Columna de destilación y supuesto de flujos molares Constantes

IIQ2023 - Operaciones Unitarias II

José Rebolledo Oyarce

25 de Marzo de 2021

Contenidos

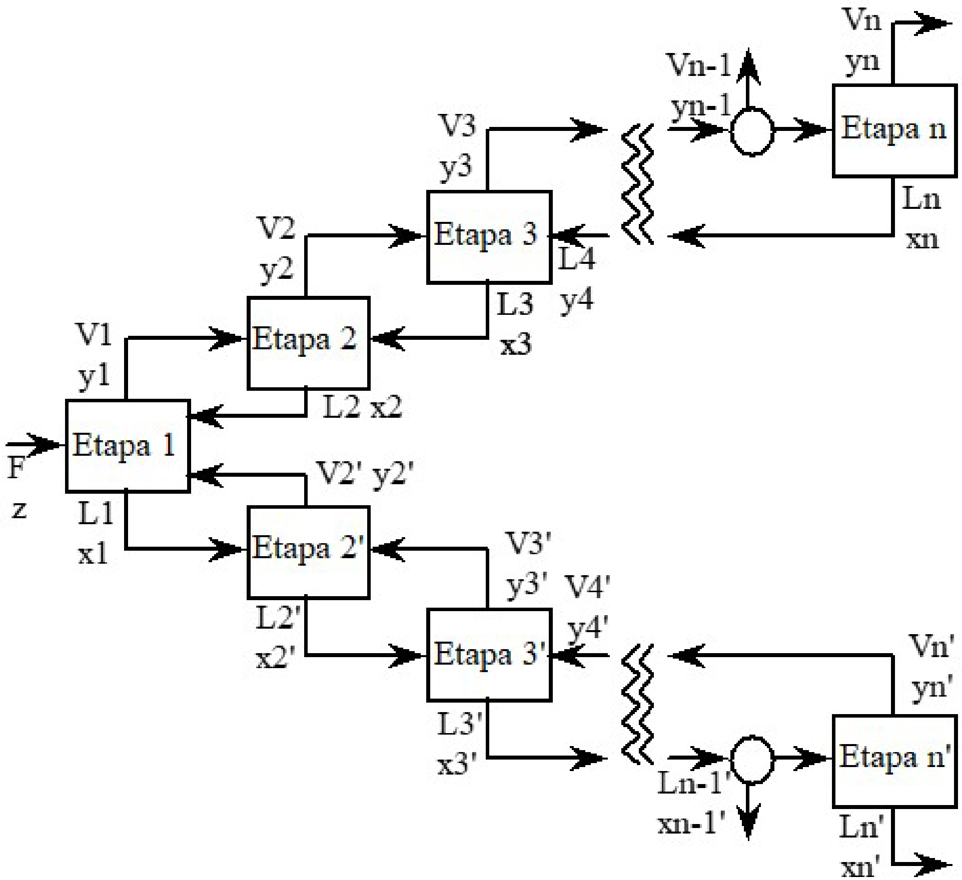
- Recordatorio de Clase Anterior
- Objetivos de la Clase
- Introducción al Método de McCabe – Thiele
  - Supuesto de Flujos Molares Constantes
  - Balance de Materia general

Objetivos de la Clase

- Comprender la lógica del diseño de una columna de destilación.

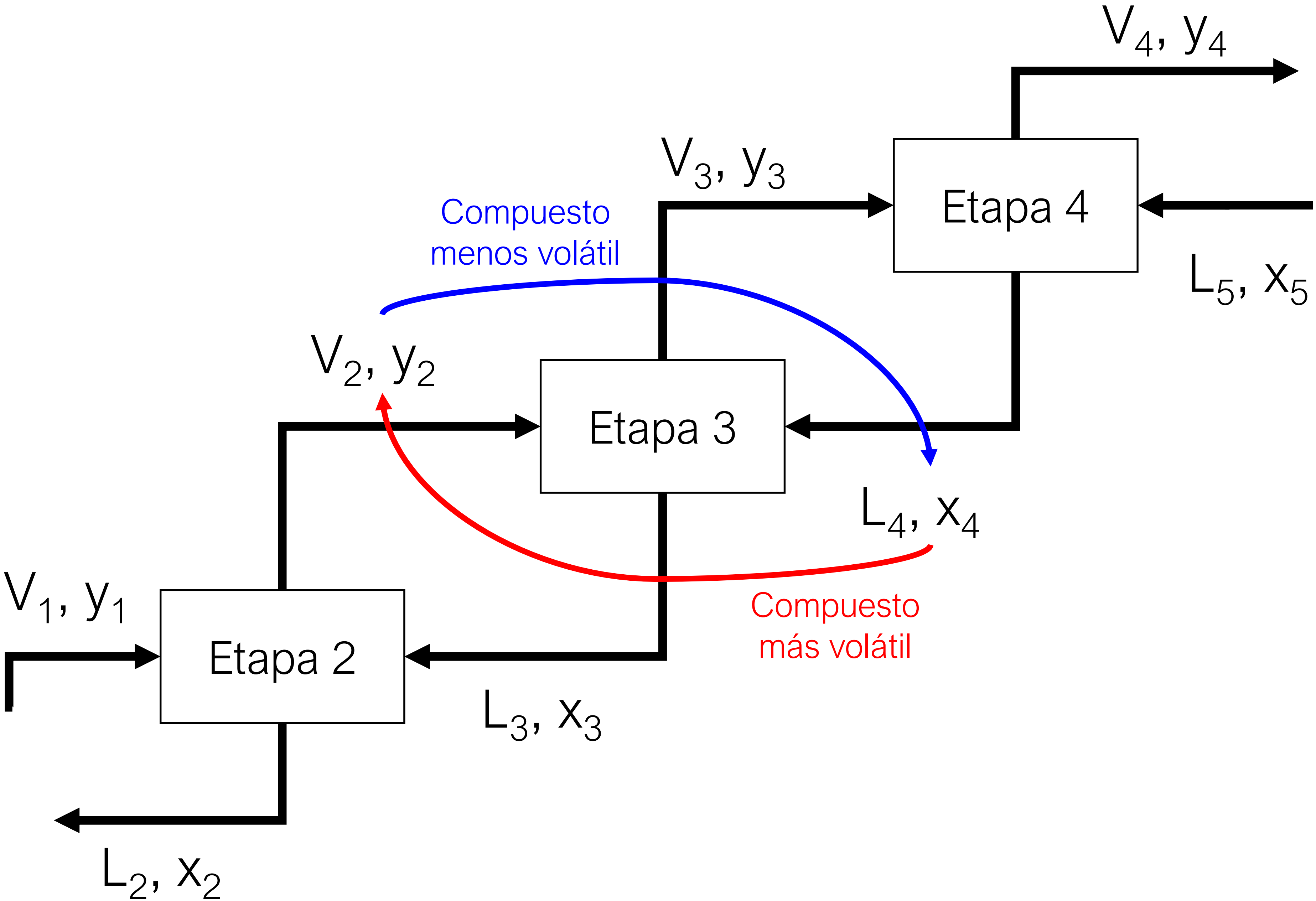
- Entendieron el concepto de etapa ideal en una columna destilación.

- Comprender el concepto de línea de operación en una columna de destilación.



- Los intercambiadores de calor en los extremos de los arreglos de separación son todavía necesarios, pues no hay ni líquido ni vapor que regrese a cada una de las unidades y la 2^{da} fase se debe generar.

- El calentador en la alimentación no es realmente necesario, mientras el vapor que llegue a la unidad sea suficiente para generar la 2^{da} fase.



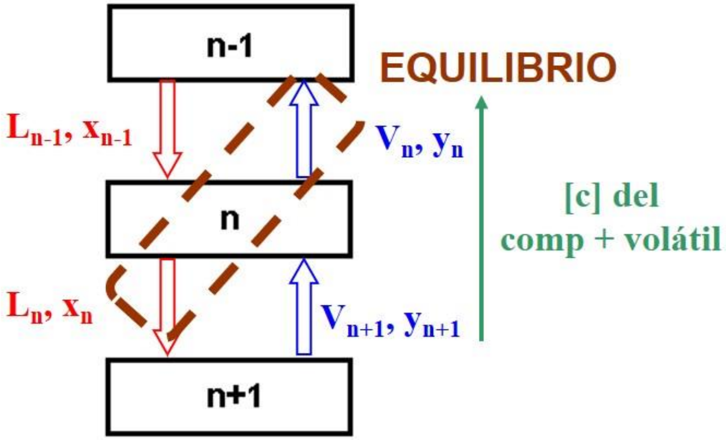
V_4, y_4
V_3, y_3
Etapa 4
Compuesto
menos volátil
L_5, x_5
V_2, y_2
Etapa 3
L_4, x_4
V_1, y_1
Compuesto
más volátil
Etapa 2
L_3, x_3
L_2, x_2

Concepto de plato o etapa ideal

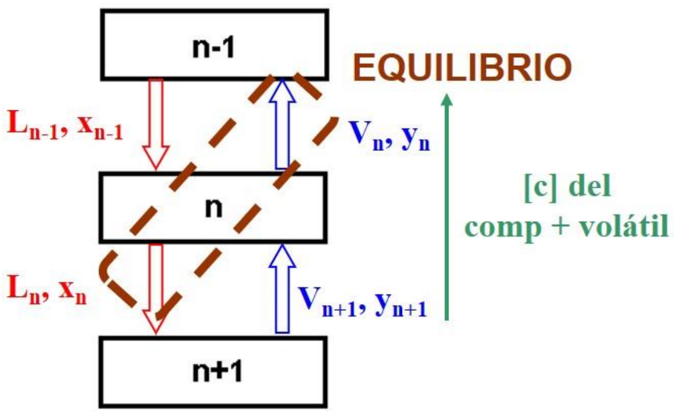
En la realidad las corrientes que salen de cada plato o etapa no están en equilibrio, pero es mucho mas próximas al equilibrio de lo que estaban las corrientes de entrada.

La proximidad al equilibrio depende de la eficacia de la mezcla y de la transferencia de materia entre las fases.

Para simplificar el diseño de la columna se supone que las corrientes salen en equilibrio, lo que por definición conduce al concepto de "etapa ideal".



Supuesto de flujos molares constantes (mezcla binaria)



Los balances de materia (global) y energía (usando las condiciones de L_n como estado de referencia) para la etapa ideal son respectivamente:

$$L_{n-1} + V_{n+1} = L_n + V_n$$

$$L_{n-1}\Delta H_{L,n-1}(T_{n,l}) + V_{n+1}\Delta H_{V,n+1}(T_{n,l}) = L_n\Delta H_{L,n}(T_{n,l}) + V_n\Delta H_{V,n}(T_{n,l})$$

Los cálculos para determinar los flujos que entran y salen de cada plato son engorrosos, por lo que se hará una simplificación.

0 (ref. $T_{n,l}$)

$$L_{n-1}\Delta H_{L,n-1}\left(T_{n,l}\right) + V_{n+1}\Delta H_{V,n+1}\left(T_{n,l}\right) = L_n \Delta H_{L,n}\left(T_{n,l}\right) + V_n \Delta H_{V,n}\left(T_{n,l}\right)$$

$$\Longleftrightarrow$$

Supuesto: Capacidades caloríficas constantes

Las temperaturas entre platos adyacentes son similares

$$L_{n-1} \cdot \left[x_{n-1} \cdot c_{pl,A} \cdot (T_{n-1} - T_n) + (1 - x_{n-1}) \cdot c_{pl,B} \cdot (T_{n-1} - T_n)\right] +$$

$$V_{n+1} \cdot [y_{n+1} \cdot \left\{c_{pl,A} \cdot (T_{n+1} - T_n) + \Delta H_{LV,A}(T_{n+1})\right\}$$

$$+(1 - y_{n+1}) \cdot \left\{c_{pl,B} \cdot (T_{n+1} - T_n) + \Delta H_{LV,B}(T_{n+1})\right\}]$$

$$= V_n \cdot \left[y_n \cdot \Delta H_{LV,A}(T_n) + (1 - y_n) \cdot \Delta H_{LV,B}(T_n)\right]$$

0 (ref. $T_{n,l}$)

$$L_{n-1}\Delta H_{L,n-1}(T_{n,l}) + V_{n+1}\Delta H_{V,n+1}(T_{n,l}) = \cancelto{0}{L_n \Delta H_{L,n}(T_{n,l})} + V_n \Delta H_{V,n}(T_{n,l})$$

$$\Longleftrightarrow$$

Supuesto: Capacidades caloríficas constantes

Las temperaturas entre platos adyacentes son similares

$$\cancelto{0}{L_{n-1}\cdot\left[x_{n-1}\cdot c_{pl,A}\cdot(T_{n-1}-T_n) + (1-x_{n-1})\cdot c_{pl,B}\cdot(T_{n-1}-T_n)\right]} +$$

$$V_{n+1}\cdot\left[y_{n+1}\cdot\left\{c_{pl,A}\cdot\cancelto{0}{(T_{n+1}-T_n)} + \Delta H_{LV,A}(T_{n+1})\right\}\right.$$

$$\left. + (1-y_{n+1})\cdot\left\{c_{pl,B}\cdot\cancelto{0}{(T_{n+1}-T_n)} + \Delta H_{LV,B}(T_{n+1})\right\}\right]$$

$$= V_n\cdot\left[y_n\cdot\Delta H_{LV,A}(T_n) + (1-y_n)\cdot\Delta H_{LV,B}(T_n)\right]$$

$$V_{n+1} \cdot \left[y_{n+1} \cdot \Delta H_{LV,A}(T_{n+1}) + (1 - y_{n+1}) \cdot \Delta H_{LV,B}(T_{n+1})\right]$$

$$= V_n \cdot \left[y_n \cdot \Delta H_{LV,A}(T_n) + (1 - y_n) \cdot \Delta H_{LV,B}(T_n)\right]$$

Si además los calores latentes de los dos compuestos son aprox. ctes. e iguales, i.e. $\Delta H_{LV,A}(T_n) \approx \Delta H_{LV,B}(T_n)$, se obtiene:

$$V_{n+1}[y_{n+1} + (1 - y_{n+1})] - V_n \cdot [y_n + (1 - y_n)] \approx 0$$

$$\Leftrightarrow V_n \approx V_{n+1}$$

Finalmente, reemplazando esta igualdad en el balance de masa global

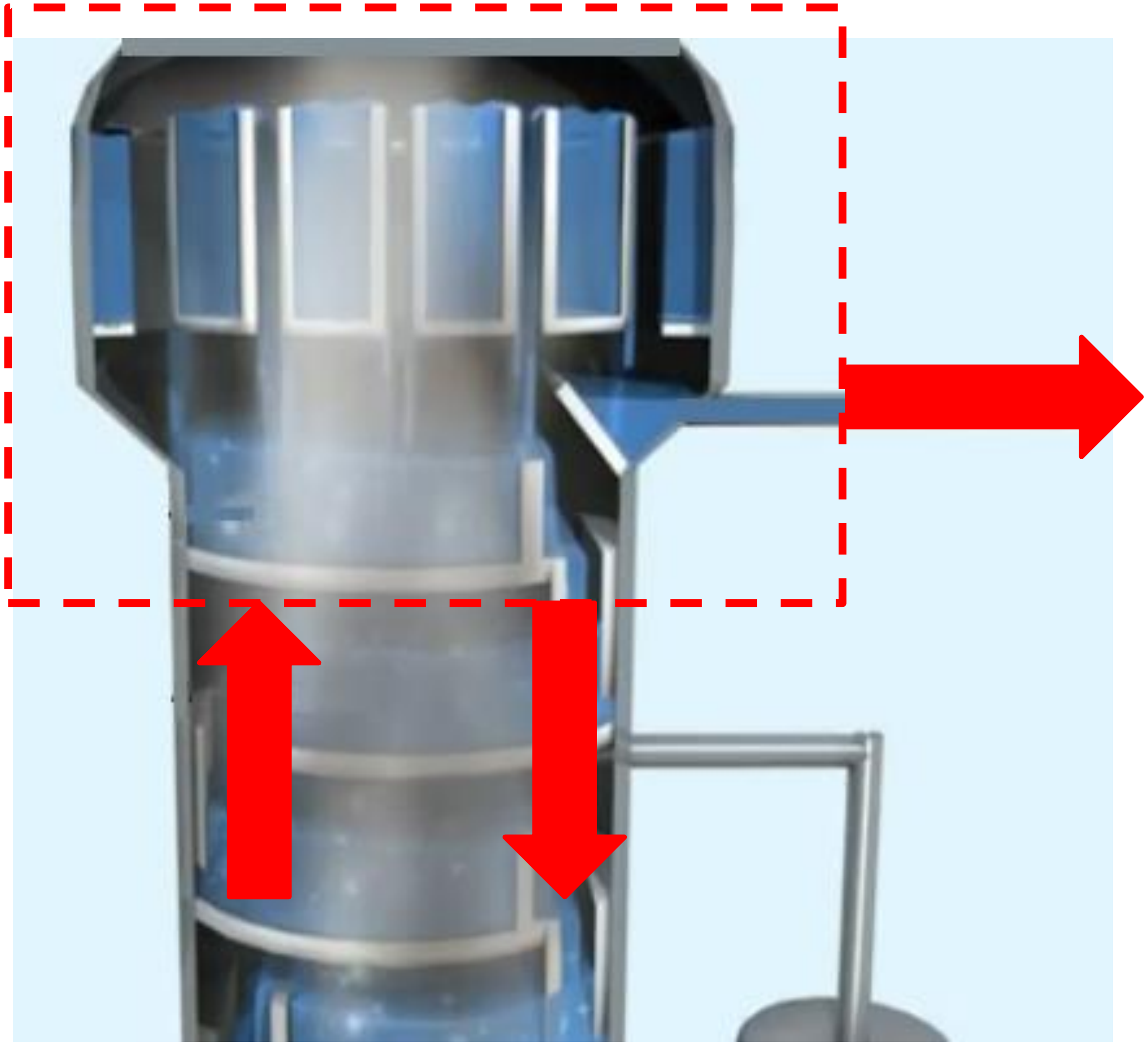
(L_{n-1}-L_n = V_n-V_{n+1}), resulta:

$$L_n \approx L_{n-1}$$

Las relaciones anteriores (V_n = constante, L_n = constante) corresponden al así denominado supuesto de "flujos molares constantes" que se utiliza en el desarrollo del método de McCabe y Thiele de cálculo de columnas de destilación.

Balance de Materia

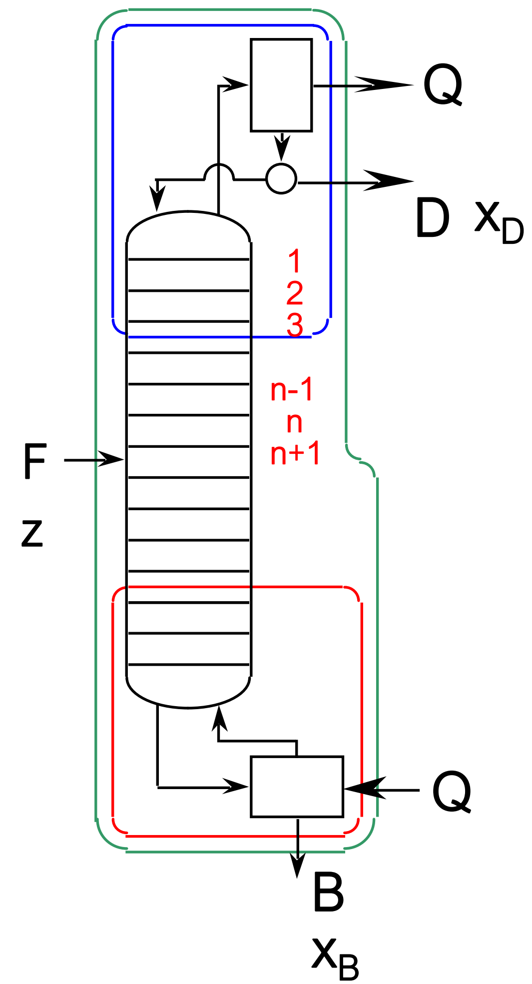
¿Qué flujos entran y salen de la envolvente?



Líneas de operación (relación entre corrientes que se cruzan)

Nomenclatura:

D = flujo molar de producto de cabeza o destilado
x_D = fracción molar de A en el destilado
B = flujo molar de producto de cola (bottom)
x_B = fracción molar de A en el producto de cola
V = flujo molar de vapor en la sección de enriquecimiento o rectificación (superior) de la columna
L = flujo molar de líquido en la sección de enriquecimiento de la columna
$\overline{V}$ = flujo molar de vapor en la sección de agotamiento (inferior) de la columna
$\overline{L}$ = flujo molar de líquido en la sección de agotamiento de la columna

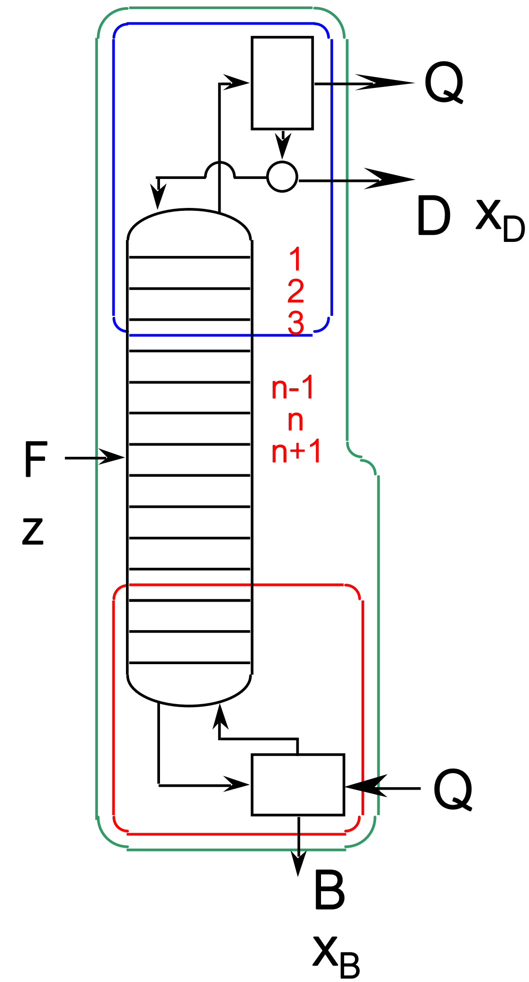


Balance de Materia (Mezcla Binaria A y B)

- **Toda la columna**

Balance de materia global : $F = D + B$

Balance de materia para A : $F \cdot z = D \cdot x_D + B \cdot x_B$

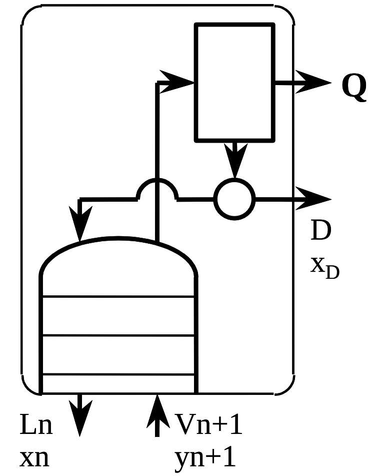


Balance de Materia (Mezcla Binaria A y B)

- **Sección de rectificación**

Balance de materia global : $V_{n+1} = L_n + D$

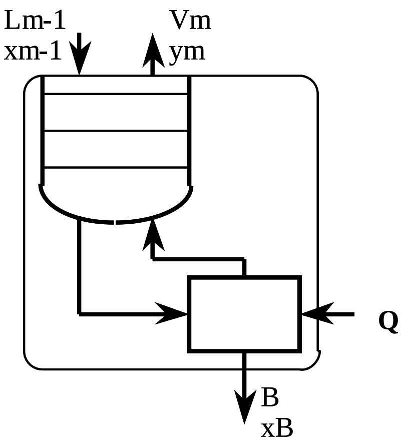
Balance de materia para A : $V_{n+1} \cdot y_{n+1} = L_n \cdot x_n + D \cdot x_D$



- **Sección de agotamiento**

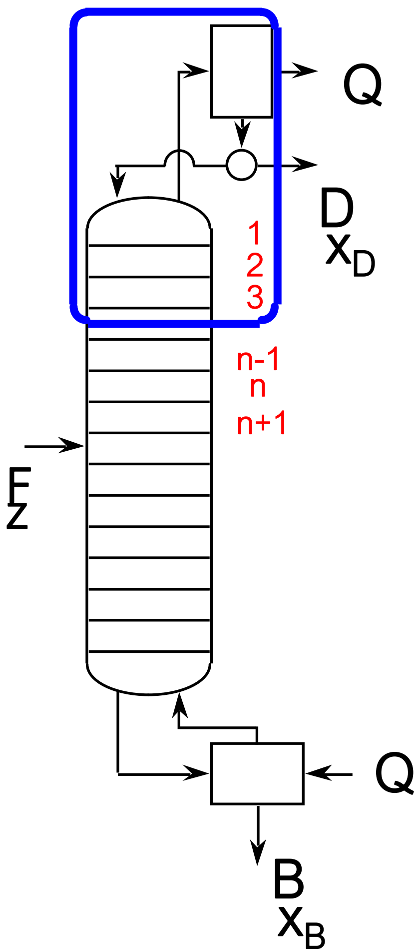
Balance de materia global : $L_{m-1} = V_m + B$

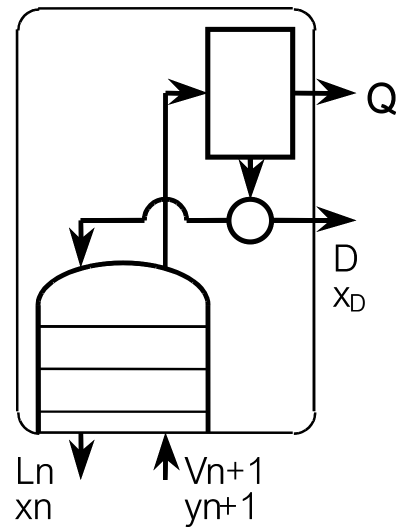
Balance de materia para A : $L_{m-1} \cdot x_{m-1} = V_m \cdot y_m + B \cdot x_B$



¿Qué lugares geométricos quedan definidos en cada envolvente en gráfico x,y?

Línea de operación en zona de rectificación (LOR)





<u>Balances de materia:</u>

$$V_{n+1} = L_n + D$$

$$V_{n+1} \cdot y_{n+1}$$

$$= L_n \cdot x_n + D \cdot x_D$$

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} \cdot x_n + \frac{D}{V_{n+1}} \cdot x_D$$

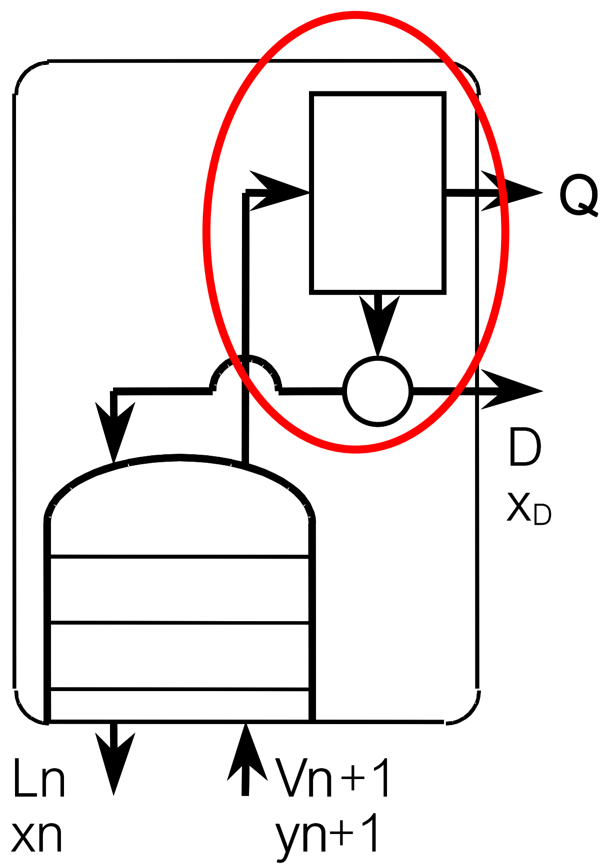
Considerando L/V constantes, y eliminando subíndices:

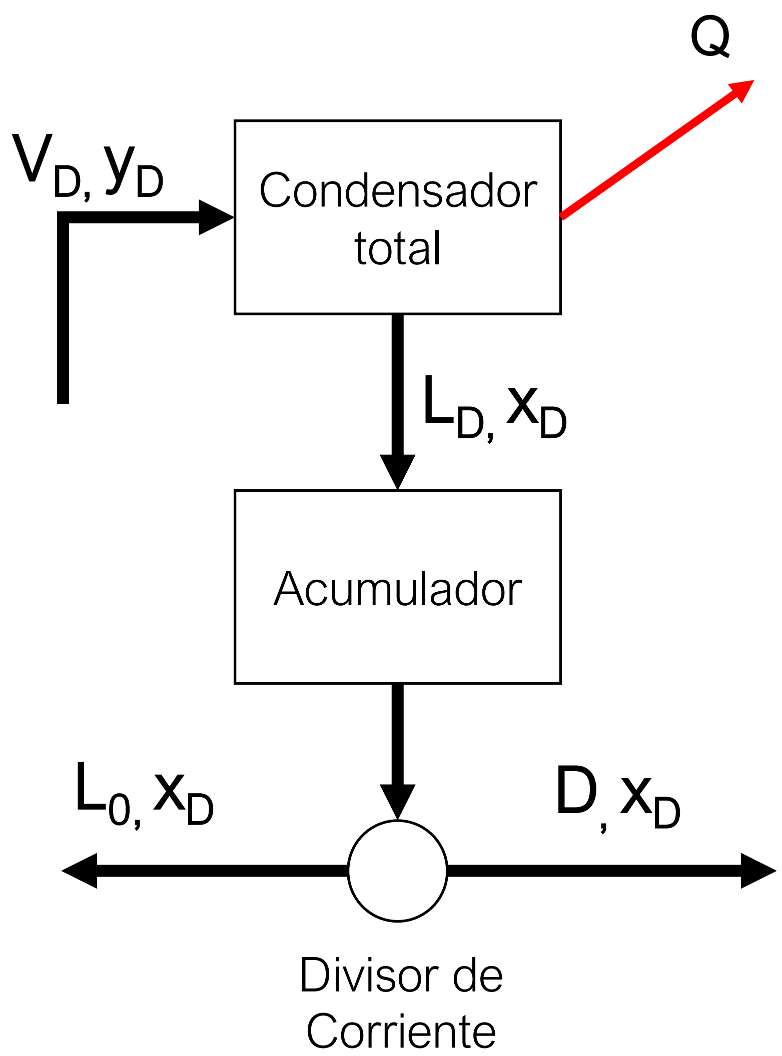
$$\boxed{y = \frac{L}{V} \cdot x + \frac{D}{V} \cdot x_D} \quad \text{LOR}$$

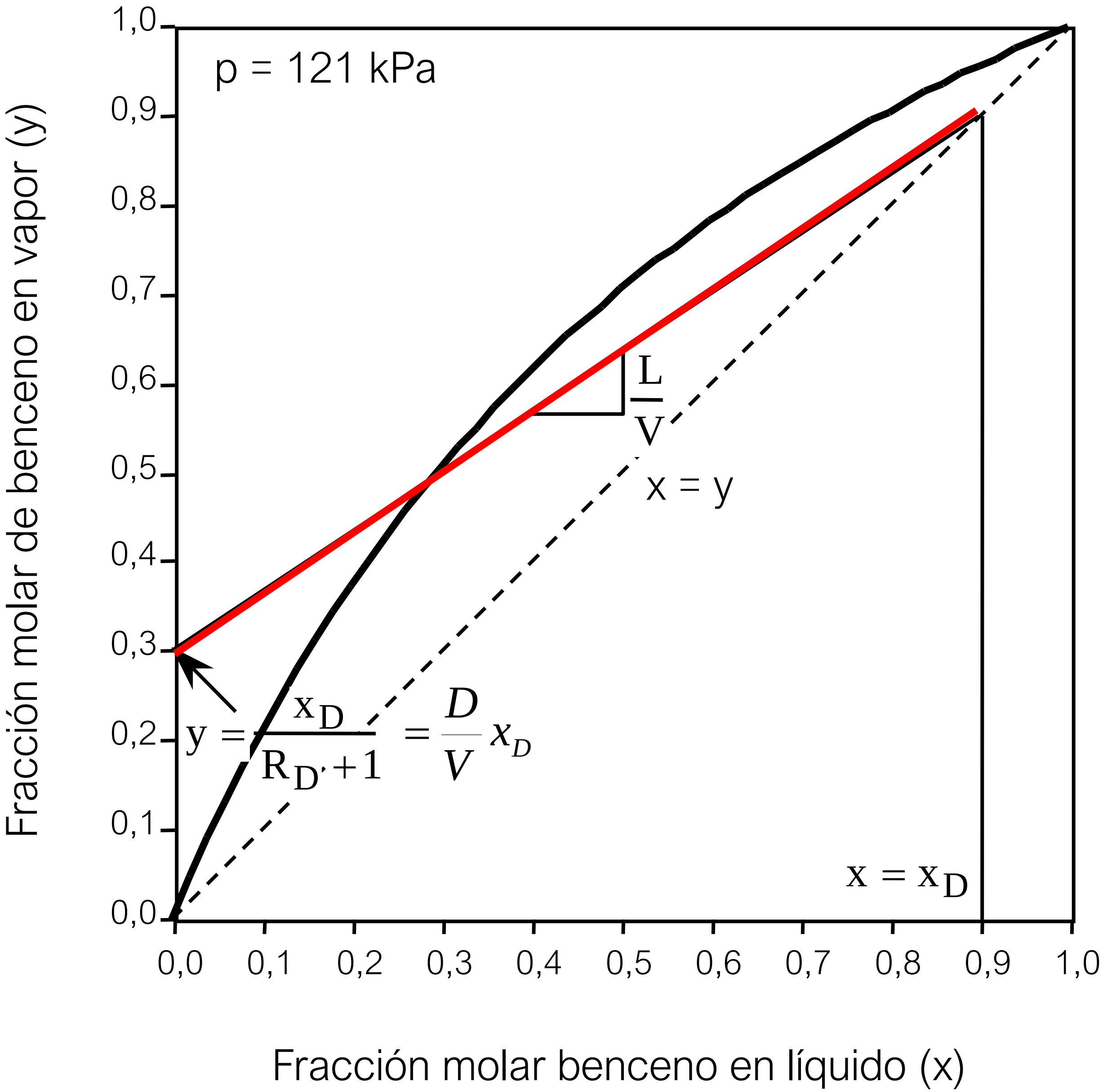
$$V = L + D$$

$$\therefore V > L \ \rightarrow \frac{L}{V} < 1$$

Concepto de Reflujo en una columna de destilación







LOR: $y = \frac{L}{V} \cdot x + \frac{D}{V} \cdot x_D$

Definiendo Relación de Reflujo como: $R_D = L/D$

LOR: $y = \frac{R_D}{R_D+1} \cdot x + \frac{x_D}{R_D+1}$

Pto. corte con x=y

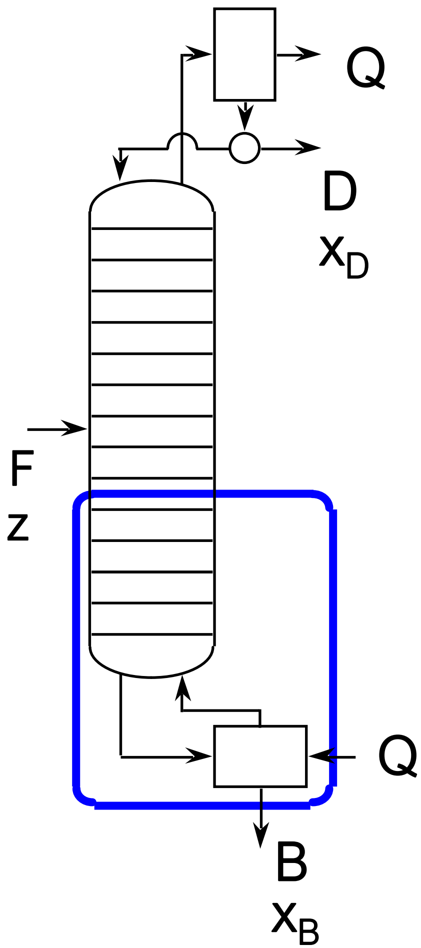
$x = y = x_D$

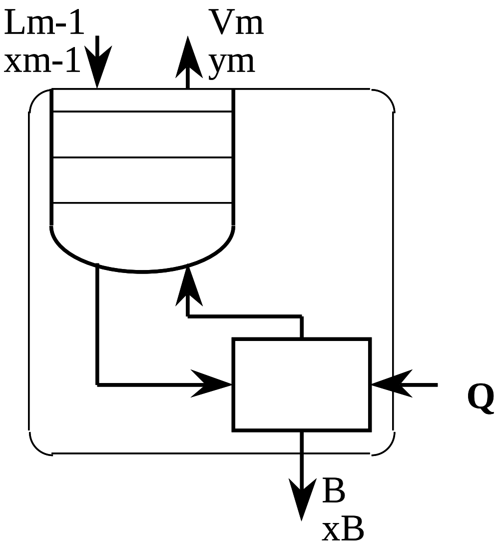
Interceptos:

$x=0 \rightarrow Dx_D / V$

$x=1 \rightarrow (L + Dx_D) / V$

Línea de operación en zona de agotamiento (LOA)





<u>Balances de materia:</u>

$$L_{m-1} = V_m + B$$

$$L_{m-1} \cdot x_{m-1} = V_m \cdot y_m + B \cdot x_B$$

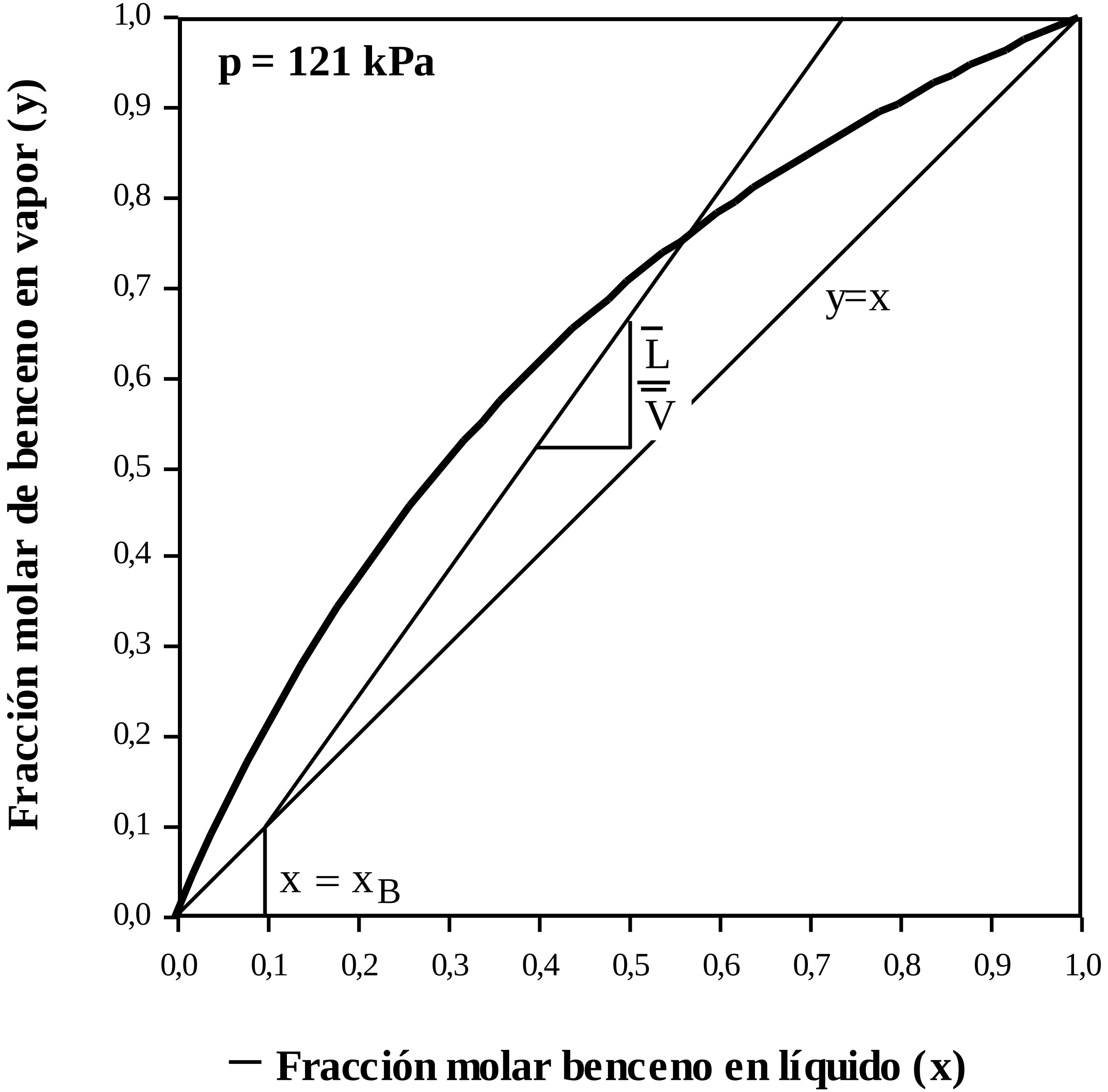
$$y_m = \frac{L_{m-1}}{V_m} \cdot x_{m-1} - \frac{B}{V_m} \cdot x_B$$

Considerando $\bar{L}/\bar{V}$ constantes, y eliminando subíndices:

$$\boxed{y = \frac{\bar{L}}{\bar{V}} \cdot x - \frac{B}{\bar{V}} \cdot x_B} \quad \text{LOA}$$

$$\bar{V} = \bar{L} - B$$

$$\therefore \bar{L} > \bar{V} \rightarrow \frac{\bar{L}}{\bar{V}} > 1$$



LOA: $y = \frac{\bar{L}}{\bar{V}} \cdot x - \frac{B}{\bar{V}} \cdot x_B$

Pto. corte con x=y

$x = y = x_B$

Interceptos:

$x=0 \rightarrow -Bx_B / \bar{V}$

$x=1 \rightarrow (\bar{L} - Bx_B) / \bar{V}$

Conceptos Revisados en la Clase

- Comprender la lógica del diseño de una columna de destilación.
- Entendieron el concepto de etapa ideal en una columna destilación.
- Comprender el concepto de línea de operación en una columna de destilación.

Columna de destilación y supuesto de flujos molares Constantes

IIQ2023 - Operaciones Unitarias II

José Rebolledo Oyarce

25 de Marzo de 2021