



Revisão de Conceitos Básicos de Operação e Controle de Colunas de Destilação

Murilo Silva Colombo¹, murilo.sc.sc@gmail.com
Thiago Tonon², thiago.tonon@ifpr.edu.br
Edno Gentilho Junior², edno.junior@ifpr.edu.br
Gabriel de Moura Costa¹, gabriel_m_costa18@hotmail.com
Cid Marcos Gonçalves Andrade¹, cmgaandrade@uem.br
Oswaldo Curty da Motta Lima¹, ocmlima@uem.br

Resumo: A coluna de destilação experimental do departamento de engenharia química da UEM foi instrumentada com o objetivo de pesquisa em otimização e controle. Para controlar a coluna, é necessário desenvolver uma malha fechada nas variáveis de composição para regulação e estabilização do perfil dinâmico. Nesse sentido, deseja-se introduzir conceitos e metodologias básicas de destilação e controle, justificando a instrumentação, manipulação e controle.

Palavras-chave: Colunas de Destilação. Dinâmica. Controle. Sistema de aquisição de dados.

1 Destilação: Princípios Básicos

Destilação é um processo da indústria química que tem por objetivo separar dois ou mais líquidos, pela diferença de volatilidade, ou seja, a facilidade com que o líquido evapora ou entra em fervura. A Coluna é geralmente vertical, com alimentação de energia térmica na base da coluna – anexo ou não na coluna, chamado de refeedor (onde o líquido que desce da coluna é aquecido até a fase vapor, para voltar à coluna). O processo é dividido em estágios teóricos, são os pontos em que se considera que o líquido e o vapor estão em completo equilíbrio (térmico, mássico e de fases). No projeto da coluna real, o número de estágios é

aumentado conforme regras práticas na literatura, para compensar a consideração de equilíbrio termodinâmico. Quanto mais para cima o prato está posicionado, mais longe do refeedor e, portanto, menor a temperatura.

Em cada prato, o líquido mais volátil, sob a passagem forçada do vapor pelo líquido, evapora e passa à fase vapor, enquanto que o componente menos volátil, em fase vapor, é condensado à fase líquida. Esse processo recebe o nome de transferência de massa. Ao mesmo tempo, energia térmica é transferida do vapor ao líquido, sempre do mais quente ao mais frio. E, também, ocorre mudança de fase, isto é, um pouco do vapor condensa e parte do líquido evapora.

Como ao longo da coluna a temperatura diminui, o líquido menos volátil, ou seja, o que evapora com maior dificuldade, se concentra na base da coluna, enquanto que o componente mais volátil se concentra na fase vapor no topo da coluna. No centro da coluna, próximo a alimentação da mistura de líquidos, ocorre considerável separação dos componentes. Porém, quanto mais próximo de concentrar os líquidos a 100% de pureza, mais pratos são necessários e em cada um desses pratos nas extremidades da coluna, ocorre separação em intensidade menor. Isso caracteriza uma não-linearidade da coluna. Outra não-linearidade é o fato de que a velocidade de subida do vapor é relativamente mais rápida do que a

1 - Universidade Estadual de Maringá - UEM

2 - Instituto Federal do Paraná – IFPR Paranavaí

velocidade de descida do líquido.

Além disso, uma propriedade física ou química da coluna que seja perturbada, interfere em várias outras variáveis da coluna. Por exemplo, caso se aumente a taxa mássica de alimentação da mistura, serão afetadas a temperatura dos pratos, as composições, a vazão mássica de líquido e vapor entre pratos, a pressão, o nível dos líquidos nos reservatórios, as vazões de refluxo. Esse processo de interferência de uma variável em outra se dá o nome na literatura, de acoplamento ou interação.

2 Teoria Geral de Controle

Controle é uma ferramenta que permite manter determinada variável (Variável Controlada) em uma trajetória predefinida alterando o valor de uma outra propriedade do sistema (variável manipulada). Esse sistema pode ser um modelo matemático, um protótipo mecânico, um circuito elétrico e, como no caso deste trabalho, um processo físico usado na indústria química. Quando o sistema de controle é do tipo Servomecanismo, significa que se manipula uma variável para se adaptar a uma mudança de trajetória (como o sistema de rastreamento de um míssil, projetado para seguir um alvo tentando se esquivar). Já o sistema regulador, tenta manter a variável controlada constante em um determinado valor (setpoint), conforme perturbações o desviam de tal valor, a variável manipulada é acionada de forma a manter a trajetória da variável controlada em direção do ponto de referência (setpoint), (DORF et al, 2001). O problema de estabilizar uma coluna de destilação é do tipo regulador.

O sistema de controle é composto por instrumentos de medida (de ambas as variáveis manipulada e controlada), um processador que compara o valor medido

com o setpoint e calcula a variação necessária na variável manipulada através de um modelo dinâmico do sistema físico e da lógica do controlador (DORF 2001). Um mecanismo aciona (atuador) um instrumento que, de alguma forma, altere o valor da variável manipulada, realizando assim variações processo. Quando há um sistema de controle em operação, o sistema é descrito como ‘em malha fechada’. Já quando não há controlador, o sistema está em malha aberta.

Na tabela 1 são apresentados fatos históricos relacionados à controle.

Neste projeto de controle, aplicado à coluna de destilação de um laboratório de ensino, será implementado um controlador Proporcional-Integrativo (PI). Poder-se-ia introduzir a lógica derivativa, porém, os dados simulados possuem ruído, portanto a lógica PI será suficiente e terá melhor desempenho.

3 Controle de Colunas de Destilação

Colunas de destilação são processos complicados, como já descrito, ainda mais quando estão sob restrições de operação devido à questões econômicas, físicas e de segurança. Com o controle devidamente justificado e aplicado, dependendo das perturbações, pode, inevitavelmente, ter comportamento instável (LUYBEN et al, 1992). Nesse sentido a literatura propõe, ano após ano, sistemas de controle cada vez mais complexos com a finalidade de melhorar a performance das colunas, aumentar o rendimento do produto de interesse, otimizando o consumo de energia. Por isso ainda se diz que pesquisa de sistemas de controle em colunas de destilação é um campo aberto à novas descobertas.

O sistema ideal seria controlar a coluna em um sistema 5 por 5, 5 variáveis manipuladas ajustando o valor de 5 variáveis

controladas (SKOGESTAD 2007). Porém, como há interação entre as variáveis, um sistema de controle tão fechado poderia levar à instabilidade na disputa de um loop de retroalimentação com outro. Assim, convém projetar um controlador 3x3 diagonal (controladores independentes) nos níveis dos dois tanques e na pressão, já que essas são variáveis de menor importância, e aplicar controlador aprimorado 2x2 nas composições (SKOGESTAD 2007).

É possível, e será necessário nesse projeto, simplificar o controlador ainda mais. Em colunas de menor porte, como a que se pretende realizar experimentos, pode-se atingir controle satisfatório com apenas uma malha fechada em uma das composições. Como as composições são variáveis fortemente correlacionadas, o controle de uma delas é o suficiente para estabilização da outra. O Controle dos níveis será manual, já que o custo de instrumentação para o realizar é elevado e não é justificado para validar trabalhos futuros. A pressão da coluna é mantida à pressão atmosférica.

Novamente, pelo custo dos sensores, não se medirá diretamente, a composição ou fração mássica dos fluidos. O controle será feito na temperatura, já que as composições são dependentes da temperatura segundo relações da termodinâmica. A variável manipulada será a corrente e do circuito que alimenta as resistências do reator. Isso garante que o sistema seja mais rápido e eficiente do que se, da manipulação de corrente, fossem realizados cálculos para a taxa de transferência de energia térmica (manipulação) para controle da temperatura.

Os instrumentos instalados na coluna servirão para pesquisas em identificação, controle e otimização de rede de sensores, como também, permitirão que alunos da graduação realizem experimentos na coluna em experimentos de destilação industrial, operando em malha aberta, e, além disso,

aulas de controle, em que será possível testar diferentes lógicas de controle.

4 Justificativa para Instrumentação e Controle

O finalidade do desenvolvimento dos aparatos eletrônicos de monitoramento e atuação é a manipulação indireta de energia fornecida pela resistência elétrica do reator, com o propósito de controlar a temperatura de um determinado prato da coluna, que sirva como estabilizador da dinâmica coluna e do perfil de concentrações. Essa energia é manipulada diretamente por atuador que varia a corrente elétrica no sistema das resistências, monitorando a tensão elétrica para efeito de cálculo de potência, e com um potenciômetro para controle de potência das resistências.

A princípio, poder-se-ia realizar modelagem para aferir a relação física entre potência fornecida, por manipulação da corrente, e a energia térmica fornecida ao líquido no reator. Porém, processos químicos em geral e colunas de destilação possuem tempos de resposta demasiadamente lentos, não é justificado realizar tal modelagem.

5 Conclusões

Controle de colunas de destilação não é problema trivial, e nem possui uma única solução, muito menos uma metodologia geral aplicável a todas os tipos de colunas. Porém, procedimentos experimentais podem garantir que se atinja controle aceitável e até mesmo robusto (LUYBEN et al, 1992, SHINSKEY 1996).

Por fim, foi apresentada revisão bibliográfica que será utilizada para aplicação de sistema de controle em temperatura por manipulação de corrente

elétrica para controle de potência. Foram considerados efeitos de interação entre as variáveis, controle em variáveis cujo controle não estabiliza a coluna, porém necessários para funcionamento do processo.

Além disso, introduziu-se conceitos básicos da teoria clássica de controle, com ênfase no sistema regulador, lógica de controle que é usada em colunas de destilação.

Tabela 1: Perspectiva Histórica de Controle Industrial

Período	Acontecimento Histórico
1769	Projeto do regulador de esferas de James Watt, em controle de máquinas a vapor
1868	James C. Maxwell publica trabalho científico sobre governadores em que modela um controlador estabilizador para a máquina de vapor
1932	H. Nyquist publica o seu critério de análise de estabilidade
Até 1948	Aplicação de controle era baseado em instrumentação e malhas fechadas por tentativa e erro
1939 - 1945	Surgimento de novas tecnologias Servomecanismo e sistemas de piloto automático para aeronaves e desenvolvimento teórico de sistemas de análise e controle
1948 - 1951	Aplicação de Controle em malha fechada por adaptação de tecnologias militares desenvolvidas na segunda guerra mundial
1950 -	Funções de Transferência aplicadas à válvulas, tubulações, tanques de mistura, controle de pressão e colunas de destilação
1960 -	Desenvolvimento inicial do Método Espaço de Estados e, também, de publicações clássicas dos autores Wiener e Kalman
1960 -	Funções de Transferência são combinadas com simulação para melhoria da performance do controlador
1970 -	Desenvolvimento da teoria do controle ótimo
1980 -	Período onde se desenvolveu a Teoria de Controle Robusto, onde métodos matemáticos foram aplicados para garantir performance aceitável nos piores cenários possíveis
1980 -	Simultaneamente, pesquisas avançam nas áreas de controle não-linear, controle adaptativo e controle auto-otimizado
1990 -	Implementação de controladores em sistemas espaciais como o GPS e a ronda Sojourner
2010 -	Internet das coisas, avanços consideráveis na Robótica e surgimento da Indústria 4.0

Fonte: Autores e adaptado de Luyben (1992), Goodwin (2000) e Dorf (2001)

AGREDECIMENTOS

Os autores agradecem às instituições CAPES e CNPq pelo suporte e financiamento às pesquisas.

REFERÊNCIAS

DORF, R. C. BISHOP, R. H. Sistemas de Controle Modernos. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 2001.

LUYBEN, M. L. LUYBEN, W. L. Essentials of Process Control. McGraw-Hill, 1992.

SHINSKEY, F. G. Process Control Systems: Application, Design and Tuning. McGraw-Hill, 1996.

SKOGESTAD, S. The Do's and Don'ts of Distillation Column Control. Chemical Engineering Research and Design, 2007.