

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO DIDÁTICA COM CONTROLE DE TEMPERATURA

Alexandre M. RIBEIRO¹; Rejane B. SANTOS²

RESUMO

Processos de separação por destilação são comumente empregados na indústria, o desempenho de colunas de destilação pode ser analisado a fim de se obter resultados com a implementação de sistemas de controle de temperatura, contendo possíveis distúrbios e elevando a segurança e eficiência da operação. No presente trabalho, uma coluna de destilação de etanol didática teve sua operação analisada, foram obtidos dados que possibilitaram uma modelagem e simulação computacional para obtenção dos parâmetros do controlador PID implementado para controlar a temperatura do balão de alimentação, manipulando a potência fornecida da manta de aquecimento para a mistura alimentada. Com os parâmetros do controlador obtidos no presente trabalho, serão aplicados na coluna de destilação e analisado o desempenho da coluna na separação da mistura de água e etanol.

Palavras-chave: Controle PID; Simulação de Processos; Termodinâmica.

1. INTRODUÇÃO

Luyben (1990), classifica os processos de separação utilizando colunas de destilação como provavelmente os mais populares e importantes da engenharia química, logo após os reatores CSTR. De acordo com Skogestad (1997), pesquisadores das áreas de dinâmica e controle de processos demonstram interesses no estudo de colunas de destilação, isto porque conforme Nascimento *et al.* (1990), esta operação envolve alto custo energético e de matéria prima, e a implementação de sistemas de controle permite a manutenção de variáveis operacionais para condições ótimas de rendimento e segurança (MARANGONI, 2005).

O presente trabalho teve como objetivo projetar um controlador de temperatura no balão de alimentação de uma coluna de destilação para separar uma mistura de água e etanol, para obter o máximo de eficiência na separação e menor tempo de resposta quando submetida a perturbações. Com auxílio de simulações computacionais utilizando o software livre *Scilab*, foi possível obter um ajuste fino dos parâmetros do controlador PID (Proporcional, Integral e Derivativo). Com os parâmetros do controlador obtidos na simulação, serão aplicados na coluna de destilação situada no Laboratório de Engenharia Química do IFSULDEMINAS campus Pouso Alegre e analisado o desempenho da coluna na separação da mistura água e etanol.

¹Bolsista PIBIC/FAPEMIG, IFSULDEMINAS – Campus Pouso Alegre. E-mail: alexandremribeiro96@hotmail.com.

²Orientadora, IFSULDEMINAS – Campus Pouso Alegre. E-mail: rejane.santos@ifsuldeminas.edu.br.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se na modelagem e simulação os dados experimentais de uma coluna de destilação representada na Figura 1, situada no Laboratório de Engenharia Química do IFSULDEMINAS do campus Pouso Alegre, operando na pressão atmosférica de 0,914 bar para altitude local de 890 m em relação ao nível do mar e temperatura ambiente de 20 °C. A coluna foi alimentada com um volume 5 litros de uma mistura de massa específica de 0,973 g/mL e concentração mássica de etanol de 16,680 %, obtida com o valor da massa específica por interpolação linear da Tabela 2-112 de Perry e Green (2008).

Figura 1 – Coluna de destilação analisada e seu balão de alimentação



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para realização do experimento acionou-se a manta de aquecimento para o balão de alimentação até que a mistura atingiu e se manteve em 89 °C, temperatura de ebulição do etanol na solução. Foi quantificado a vazão volumétrica de destilado em triplicata com um valor médio de 14,961 mL/min, e de modo semelhante ao feito para alimentação, foi determinada a massa específica de 0,830 g/mL e concentração mássica de etanol de 85,475 % obtida.

Para determinação da função transferência do processo, realizou-se a modelagem matemática considerando as condições experimentais do sistema de separação água e etanol.

Considerando a coluna termicamente isolada, a quantidade de carga térmica Q fornecida ao sistema, da manta de aquecimento, foi calculada utilizando a Equação 1, em que F é a vazão mássica de destilado, L entalpia de vaporização e os índices W e $EtOH$ indicam a grandeza para água e etanol respectivamente, as entalpias de vaporização foram obtidas a 89 °C em Smith, Van Ness e Abbott (2000), com valor L_W de 2285,5 kJ/kg e L_{EtOH} de 38,290 kJ/mol. A carga térmica fornecida pela manta foi calculada em 429,208 W.

$$Q = F_W L_W + F_{EtOH} L_{EtOH} \quad (1)$$

A fase de elevação de temperatura da alimentação de 20 °C até 89 °C foi modelada matematicamente pelo balanço de energia da Equação 2, em que m é a massa no balão de alimentação, e $C_p(T)$ a capacidade calorífica a pressão constante, expressas conforme Equações 3 e 4, dos apêndices de Smith, Van Ness e Abbott (2000), em que R é a constante universal dos gases.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q}{m_w C_{p_w} + m_{EtOH} C_{p_{EtOH}}} \quad (2)$$

$$C_{p_w} = R (8,712 + 1,25 \cdot 10^{-3} T - 0,18 \cdot 10^{-6} T^2) \quad (3)$$

$$C_{p_{EtOH}} = R (33,866 - 172,60 \cdot 10^{-3} T + 349,17 \cdot 10^{-6} T^2) \quad (4)$$

Experimentalmente notou-se que a temperatura começou a variar com 381 segundos de acionamento da manta (tempo morto), assim, foi considerado na modelagem matemática (Equação 2) que o aquecimento só iniciou após o tempo morto determinado experimentalmente.

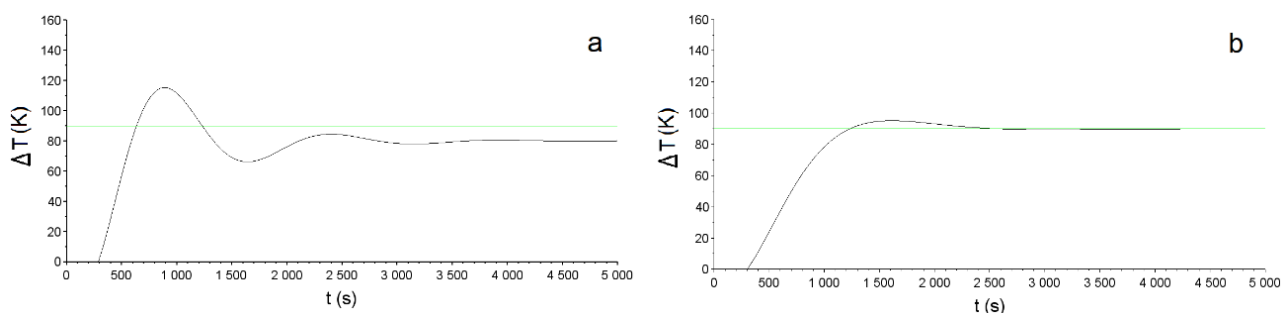
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a modelagem matemática (Equação 2) e uma perturbação do tipo degrau na variável manipulada de 429,2 W (potência da manta de aquecimento) obteve-se o perfil de temperatura do balão de alimentação (refervedor) ao longo do tempo.

Pelo perfil de temperatura do fervedor ao longo do tempo, sabendo que a perturbação na variável de entrada foi de 429,208 W, obteve-se a função transferência (Equação 5) de um sistema de 1ª ordem, e pelo método de Ziegler-Nichols I foram determinados os parâmetros do controlador K_c (ganho proporcional) de 42,7, K_i (ganho integral) de 0,001 e K_D (ganho derivativo) de 190,5, os quais foram testados na plataforma *xcos* do software *Scilab* frente uma perturbação no setpoint (letra a) conforme apresentado na Figura 03. Percebe-se que o sistema apresentou oscilação e um erro em regime permanente.

$$Gp(s) = \frac{0,161 e^{-381 s}}{2183 s + 1} \quad (5)$$

Figura 2 – Respostas em malha fechada pelas sintonias: Ziegler-Nichols I (a), ajuste fino (b)



Fonte: Elaborada pelo autor

Para melhorar a resposta do controlador no sistema, foi realizado um ajuste fino e os parâmetros obtidos foram: K_c de 21, K_I de 0,009 e K_D de 230. A resposta do sistema pela sintonia fina está apresentada na Figura 03 (letra b). Percebe-se que o erro em regime permanente foi menor, diminuindo a oscilação do sistema, apresentando porém um tempo maior para alcançar a primeira vez o valor desejado quando comparado à sintonia apresentada na letra a.

4. CONCLUSÕES

O modelo matemático foi desenvolvido com base na análise experimental do equipamento, sendo assim, a sintonia do controlador ajustada a partir da simulação computacional apresenta alto grau de confiabilidade, logo, os parâmetros do controlador, obtidos no presente trabalho, serão posteriormente testados no controlador PID implementado na coluna de destilação instalada no Laboratório de Engenharia Química, fornecendo resultados posteriores para atestar a validade desta etapa de modelagem, simulação e sintonia proposta para o sistema. Com a implementação do controlador PID sintonizado na coluna, será realizada uma análise do desempenho da coluna, ou seja, verificar a eficiência na separação da mistura e determinar quanto de energia foi fornecido ao sistema e comparar com o sistema com controlador PID mal sintonizado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio financeiro e ao IFSULDEMINAS pela concessão do Laboratório de Engenharia Química para execução dos experimentos.

REFERÊNCIAS

LUYBEN, W. L. **Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers**. 2ª ed. New York: Ed. McGraw-Hill, 1990.

MARANGONI, C. **Implementação de uma Estratégia de Controle com Ação Distribuída em uma Coluna de Destilação**. Tese. (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Química e Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

NASCIMENTO, C. A. O.; ODLOAK, D.; ZANIN, A. C.; GUEDES, L. R. S.; TIUMAN, L. M.; MATSUDA, M. M.; KARASAWA, W. Y. Simulação Modular Dinâmica de uma Coluna de Destilação Multicomponente. In: Seminário sobre aplicações e desenvolvimento em simuladores de processo. **Anais**. Rio de Janeiro, 1990.

SKOGESTAD, S. Dynamics and control of distillation columns – a critical survey. **Modeling, Identification and Control**, v. 18, n.3, p.177-217, 1997.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. **Introdução à termodinâmica da Engenharia Química**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.