

7. Conclusões

A continuação se menciona, de maneira resumida, as principais conclusões, respeito a cada estudo realizado.

Respeito à Otimização de Sistemas com TCTA's

- O metodologia GAFIS mostrou-se eficiente para a otimização de circuitos do refrigerante em trocadores do tipo tubo-aletado.
- Otimização simultânea consegue resultados amplamente superiores à otimização por componente isolados (15%, 8% vs. 2% de outros autores).
- Otimização simultânea procura pelo ponto ótimo de operação do sistema.
- A otimização visando maximizar o COP levou a uma redução significativa das irreversibilidades em todos os componentes.
- O uso de um diâmetro menor de tubo no condensador prevê melhoras no COP do sistema otimizado, adicionado a isto uma avaliação da redução do peso e do custo da unidade é recomendada.

Respeito à Simulação e a Procura do Arranjo Ótimo no CDMC

- Modelos de Dobson e Chato (1998), Shah (1979), Cavallini e Zecchin (1974), e Traviss et al (1973) permitiram uma melhor concordância com os dados experimentais de transferência de calor (6,6%,6,06%,5,49%,4,69%).
- Modelo de Shah (1979) correlaciona de melhor maneira os dados experimentais.
- Modelos de Muller et al (1986), Friedel (1979) e Zhang e Webb (2001) mostram uma predição aceitável da perda de carga.
- Modelo de Zhang e Webb (2001) mostra, em geral, uma melhor correlação com os dados experimentais.
- Modelo homogêneo mostra uma concordância pobre e elevada dispersão para a queda de pressão. Modelo não recomendado para microcanais.
- A ferramenta de simulação mostrou potencial de uso como ferramenta de otimização.

A seguir, se menciona, em maior detalhe, as conclusões agrupadas em uma série de tópicos específicos.

1. Novo Método de Otimização GAFIS

A nova metodologia proposta de otimização: *Genetic algorithms applied in filtered spaces* (GAFIS), mostrou-se eficiente e muito rápida. Permite realizar a otimização simultânea dos trocadores de calor, conseguindo resultados positivos, em todos os estudos de casos, muito além do esperado.

A metodologia de reduzir o espaço de busca, por meio do uso das restrições em uma etapa prévia à otimização, com a intenção de melhorar o desempenho do método de otimização (como mostrado no GAFIS), pode ser estendido para outros tipos de problemas na área de otimização.

2. GAFIS como ferramenta de otimização

Utilizando-se o GAFIS obtiveram-se melhoras de até 15,0% no COP sobre sistemas já estudados e otimizados por outros pesquisadores.

Utilizando-se o GAFIS conseguiu-se diminuir o volume de material utilizado e, por conseguinte, o preço de uma unidade de condicionamento de ar. Conforme no estudo de caso 2, onde se encontrou um sistema que teria um custo de produção menor em 3,85%, e ainda com um COP melhorado em 3,2%.

A utilização do GAFIS permitiu diminuir o volume da carga de refrigerante do sistema numa ordem de 30,0%, como aconteceu no estudo de caso 3. Isto não imprime uma redução considerável no custo de produção da unidade. Mas, por outro lado, pode-se propor sistemas com um menor impacto ambiental devido à perda de fluido refrigerante do sistema ao longo da vida útil do equipamento.

3. Otimização Simultânea dos Circuitos

Comprovou-se que a otimização simultânea dos circuitos dos trocadores de calor, com o intuito de aumentar o desempenho global de um sistema de refrigeração, consegue pesquisar soluções que não conseguiriam ser identificadas por uma otimização seqüencial dos trocadores de calor, conseguindo assim melhores resultados.

A maximização da taxa de transferência de calor no condensador ou evaporador pode imprimir uma melhora no COP do sistema. Porém, a otimização simultânea do evaporador e condensador nem sempre passa por estágios onde se procure maximizar as duas taxas de transferência de calor. O sistema procura por valores ótimos, para estas taxas, a fim de otimizar o ciclo todo de refrigeração, buscando um ponto ótimo de operação.

Na maioria dos casos, a otimização em função do aumento do COP do sistema, mediante a otimização simultânea dos circuitos do evaporador e do condensador, se encaminha à maximização da capacidade de resfriamento e à minimização do trabalho do compressor.

Na maioria dos casos, os resultados do processo de otimização mostram o aumento da vazão mássica de refrigerante, a redução da carga de refrigerante no sistema e a diminuição da relação de compressão.

4. Análise de Irreversibilidades

Em geral, todos os sistemas, após o processo de maximização do COP por meio da otimização dos circuitos do refrigerante de seus trocadores de calor, mostraram uma diminuição nas irreversibilidades do compressor, do evaporador, e do condensador e, por conseguinte, nas irreversibilidades do ciclo como um todo. Todos os sistemas otimizados são sistemas melhorados do ponto de vista da segunda lei da termodinâmica.

Em um sistema otimizado, as irreversibilidades do evaporador e do condensador mostram valores inferiores à irreversibilidade atribuída ao compressor.

Portanto, o uso de uma análise de irreversibilidades (dos componentes de um sistema de refrigeração) pode servir de ferramenta para detetar sistemas de refrigeração que tenham potencial para serem otimizados.

Uma análise de irreversibilidades que mostre maiores valores de irreversibilidade em algum dos trocadores de calor, com respeito ao compressor, pode ser indício de que o sistema ainda tem uma grande margem para ser aproveitada pelo método de otimização. Tal aconteceu no estudo de caso 1 do presente trabalho, onde se conseguiu melhorar em aproximadamente 15,0% o COP do sistema.

5. Influência da variação dos diâmetros nos TCTA's

Sistemas com diferentes valores de diâmetro de tubos podem apresentar variações do COP do sistema em torno de 0,2%, porém, sem indicar de maneira clara quais seriam as opções de diâmetro de maior desempenho para serem utilizados no sistema de refrigeração. Porém, ao comparar sistemas com circuitos otimizados especificamente para os diferentes diâmetros de tubo utilizados (no evaporador e no condensador), encontram-se diferenças nos resultados do COP em torno de 3,0%. Com esta margem é possível decidir pela melhor opção de diâmetro de tubos a serem utilizados no sistema.

No estudo de caso 2 encontrou-se que se tem um melhor desempenho do sistema de refrigeração ao se manter o mesmo diâmetro de tubo no evaporador e utilizar o diâmetro menor no condensador.

6. Modelos teóricos para a simulação de um CDMC

A influência de se utilizar diferentes modelos para a região monofásica não se reflete nos resultados globais, sendo praticamente desprezível ao se comparar com o impacto dos modelos para a zona bifásica, a qual influi de maneira apreciável nos resultados globais, por ocupar a maior parte do condensador.

Perdas de carga por variação de quantidade de movimento e por diferença de altura foram desprezíveis. Em todos os testes de simulação estas perdas de carga representavam valores menores que 0,02% com respeito à perda de carga total do condensador. Por este motivo, não foram consideradas na presente modelagem. O mesmo aconteceu com as perdas de carga por expansão e contração nos coletores.

Como pôde ser visto, o uso de um modelo não adequado para a predição do coeficiente convectivo no lado do fluido refrigerante para a zona bifásica pode originar erros superiores a 10,0% na predição global da taxa de transferência de calor para o CDMC.

Os modelos de Dobson e Chato (1998), Shah (1979), Cavallini e Zecchin (1974), e Traviss et al. (1973) apresentaram uma melhor concordância na predição da taxa de transferência, da ordem de 6,6%, 6,06%, 5,49%, e 4,69%, respectivamente, com respeito aos dados experimentais disponíveis.

O modelo de Shah (1979) apresenta uma melhor acurácia (conforme mostraram os valores de R) e precisão (conforme mostraram os valores de MIN , MAX , MPE , $MAPE$, e $RMSPE$) para a predição da taxa de transferência de calor, segundo a análise estatística dos erros de comparação entre as simulações e os dados disponíveis para o presente estudo.

Como pôde ser observado, o uso de um modelo não adequado para a predição da queda de pressão no lado do fluido refrigerante para a zona bifásica pode originar erros superiores a 200% na predição global da queda de pressão para o CDMC.

Os modelos de Yang e Webb (1996) e Chisholm (1973) levam a superestimar a perda de carga (no caso do CD1 apresentam-se erros de 125% e 76%, em média, quando utilizado R134a e Fluid-H, respectivamente).

Os modelos de Muller et al. (1986), Friedel (1979) e Zhang e Webb (2001) mostram uma predição aceitável da perda de carga, quando comparados com os outros modelos. Porém, dentre estes, o modelo de Zhang e Webb (2001) mostra, em geral, uma melhor acurácia e precisão. Cabe ressaltar que este

modelo foi desenvolvido a partir de dados experimentais adiabáticos em microcanais.

O modelo homogêneo mostra uma concordância pobre e elevada dispersão para os dados do CD1, com erros absolutos da ordem de 100%. Não se recomenda o uso do modelo homogêneo como parte de processo de cálculo para prever a queda de pressão no fluido refrigerante em CDMC's.

7. Modelo de simulação como ferramenta de apoio ao projeto de CDMC's

A ferramenta de simulação mostrou potencial de uso para o projeto de CDMC's. Por exemplo, como no caso explorado numericamente no presente trabalho, o modelo de simulação encontrou que, ao utilizar um outro circuito para o fluido refrigerante, pode se ter um condensador que matenha a mesma capacidade de transferência de calor porém reduzindo em 65% a queda de pressão no fluido refrigerante, quando comparado ao condensador original, que é um modelo comercial já otimizado.

O modelo de simulação tem capacidade para prover resultados alterando dimensões geométricas dos CDMC's, ou também, para comparar o desempenho destes dispositivos utilizando diversos fluidos refrigerantes.

8. Influência dos parâmetros geométricos que definem o circuito de um CDMC sobre seu desempenho

Na definição do circuito de um CDMC, o parâmetro (ou variáveis) de maior influência é o número de passes, seguido pelo número de *flats* que constituem o primeiro passe, seguido pelo número de *flats* que constituem o segundo passe, e assim sucesivamente.

A repetição de tendências dentro de cada subgrupo analisado indica que os resultados são bem comportados com respeito aos parâmetros (ou variáveis) que definem o circuito de um CDMC.