

BALANÇO ENTRE TROCA TÉRMICA E CONTAMINAÇÃO ENTRE OS FLUIDOS CIRCULANTES EM UM REGENERADOR ROTATIVO EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO DA MATRIZ

FULANO C. SILVA¹, AUTOR², AUTOR³

¹ Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Catanduva, fulano@aluno.ifsp.edu.br

^{2,3} Doutores em Engenharia Mecânica, Docentes, IFSP, Campus Catanduva, fulano@ifsp.edu.br, fulano@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.02.03-9 Aproveitamento da Energia

Apresentado no

10º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP

27 e 28 de novembro de 2019- Sorocaba-SP, Brasil

RESUMO: O regenerador rotativo é um equipamento importante no reaproveitamento de energia térmica. A rotação deste tipo de trocador de calor influencia de maneira direta no montante de calor trocado entre os gases circulantes no equipamento e as chapas de sua matriz porosa, assim como influenciam também na contaminação entre os gases circulantes. Este trabalho tem como proposta analisar computacionalmente um regenerador rotativo a partir da variação de sua rotação. O intuito é estabelecer valores de rotação do equipamento que forneçam boa troca térmica e baixa contaminação entre os fluidos. Valores de vazão e de temperaturas de entrada foram pré-definidos no trocador. O coeficiente de transferência de calor no regenerador foi obtido a partir de correlações, considerando regime laminar de escoamento dos gases. A quantidade de calor trocada foi obtida por meio do método Efetividade-NUT específico para regeneradores rotativos. A contaminação entre os gases foi analisada com base em uma relação que envolve o comprimento dos canais, a velocidade do fluido e a rotação do regenerador. Os resultados mostraram que é possível estabelecer valores de rotação que agregam boa troca térmica no equipamento e baixa contaminação entre os gases.

PALAVRAS-CHAVE: transferência de calor; simulação computacional; trocador de calor.

BALANCE BETWEEN THERMAL EXCHANGE AND FLUID CONTAMINATION IN A ROTARY REGENERATOR AS FUNCTION OF MATRIX ROTATION

ABSTRACT: The rotary regenerator is an important equipment for the reuse of thermal energy. The rotational speed of this type of heat exchanger directly influences the amount of heat transfer between the circulating gases in the equipment and the porous matrix, as well as also influences the contamination between the circulating gases. This work proposes a computational analysis of a rotary regenerator from the variation of rotational speed. The purpose is to establish values of rotational speed that provide good heat transfer and low contamination between fluids. The mass flow rate and the inlet temperature of gas streams of regenerator where pre-established. The heat transfer coefficient was obtained from correlations considering laminar flow regime. The amount of heat transfer was obtained by the specific NTU-Effectiveness method for rotary regenerators. Contamination between gases was analyzed based on a relationship involving channels length, fluid velocity and matrix rotation speed. The results showed that it is possible to establish matrix rotational speed values that provide good thermal exchange in the equipment and low contamination between the gases.

KEYWORDS: heat transfer; computer simulation; heat exchanger.

INTRODUÇÃO

O regenerador rotativo é um equipamento com a finalidade de recuperar calor, sendo ideal para promover a troca térmica entre gases. A troca de calor neste equipamento ocorre por meio de uma matriz porosa capaz de armazenar energia interna, a qual rotacional continuamente. A matriz é constituída por diversos canais, lisos ou corrugados, que podem ser de diferentes áreas de seção transversal. Na maioria das aplicações, o regime de escoamento dos fluidos é laminar. Escoamento turbulento pode ser

observado, em geral, em regeneradores rotativos de grandes dimensões, sob condições operacionais que envolvem maiores valores de vazão e de temperaturas de entrada das correntes de gases. Neste trabalho, é analisado um regenerador de médio porte, cuja matriz, feita de aço SAE 1010, possui canais lisos com área de seção transversal circular. Foi considerado regime laminar de escoamento dos gases. A partir da variação de valores para a rotação da matriz, a transferência de calor no regenerador e a contaminação entre os fluidos foram analisadas por meio de simulação computacional. Os resultados obtidos para estes parâmetros permitiram definir valores de rotação para o regenerador simulado que implicassem em boa troca térmica e baixa contaminação entre os fluidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Em um regenerador rotativo dois gases escoam em contracorrente por dutos paralelos, sendo um duto para o gás quente e outro para o gás frio. A matriz porosa rotaciona continuamente entre os dutos adjacentes, absorvendo calor do gás quente em um dos lados e transferindo-o para o gás frio do lado oposto. A Figura 1 demonstra o esquema de funcionamento de um regenerador rotativo, onde $T_{q,e}$ e $T_{f,e}$ correspondem às temperaturas dos gases quente e frio, respectivamente.

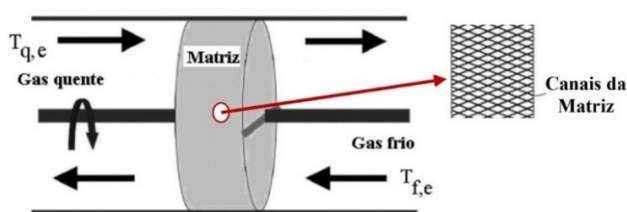


FIGURA 1. Esquema de funcionamento de um regenerador rotativo.

Define-se *período frio* do regenerador como o tempo em que um ponto fixo na matriz do equipamento gasta para percorrer o lado da corrente de fluido frio, enquanto que *período quente* consiste no tempo em que esse ponto gasta para percorrer o lado da corrente de fluido quente. Dessa forma, os períodos frio e quente estão intrinsicamente atrelados à rotação do equipamento, podendo ser maiores ou menores em função deste parâmetro. Supondo-se constantes a quantidade e o tamanho dos canais da matriz, bem como a espessura desses canais, o valor da rotação da matriz influencia de maneira direta no calor total transferido no equipamento. Baixas rotações implicam em baixos valores de troca térmica no regenerador, enquanto que rotações elevadas podem implicar na ocorrência de contaminação entre os fluidos (SHAH, 1980).

A contaminação entre os fluidos ocorre na mudança do período frio para o quente e vice-versa. Para que a contaminação seja em nível satisfatório, é importante que a quantidade de partículas de gás que permanece nos canais do trocador de calor na mudança de um período para o outro seja desprezível. Assim, o tempo que as partículas levam para percorrer os canais deve ser bem menor que o tempo de rotação da matriz. Caso contrário, a contaminação entre os fluidos pode ser significativa. O tempo que o fluido leva para percorrer o canal da matriz é conhecido como *Tempo de Residência* (t_{res}) do gás na matriz, sendo dado pela relação entre o comprimento L do canal e a velocidade média u do fluido ($t_{res} = L/u$). Regeneradores rotativos que apresentam bom compromisso entre troca térmica e contaminação entre os fluidos apresentam relação entre o tempo de residência t_{res} e tempo para uma revolução da matriz t_0 inferior a 1,5% (SHAH, 1980), isto é, $(t_{res}/t_0) < 0,015$.

O coeficiente convectivo de transferência de calor atrelado ao processo de troca térmica entre os gases e a matriz foi obtido por meio de correlações, com base no diâmetro hidráulico dos canais da matriz. As propriedades dos fluidos foram calculadas por meio de correlações para gases encontradas na literatura. O calor total Q transferido no regenerador foi calculado por meio do método Efetividade-NUT específico para regeneradores rotativos (KAYS E LONDON, 1964), no qual a efetividade ε_r do regenerador é obtida a partir do uso de um fator de correção ϕ_r devido à velocidade rotacional e à capacidade térmica da matriz para corrigir a efetividade ε_0 de um trocador de calor em contracorrente, conforme o equacionamento a seguir, sendo C_{min} a menor capacidade térmica dentre os gases e C_r a capacidade térmica da matriz, obtida a partir da velocidade rotacional n (rpm), da massa m_m e do calor específico c_m da matriz. Um programa computacional em linguagem C foi desenvolvido para a simulação do regenerador.

$$\varepsilon_r = \varepsilon_0 \varphi_r; \quad \varphi_r = 1 - \frac{1}{9C_r^{*1,93}}; \quad C_r^* = \frac{C_r}{C_{min}}; \quad C_r = \frac{n}{60} m_m c_m \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados de entrada do programa computacional desenvolvido para a simulação do regenerador, sendo T temperatura, L o comprimento dos canais da matriz, e a espessura da parede dos canais, D o diâmetro da matriz, n a rotação da matriz e $\dot{m}$ a vazão mássica das correntes. O parâmetro σ representa a porosidade da matriz, dada pela relação entre a área livre e a área total da seção transversal dos canais. Os subscritos q , f e e referem-se, respectivamente a, gás quente, gás frio e entrada. Os dados são referentes a um regenerador em funcionamento em uma refinaria de petróleo.

Os resultados obtidos para o calor transferido Q no regenerador e para a relação (t_{res}/t_0) das correntes quente e fria do equipamento são apresentados, em função da rotação da matriz, nas Figuras 1(a) e (b), respectivamente.

TABELA 1. Dados de entrada para o regenerador simulado.

σ	L (m)	e (m)	D (m)	n (rpm)	Temperatura (°C)		Vazão mássica (kg/s)	
					$T_{q,e}$	$T_{f,e}$	$\dot{m}_{q,e}$	$\dot{m}_{f,e}$
0,894	1,35	0,00050	5,46	3	483,91	81,56	51,19	47,08

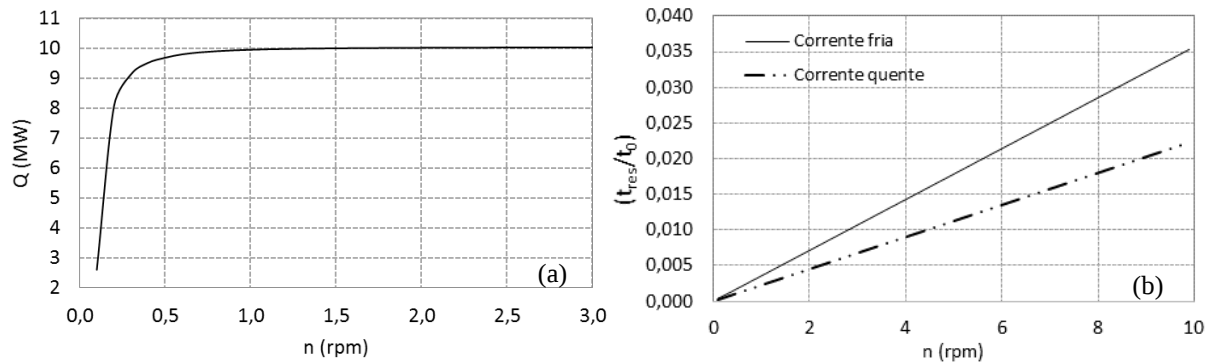


FIGURA 2. Análise em função da rotação da matriz: (a) calor transferido; (b) relação (t_{res}/t_0) .

Nota-se na Figura 1(a) que, para valores de rotação da matriz superiores a 1,2 rpm, o calor transferido assume valor máximo e praticamente constante, em torno de 10 MW. Na Figura 1(b), observa-se que, para que ambas as correntes tenham níveis aceitáveis de contaminação, com $(t_{res}/t_0) < 1,5\%$, o regenerador deve possuir valores de rotação inferiores a 4,2 rpm. Assim, pode-se estabelecer que os valores de rotação compreendidos entre $1,2 < n < 4,2$ rpm agregam boa troca térmica e baixa contaminação entre os fluidos para este regenerador.

CONCLUSÕES

O programa computacional mostrou-se uma boa ferramenta para a previsão de condições de trabalho do regenerador rotativo. Os resultados mostraram que é possível estabelecer valores de rotação para a matriz do equipamento, de forma a agregar boa troca térmica e baixa contaminação entre os gases. Para o regenerador simulado esses valores ficaram compreendidos entre 1,2 e 4,2 rpm.

REFERÊNCIAS

- KAYS, W.M., LONDON, A.L. Compact Heat Exchangers. Ed. McGraw-Hill, 3rd, New York, U.S.A, 1964.
- SHAH, R.K. Thermal Design Theory for Regenerators. Em: Kakac, S., Bergles, A. E., Mayinger, F., 1980, Heat Exchangers: Thermal-Hydraulic Fundamentals and Design, Ed. Hemisphere Publishing Corporation, Washington, U.S.A.