



Departamento de
Engenharia Química

Escola Politécnica da
USP

PQI0410 - Operações Unitárias da Indústria Química V

AULAS : Destilação –batelada II

Prof. Moisés Teles/ moises.teles@usp.br

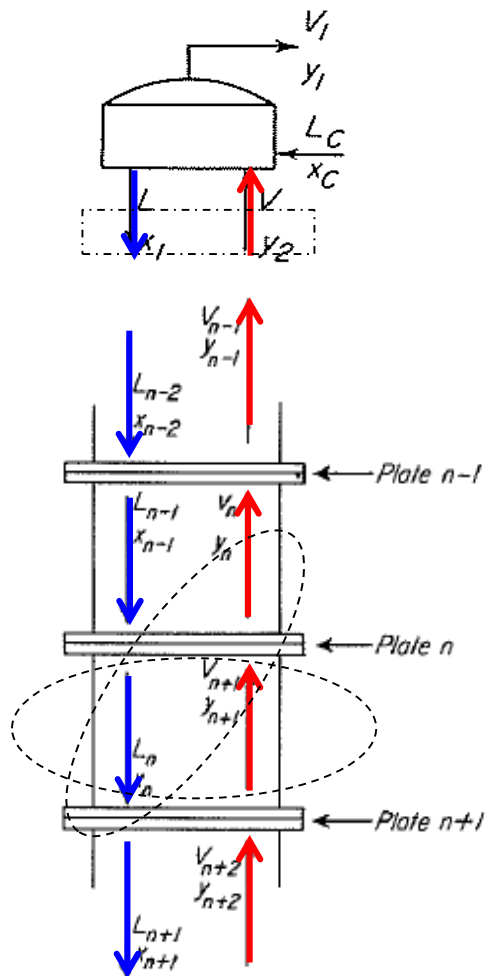
Destilação em Batelada

Destilação em Batelada com Múltiplos Estágios

- ☐ Refluxo constante (composição do destilado variável)
- ☐ Refluxo variável (composição do destilado constante)

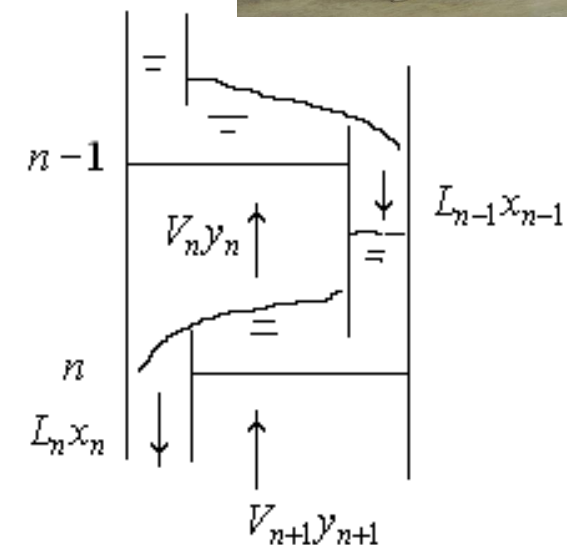
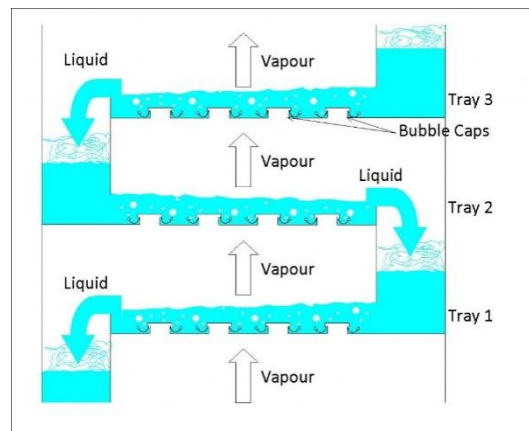
Destilação em Batelada

RELAÇÃO DE EQUILÍBRIO



Relações de equilíbrio

$$y = Kx$$



Destilação em Batelada

LINHA DE OPERAÇÃO

Balço de massa do componente i

$$V_{n+1}y_{n+1} = L_n x_n + Dx_D$$

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} x_n + \frac{Dx_D}{V_{n+1}}$$

Hipótese: vazão constante.

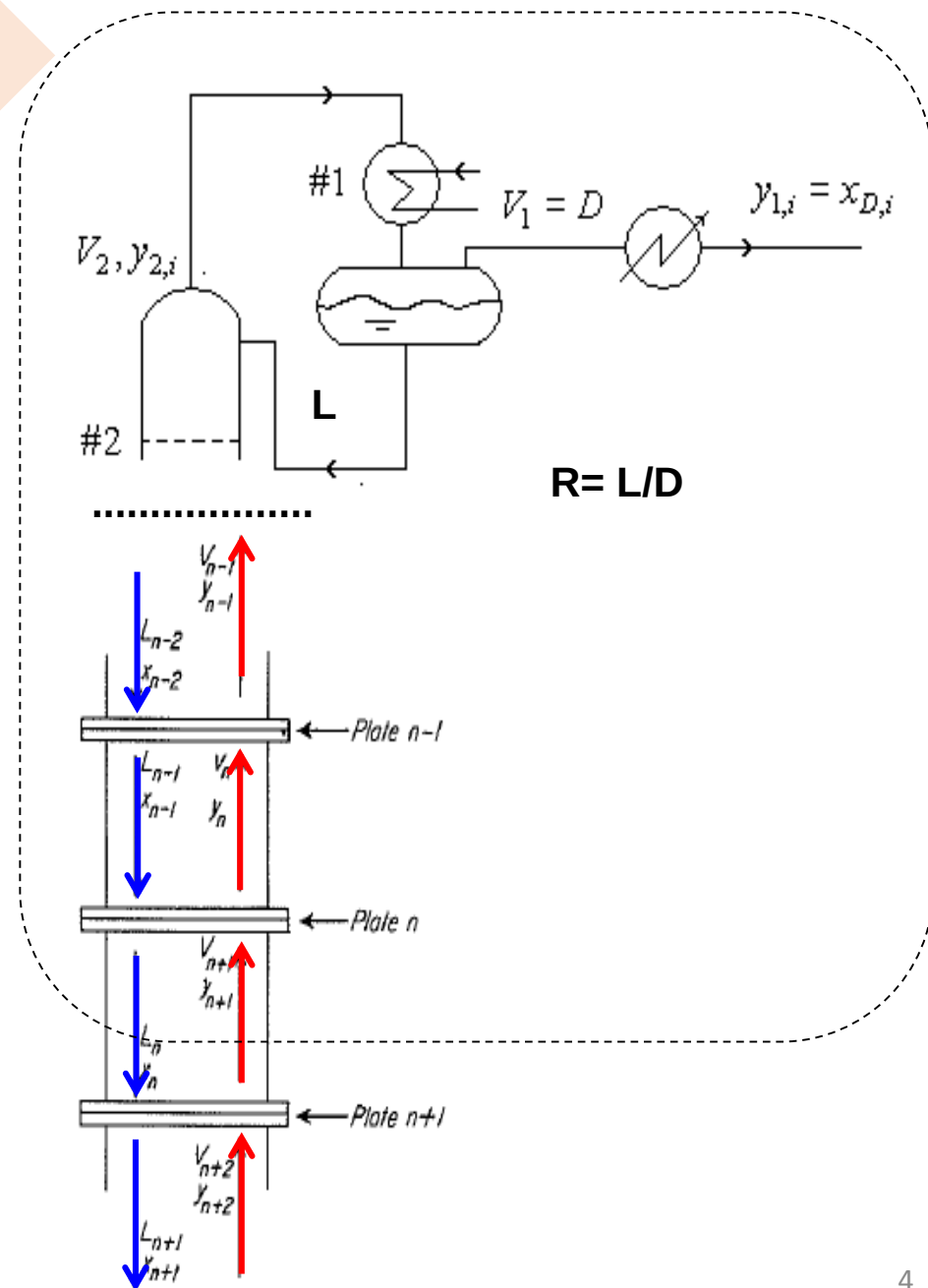
$$V_{n+1} = V_n = \dots = V$$

$$L_n = L_{n-1} = \dots = L$$

$$y_{n+1} = \frac{L}{V} x_n + \frac{Dx_D}{V}$$

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_D$$

Linha de operação



Destilação em Batelada

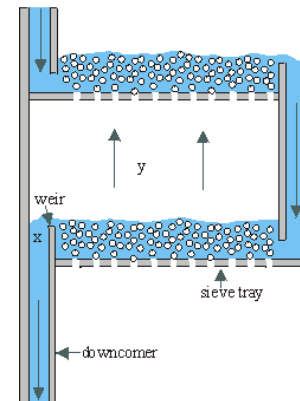
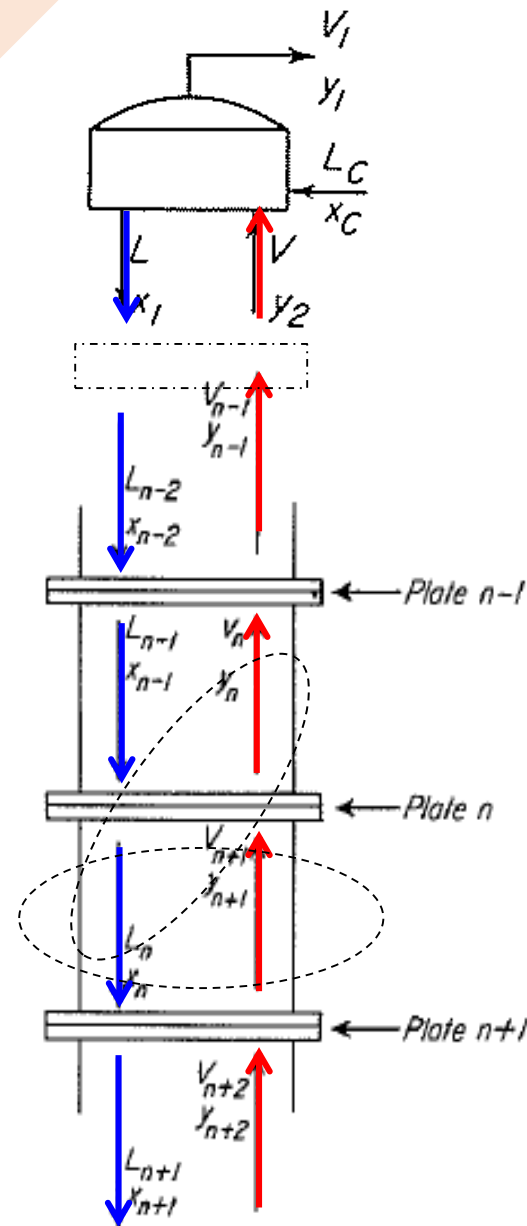
RELAÇÕES FUNDAMENTAIS

Reta de operação

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_D$$

Relações de equilíbrio

$$y_{n,i} = K_{n,i} x_{n,i}$$



Destilação em Batelada

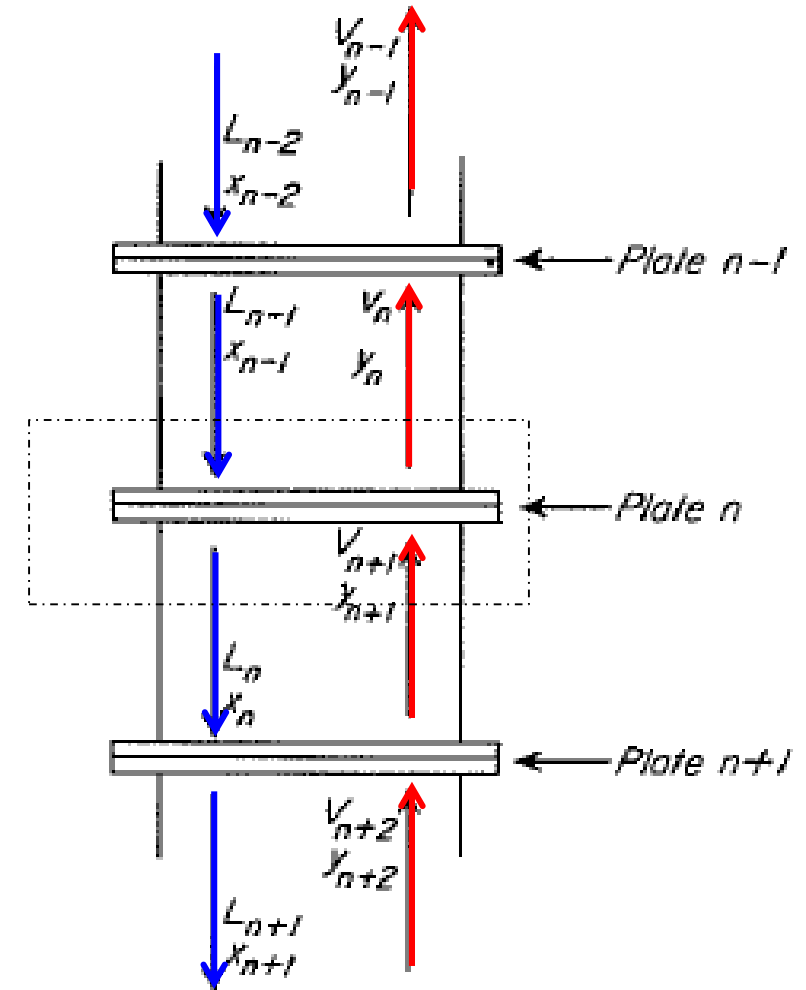
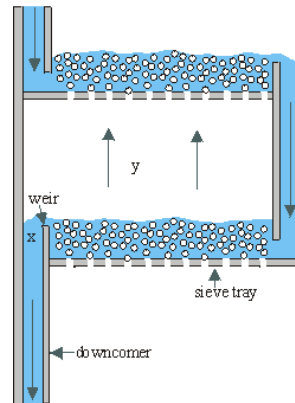
RELAÇÕES FUNDAMENTAIS

Linha de operação

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_D$$

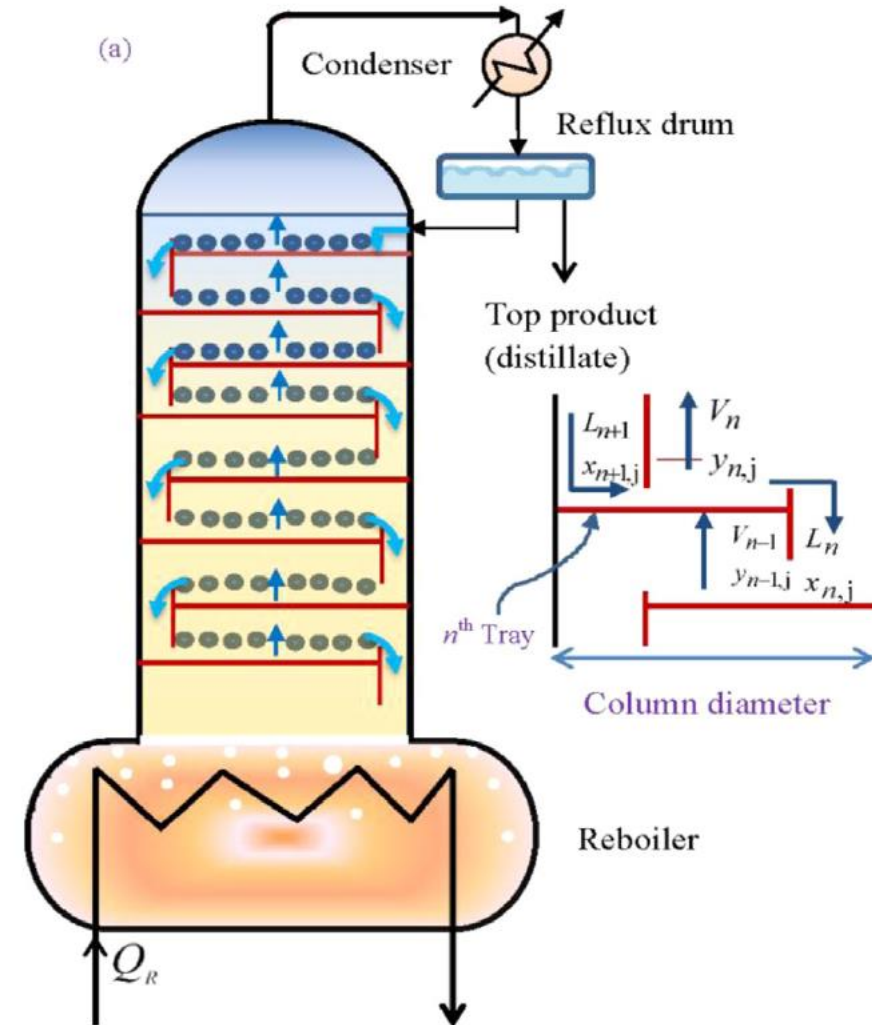
Relações de equilíbrio

$$y_{n,i} = K_{n,i} x_{n,i}$$



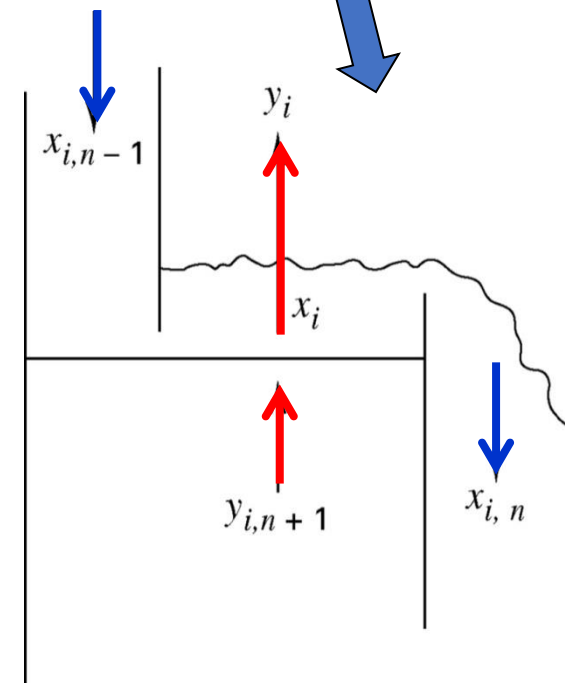
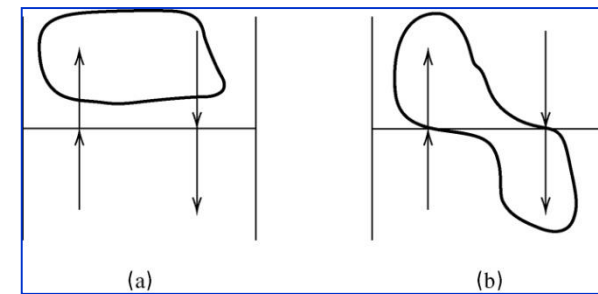
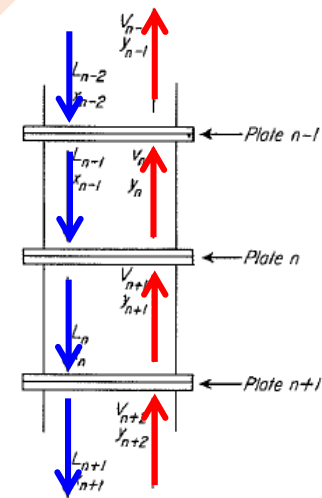
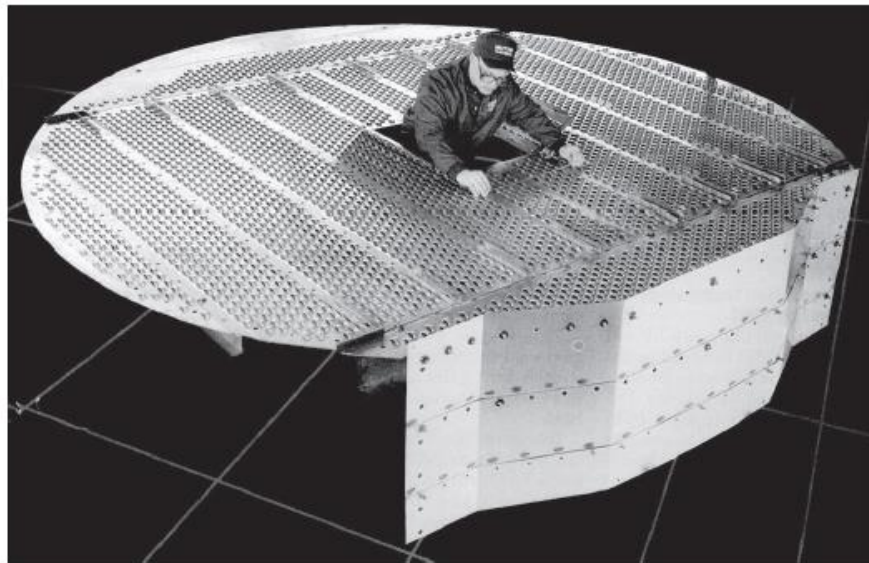
Destilação em Batelada

ESTÁGIOS DE EQUILÍBRIO



Destilação em Batelada

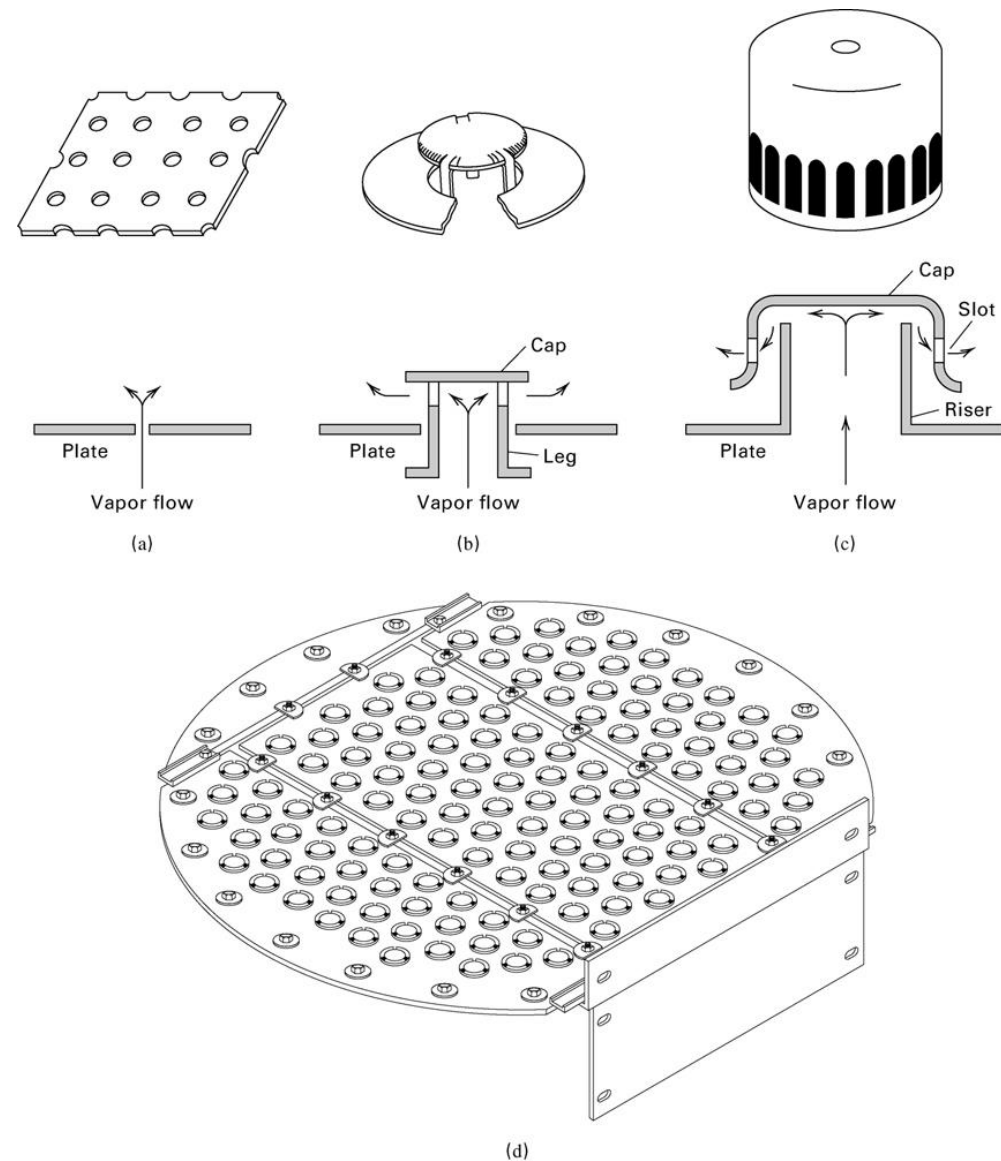
ESTÁGIOS DE EQUILÍBRIO



Destilação em Batelada

ESTÁGIOS DE EQUILÍBRIO

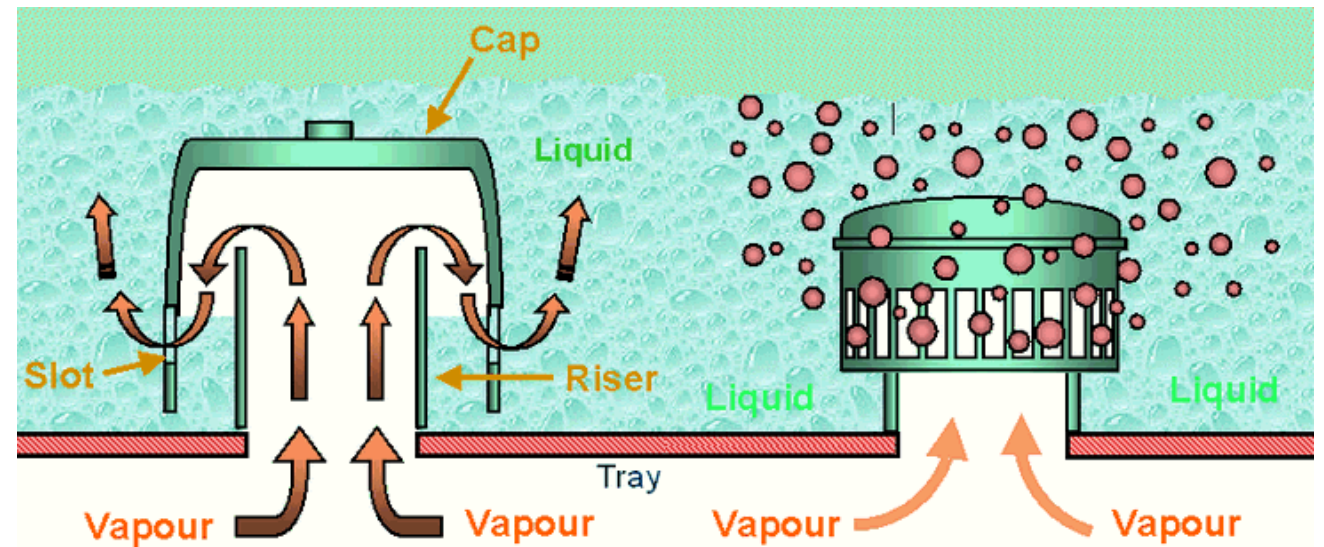
PRATOS



Destilação em Batelada

ESTÁGIOS DE EQUILÍBRIO

PRATOS

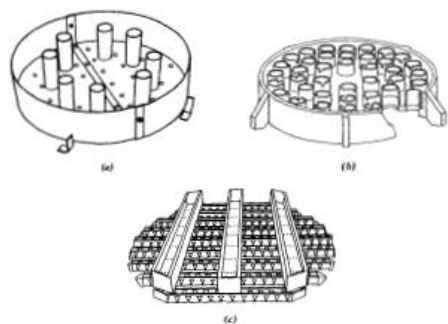


Destilação em Batelada

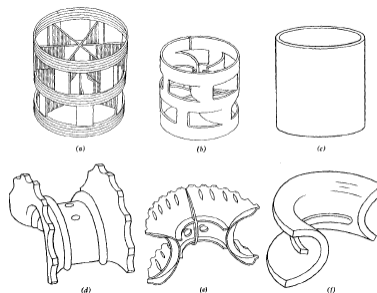
ESTÁGIOS DE EQUILÍBRIO

Transferência de massa: requer contato eficiente entre as fases.

Pratos

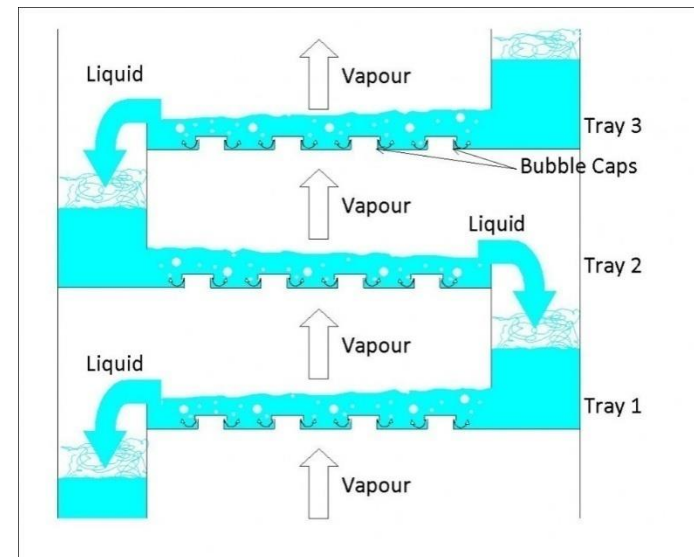


Recheio



Número de placas?

Altura do recheio?

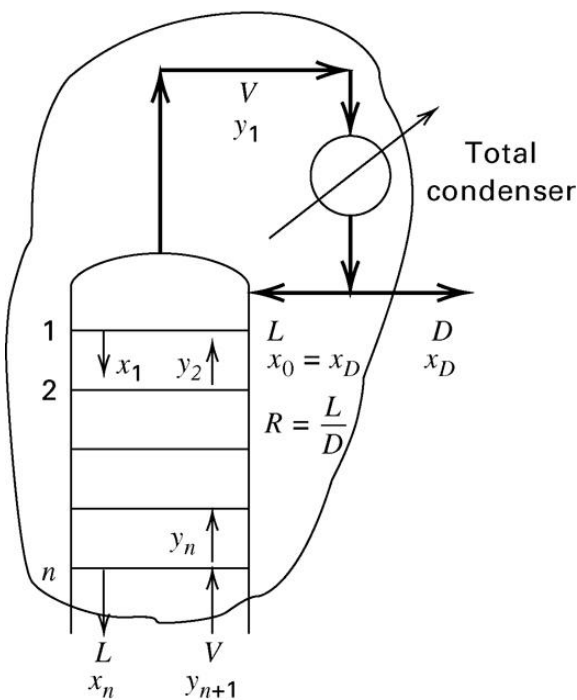


Destilação em Batelada

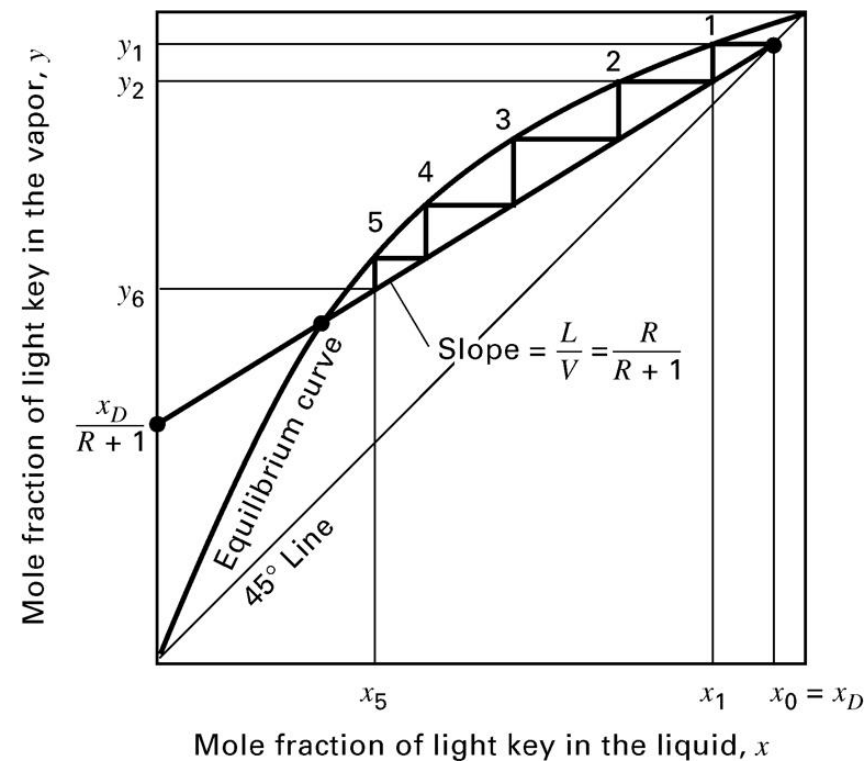
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (McCabe–Thiele)

$$y_{n+1} = \frac{L}{V} x_n + \frac{Dx_D}{V}$$

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_D$$



(a)



(b)

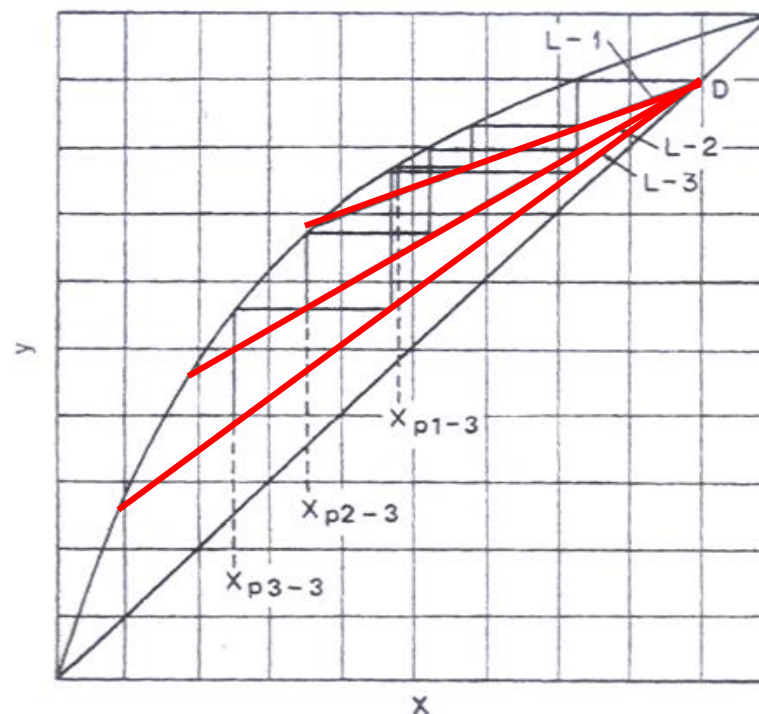
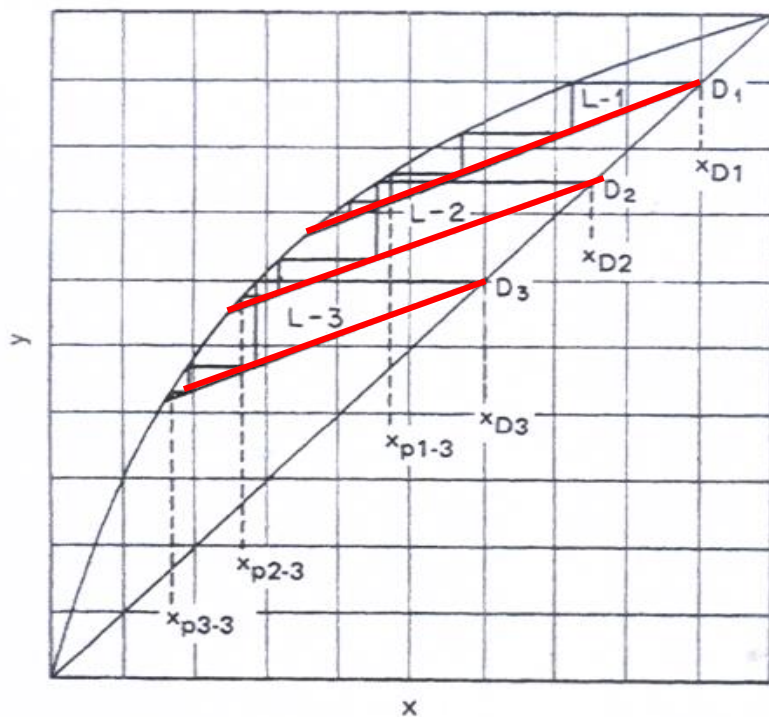
Destilação em Batelada

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (McCabe–Thiele)

O que acontece com as linhas de operação se:

- ☐ Refluxo constante.
- ☐ Refluxo aumenta.

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{1}{R+1}x_D$$

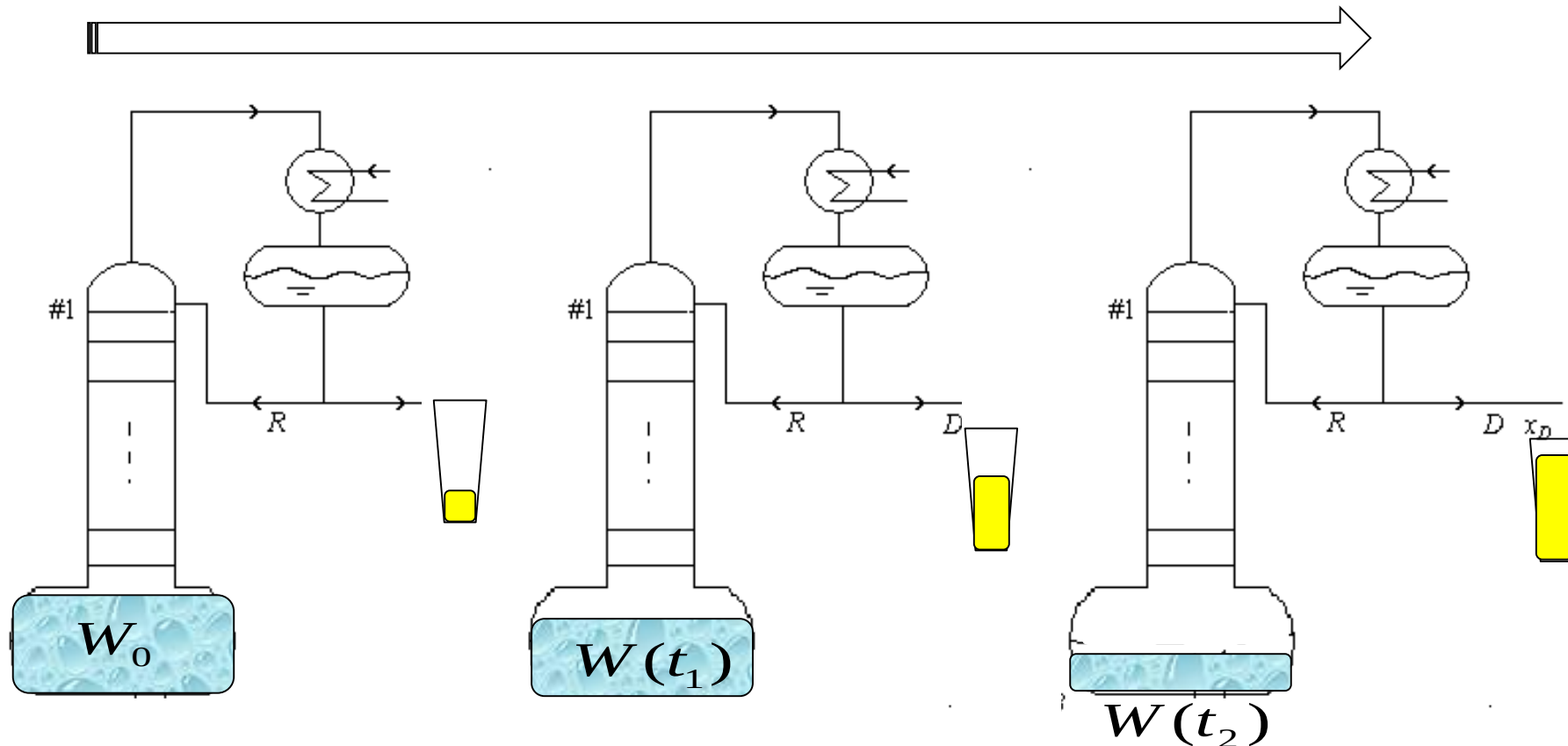


Destilação em Batelada

CONCENTRAÇÃO DO DESTILADO

Concentração média no destilado.

- Qual pureza do destilado produzido?
- Qual composição no refeedor?



Destilação em Batelada

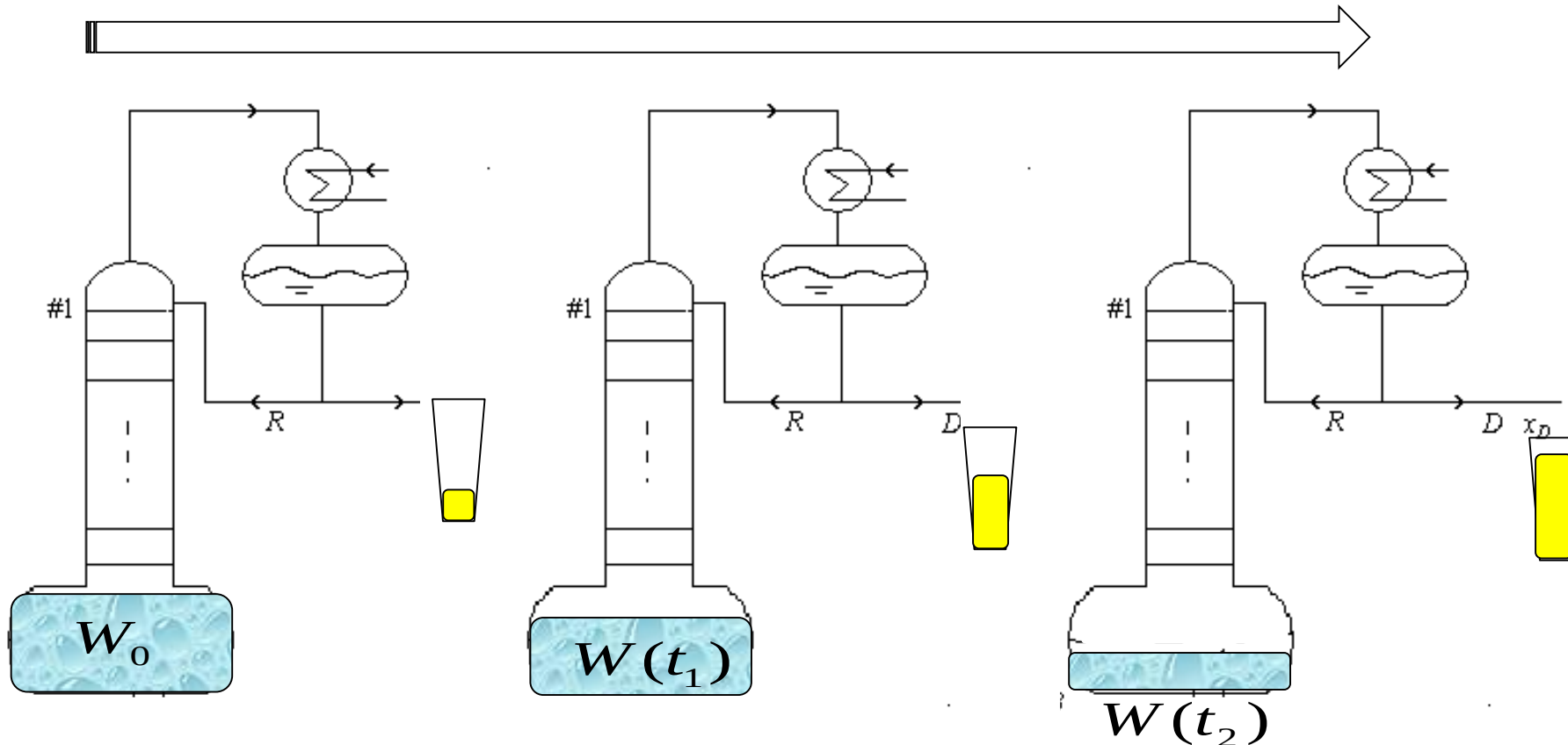
CONCENTRAÇÃO DO DESTILADO

Concentração média no destilado.

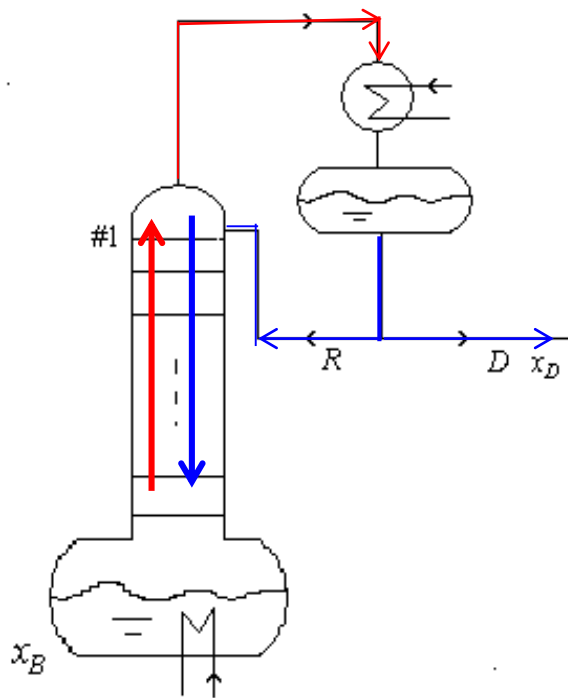
Concentração média no destilado.

- R constante: no início, x_D está acima da especificação; no fim, abaixo.
- Balanço material: fração média no destilado em um instante t:

$$xD_{\text{médio}}(t) = \frac{W_0 x_0 - W(t) x_w(t)}{W_0 - W(t)}$$



Destilação em Batelada



Balanço material

$$-dW = dD$$

$$Wx_w = (W - dW)(x_w - dx_w) + dWx_D$$

$$\cancel{W} \cancel{x_w} = \cancel{W} \cancel{x_w} - dWx_w - Wdx_w + \cancel{dW} \cancel{dx_w} + dWx_D$$

$$\int_{W_0}^W \frac{dW}{W} = \int_{x_{w0}}^{x_w} \frac{dx_w}{(x_D - x_w)}$$

$$\ln \frac{W}{W_0} = \int_{x_{w0}}^{x_w} \frac{dx_w}{(x_D - x_w)}$$

❑ Relação entre a quantidade remanescente no refeedor e sua concentração.

Dados tabulados:
Integração gráfica/numérica



Destilação em Batelada

DESTILAÇÃO EM BATELADA: MODO DE OPERAÇÃO

Refluxo Variável

❑ Existe um *compromisso* entre a quantidade de destilado e a concentração do componente mais volátil.

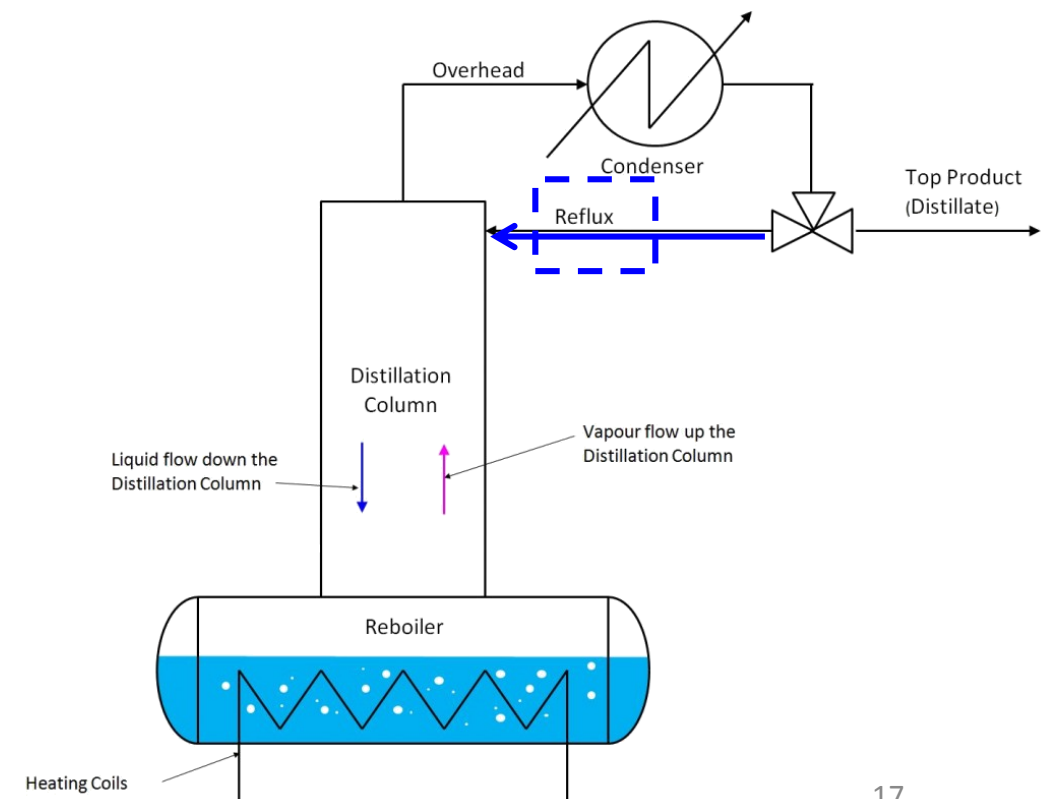
Refluxo constante Vs Refluxo Variável

❑ Por que refluxo?

❑ Vantagens e desvantagens.



- Obter a máxima quantidade de destilado.
- No menor tempo.
- Com menor consumo de energia.

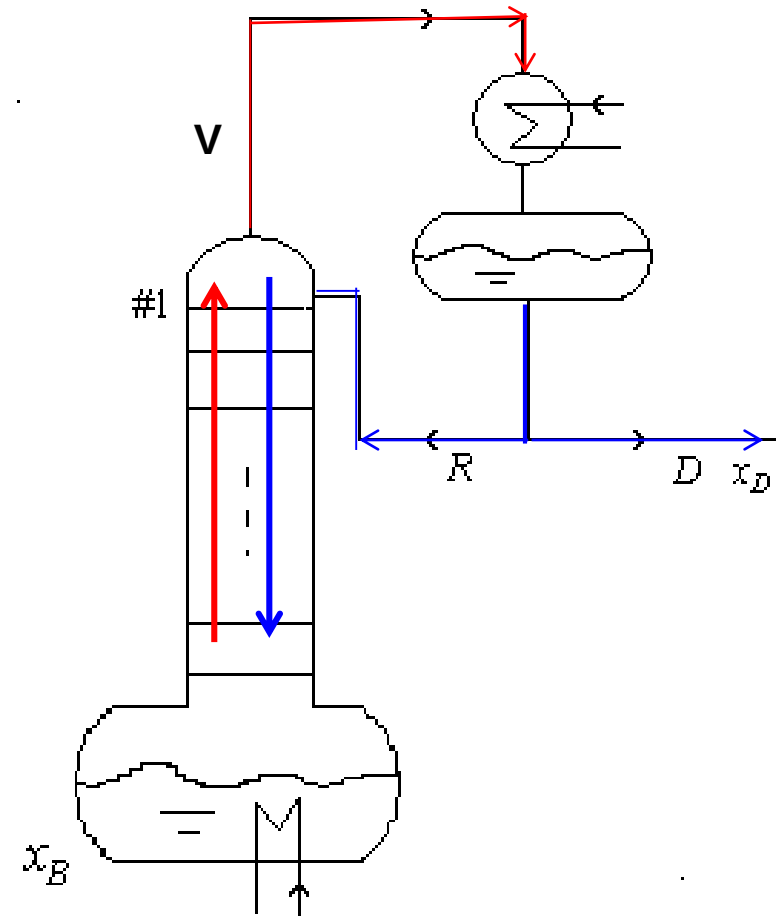


Destilação em Batelada

DESTILAÇÃO EM BATELADA: MODO DE OPERAÇÃO

- ❑ Fração do componente mais volátil no destilado (x_D) vai **gradualmente diminuindo** com o tempo à medida que mais destilado vai sendo produzido.
- ❑ Refluxo pode ser manipulado para manter a **qualidade (pureza)** do produto de interesse.

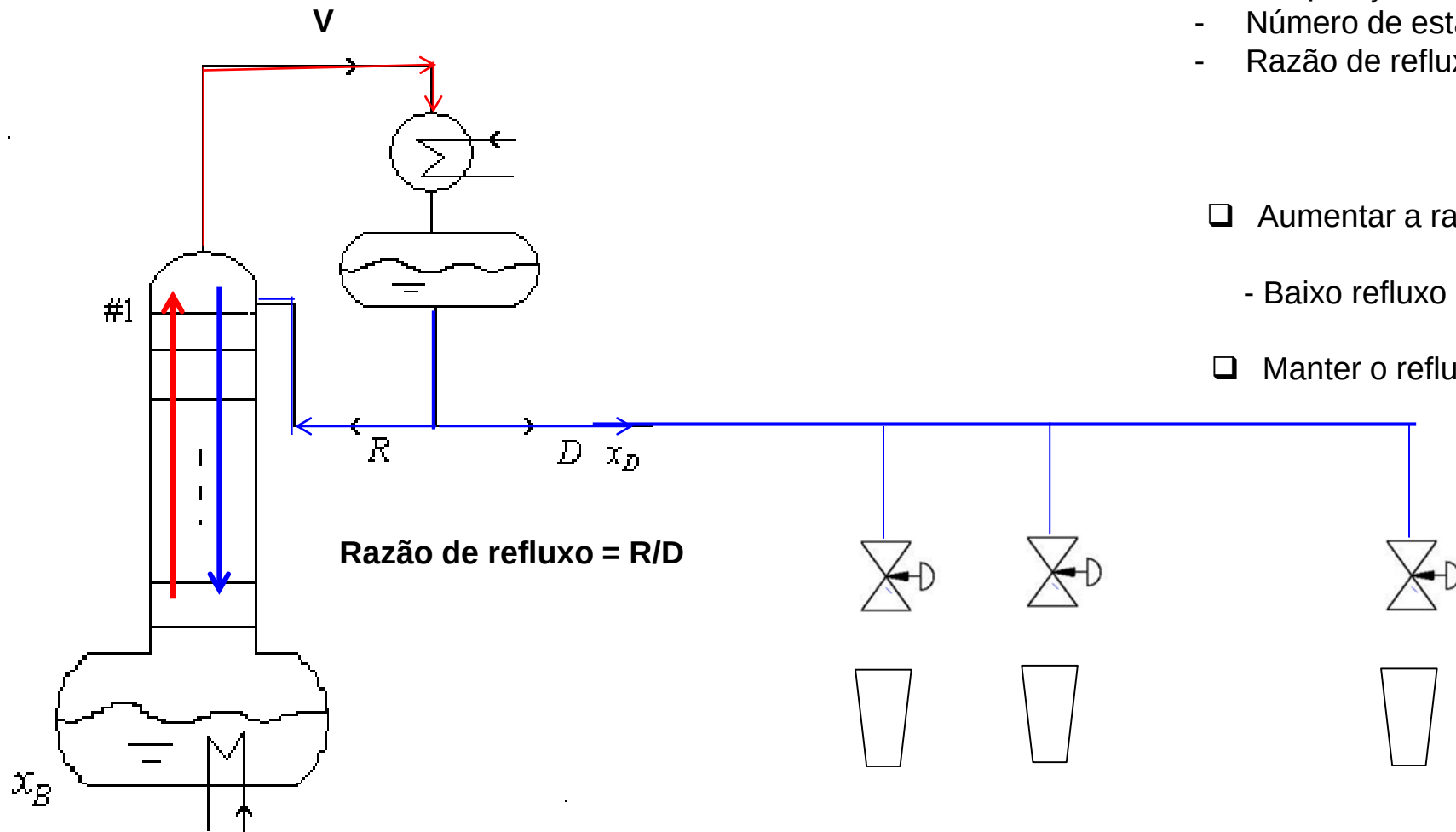
MÚLTIPLOS ESTÁGIOS





Destilação em Batelada

DESTILAÇÃO EM BATELADA: MODO DE OPERAÇÃO



- ❑ Uma **quantidade fixa de carga** é adicionada ao refeedor.
- ❑ Composição do destilado varia com o tempo. É função de:
 - Composição do líquido no refeedor (que varia com o tempo).
 - Número de estágios.
 - Razão de refluxo.

Estratégias

- ❑ Aumentar a razão de refluxo para manter a composição constante.
 - Baixo refluxo no início e gradativamente aumentando.
- ❑ Manter o refluxo e parar o processo quando $x_D < \text{limite}$.

Destilação em Batelada

DESTILAÇÃO EM BATELADA: MODO DE OPERAÇÃO

- REFLUXO CONSTANTE.

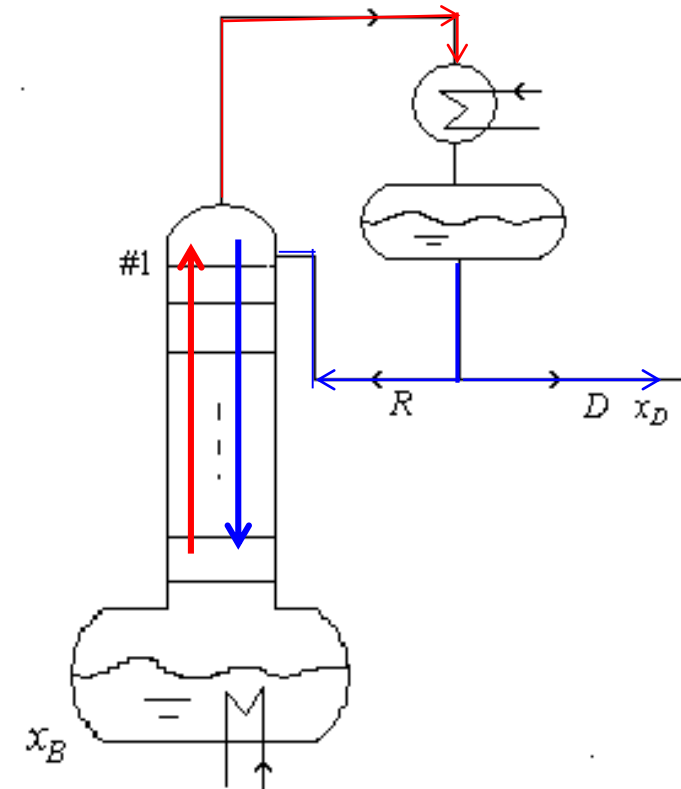
- Geralmente o consumo de energia é maior (especialmente em destilações para alta pureza).
- Relativamente simples.
- Destilação de alta pureza pode ser inviável.

- REFLUXO VARIÁVEL.

- O processo é parado quando o refluxo atinge um limite.
- Mais laboriosa.

- COMBINAÇÃO DOS 2 MÉTODOS.

- Campanhas com períodos de R constante e períodos de R variável, podendo incluir períodos de refluxo total.



Destilação em Batelada

REFLUXO VARIÁVEL

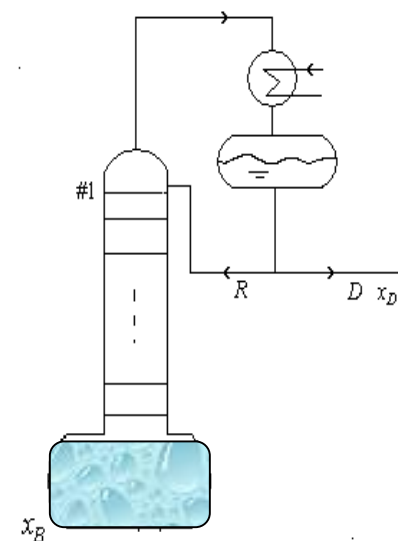
Do balanço de massa no componente-chave mais volátil:

$$xD_{\text{médio}}(t) = \frac{W_0 x_0 - W(t) x_w(t)}{W_0 - W(t)}$$

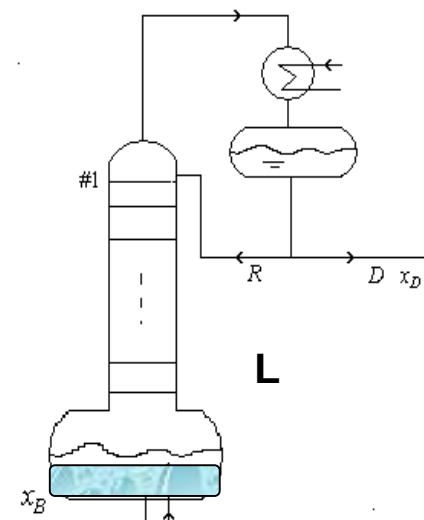
x_D constante

$$W(t) = W_0 \left[\frac{x_D - x_0}{x_D - x_w(t)} \right]$$

Carga em t



t_0
 W_0



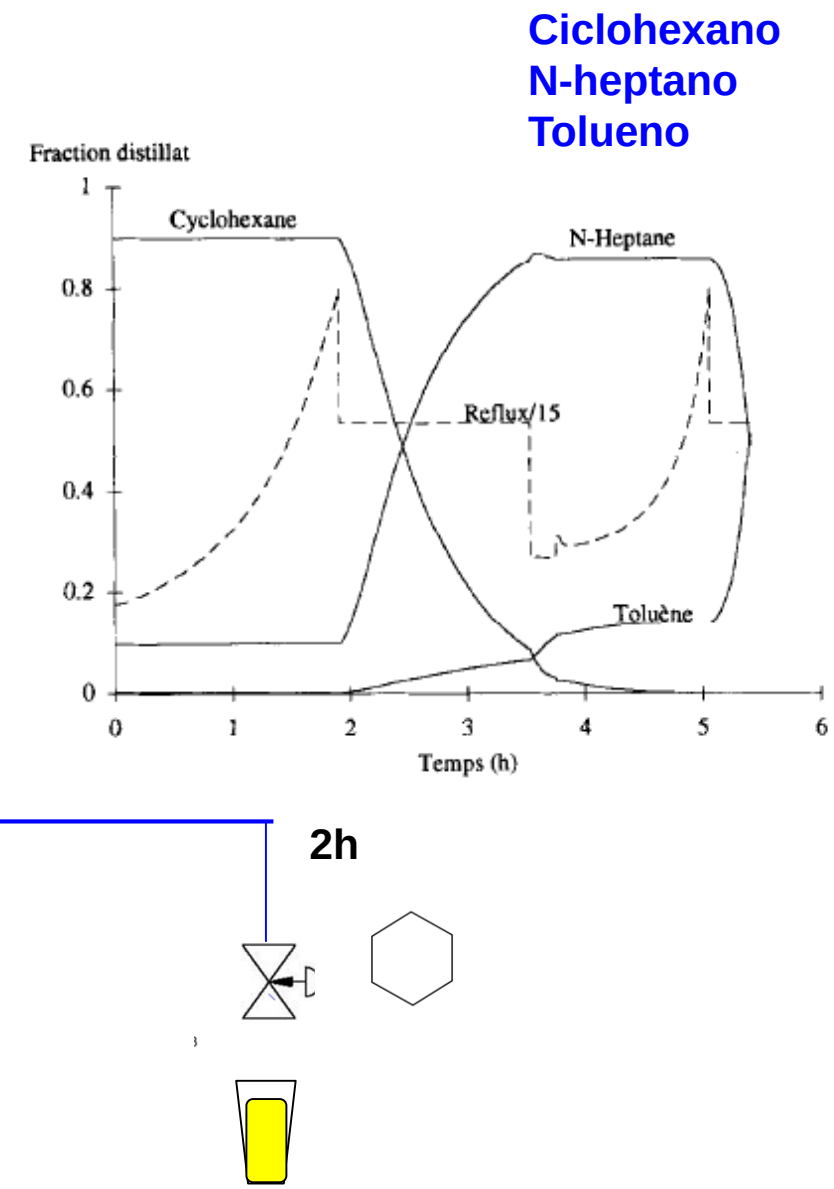
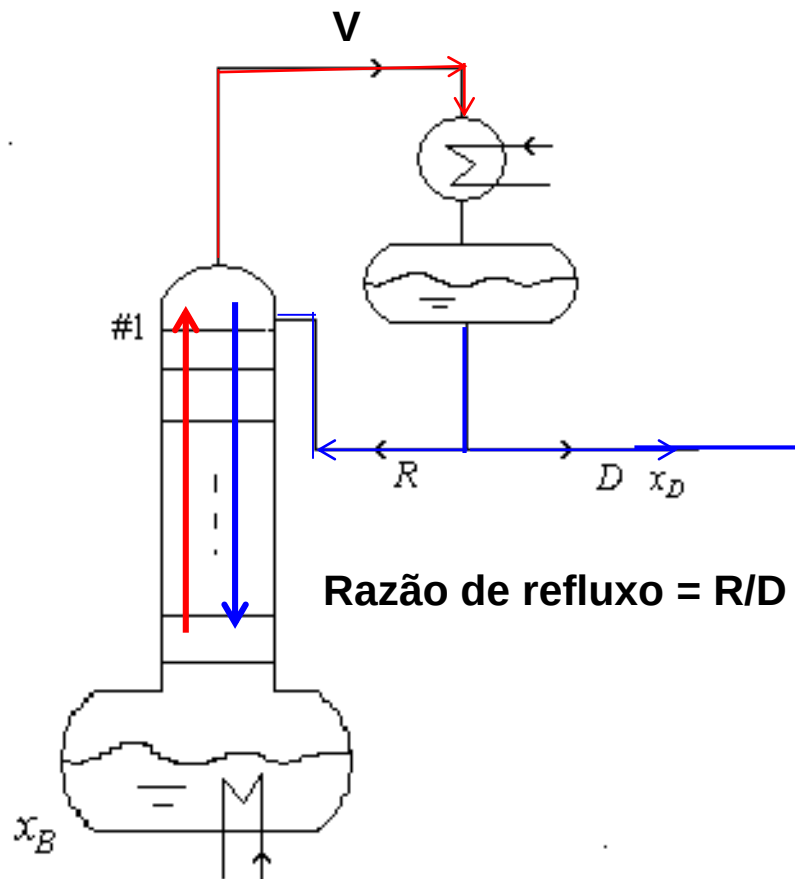
$W(t)$



Destilação em Batelada

DESTILAÇÃO EM BATELADA: CAMPANHAS COMBINADAS DE R CONSTANTE E VARIÁVEL

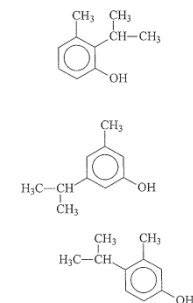
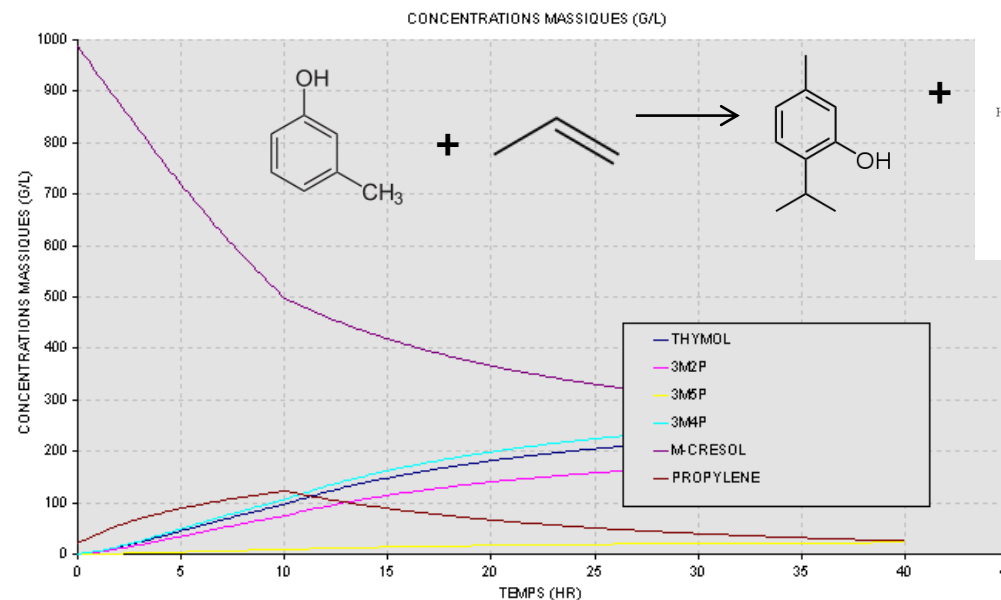
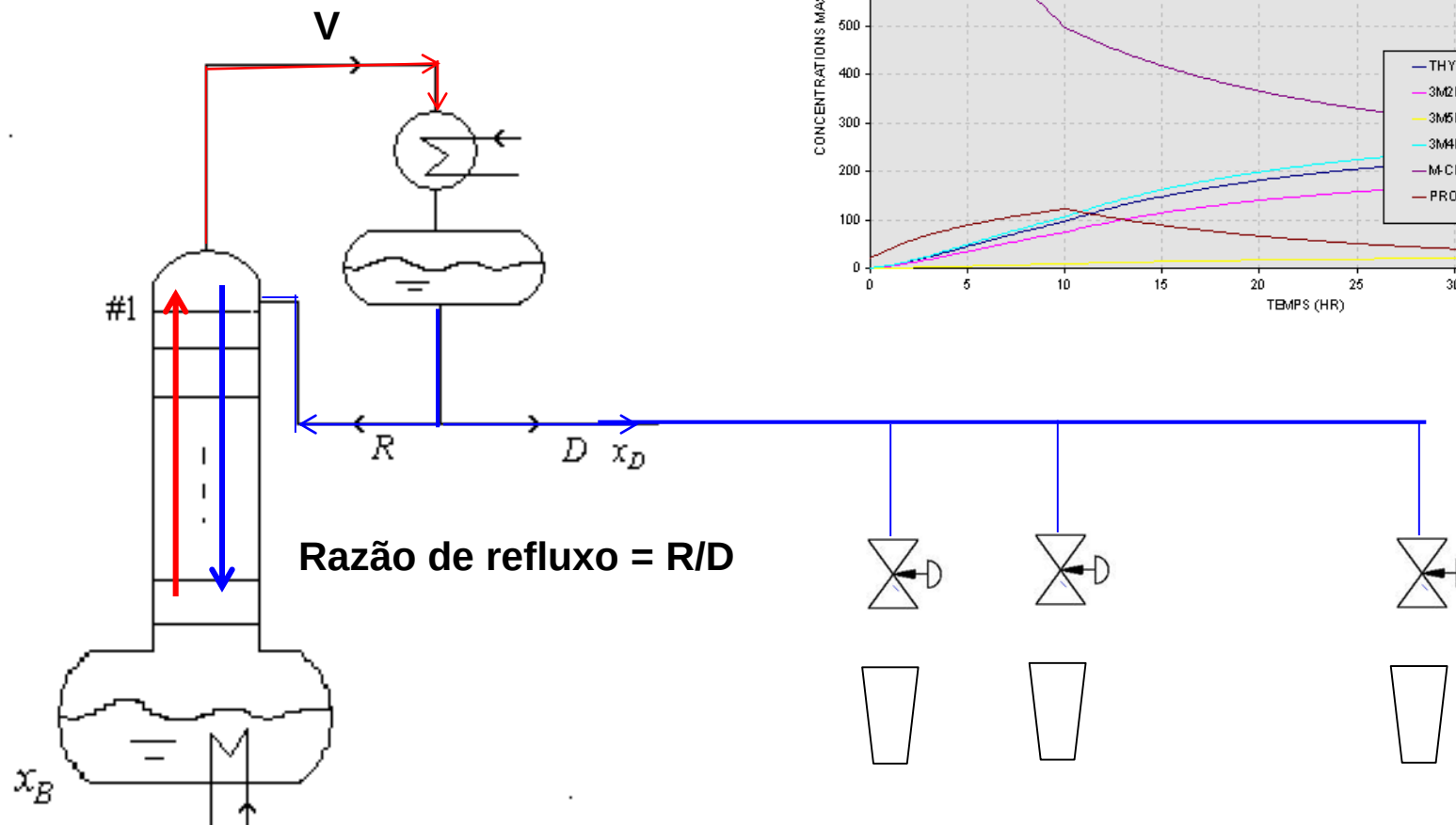
- ❑ Sistemas multicomponentes de difícil separação.
 - Períodos de x_D constante: R crescente



Destilação em Batelada

DESTILAÇÃO EM BATELADA: EXEMPLO INDUSTRIAL

❑ Sistemas multicomponentes de difícil separação.



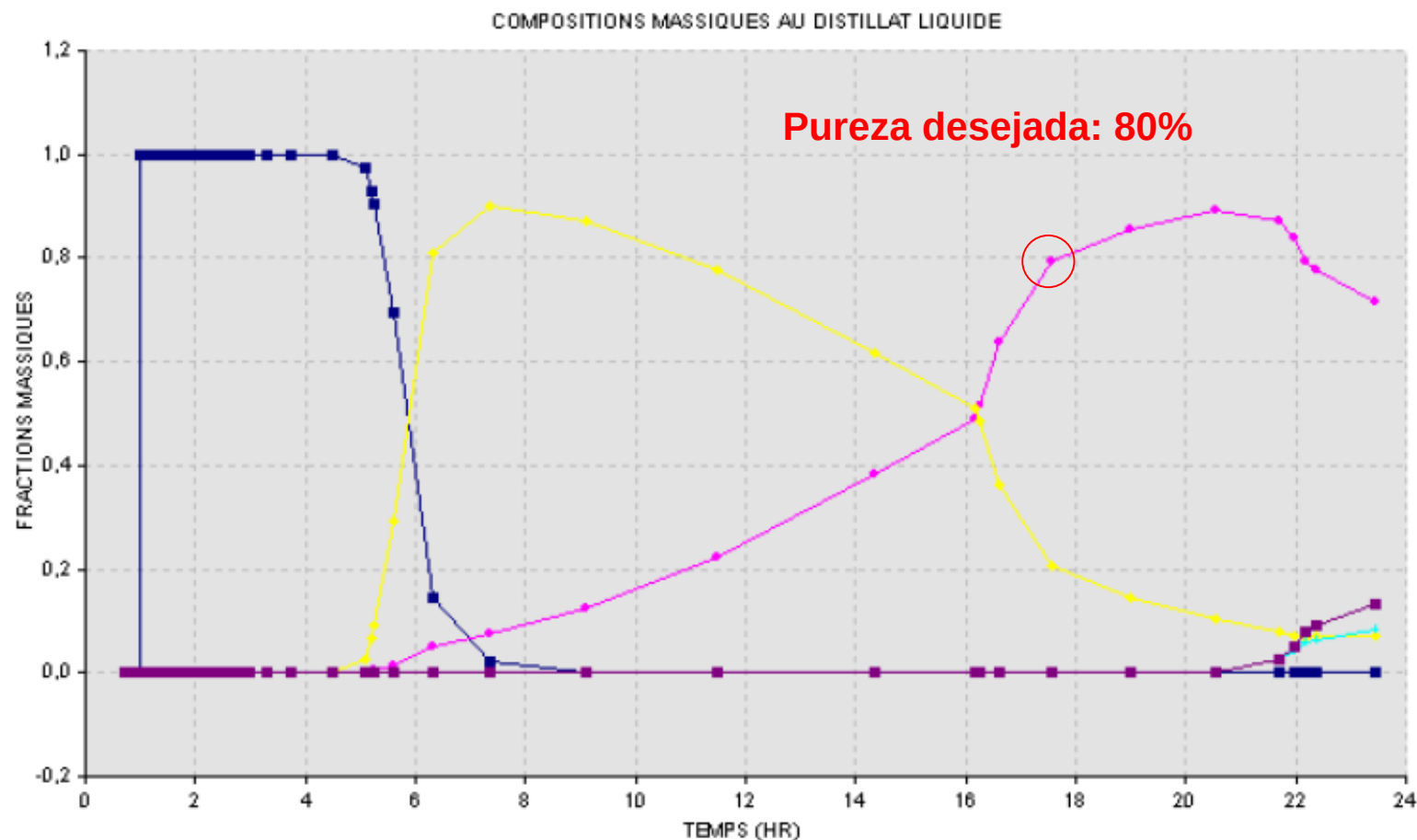


Destilação em Batelada

DESTILAÇÃO EM BATELADA: EXEMPLO INDUSTRIAL

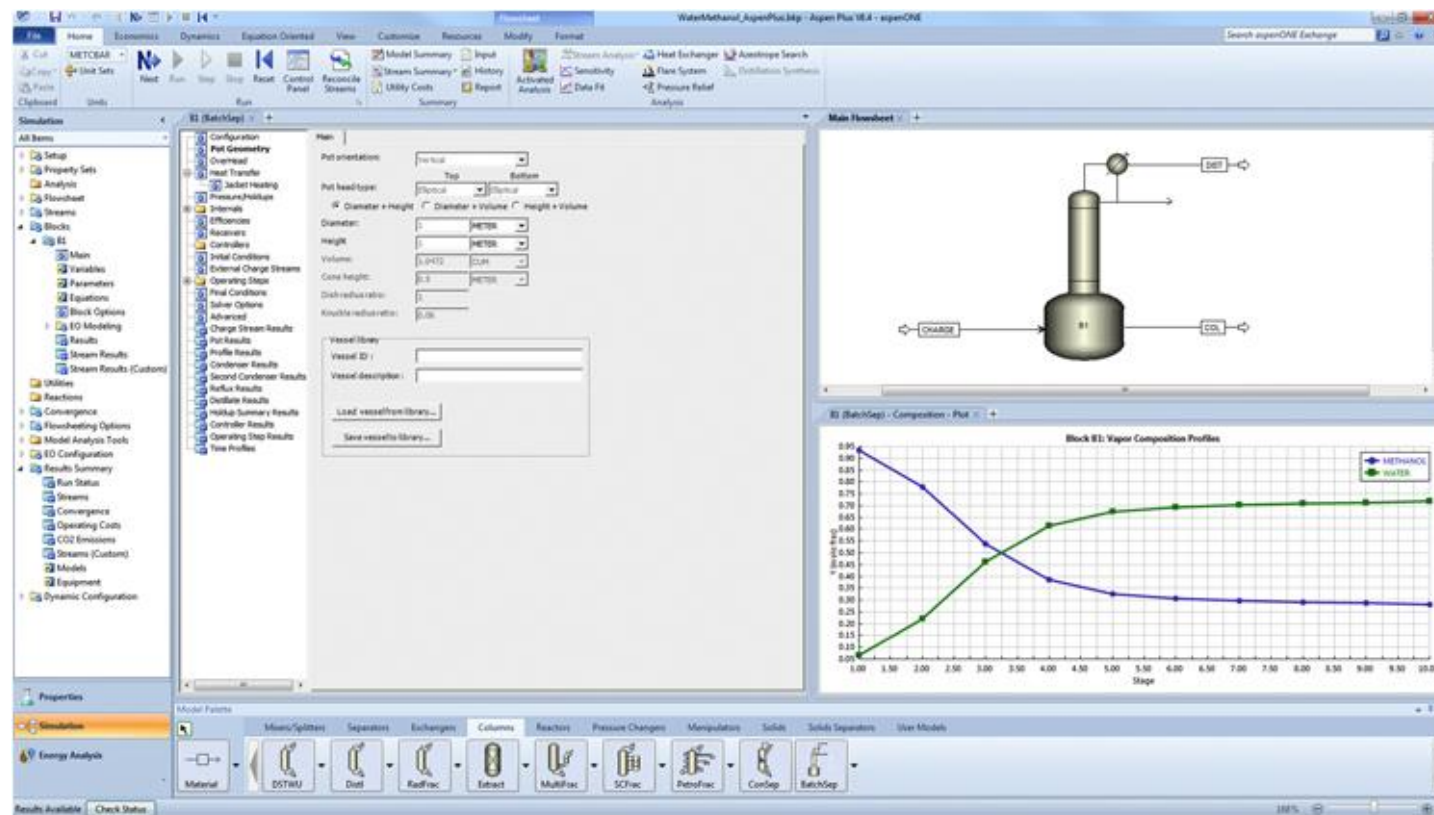
❑ Sistemas multicomponentes de difícil separação.

- Em que momento iniciar a recuperação do thymol?
- Pureza Vs quantidade.

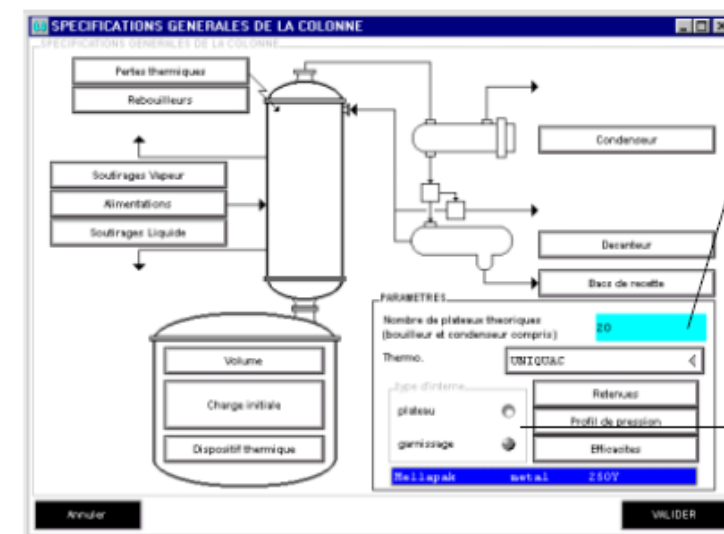


Destilação em Batelada

DESTILAÇÃO EM BATELADA: SIMULADORES



<http://www.aspentech.com/products/aspens-batch-modeler.aspx>



❑ Fundamentos e simuladores comerciais.

<http://www.prosim.net/fr/logiciels-batchcolumn-9.php>



Destilação em Batelada

ASPECTOS ECONÔMICOS

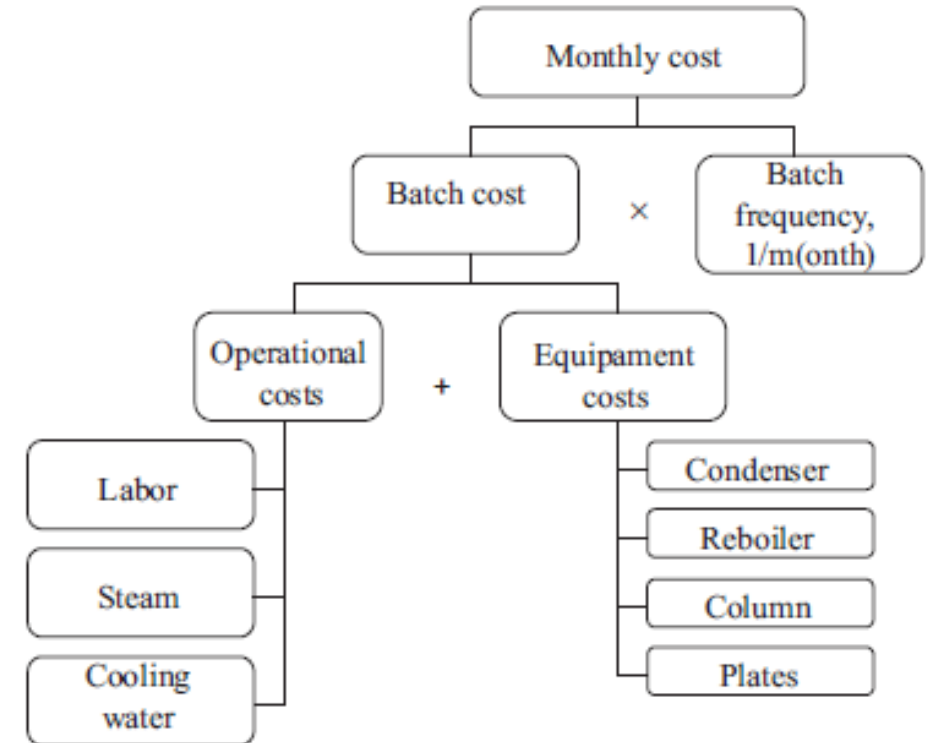
Chemical Engineering and Processing 49 (2010) 1298–1304



Contents lists available at ScienceDirect

Chemical Engineering and Processing:
Process Intensification

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cep



Batch distillation: Better at constant or variable reflux?

Maíra Mendes Lopes, Tah Wun Song*

Department of Chemical Engineering, Polytechnic School, University of São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3, No. 380, 05508-970 São Paulo, SP, Brazil