

AVALIAÇÃO DE CUSTOS ENERGÉTICOS DA PRODUÇÃO DE LACTATO DE ETILA EM COLUNA DE DESTILAÇÃO REATIVA COM BOMBA DE CALOR

Giovanna Gatti Alves (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Murielk Sebrian Valvassore (Coorientador), Caliane Bastos Borba Costa (Orientador), e-mail: ra112418@uem.br.

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

Área e sub-área do conhecimento: Engenharia Química / Processos Industriais de Engenharia Química.

Palavras-chave: destilação reativa, bomba de calor, simulação.

Resumo:

O lactato de etila é um solvente biodegradável e não tóxico, atrativo para substituir os solventes à base de petróleo. No entanto, seu valor de compra é maior que os solventes tradicionais devido ao alto custo do processo de produção, que envolve um reator e colunas de destilação convencionais. Assim, a busca por novas configurações a fim de reduzir os custos do processo é atrativa, de modo que a intensificação de processos e configurações com bomba de calor são alternativas que podem se mostrar interessantes para economia do sistema. Portanto, neste trabalho foi explorado e avaliado o processo de produção de lactato de etila por meio de uma coluna reativa acoplada com bomba de calor, simulado no Aspen Plus. Como resultado, o estudo mostrou, em comparação a um caso base, uma economia de 45,30% no gasto energético do sistema.

Introdução

O lactato de etila é um solvente verde, cujas características têm atraído atenção como um substituto para os solventes convencionais à base de petróleo. Porém, seu processo de produção convencional envolve o uso de um reator e quatro colunas de destilação, o que resulta no encarecimento do produto final (Dai *et al.*, 2019). Assim, alguns autores buscaram estudar diferentes configurações para o processo de produção de lactato de etila, com o intuito de obter alta conversão ao produto desejado e reduzir os custos operacionais do sistema (Dai *et al.*, 2019; Tusso-Pinzón *et al.*, 2020). Tendo isso em mente, a intensificação de processos e implementação nas colunas de bombas de calor são dois caminhos que têm se mostrado interessantes para a redução do alto consumo de energia que ocorre nos processos de destilação (WEINFELD; OWENS; ELDRIDGE, 2018).

Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo estudar e analisar, por meio de simulação no software Aspen Plus, o processo de produção do lactato de etila por meio de uma coluna de destilação reativa acoplada com bomba de calor, comparando os gastos operacionais do sistema com uma coluna de destilação reativa simples definida como caso base.

Materiais e Métodos

Primeiramente, foi modelada uma coluna de destilação reativa, com condensador e revedor, utilizando o módulo RADFRAC do simulador comercial Aspen Plus. Para previsão do comportamento do equilíbrio líquido-vapor (ELV), foi adotado o modelo termodinâmico NRTL associado ao método UNIFAC para estimar os parâmetros que não estavam presentes no banco de dados do Aspen Plus. A coluna contém 41 estágios, com razão de refluxo 0,24 e as condições operacionais das correntes de alimentação estão apresentadas na Tabela 1. Além disso, as informações para a seção reativa da coluna, na qual ocorre a esterificação a lactato de etila, foram obtidas do trabalho de Dai *et al.* (2019).

Tabela 1 – Condições operacionais das correntes de alimentação do processo

Propriedades	LACTIC	ETANOL
Fração molar de ácido láctico	0,150	-
Fração molar de etanol	0,004	0,991
Fração molar de lactato de etila	0,010	-
Fração molar de água	0,831	0,009
Fração molar de di-ácido láctico	0,005	-
Fração molar de tri-ácido láctico	-	-
P (atm)	1,0	1,0
Vazão molar (kmol/h)	6,004	5,749
T (°C)	102,88	78,28

Em seguida, foi desenvolvida a simulação de uma coluna de destilação reativa acoplada com bomba de calor, ilustrada na Figura 2. As condições operacionais são semelhantes às da coluna reativa mencionada anteriormente, com exceção da redução de dois estágios da coluna devido à retirada do condensador e do revedor para adição da bomba de calor.

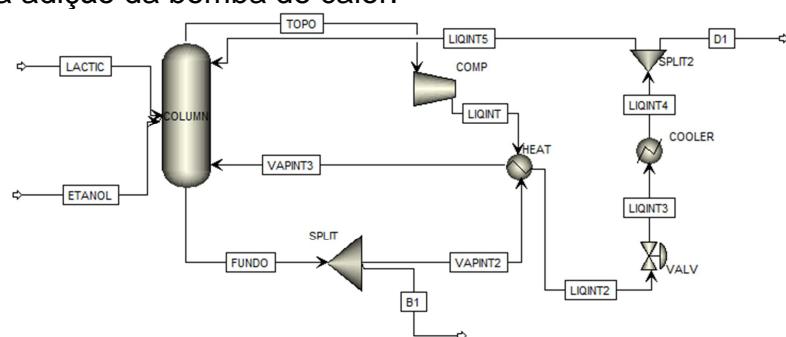


Figura 2 – Coluna reativa acoplada a bomba de calor.

A análise dos gastos energéticos dessas duas estruturas foi realizada adotando o mesmo padrão proposto no trabalho de Cui *et al.* (2016), o qual converte gastos de utilidades térmicas e energia elétrica em unidades de consumo de óleo (petróleo), de modo que os valores dos gastos são emitidos em unidade de quilogramas de óleo equivalente por hora. No caso da estimativa do consumo de água de resfriamento no

condensador e de vapor no referedor, é feito o cálculo da vazão mássica de água (\dot{m}) e vazão de vapor (\dot{m}_{vap}) por meio das Equações 1 e 2, respectivamente.

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{ref} = \dot{m}_{vap} \Delta h_{cond} \quad (2)$$

As taxas de transferência térmica (\dot{Q}_{cond} e \dot{Q}_{ref}) são fornecidas em kW pela simulação. Para o condensador uma taxa de variação de 15 °C é levada em consideração para a água e o $C_p = 4,183 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ foi utilizado. No caso do referedor, é considerado que vapor saturado entra no equipamento e sai como líquido saturado 15 °C mais quente que o fluido frio. Os valores da pressão de saturação e do Δh_{cond} são encontrados em Boles e Çengel (2013). Quanto ao compressor, uma vez que se conhece sua potência, a conversão é realizada diretamente pela taxa de energia elétrica.

Resultados e Discussão

Na estrutura apresentada neste trabalho, a corrente do topo da coluna (TOPO) é enviada a um compressor, elevando sua pressão até 11 atm para então ser direcionada ao trocador de calor HEAT, onde acontece a troca térmica com a corrente VAPINT2. Essa última é gerada pela divisão da corrente de fundo da coluna em um *splitter*, onde é dividida entre a corrente que é direcionada ao trocador e a corrente B1, com vazão de 0,97 kmol/h, contendo o produto desejado do processo, lactato de etila, a uma fração molar de 0,991. No trocador de calor, a corrente VAPINT2 é vaporizada e alimentada no fundo da coluna. Já a corrente quente deixa o trocador de calor no estado líquido e passa por uma válvula, que alivia a pressão até 1 atm. Em seguida essa corrente, agora nomeada de LIQINT3, é resfriada até a temperatura de 80,30°C por um *cooler* e por último direcionada a um *splitter*, onde é dividida em uma corrente de refluxo, que retorna à coluna, e uma corrente de destilado.

Tabela 2 – Informações dos custos energéticos para o caso base e para o caso de estudo deste trabalho.

Propriedade	Caso base	Este estudo
Potência do condensador (kW)	151,89	-
Potência do referedor (kW)	161,73	-
Pressão do vapor usado no referedor (kPa)	754	-
Potência do compressor (kW)	-	43,97
Potência do resfriador (kW)	-	34,24
Vazão da água de resf. no condensador (t/h)	8,71	-
Vazão de vapor do referedor (t/h)	0,28	-
Vazão de água no resfriador (t/h)	-	1,96
Custo do condensador (kg óleo/h)	0,87	-
Custo do referedor (kg óleo/h)	20,39	-
Custo do compressor (kg óleo/h)	-	11,43
Custo do resfriador (kg óleo/h)	-	0,20

Custo operacional total (kg óleo/h)	21,26	11,63
Economia (%)	-	45,30

A configuração descrita, apesar da utilização de energia elétrica, permite que as correntes realizem a troca de energia térmica, substituindo as atividades executadas pelo condensador e reovedor, de modo que ocorre uma redução de energia na atividade geral da coluna.

Isso fica evidente quando observada a Tabela 2, a qual mostra a comparação dos gastos energéticos para ambas as estruturas. Nota-se uma redução de 9,63 kg óleo/h no custo total, o que corresponde a uma economia de 45,30% nos custos operacionais.

Conclusões

Neste trabalho, foi simulada e analisada a produção de lactato de etila em uma coluna de destilação reativa com acoplamento de bomba de calor e o processo intensificado proposto foi comparado, em termos de gastos energéticos, com o processo em uma coluna de destilação reativa definida como caso base. Os resultados do trabalho apresentaram, para o sistema com acoplamento, uma economia de 45,30% em termos de consumo de óleo equivalente.

Agradecimentos

Os autores agradecem a UEM pela oportunidade de desenvolver o projeto no qual este trabalho está inserido e ao suporte financeiro da UEM e da CAPES.

Referências

- BOLES, M. A.; ÇENGEL, Y. A. **Thermodynamics**, McGraw Hill – Artmed, New York, 7 ed., pp. 916, 2013.
- CUI, C.; YIN, H.; YANG, J.; WEI, D.; SUN, J.; GUO, C. Selecting suitable energysaving distillation schemes: making quick decisions. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 107, p. 138-150, 2016.
- DAI, S. B.; LEE, H. Y.; CHEN, C. L. Design and Economic Evaluation for the Production of Ethyl Lactate via Reactive Distillation Combined with Various Separation Configurations. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 58, p. 6121–6132, 2019.
- TUSSO-PINZÓN, R.A.; CASTILLO-LANDERO, A.; MATALLANA-PÉREZ, L.G.; JIMÉNEZ-GUTIÉRREZ, A. Intensified synthesis for ethyl lactate production including economic, sustainability and inherent safety criteria. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 154, p. 1084001, 2020.
- WEINFELD, J. A.; OWENS, S. A.; ELDRIDGE, R. B. Reactive dividing wall columns: A comprehensive review. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 123, n. October 2017, p. 20–33, 2018.