

AValiação de Redução em Gasto Energético com Alterações em Variáveis de Projeto e de Processo na Destilação com Recompressão de Vapor Acooplada a Ciclo Rankine Orgânico do Sistema Ciclohexano-Ciclohexanol

Bruno Rodrigues Xavier (PIC), Caliane Bastos Borba Costa (Orientador), e-mail: cbbcosta@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia /Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Química/Processos Industriais de Engenharia Química.

Palavras-chave: destilação, recompressão, ciclo Rankine orgânico.

Resumo:

A destilação é um dos processos industriais mais dispendiosos em termos de energia e, por isso, é interessante a busca por configurações de destilação mais econômicas. Neste trabalho, objetivou-se avaliar, por meio de simulação, possível redução em gasto energético no processo de destilação do sistema de alta volatilidade relativa ciclohexano-ciclohexanol ao utilizar recompressão de vapor, sem e com o acoplamento de um ciclo Rankine orgânico (CRO), que usa um fluido orgânico para recuperação de energia. O sistema de recompressão de vapor, que utiliza a corrente de topo comprimida como fonte quente do refeedor da coluna, obteve economia de 27,3 % em termos de consumo de óleo equivalente, enquanto que, com adição do CRO, chegou-se a 34,5 %, demonstrando ser essa uma configuração favorável, mas não tanto quanto uma destilação de duplo efeito. Sugere-se o estudo dessas configurações com uso de simuladores para avaliação de redução de uso de energia para qualquer sistema de destilação.

Introdução

Os processos de separação são conhecidos por demandar grande parte do consumo de energia das indústrias químicas e, dentro destes, o processo de destilação é o que mais consome. Nesse sentido, é primordial a busca por processos de separação que consumam menos energia, o que inclui aumentar a eficiência energética dos processos de destilação.

Uma técnica conhecida na literatura por reduzir o consumo energético da coluna de destilação é a recompressão de vapor, podendo prover economias de até 50% por economizar utilidade quente no refeedor da coluna, embora haja custos para compressão do vapor do topo da coluna e manutenção do compressor (CUI *et al.*, 2016). Aliado à técnica de recompressão de vapor, estuda-se o ciclo Rankine orgânico (CRO), conhecido por ser capaz de gerar energia útil a partir de fontes de calor de baixa ou moderada temperatura, devido às propriedades termodinâmicas de fluidos orgânicos para recuperar energia e produzir trabalho, que, no caso da coluna com recompressão de vapor, utiliza como fonte quente a corrente de vapor recomprimido que deixa o refeedor.

Gao *et al.* (2018) demonstraram que, no processo de separação de benzeno e tolueno, de baixa volatilidade relativa, a coluna de destilação acoplada à recompressão de vapor e CRO com parâmetros adequados é mais competitiva do que a coluna de destilação convencional. Em contrapartida, Cui *et al.* (2016) compararam diferentes esquemas de economia de energia em sistemas de destilação, concluindo que, em geral, sistemas de alta volatilidade relativa não são tão favoráveis à utilização do sistema de recompressão de vapor. Os autores não avaliaram, entretanto, o efeito da adição de um CRO ao sistema de destilação com recompressão de vapor para sistemas de volatilidades relativas diferentes. Nesse sentido, esse trabalho buscou avaliar, por meio de simulação, a destilação com recompressão de vapor acoplada a CRO em sistema de alta volatilidade relativa, sendo avaliado o sistema ciclohexano-ciclohexanol.

Materiais e métodos

A metodologia deste trabalho consistiu primeiramente em uma pesquisa bibliográfica de modo a compreender a destilação e a técnica de recompressão de vapor, bem como identificar as condições de projeto e operação para a coluna de destilação atmosférica para o sistema ciclohexano-ciclohexanol. Em seguida, foi feita a avaliação de diferentes simuladores de processos para a seleção da ferramenta de trabalho. Fez-se a simulação de destilação do sistema binário ciclohexano-ciclohexanol com recompressão de vapor acoplado a CRO, variando condições de processo, como o fluido de trabalho, pressões de condensação e de evaporação e adicionando recuperadores de energia nesse ciclo. Por último, avaliaram-se as economias de energia alcançadas nas diferentes condições e compararam-se os resultados com aqueles reportados por Cui *et al.* (2016) para destilação desse mesmo sistema.

Resultados e Discussão

Realizada a pesquisa bibliográfica necessária, fez-se a avaliação de diferentes simuladores de processos, sendo escolhido como critérios para a seleção a facilidade de uso e a proximidade dos resultados obtidos com aqueles reportados pela principal referência, Cui *et al.* (2016), para a destilação do mesmo sistema binário, ciclohexano-ciclohexanol, utilizando a equação de estado Peng Robinson para a modelagem termodinâmica do sistema. Estudaram-se os *softwares* DWSIM, Aspen HYSYS e Aspen Plus, utilizando-os na fase de adaptação do aluno e na simulação da coluna de destilação convencional para o sistema ciclohexano-ciclohexanol. Como o Aspen Plus apresentou o melhor desempenho, foi escolhido como ferramenta principal para as etapas posteriores do trabalho.

O primeiro sistema simulado foi a coluna de destilação convencional. Como especificações para a simulação, teve-se 1000 kmol/h de alimentação equimolar de ciclohexano/ciclohexanol no estado líquido saturado e vazão de 500 kmol/h no destilado com fração molar de 0,995 de ciclohexano. A pressão de operação foi de 110,0 kPa. O número de estágios teóricos da coluna foi de 15. Para cálculo do gasto energético, utilizou-se o mesmo padrão utilizado por Cui *et al.* (2016), que converte gastos de utilidades térmicas e energia elétrica em unidades de consumo de óleo (petróleo). Esses gastos são reportados, então, como “custos”, com unidade de

quilogramas de óleo equivalente por hora. O consumo total da coluna de destilação convencional foi de 958,75 kg óleo equivalente/h, próximo ao de Cui *et al.* (2016), de 956,46 kg óleo equivalente/h.

Na coluna de destilação com recompressão de vapor, obteve-se um custo total de 696,62 kg óleo equivalente/h, representando uma economia de 27,3 %, em relação à coluna convencional, enquanto a referência Cui *et al.* (2016) obteve 12,7 %, o que é animador, visto que esse tipo de integração energética é, em geral, não indicado para sistemas de alta volatilidade relativa. Foi possível obter uma troca térmica entre corrente de topo e de fundo de 4959,46 kW, maior do que a obtida pela referência, de 2643,96 kW. Importante destacar que Cui *et al.* (2016) não elucidaram a ferramenta por eles utilizada para a simulação rigorosa do sistema, tampouco explicitaram resultados detalhados do seu sistema de recompressão de vapor, dificultando a comparação de resultados.

A Figura 1 apresenta o fluxograma da coluna de destilação com recompressão de vapor acoplada a um ciclo Rankine orgânico do sistema ciclohexano-ciclohexanol, simulada no Aspen Plus.

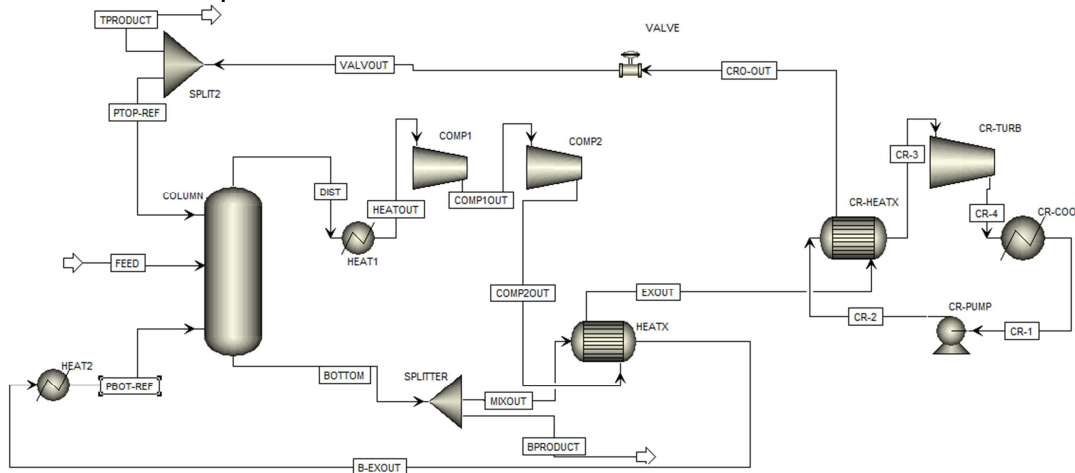


Figura 1 – Fluxograma da coluna de destilação com recompressão de vapor acoplado a um ciclo Rankine orgânico do sistema ciclohexano-ciclohexanol simulado no Aspen Plus.

Nesse sistema, a corrente “EXOUT”, que, no sistema apenas com a recompressão de vapor, tem sua pressão aliviada por uma válvula e temperatura diminuída por um condensador antes de ser dividida entre produto de topo (destilado) e refluxo de topo, tem seu calor residual aproveitado no CRO. Pela Figura 1, o CRO consiste em quatro operações unitárias: trocador de calor (“CR-HEATX”), turbina (“CR-TURB”), condensador (“CR-COOL”) e bomba (“CR-PUMP”). O fluido de trabalho do ciclo, nas condições iniciais na corrente “CR-1” (líquido saturado a 1,0 bar) é pressurizado pela bomba até 4,0 bar, passa pelo trocador, recebendo energia até sua total vaporização, e fornece trabalho útil na turbina, voltando a sua pressão inicial. Antes de ser pressurizado novamente, tem sua condensação no condensador, retornando às condições iniciais de “CR-1”. No CRO estudaram-se os fluidos orgânicos metano, etano, propano, butano, R245fa e R123, onde o R123 apresentou o melhor desempenho devido às suas propriedades termodinâmicas (temperatura de ebulição e entalpia de vaporização), chegando a um custo total do sistema de 627,7 kg óleo equivalente/h, economizando 34,5 % em relação à coluna convencional. A adição do CRO tornou o sistema ainda mais econômico do que a coluna com recompressão.

Não se observaram diferenças significativas ao se adicionar um recuperador de energia ou variar a pressão de saída da bomba do CRO.

Cui *et al.* (2016) testaram para o sistema ciclohexano-ciclohexanol outra configuração de destilação além da coluna convencional e da coluna com recompressão de vapor, se tratando da destilação de duplo efeito, utilizando uma coluna de alta e outra de baixa pressão. Enquanto obtiveram no sistema de recompressão de vapor uma economia de energia de 12,7 % em relação à coluna convencional, obtiveram 53,1 % através do duplo efeito. Isso demonstra que essa última configuração pode ser excelente para sistemas de alta volatilidade relativa, superando a configuração de recompressão de vapor com CRO.

Conclusões

Neste trabalho, foram estudadas diferentes configurações de destilação para um sistema de alta volatilidade relativa com o intuito de obter um sistema de menor gasto energético do que a destilação convencional. A configuração de coluna com recompressão de vapor se mostrou interessante mesmo para um sistema de alta volatilidade relativa, obtendo economias de 27,34 % em termos de óleo equivalente. A adição do ciclo Rankine orgânico tornou o processo ainda mais favorável, obtendo economias de até 34,50 %. Apesar dos resultados representarem economias de energia consideráveis, encontram-se configurações ainda mais favoráveis para o sistema ciclohexano-ciclohexanol, como a destilação de duplo efeito.

Agradecimentos

Os autores agradecem a UEM pela oportunidade de desenvolver o projeto no qual este trabalho está inserido.

Referências

CUI, C.; YIN, H.; YANG, J.; WEI, D.; SUN, J.; GUO, C. Selecting suitable energy-saving distillation schemes: making quick decisions. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 107, p. 138-150, 2016.

GAO, X.; GU, Q.; MA, J.; ZENG, Y. MVR heat pump distillation coupled with ORC process for separating a benzene-toluene mixture. **Energy**, v.143, p.658-665, 2018.