



Anais do XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.
ISBN 85-7515-371-4

EXCEL COMO FERRAMENTA DIDÁTICA DE APOIO NA ANÁLISE DE PROCESSOS DE FLASH E DESTILAÇÃO BINÁRIOS

Oswaldo Curty da Motta Lima – oswaldo@deq.uem.br

Vinicius Oliveira Uemura – viniciusou@gmail.com

Daniel Tait Vareschini – mfdom@ibest.com.br

Maria Angélica S. D. Barros – angelica@deq.uem.br

Universidade Estadual de Maringá – Departamento de Engenharia Química

Avenida Colombo 5790, Bloco D-90

87020-900 – Maringá, Paraná

Resumo: Os processos de flash e destilação binários, apesar da pouca aplicação industrial, são amplamente utilizados nos cursos de graduação, tendo em vista sua simplicidade e facilidade de exposição aos alunos dos conceitos envolvidos. Neste contexto, métodos gráficos/algébricos são usados em separações flash e os métodos gráficos de McCabe-Thiele e Ponchon-Savarit têm sido utilizados no cálculo do número de estágios teóricos e na análise do desempenho de colunas binárias. Entretanto, os métodos citados quase sempre são inconvenientes e cansativos, quando do projeto de vários equipamentos ou na análise de diferentes configurações operacionais. Sendo assim, este trabalho traz uma proposta de implementação das metodologias citadas a partir do uso do EXCEL como ferramenta computacional didática, sem prejuízo para a visualização dos resultados pelo usuário, e permitindo que os conceitos envolvidos sejam melhor trabalhados pela redução do esforço/tempo despendidos, possibilitando o seu uso, tanto em sala de aula, quanto no exercício profissional dos futuros engenheiros.

Palavras-chave: Destilação, Flash, Destilação binária, EXCEL.

1. INTRODUÇÃO

A separação de misturas líquidas em seus vários componentes é uma das principais operações realizadas nas indústrias química e petrolífera, sendo a destilação o método mais usado com esta finalidade e, por isso, parte importante do currículo de Operações Unitárias dos cursos de Engenharia Química.

Destilação *flash* (ou, também chamada, destilação de, ou em equilíbrio) é uma técnica de separação em um único estágio, sendo considerada uma expansão isoentálpica. Como exemplo, uma mistura líquida é bombeada através de um aquecedor para aumentar sua temperatura e

entalpia. Esta mistura flui então através de uma válvula e a pressão é reduzida, causando a vaporização parcial do líquido. Uma vez que a mistura entre com quantidade suficiente no vaso de *flash*, o líquido e vapor se separam. Devido ao contato líquido-vapor antes da destilação ocorrer, os novos produtos líquido e vapor formados estão aproximadamente em equilíbrio.

A destilação binária é um processo de separação de uma mistura de dois componentes, sendo o vapor produzido sempre mais rico no constituinte mais volátil. Apesar de uma menor aplicação no âmbito industrial, é amplamente utilizada nos cursos de graduação, tendo em vista sua simplicidade e a maior facilidade de exposição aos alunos dos conceitos desta operação unitária.

Técnicas gráficas têm sido normalmente utilizadas, tanto para cálculos em flash quanto no cálculo do número de estágios teóricos de colunas binárias, permitindo uma fácil visualização e uma compreensão adequada do processo. No entanto, estes métodos quase sempre se tornam inconvenientes e cansativos quando do projeto de colunas de grande porte ou na análise de diferentes configurações operacionais.

Este trabalho faz parte de uma proposta de desenvolvimento de programas didáticos que venham a substituir o processo manual de cálculos gráficos de processos de *flash* e destilação binários, melhorando sua precisão e o tempo de resposta, sem prejuízos para a visualização e análise dos resultados. Os programas foram desenvolvidos em planilha eletrônica EXCEL, com o auxílio da linguagem de programação VBA, permitindo fácil utilização e interação por parte do usuário.

A utilização deste tipo de programa possibilitaria uma melhor discussão dos conceitos apresentados em sala de aula e a exploração de diferentes situações pelo professor e seus alunos, proporcionando uma melhor fixação do assunto e uma maior capacidade de ação dos alunos e futuros profissionais.

2. MÉTODOS GRÁFICOS

Cálculos *flash* podem ser resolvidos diretamente, mas, em alguns casos, requerem uma solução iterativa. Técnicas gráficas também são muito comuns. Frequentemente, a escolha da técnica depende da forma disponível da relação de equilíbrio.

Na resolução de problemas de destilação binária, os já estabelecidos métodos gráficos de McCabe-Thiele (McCabe et al. (1985/2001); Coulson e Richardson (1968); Perry e Chilton (1980); Foust et al. (1980); Motta Lima e Pereira (1999)) e Ponchon-Savarit (Coulson e Richardson (1968); Blackadder e Nedherman (1971); Foust et al. (1980); Motta Lima e Pereira (1999)) têm sido muito utilizados, tanto no cálculo do número de estágios teóricos de colunas binárias, quanto na análise do desempenho de colunas já existentes.

2.1 Destilação Flash

Para resolver um problema de destilação *flash* binária, deve-se resolver simultaneamente as equações de operação, equação (1), e de equilíbrio (normalmente na forma gráfica). Algumas vezes, quando são utilizadas técnicas gráficas, a escala do diagrama de equilíbrio dificulta a localização da intersecção da linha de operação com o eixo das ordenadas. Neste caso, é mais fácil usar a inclinação da linha de operação e o ponto em que a diagonal do diagrama ($y = x$) é cruzada em $x = x_F$. Traçando-se a linha de operação no diagrama de equilíbrio, podem ser lidas as coordenadas do ponto em que as linhas se cruzam para a solução, como mostrado na Figura 1.

$$y = \frac{x_F}{f} + \left(\frac{f-1}{f} \right) \cdot x \quad (1)$$

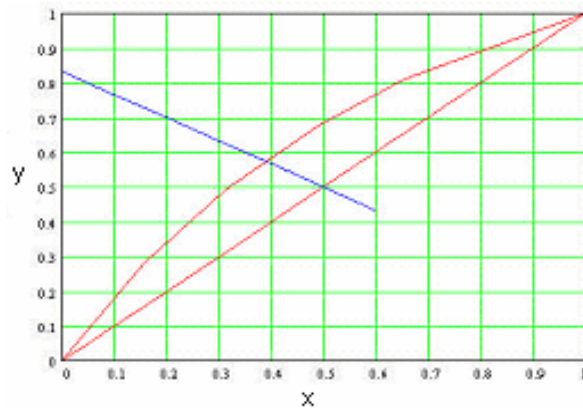


Figura 1 - Solução gráfica: destilação *flash*

2.2 Destilação Binária

Método McCabe-Thiele

Quando a diferença entre as temperaturas do fundo e do topo da coluna é pequena (10 a 50 °C), pode-se considerar as propriedades térmicas da mistura que se deseja separar como aproximadamente constantes, ao longo da coluna. Desta forma, as vazões molares de líquido e vapor são constantes nos pratos da seção de retificação (SR) e, também, na seção de esgotamento (SE), diferindo, no entanto, das vazões existentes na SR.

O método de McCabe-Thiele consiste na aplicação das considerações acima no cálculo/ análise de destilações binárias, utilizando-se o diagrama de equilíbrio do sistema em questão. Este gráfico tem as seguintes propriedades:

- os pontos do gráfico que representam as composições do líquido e do vapor em equilíbrio num mesmo prato teórico estão situados sobre a curva de equilíbrio;
- os pontos do gráfico que representam a composição do vapor procedente de um prato teórico, em função da composição do líquido que desce do prato imediatamente superior, estão situados sobre as retas de operação das SR e SE (correntes que se cruzam).

O número de pratos teóricos necessários é determinado a partir do número de degraus gerados pela construção gráfica sobre o diagrama. A Figura 2 representa o resultado para uma coluna hipotética, com 4 pratos teóricos.

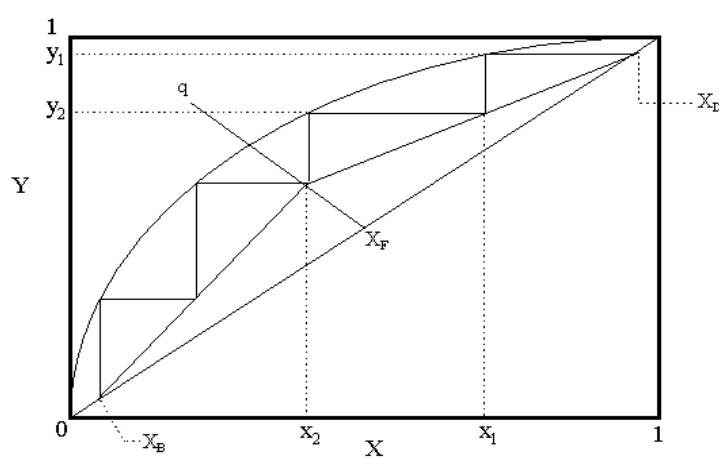


Figura 2 - Número de pratos teóricos: Método McCabe-Thiele

Método Ponchon-Savarit

Quando a diferença entre as temperaturas do fundo e do topo da coluna não é pequena ($\Rightarrow > 50^\circ\text{C}$), ou quando as entalpias de líquido e vapor (e as respectivas vazões molares) não são aproximadamente constantes ao longo da coluna, as simplificações introduzidas no cálculo do número de pratos teóricos pelo método de McCabe-Thiele não podem ser aplicadas (Motta Lima e Pereira, 1999).

Nestes casos, o número de pratos teóricos pode ser determinado graficamente pelo método de Ponchon-Savarit, por meio de aplicações sucessivas dos balanços de massa (BM) e de energia (BE), prato a prato, partindo-se das condições terminais da coluna (a partir do topo, geralmente) e das propriedades gráficas (regras da alavanca e da adição gráfica de misturas) dos diagramas entalpia/composição ($H, h / x, y$). Este gráfico tem as seguintes propriedades:

- os pontos representativos das vazões de líquido e vapor que se cruzam ao longo da coluna ficam situados em uma mesma reta representativa dos BM e BE, traçada sobre o diagrama ($H, h / x, y$).

O número de pratos teóricos necessários é determinado a partir do número de linhas de amarração geradas pela construção gráfica feita em cima do diagrama entalpia/composição. A Figura 3 representa o resultado para uma coluna hipotética, com 8 pratos teóricos.

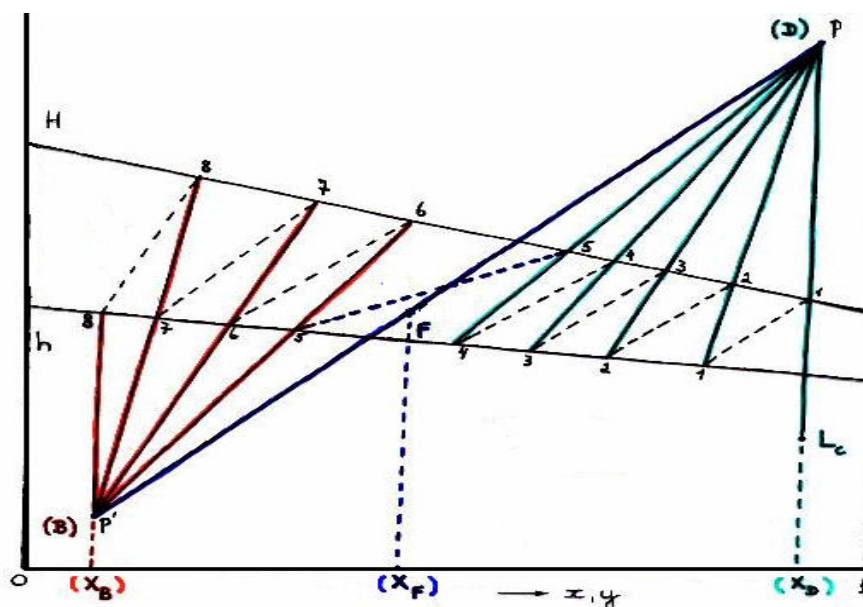


Figura 3 - Número de pratos teóricos: Método Ponchon-Savarit

3. PROGRAMA DIDÁTICO

Este trabalho traz uma proposta de implementação das metodologias apresentadas para o *flash* e a destilação binários, a partir do uso do EXCEL como ferramenta computacional didática.

Para a destilação *flash*, o usuário deve fornecer a composição de alimentação do componente mais volátil. Já para a destilação binária, deve fornecer a vazão de entrada, as composições de alimentação, produto de topo e produto de fundo, a condição térmica da alimentação e a razão de refluxo. Os dados de temperatura, entalpia e composição das fases líquido e vapor (para construção dos diagramas de equilíbrio) podem ser selecionados pelo usuário em um banco de dados com sistemas binários, parte integrante do programa.

Nas Figuras 4 e 5 são apresentadas as telas de entrada de dados da planilha.

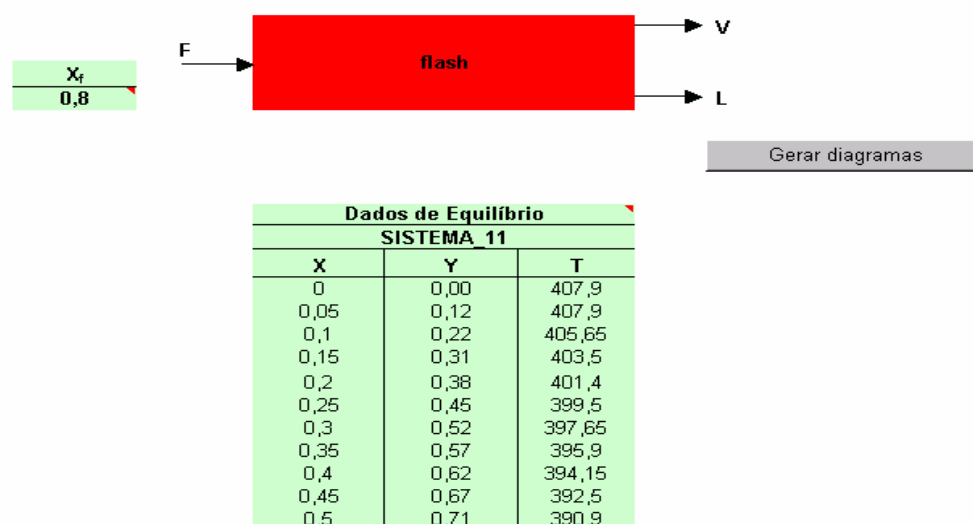


Figura 4 - Tela de entrada de dados: *flash* binário

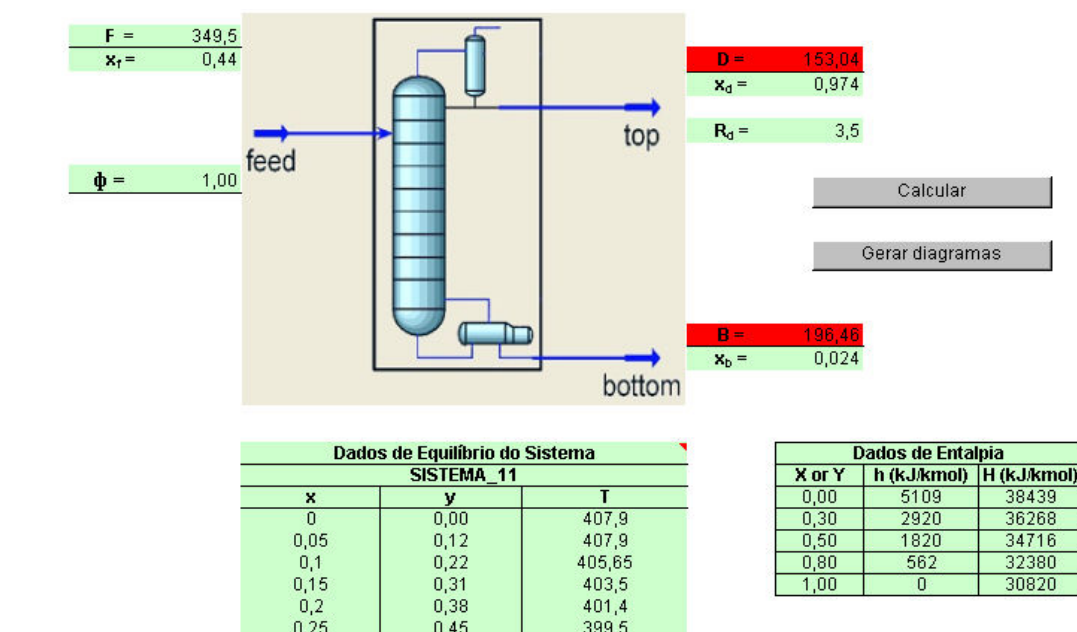


Figura 5 - Tela de entrada de dados: destilação binária

Como resultado, o programa constrói, para o sistema de destilação *flash*, o diagrama de equilíbrio, juntamente com as linhas de operação traçadas sobre este. Constrói, também, um diagrama mostrando a dependência entre a temperatura de *flash* e as composições das fases líquida e vapor, e com a fração vaporizada. Para a destilação binária, o programa resolve os balanços de massa e constrói os diagramas McCabe-Thiele e Ponchon-Savarit, determinando o número de estágios teóricos necessários para a separação desejada e o prato teórico de alimentação. Para o segundo método, calcula, também, a partir do balanço de energia, as quantidades de calor trocadas no condensador (q_C) e no refeedor (q_R).

Posteriormente, pretende-se ampliar o programa a partir de novos itens, como, por exemplo, a definição da razão de refluxo por meio da condição de refluxo mínimo, a determinação do número de pratos reais com base na sua eficiência e a utilização de relações termodinâmicas

para a obtenção dos diagramas de equilíbrio, entre outros, com o intuito de aumentar a capacidade de utilização do programa.

4. RESULTADOS & DISCUSSÃO

Como exemplo de sua utilização, o programa foi testado na separação de benzeno e tolueno, conforme problemas propostos em Motta Lima & Barros (2005) - *flash*, e Motta Lima & Pereira (1999) - destilação binária. Para o *flash*, deseja-se construir o diagrama conjunto temperatura - composições de líquido e vapor em função da fração vaporizada de uma mistura 80% molar em benzeno (20%, tolueno), a ser separada em um vaso de *flash* a 2 atm. Para a destilação binária, determinar o número de pratos teóricos de uma coluna de destilação operando a 1 atm, com as seguintes especificações:

- vazão e condição da alimentação: 30000 lbm/h, líquido saturado ($\phi = 1$)
- composição da alimentação: 40% (p/p)
- benzeno (bz) e 60% (p/p) tolueno (tl)
- composição do destilado: 97% (p/p) (bz)
- composição do fundo: 98% (p/p) (tl)
- razão de refluxo externa: 3,5
- condensador total

A solução dos problemas, a partir da utilização do programa proposto, é apresentada nas Figuras 6 a 9. Os resultados obtidos para destilação *flash* - linhas de operação traçadas sobre o diagrama de equilíbrio (Figura 6) e diagrama temperatura 'x' composições do líquido e vapor em função da fração vaporizada (Figura 7) - estão de acordo com os resultados obtidos manualmente/graficamente. Para o problema de destilação binária, o número de pratos teóricos obtido por meio dos diagramas McCabe-Thiele (Figura 8) e Ponchon-Savarit (Figura 9) é igual a 12, estando de acordo com os valores obtidos manualmente/graficamente por Motta Lima & Pereira (1999).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa didático desenvolvido como alternativa para os métodos manuais/gráficos mostrou-se de fácil implementação e manuseio, permitindo uma rápida obtenção de resultados confiáveis.

Uma diferença/vantagem importante da programação em EXCEL, quando comparada a softwares equivalentes, é a facilidade com que o usuário, mesmo com pouca experiência na utilização de planilhas eletrônicas e/ou programação, consegue interagir com o programa, podendo modificar, sem dificuldades, tanto a parte estética, como os algoritmos de programação, conforme seus gostos e/ou necessidades.

Este programa permite que o usuário visualize rapidamente as alterações feitas nas variáveis envolvidas no projeto e/ou análise de processos de *flash* e destilação binários, reduzindo sensivelmente o tempo de trabalho.

Desta forma, o programa proposto mostra-se uma ferramenta interessante para a redução do tempo e do esforço despendidos nos cálculos e na análise de processos de destilação *flash* binária e de destilação binária, nos quais técnicas gráficas possam ser aplicadas, contribuindo para uma melhor fixação do assunto por parte dos alunos e uma maior capacidade de ação ao enfrentar novos problemas, tanto no dia a dia da sala de aula, quanto, posteriormente, no exercício profissional como futuros engenheiros.

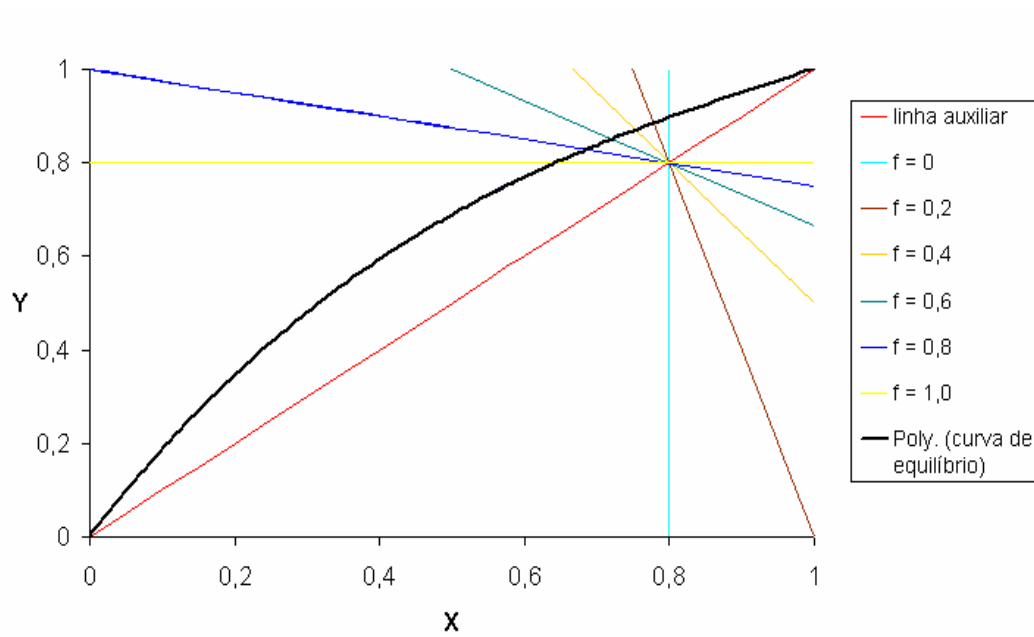


Figura 6 - Diagrama de equilíbrio com linhas de operação (sistema benzeno/tolueno)

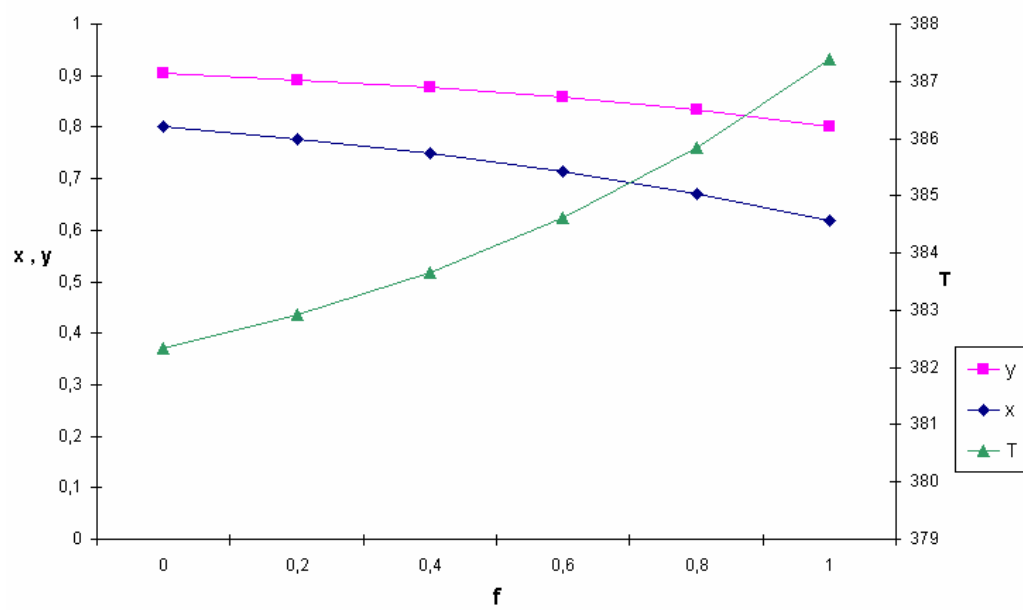


Figura 7 - Diagrama temperatura 'x' composições do líquido e vapor, em função da fração vaporizada (sistema benzeno/tolueno)

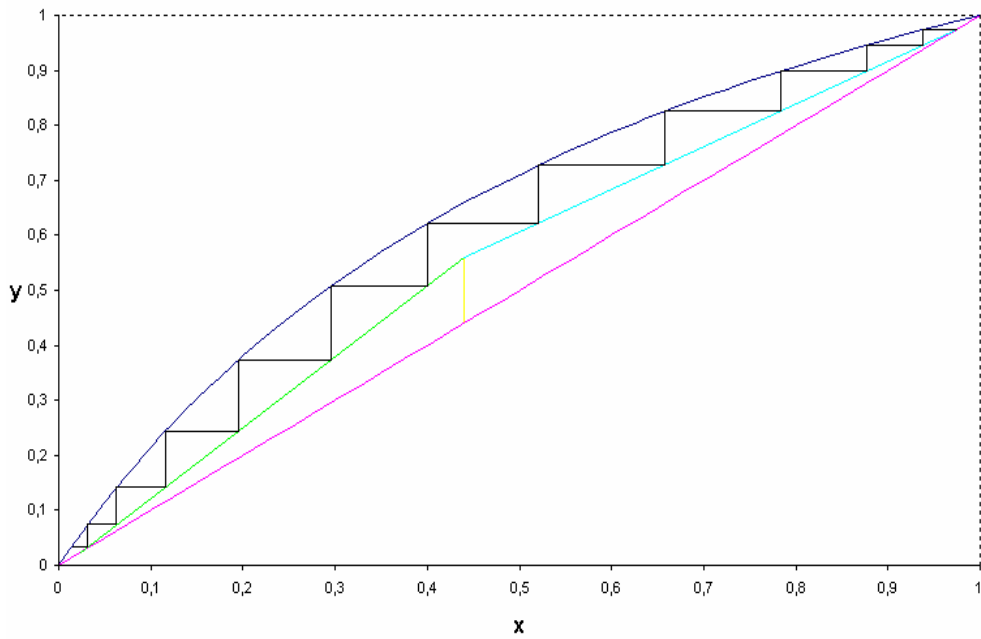


Figura 8 - Diagrama McCabe-Thiele: sistema benzeno/tolueno

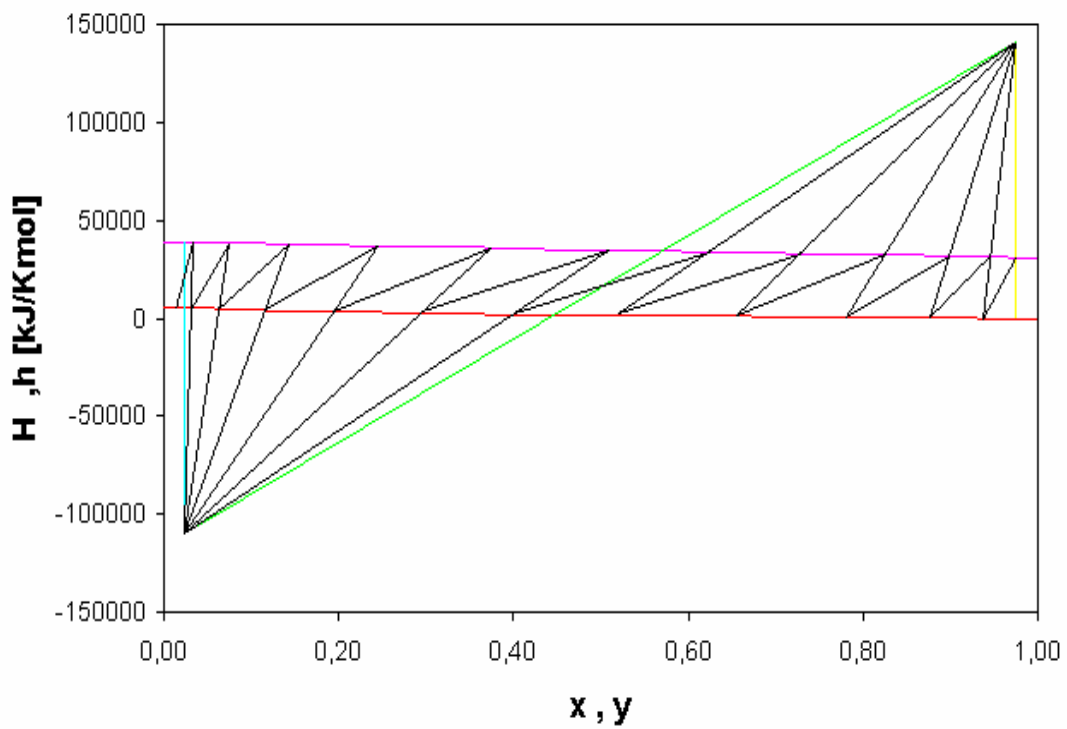


Figura 9 - Diagrama Ponchon-Savarit: sistema benzeno/tolueno

6. NOMENCLATURA

- B - vazão de produto de fundo, [mol T⁻¹]
D - vazão de destilado, [mol T⁻¹]
f - fração vaporizada (*flash*)
F - vazão de alimentação, [mol T⁻¹]
h - entalpia de líquido, [L² T⁻²]
H - entalpia de vapor, [L² T⁻²]
n - nº total de pratos teóricos
q - linha (reta) da alimentação
q_C - calor trocado no condensador, [M L² T⁻³]
q_R - calor trocado no refeedor, [M L² T⁻³]
R_D - razão de refluxo, [-]
x - composição da fase líquida, [-]
x_D - composição do destilado, [-]
x_B - composição do produto de fundo, [-]
x_F - composição da alimentação, [-]
y - composição da fase vapor, [-]
φ - fração de líquido na alimentação, [-]

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Educação Tutorial (PET-ENQ/UEM), pelo auxílio fornecido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLACKADDER, D.A.; NEDHERMAN, R.M. **Manual de Operações Unitárias**. São Paulo: Editora Hemus, 2005.
- COULSON, J.M.; RICHARDSON, J.F. **Tecnologia Química - Volume II: Operações Unitárias**, 2ª Ed.. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1968.
- McCABE, W.L.; SMITH, J.C.; HARRIOTT, P. **Unit Operations of Chemical Engineering**. Singapore: McGraw-Hill International Book Co., 4th Ed., 1985 e 6th Ed., 2001.
- MOTTA LIMA, O.C.; PEREIRA, N.C. **Destilação, Apostila/Notas de Aula de Operações Unitárias II**. Edição Interna, DEQ/UEM, Maringá-BR, 1999.
- MOTTA LIMA, O.C.; BARROS, M.A.S.D. **Destilação *flash* - Lista de Exercícios de Operações Unitárias II**. Edição Interna, DEQ/UEM, Maringá-BR, 2005.
- PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. **Manual de Engenharia Química**, 5ª Ed.. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.

EXCEL AS A DIDACTIC TOOL FOR SUPPORT IN THE ANALYSIS OF FLASH AND BINARY DISTILLATION PROCESSES

Abstract: *Flash and binary distillation, in spite of a smaller industrial application, are widely used in undergraduate chemical engineering courses, because of their simplicity and facility of exposition of their concepts to the students. In this context, graphical/algebraic methods are used for flash separation and McCabe-Thiele and Ponchon-Savarit graphical methods have been used to calculate the number of theoretical stages and in the performance analysis of binary distillations. However, those methodologies become tedious and inconvenient in different equipments and big columns design, and in the analysis of different operational conditions. Thus, this work presents a proposal of implementation of the cited methodologies by the use of EXCEL as a didactic program, without damage for user's viewing and analysis of the results, and providing, to future engineers, a better understanding of the subjects and a bigger capacity of action when facing new problems, in classroom, or, later on, in the professional practice.*

Key-words: *Distillation, Flash, Binary distillation, EXCEL.*