quente e frio e da reologia dos fluídos.

O uso de chicanas tubulares verticais evita a formação de vórtices, assim, aumenta a eficiência da mistura e contribui para formação de fluxo turbulento, proporcionando um aumento na troca térmica [2-3]. Na literatura encontra-se várias correlações para estimar o coeficiente de transferência de calor em tanques com trocadores de calor tipo chicana tubular em regime transiente, o mesmo não acontece com operações em batelada.

Rosa et al. 2017 [4], obtiveram experimentalmente uma correlação do coeficiente de transferência de calor em um tanque equipado com impulsor radial, tipo turbina em função do número de Nusselt, relacionado aos adimensionais Reynolds e Prandt e da relação de viscosidade do fluido e mostraram que a eficiência de transferência de calor nas superfícies das chicanas tubulares verticais é maior que o valor apresentado pela serpentina espiral quando o fluido é agitado pelo impulsor radial tipo turbina Rushton.Tanques agitados por impulsores de fluxo radial apresentam valores altos de coeficiente de transferência de calor [5].

A utilização do impulsor Smith na agitação de fluidos a serem resfriados, tem uma perspectiva positiva no que diz respeito à melhoria na qualidade da mistura e da transferência de calor no processo de resfriamento de fluidos.

Objetivos

O presente trabalho visa a determinação e análise do desempenho do coeficiente global de transferência de calor em função das rotações em um tanque agitado por um impulsor tipo turbina Smith e equipado com chicanas tubulares verticais no resfriamento da água.

Material e Métodos

A figura 1 mostra um fluxograma da unidade experimental usada nos experimentos:

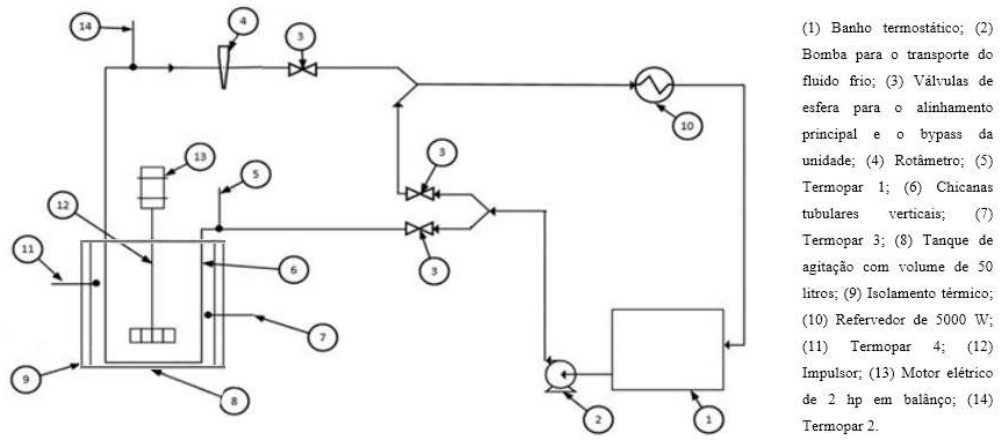

Figura 1 - Fluxograma simplificado da unidade experimental

A água é o fluido quente a ser resfriado no tanque durante os experimentos e como fluido frio no interior das chicanas tubulares verticais. A temperatura da água na entrada foi mantida constante a 20 °C e vazão fixa de 1,5 LPM. O fluído no tanque foi mantido em batelada, sendo adotada uma temperatura inicial de 45°C e submetido a rotações de 100, 300, 500, 700 e 800 RPM em cada ensaio, respectivamente. Desta forma, foram realizados 05 ensaios relativos a troca térmica. O fluido quente contido no tanque, foi agitado com a rotação desejada através de um inversor de frequência conectado ao motor elétrico do impulsor mecânico. Simultaneamente acionava-se um cronômetro dando início as coletas de temperatura em intervalos de 1 minuto, através da leitura dos termopares 1 e 2 para o fluido de entrada e saída nas chicanas e 3 e 4 para o fluido a ser resfriado.

Resultados

O coeficiente global de transferência de calor foi determinado em cada ensaio aplicando o método transiente através de um balanço energético mostrado na Eq. (1), admitindo um volume de controle em torno do tanque agitado.

$$Q_{vc} - W_{vc} + w_e(h_e + v_e^2/2 + gZ_e) - w_s(h_s + v_s^2/2 + gZ_s) = dE_{vc}/d\theta \quad (1)$$

Na Eq. (1), o termo Q_{vc} é o fluxo de calor e o termo W_{vc} é o trabalho fornecido ao fluido pela rotação do impulsor mecânico. Foram aplicadas as seguintes hipóteses: (a) o tanque estava completamente agitado; (b) a troca de calor com o ambiente externo foi desconsiderado, sendo que o tanque foi revestido com isolante térmico de nylon - $Q_{vc} = 0$; (c) a energia cinética e potencial foram consideradas insignificantes comparadas com a entalpia; (e) as propriedades físicas da água foram calculadas nas temperaturas médias; (d) o trabalho resultante da rotação do impulsor Smith foi medido de forma experimental em função do torque. Considerando que o fluído no tanque é um processo em batelada e apenas um fluxo atravessa a fronteira, a vazão de entrada e saída do fluido nas chicanas são iguais e, como não há mudança de fase, a variação de entalpia pode ser reescrita em função do calor sensível e da diferença de temperaturas, sendo T_1 e T_2, as temperaturas de entrada e saída nas chicanas. O coeficiente global de transferência de calor U é mostrado em função da troca térmica e pela média logarítmica das diferenças de temperatura (LMTD) (Eq. 5), sendo considerado como um processo de contra-fluxo em função do impulsor radial proporcionar um fluxo turbulento no tanque.

$$LMTD = (T_1 - T_2)/\ln(T_1 - T_b / T_2 - T_b) \quad (2)$$

Substituindo a Eq. (5) na Eq. (4) e depois na Eq. (3), determinamos a equação que representa o U em função da temperatura de bulk (Tb) no tanque em relação ao tempo e calculado ponto a ponto em cada tentativa por meio de discretização apresentado na Eq. (3).

$$U = \frac{1}{A(T'_1 - T'_2)}\left[\ln(T'_1 - T'_b / T'_2 - T'_b)\right] MC_{pC}\left(\frac{T''_b - T'_b}{\theta'' - \theta'}\right) + W_{vc} \quad (3)$$

A Tabela 1 mostra os coeficientes médio (U) de cada ensaio em função das rotações (N) do impulsor Smith.

Tabela 1 - Resfriamento

Ensaio	N (RPM)	U (W/m²°C)
01	100	916,1
02	300	1151,3
03	500	1245,7
04	700	1492,0
05	800	1339,8

Discussão

Pode ser observado na Fig. 2, os valores de U médio obtido durante cada ensaio em função das rotações empregadas no impulsor.

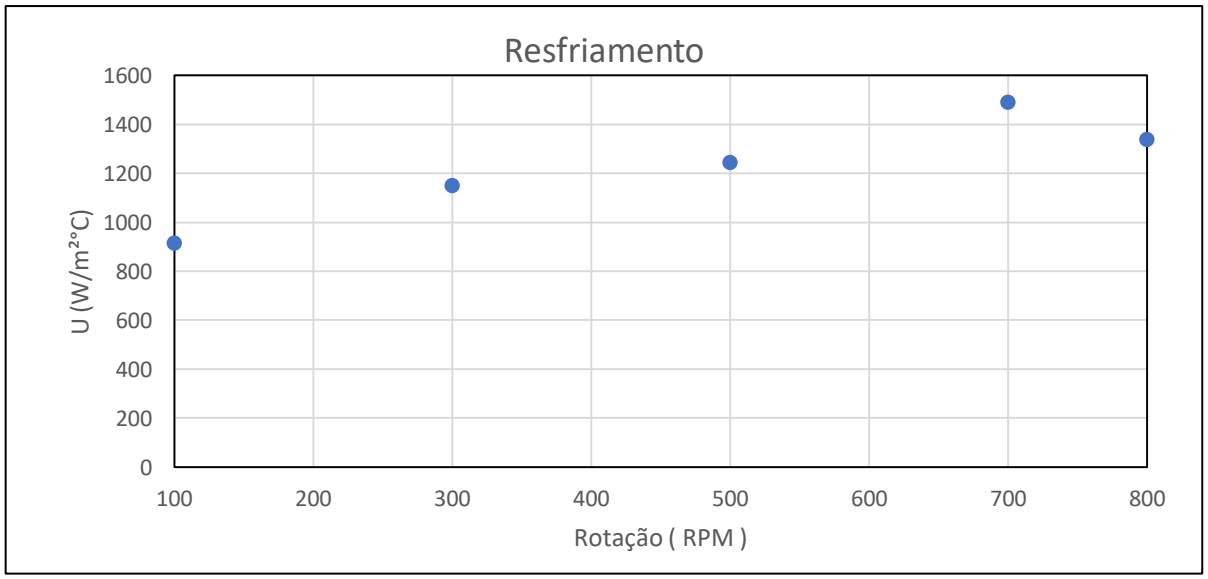

Fig.2 – Valores médios de U para cada ensaio

O valor de U mostra-se sempre próximo ao valor médio, independente do intervalo de tempo aplicado nesta troca térmica com chicanas tubulares verticais. Nos ensaios com rotações de 100, 300, 500 e 700 RPM, verificou-se a influência da agitação no coeficiente de troca

térmica (U), observa-se que o U aumenta à medida que o fluxo de fluido a ser resfriado torna-se mais turbulento. No ensaio 05 com rotação de 800 RPM, houve um decréscimo no valor de U, sendo assim, é necessário estabelecer uma faixa de turbulência em que o coeficiente global de transferência de calor aumente proporcionalmente ao fluxo empregado. Desse modo, ficou claro que o aumento da agitação proporcionou um aumento no valor de U. Os resultados experimentais mostram que o desvio entre os valores calculados do coeficiente global de transferência de calor e os valores teóricos obtidos a partir do modelo analítico estão dentro de uma faixa de aproximação. Desse modo, ficou claro que o aumento da agitação proporcionou um aumento no valor de U. Os resultados experimentais mostram que o desvio entre os valores calculados do coeficiente global de transferência de calor e os valores teóricos obtidos a partir do modelo analítico estão dentro de uma faixa de aproximação.

Conclusões:

Os ensaios realizados permitiram a obtenção de U em função do tempo, mostrando que o aumento da rotação causada pelo impulsor Smith aumenta a velocidade de fluxo no tanque resultando no aumento da troca térmica. Os valores de U durante os intervalos de tempo permaneceram praticamente constante. Para dar continuidade nesse campo de pesquisa, é necessário a obtenção de um número maior de coleta de dados, sendo assim, deve-se aumentar o número de ensaios e usar outros tipos de impulsores mecânicos.

Agradecimentos: Agradeço a Universidade Santa Cecília pelo apoio e ao Laboratório de Operações Unitárias pela bancada experimental cedida para execução dos experimentos.

Referências:

1. Triveni B, Vishwanadham B, Madhavi T, Venkateshwar S. Mixing studies of non-Newtonian fluids in na anchor agitated vessel. Chemical Engineering Research and Design. 2008; 88(7):809-818
2. Paul, E. L.; Atiemo-Ubeng, V. A.; Kresta, S. M. Handbook of Mixing, (2004). 1st ed.; Wiley Interscience: New York.
3. Engeskaug, R.; Thorbjørnsen, E.; Svendsen, H. F. Wall Heat Transfer in Stirred Tank Reactors. Ind. Eng. Chem. Res. 2005, 44, 4949−4958.
4. Rosa V D S, Taqueda M E S, Paiva J L D, et al. (2017), “Nusselt’s correlations in agitated tanks using the spiral coil with Rushton turbine and PBT 45° impeller. Comparison with tanks containing vertical tube baffles”, Applied Thermal Engineering, Volume 110, Pages 1331- 1342.
5. Cudak, M., Major-Godlewska, M., & Karcz, J. (2018). Problems of Heat Transfer in Agitated Vessels. Practical Aspects of Chemical Engineering, 35–50.
6. Wang, L., Zhou, Y., & Chen, Z. (2020). Investigation of Heat Transfer Efficiency of Improved Intermig Impellers in a Stirred Tank Equipped with Vertical Tubes. International Journal of Chemical Reactor Engineering,).