

DESENVOLVIMENTO DE MODELO NUMÉRICO E AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE TROCADOR DE CALOR FABRICADO POR MANUFATURA ADITIVA OPERANDO COM CO₂ SUPERCRÍTICO

Ana Elisa Leonel Ferreira; Gherhardt Ribatski.

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

aeleonel@usp.br

Objetivos

Modelagem e avaliação experimental de trocadores de calor metálicos fabricados por manufatura aditiva. As condições a serem avaliadas são referentes a recuperadores em ciclos Brayton utilizando CO₂ supercrítico como fluido de trabalho visando aplicações no setor aeronáutico.

Métodos e Procedimentos

A fim de analisar numericamente as condições e características da troca de calor ao longo do trocador foram até o momento desenvolvidos dois códigos computacionais. Os códigos incluem um programa principal, cuja função é calcular a temperatura e pressão ao longo do comprimento do trocador, e um código secundário, cuja função é determinar a relação entre a variação de temperatura e o calor trocado na seção transversal do trocador, a fim de determinar a resistência térmica de condução a partir da geometria proposta.

O código principal está sendo desenvolvido no programa EES [1]. Ele estima a transferência de calor ao longo do trocador. Para isso, o trocador de calor é discretizado em 50 elementos. Em cada elemento é calculada a perda de pressão e a transferência de calor, utilizando-se de balanços de energia e quantidade de movimento para se obter o estado termodinâmico do fluido no próximo elemento. O código em questão se trata de uma versão inicial já que algumas simplificações ainda se encontram presentes,

logo ele proporciona resultados apenas parciais. Entre as simplificações encontra-se o emprego das correlações de (Gnielinski, 1976) para transferência de calor, e a de (Churchill, 1977) para a perda de pressão, ambas não adequadas para a aplicação em condições supercríticas, mas sim para escoamentos monofásicos subcríticos.

Quanto ao segundo programa, a resistência térmica da seção transversal é determinada pelo método das diferenças finitas, cujos elementos, e as condições de contorno são dadas pelas temperaturas da parede assumidas como uniformes ao longo do perímetro dos dutos. Segundo o procedimento adotado, estimam-se inicialmente as temperaturas ao longo dos perímetros dos tubos com base no coeficiente de transferência de calor por convecção e da temperatura do fluido. Devido à simetria do problema, condições adiabáticas são adotadas nas regiões extremas da Fig. 1., conforme ilustrado (amarelo). Em seguida, por meio do método das diferenças finitas, estimam-se as temperaturas em cada elemento discreto. Uma vez determinado o campo de temperaturas, determina-se o calor transferido para um elemento discreto da parede do tubo a partir da lei de Fourier aplicada a este elemento e os elementos vizinhos da matriz metálica, considerando as direções dos eixos y e x. O somatório do calor transferido para cada elemento discreto da parede do tubo fornece o calor trocado entre os fluxos de CO₂. Assim, tendo as temperaturas da parede do tubo e o

calor total trocado tem-se a resistência térmica devido à condução entre os tubos.

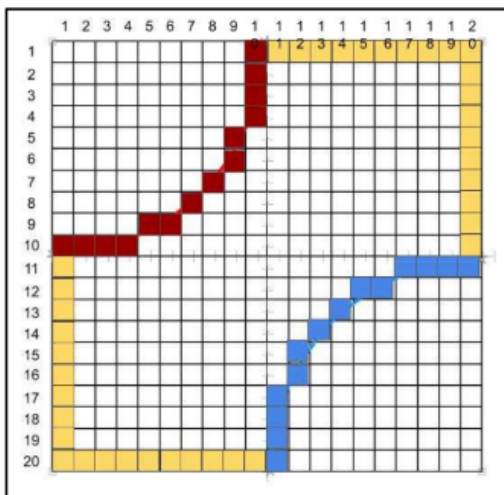


Figura 1 - Ilustração dos elementos discretos adotados para a estimativa da resistência térmica de condução.

Resultados

Com a aplicação dessa versão inicial do código foi possível obter resultados preliminares. A Figura 2 apresenta a variação do Coeficiente de Transferência de Calor com o incremento do número de Reynolds.

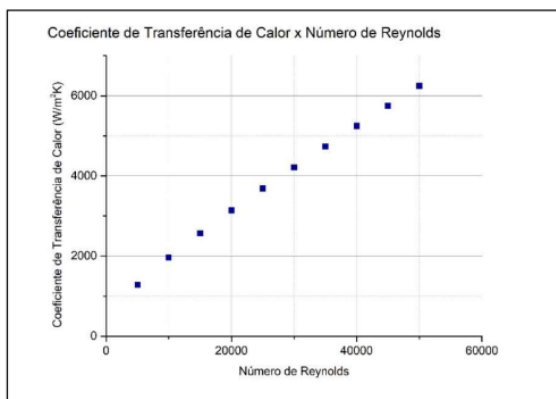


Figura 2 - Ilustração da variação do Coeficiente de Transferência de Calor (HTC) com a elevação do Número de Reynolds (Re)

Com o código atual também é possível gerar uma figura que apresenta a variação da temperatura ao longo dos tubos do trocador,

tanto para o fluido quente quanto para o frio, esses resultados estão expostos na Figura 3.

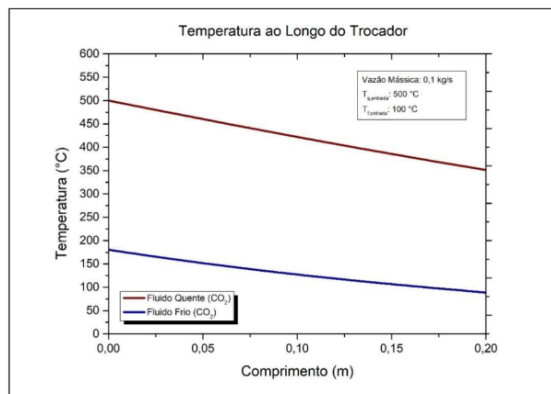


Figura 3 - Temperatura dos Fluidos ao Longo do Trocador

Conclusões

No que diz respeito à variação do HTC em razão do incremento do Número de Reynolds nota-se na Figura 2 uma tendência de aumento do coeficiente de transferência de calor com o aumento do Número de Reynolds. Esse comportamento condiz com resultados para faixas de temperatura abaixo do ponto crítico encontrados na literatura. Quanto à variação de temperatura ao longo do trocador, o comportamento previsto numericamente é condizente com o esperado para um trocador de calor contracorrente.

Referências Bibliográficas

- EES, Engineering Equations Solver, F-Chart software, LLC, 2004.
 Gnielinski V. **New equations for heat and mass transfer turbulent pipe and channel flow.** International Chemical Engineering, 1976.
 Churchill SW. **Friction-factor equation spans all fluid-flow regimes.** Chem Eng, 1977.
 D. Kuhr. **Performance characterization of compact heat exchangers within a supercritical carbon dioxide brayton cycle.** 2022.
 F. Crespi, G. Gavagnin, D. Sánchez, G.S. Martínez. **Supercritical carbon dioxide cycles for power generation: a review.** Appl. Energy. 195, 2017.