ISSN: 2594-6153

Analogia de Leveque Aplicada a Banco de Tubos Redondos Aletados com Aletas Helicoidais em Arranjo Triangular

Pedro Wanderley Ventura, Deovaldo de Moraes Júnior, Victor da Silva Rosa, Felipe Bertelli, Nelize Maria de Almeida Coelho

Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil

E-mail: pw.ventura@gmail.com

Resumo: A analogia de Leveque, desenvolvida originalmente com base teórica para escoamento laminar em estruturas de troca térmica que apresentam um padrão geométrico repetitivo, permite relacionar o coeficiente de troca térmica e de transferência de massa à perda de pressão experimentada pelo fluido ao atravessar a superfície. Embora desenvolvida originalmente para escoamento laminar, vem sendo aplicada para escoamento turbulento, sendo uma das primeiras aplicações, nos trocadores de calor de placas, envolvendo líquidos, permitindo aos fabricantes conhecer a performance térmica de novos modelos desenvolvidos simplesmente pela medição da perda de pressão nos mesmos. Na sequência, estudos procuraram investigar a aplicabilidade da teoria para outras geometrias, como bancos de tubos e superfícies estendidas de trocadores compactos, como aletas tipo *strip-fin*, envolvendo troca de calor gás-gás. Tendo em vista o potencial desta teoria, o presente artigo visa adaptar as equações da Analogia de Leveque e avaliar sua adequação para utilização no projeto de trocadores de calor de tubos redondos com aletas helicoidais em arranjo triangular, uma das superfícies mais utilizadas na troca térmica envolvendo um gás e um líquido na indústria em geral.

Palavras-chave: Analogia de Leveque; Tubos aletados; Perda de pressão; Coeficiente de troca térmica; Relação perda de pressão e coeficiente de troca térmica.

Leveque’s Analogy Applied to Banks of Tubes with Helicoidal fins in staggered Arrangement

Abstract: Leveque's analogy, originally developed with a theoretical basis for laminar flow in heat exchange structures that present a repetitive geometric pattern, allows relating the heat exchange and mass transfer coefficient to the pressure loss experienced by the fluid when crossing the surface. Although originally developed for laminar flow, it has been applied to turbulent flow, being one of the first applications, in plate heat exchangers involving liquids, allowing manufacturers to know the thermal performance of new models developed simply by measuring the pressure loss in them. Subsequent studies sought to investigate the applicability of the theory to other geometries, such as tube banks and extended surfaces of compact exchangers, such as strip-fin type fins, involving gas-gas heat exchange. Considering the potential of this theory, this article aims to adapt the equations of Leveque's Analogy and evaluate its suitability for use in the design of round tube heat exchangers with helical fins in staggered arrangement, one of the most widely used surfaces in heat exchange involving a gas and a liquid in industry in general.

Keywords: Leveque’s analogy; Finned tubes; Pressure loss; Heat exchange coefficient; Pressure loss and heat exchange coefficient relationship.

ISSN: 2594-6153

Introdução

Trocadores de calor de tubos aletados têm enorme aplicação não só nos mais variados segmentos da indústria como dissipadores de calor de máquinas e de equipamentos elétricos, aquecedores ou resfriadores de gases em processos, como também no cotidiano das pessoas. Dois exemplos simples de aplicação deste tipo de equipamento conhecidos por todos são os chamados “radiadores” dos automóveis e as “unidade evaporadora” e “unidade condensadora” dos aparelhos de ar condicionado.

Para um correto dimensionamento destes equipamentos, é necessário o conhecimento da performance térmica e hidrodinâmica da geometria utilizada; a primeira relacionada à transferência de calor e a última caracterizada pela perda de pressão que o gás sofre ao percorrer a superfície aletada.

Face à complexidade das superfícies envolvidas, a performance térmica e hidrodinâmica não é possível de ser obtida apenas por equacionamento teórico, mas sim através de ensaios trabalhosos, onde são simuladas diversas condições de trabalho e obtidas correlações para o coeficiente de troca térmica e para a perda de pressão, a serem empregadas no dimensionamento dos equipamentos.

A Analogia de Leveque [2,3,4,5] é uma teoria que permite estabelecer uma relação entre o fator de atrito e o coeficiente de transferência de calor (também o de transferência de massa, que não é objeto do presente estudo) para uma superfície específica.

O grande benefício desta teoria é permitir conhecer a performance térmica de uma superfície medindo apenas a perda de pressão experimentada pelo fluido escoando através da tal superfície.

Isto simplifica enormemente o trabalho, uma vez que é muito mais fácil, em termos de equipamentos e instrumentos necessários, medir a perda de pressão através da superfície, do que testá-la para diversas condições térmicas para obter correlações para o coeficiente de troca térmica.

Objetivo

O presente estudo tem por objetivo aplicar a Analogia de Leveque a bancos de tubos redondos aletados com aletas helicoidais e em arranjo triangular, avaliando-a na condição de escoamento turbulento, que ocorre nessas superfícies nas aplicações industriais.

Material e Método

ISSN: 2594-6153

Um par de correlações da literatura bem conceituado no meio de projeto de trocadores de calor, a de Robinson e Briggs para o fator de atrito e a de Briggs and Young para o coeficiente de troca térmica [1], foi adotado para a obtenção da base de dados.

Para uma superfície eleita, foi calculada a perda de pressão do ar através da correlação de Robinson e Briggs. Com o valor calculado, foi obtido o fator de atrito e, com este, utilizando-se das equações da Analogia de Leveque, calculado o coeficiente de troca térmica.

O valor do coeficiente de troca térmica assim obtido foi comparado ao que seria obtido utilizando-se a correlação de Briggs and Young.

As figuras 1 e 2 ilustram a superfície eleita, mostrando um tubo aletado indivual (Figura 1) e o arranjo de vários deles formando o banco no qual pode-se identificar a célula que se repete ao longo do escoamento (Figura 2)



Figura 1 - tubo com aletas helicoidais

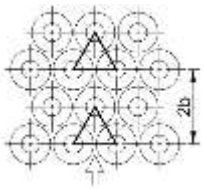


Figura 2 – célula da superfície para a Equação de Leveque

Equação de Leveque

$$\frac{Nu}{Pr^{1/3}} = 0{,}404.\left(\varepsilon_f.Re^2.{}^{d_h}/_{L}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{(equação 1)} \qquad \text{em que: } \varepsilon_f = 0{,}46.\varepsilon \qquad \varepsilon = \frac{2.\Delta p}{N.\rho.w^2}$$

$$h = \frac{k}{L_{Nu}}.0{,}404.\left(\varepsilon_f.Re^2.Pr.{}^{d_h}/_{L}\right)^{1/3} \quad \text{(equação 2)}$$

Nu : número de Nusselt

Pr : número de Prandtl do fluido escoando

ε_f : fração do coeficiente de atrito atribuído à perda de pressão apenas por fricção

ε : coeficiente de atrito de Darcy

Δp : perda de pressão do fluido ao escoar pelo banco de tubos

N : número de fileiras do banco de tubos (6 para Briggs and Young)

ρ : densidade do fluido escoando

w : velocidade máxima do fluido (na seção mínima de escoamento)

Re : número de Reynolds (baseado na velocidade máxima)

ISSN: 2594-6153

d_h : diâmetro hidráulico que caracteriza a superfície na equação de Leveque, d_h é função da geometria do tubo aletado (4 vezes a área da seção de escoamento dividido pelo perímetro molhado da seção de escoamento)

L : comprimento que caracteriza a "célula da superfície" na equação de Leveque (no caso foi considerado igual a 2 passos longitudinais dos tubos aletados-medida 2b na Figura 2)

h : coeficiente de troca térmica

k : condutibilidade térmica do fluido escoando através da superfície

L_{Nu} : comprimento característico do número de Reynolds (diâmetro externo do tubo)

A equação de Leveque (equação 1) relaciona o número de Nusselt ao coeficiente de atrito ε_f obtido através da medição da perda de pressão Δp do fluido ao atravessar a superfície [2,3,4,5]. O Número de Nusselt, assim calculado permite obter o coeficiente de troca térmica h [6] objeto do estudo (equação 2)

Geometria utilizada para os cálculos: diâmetro externo dos tubos 19,05 mm ; diâmetro aletado 42 mm ; espessura das aletas 0,40 mm ; passo das aletas 2,3 mm ; arranjo dos tubos triangular equilátero, passo transversal 45 mm ; número de fileiras de tubos : 6.

Resultados

Na Fig.3 têm-se os coeficientes de troca térmica da correlação de Briggs and Young e os obtidos através da equação de Leveque a partir da perda de pressão calculada pela correlação de Robinson and Briggs. A faixa de número de Reynolds coberta corresponde à faixa que se verifica na prática no dimensionamento de trocadores de calor aletados para fins industriais.

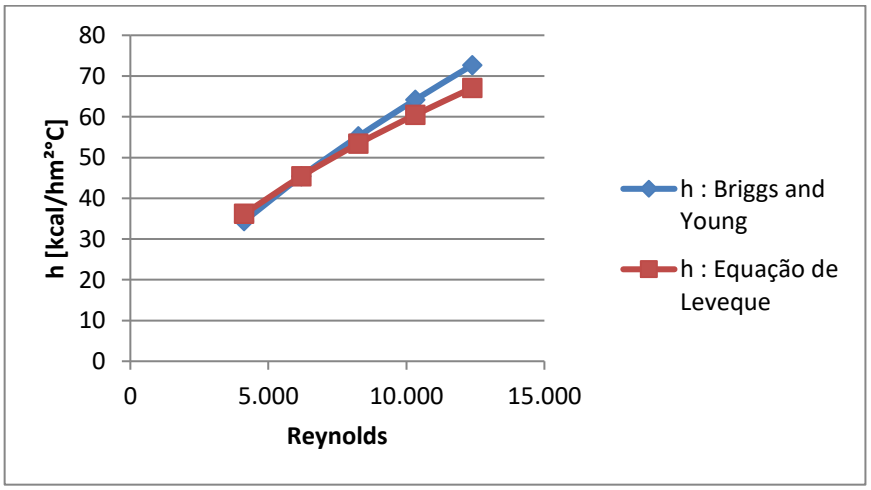


Figura 3 – Coeficientes de troca térmica h em função de Reynolds obtidos pela correlação de Briggs and Young e pela Equação de Leveque

ISSN: 2594-6153

Discussão

Nota-se um ligeiro e crescente desvio dos resultados obtidos com a equação de Leveque a partir da segunda metade da faixa de número de Reynolds coberta.

Esse resultado de desvios crescentes do coeficiente de troca térmica previstos pela Analogia de Leveque para Reynolds mais altos sugere que a Analogia de Leveque se adeque melhor a escoamentos menos turbulentos, sendo este fato esperado, uma vez que a teoria da Analogia de Leveque foi originalmente desenvolvida para escoamentos laminares [5] e, no caso, o escoamento é turbulento e essa turbulência aumenta com o número de Reynolds.

Conclusão

Os desvios verificados entre os coeficientes de troca térmica calculados usando a Analogia de Leveque e os medidos diretamente em ensaios são pequenos dentro do contexto (máximo de 11% no caso analisado), de forma que se pode dizer que é aceitável a aplicação da Analogia de Leveque para o dimensionamento de trocadores de calor para aplicações de engenharia.

Referências

1- Air-cooled heat exchangers and Cooling Towers – Vol. 1 – Detlev G. Kröger
2- The generalized Lévêque Equation and its use to predict heat or mass transfer from fluid friction - Holger Martin - 20th National Heat Transfer Conference, UIT, Maratea, Italy, 27-29 June 2002
3- Calculation of heat transfer from pressure drop in tube bundles - Holger Martin and Volker Gniel - *3rd European Thermal Sciences Conference 2000*
4- How to predict heat and mass transfer from fluid friction - Holger Martin – 4ª International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics- Cairo – Egypt - 2005
5- Application of léveque analogy to offset strip-fin surfaces for prediction of heat transfer characteristics – K.Badarinath and others- International Journal of Heat Exchangers – January 2006
6- Princípios da Transmissão de calor – Frank Kreith – tradução da 3ª edição americana