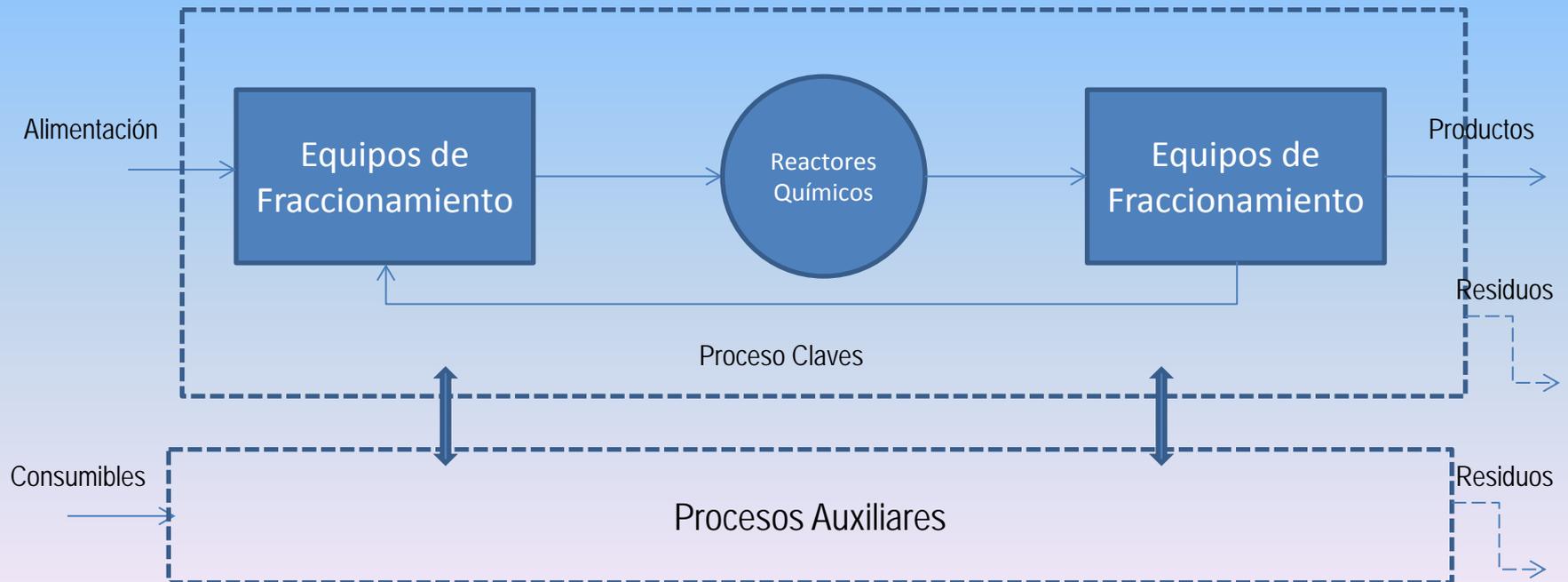


# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

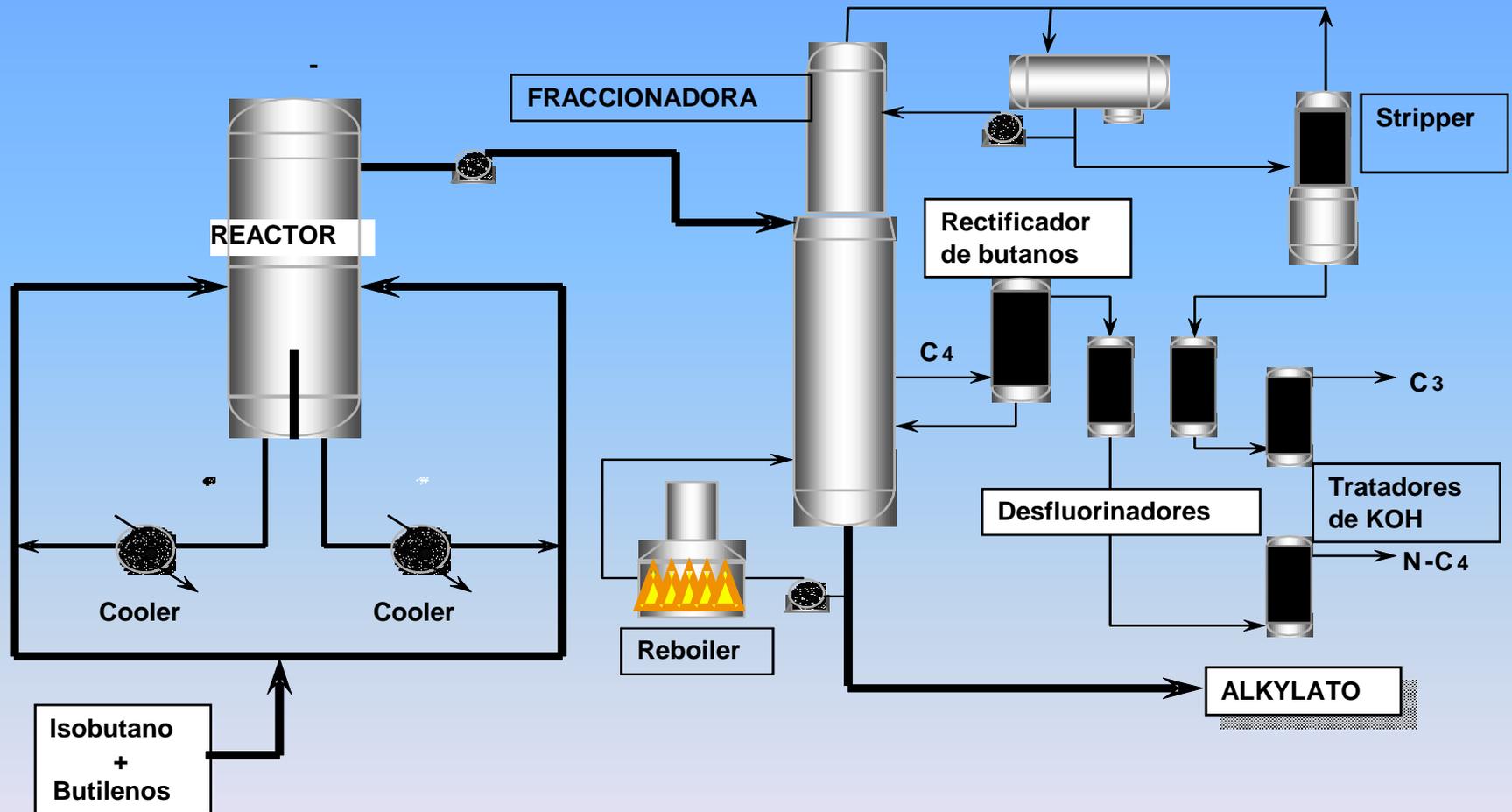
- **PLANTAS QUÍMICAS**

**Reacción de Mezclas:**  
Cambian la estructura molecular de la alimentación. Operaciones de transferencia entre fases

**Separación de Mezclas:**  
en componentes puros y otras mezclas. Operaciones de transferencia entre fases

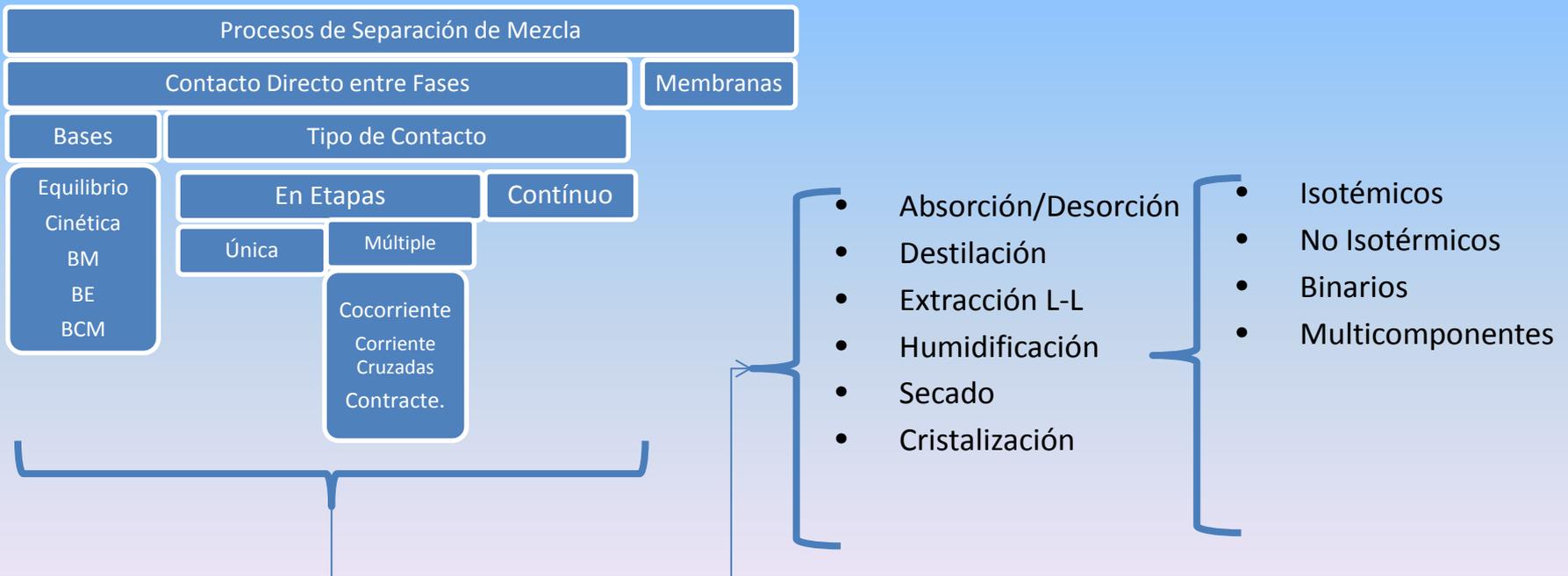
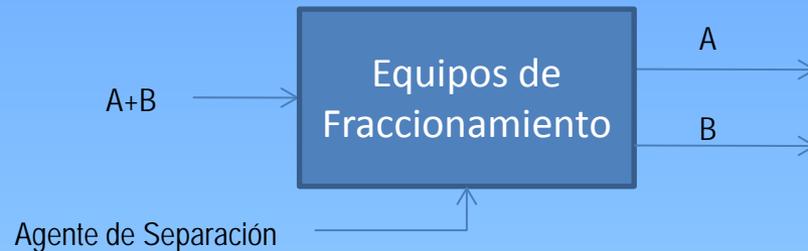


# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

## • PROCESOS DE SEPARACIÓN/FRACCIONAMIENTO



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

---

- **AGENTE DE SEPARACIÓN**

Puede ser másico (ej.: absorción) o energético (ej.: destilación).

- **PROPIEDADES**

Un AMS debe seleccionarse teniendo en cuenta: Costo, selectividad, capacidad de regeneración, volatilidad, viscosidad, toxicidad, *corrosividad* y disponibilidad.

# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

---

- **REGLA DE LAS FASES**

El número de variables en un sistema de varios componentes en equilibrio entre diversas fases se relaciona con el número de ecuaciones que las describen:

$$F = C + 2 - P$$

$F$  = número de variables intensivas que pueden variar de manera independiente.

$C$  = número de componentes del sistema

$P$  = número de fases en el sistema.

- **EQUILIBRIO Y FUERZA IMPULSORA**

**El equilibrio entre fases requiere un balance del potencial químico de cada componente en cada fase:**

$$\mu_1' = \mu_1'' = \mu_1'''$$

*El potencial químico depende de las funciones termodinámicas y expresa la tendencia del componente a salir de la fase en la que está, en otras palabras es una medida de la inestabilidad del componente.*

# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Equilibrio gas-líquido

## a) Mezclas Ideales

Ley de Raoult

$$p_i = p_i^v \cdot x_i$$

Ley de Dalton

$$p_i = P \cdot y_i$$

$$y_i = \left( \frac{p_i^v}{P} \right) x_i = K_i \cdot x_i$$

Equilibrio Lig-Vap función de volatilidad:

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{p_i^v}{P}$$

$$\alpha_{ij} = \frac{K_i}{K_j} = \frac{p_i^v}{p_j^v} = \frac{y_i/x_i}{y_j/x_j}$$

↳  $f(r)$

$$y_j = (1 - y_i)$$

$$x_j = (1 - x_i)$$

$$\therefore y_i = \frac{\alpha_{ij} \cdot x_i}{1 + x_i(\alpha_{ij} - 1)}$$

# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

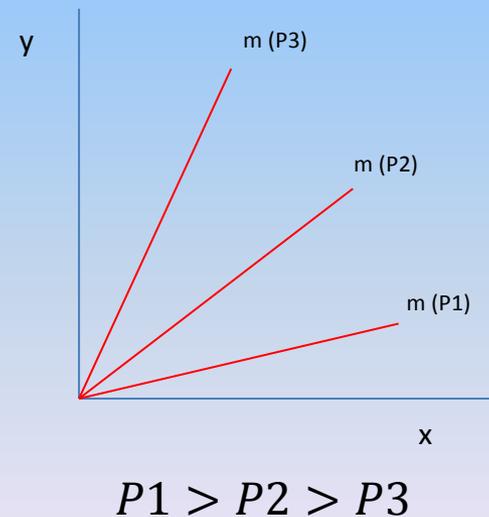
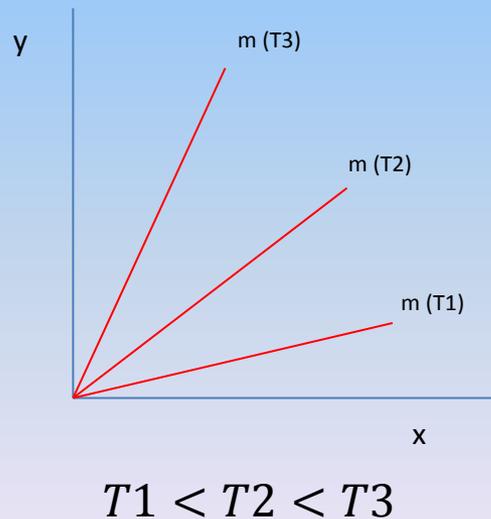
- **Equilibrio gas-líquido**

Mezclas NO Ideales.  
$$p_i = \gamma_i \cdot p_i^v \cdot x_i$$

$$\gamma_i = f(c, T)$$

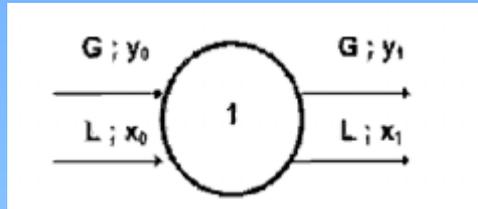
coeficiente de actividad

- **Efecto de Temperatura y Presión**



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **ETAPA DE EQUILIBRIO**

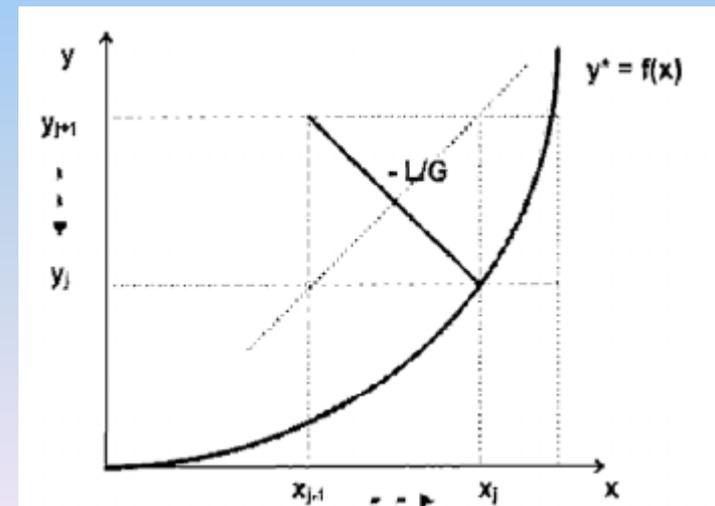
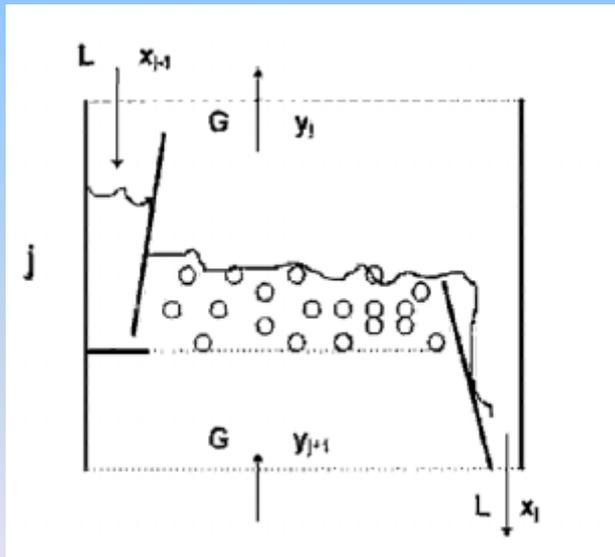


$y_1$  en eq. con  $x_1$

$$G \cdot y_{j+1} + L \cdot x_{j-1} = G \cdot y_j + L \cdot x_j$$

$$G \cdot (y_{j+1} - y_j) = L \cdot (x_j - x_{j-1})$$

$$\frac{(y_{j+1} - y_j)}{(x_{j-1} - x_j)} = -\frac{L}{G}$$



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **SOLUCIONES DILUIDA O CONCENTRADA**

- ❖ Para soluciones diluidas trabajaré con fracciones molares y los caudales L y G podré asumirlos constantes a lo largo del equipo.
- ❖ En cambio para soluciones concentradas :

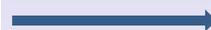
## Soluciones concentradas:

$G_S; L_S$  : inertes o disolventes que no se transfieren

Relaciones molares:

$$Y_A = \frac{\text{moles.de.A}}{\text{moles.de.}G_S} \quad Y = \frac{y}{1-y} \quad y = \frac{Y}{1+Y}$$
$$X_A = \frac{\text{moles.de.A}}{\text{moles.de.}L_S} \quad X = \frac{x}{1-x} \quad x = \frac{X}{1+X}$$

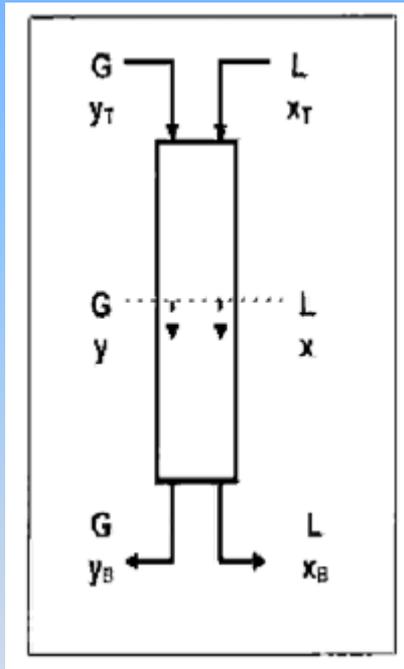
$$y^* = m \cdot x$$



$$Y^* = \frac{m \cdot X}{1 - (m - 1) \cdot X}$$

# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **Contacto multietapa: Cacorriente**



$$G.y_T + L.x_T = G.y + L.x = G.y_B + L.x_B$$

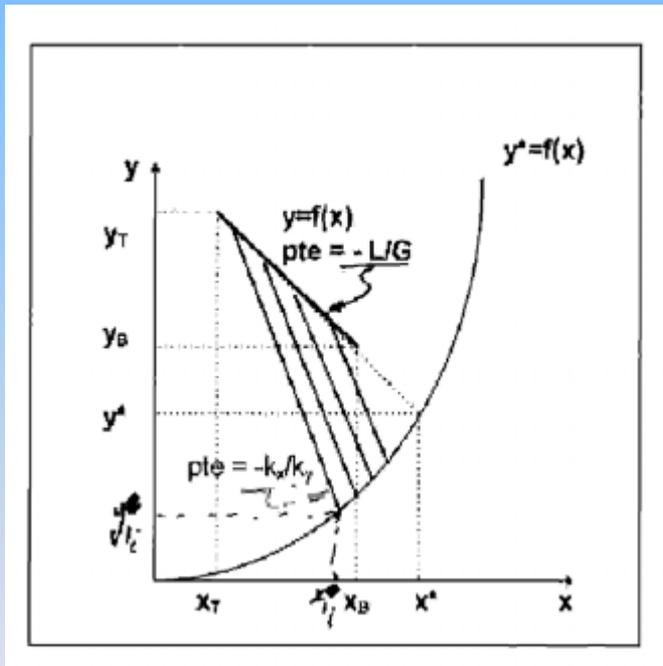
$$y = \left(y_T + \frac{L}{G}.x_T\right) - \frac{L}{G}.x = \left(y_B + \frac{L}{G}.x_B\right) - \frac{L}{G}.x$$

$$\frac{y_T - y}{x_T - x} = -\frac{L}{G}$$

# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- CONTACTO MULTIETAPA: Cocorriente**

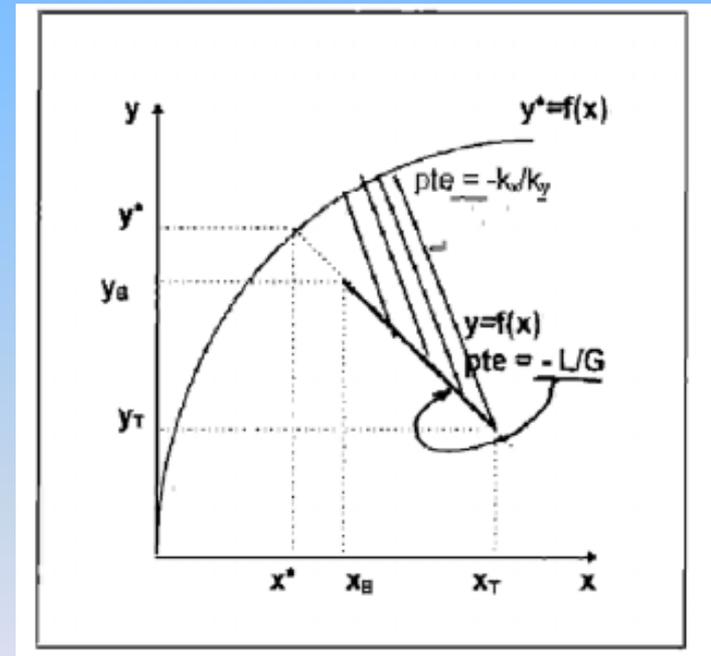
Transferencia del Gas al Líquido



$$y_T > y_B \quad x_T < x_B$$

$$y > y^* \quad x < x^*$$

Transferencia del Líquido al Gas



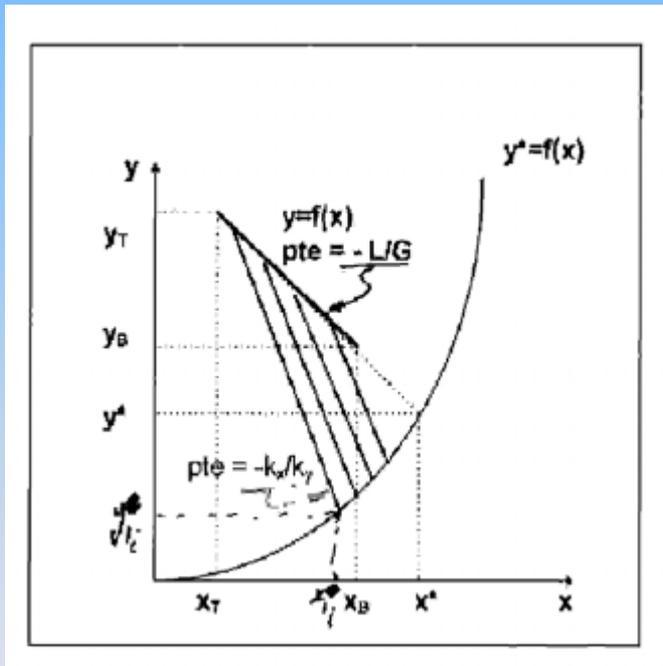
$$y_T < y_B \quad x_T > x_B$$

$$y < y^* \quad x > x^*$$

# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- CONTACTO MULTIETAPA: Cocorriente**

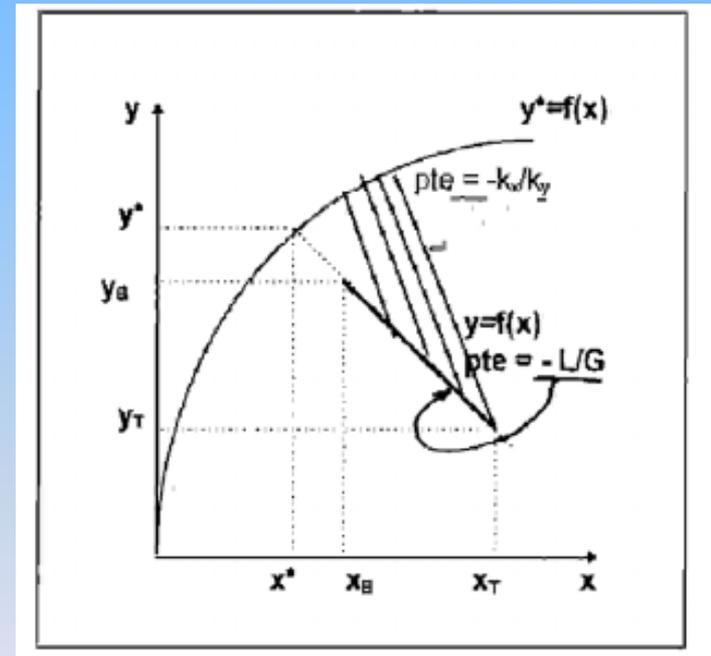
Transferencia del Gas al Líquido



$$y_T > y_B \quad x_T < x_B$$

$$y > y^* \quad x < x^*$$

Transferencia del Líquido al Gas



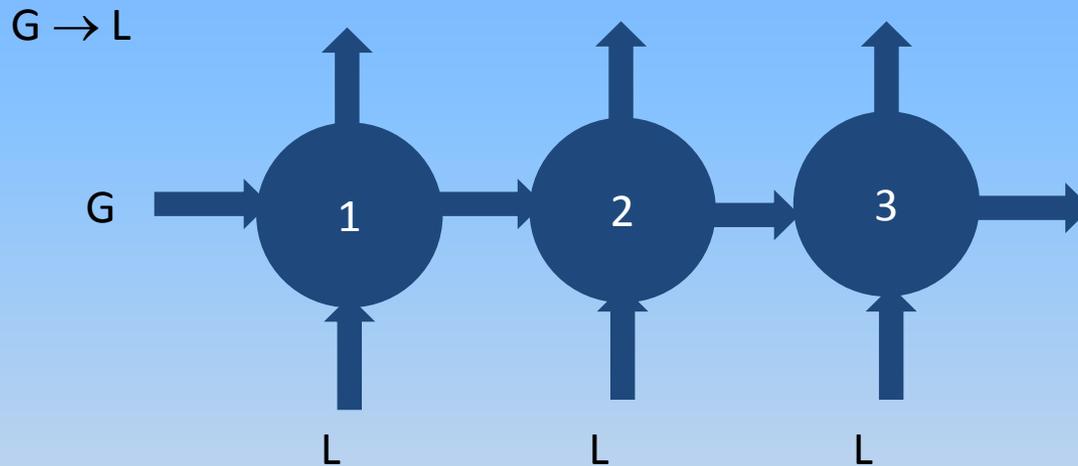
$$y_T < y_B \quad x_T > x_B$$

$$y < y^* \quad x > x^*$$

# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

---

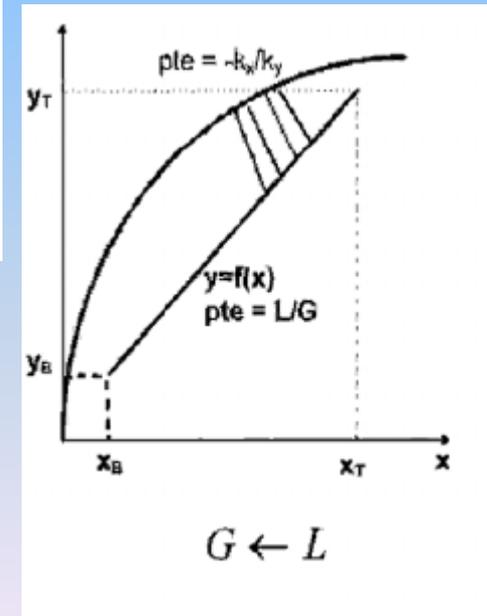
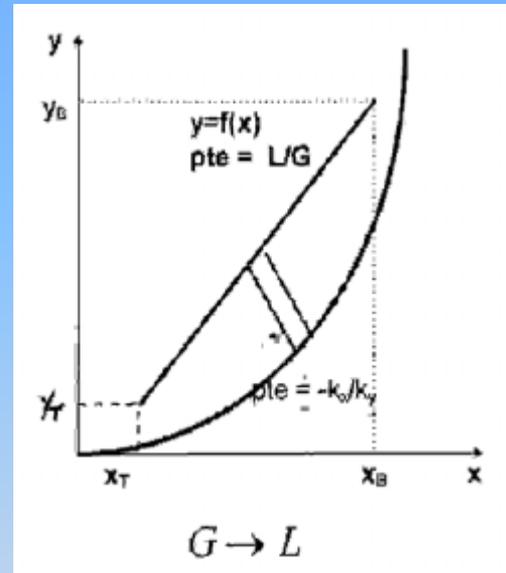
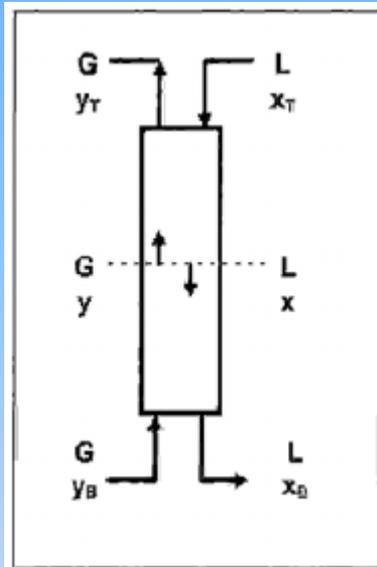
- **CONTACTO MULTIETAPA: Corrientes Cruzadas**



- **Balances**
- **Diagramas Y-X**

# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- CONTACTO MULTIETAPA: ContraCorriente**



$$G \cdot y_B + L \cdot x_T = G \cdot y_T + L \cdot x_B$$

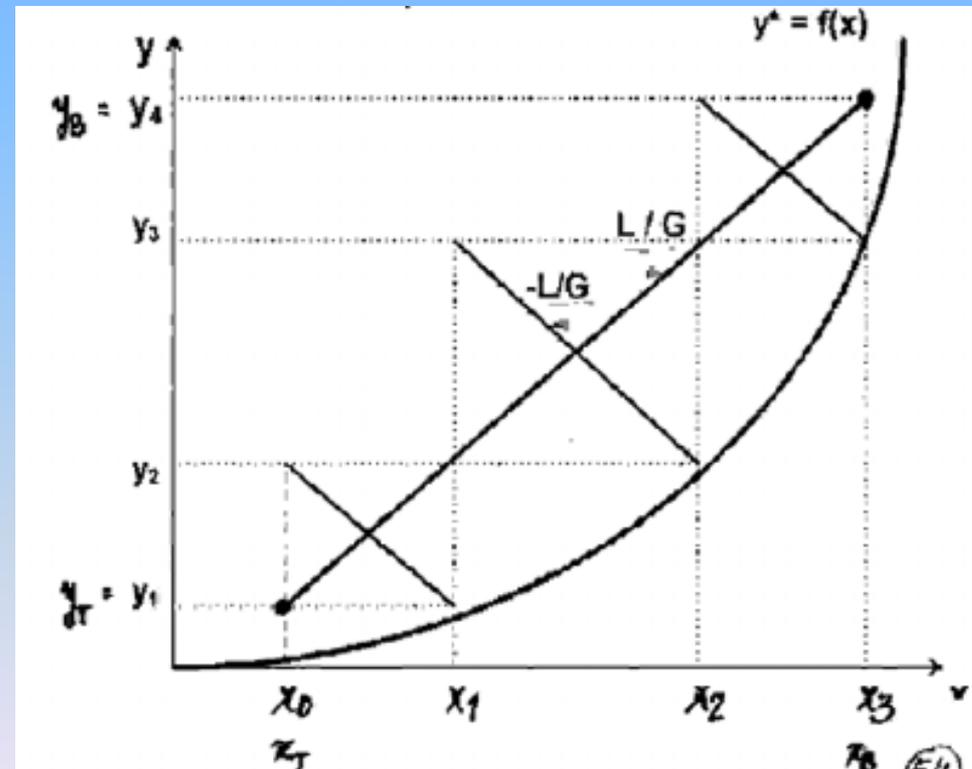
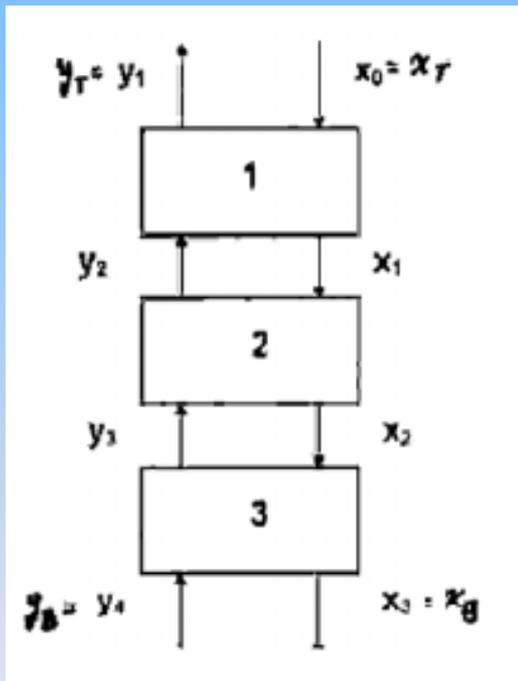
$$G \cdot y + L \cdot x_T = G \cdot y_T + L \cdot x$$

$$y = \left( y_T - \frac{L}{G} \cdot x_T \right) + \frac{L}{G} \cdot x = \left( y_B - \frac{L}{G} \cdot x_B \right) + \frac{L}{G} \cdot x$$

$$\frac{y_T - y}{x_T - x} = \frac{L}{G}$$

# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **CONTACTO MULTIETAPA: ContraCorriente**
  - Metodo de McCabe-Thiele



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

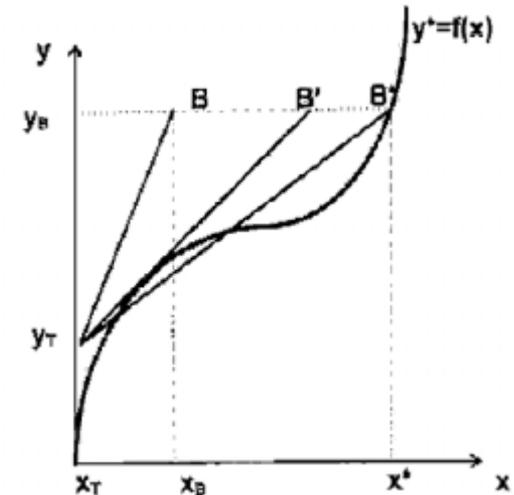
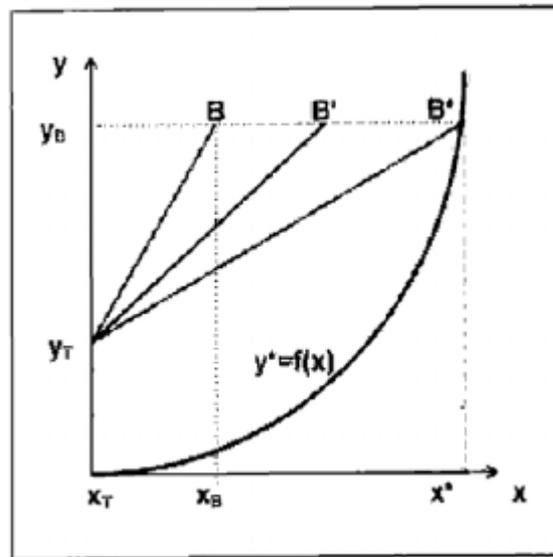
- **CONTACTO MULTIETAPA: ContraCorriente**

- Límites de Operación: Caudal Mínimo de Líquido

$$G.(y_B - y_T) = L.(x_B - x_T)$$

$$G.(y_B - y_T) = L_{min}.(x_B^* - x_T)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{min} = \frac{(y_B - y_T)}{(x_B^* - x_T)}$$



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

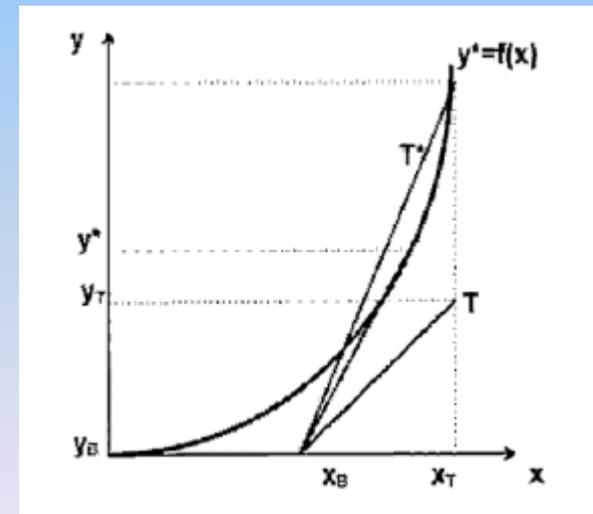
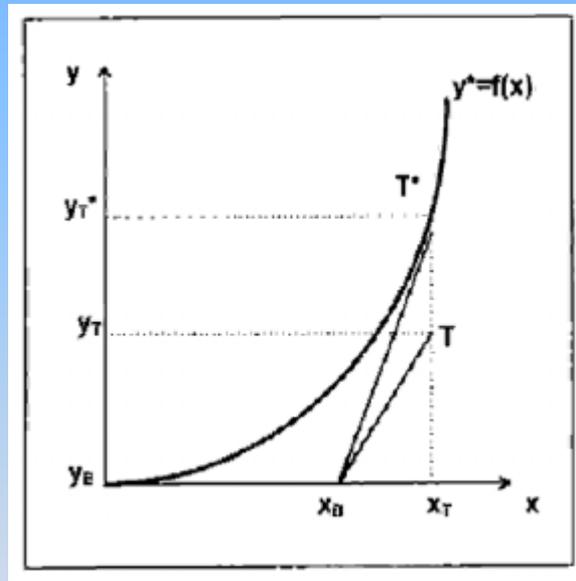
- **CONTACTO MULTITETAPA: ContraCorriente**

- Límites de Operación: Caudal Mínimo de Gas

$$G \cdot (y_T - y_B) = L \cdot (x_T - x_B)$$

$$G_{min} \cdot (y_T^* - y_B) = L \cdot (x_T - x_B)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{max} = \frac{L}{G_{min}} = \frac{(y_T^* - y_B)}{(x_T - x_B)}$$



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **EFICIENCIAS**

- **Eficiencia Global**

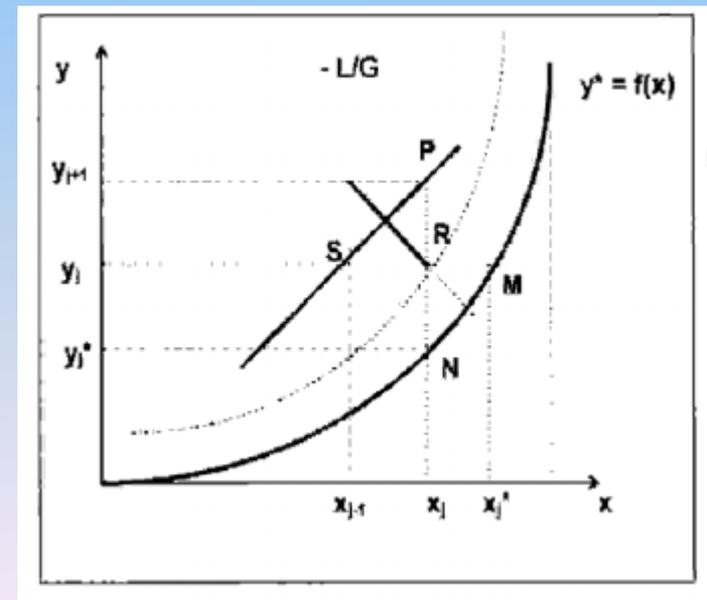
$$E_g = \frac{N^\circ . \text{Etapas. Teoricas}}{N^\circ . \text{Etapas. Reales}}$$

- **Eficiencia de Murphee**

$$EM = \frac{\text{Cambio de Conc. en Etapa Real}}{\text{Cambio de Conc. en Etapa Ideal}}$$

$$E_{MG} = \frac{y_{j+1} - y_j}{y_{j+1} - y^*} = \frac{\overline{PR}}{\overline{PN}}$$

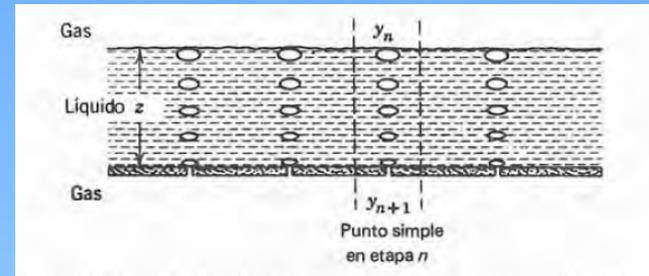
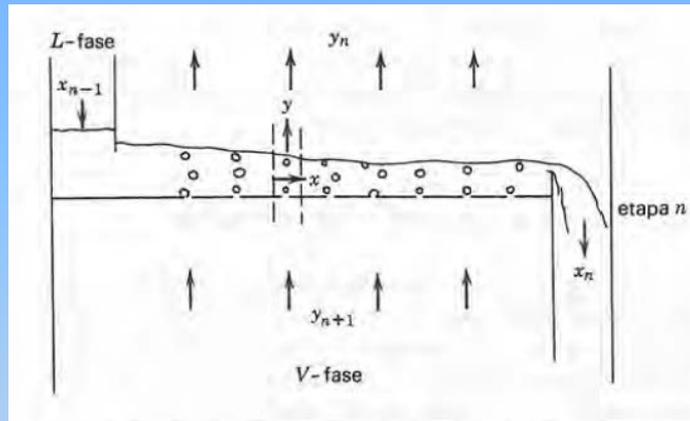
$$E_{ML} = \frac{x_j - x_{j-1}}{x^* - x_{j-1}} = \frac{\overline{RS}}{\overline{MS}}$$



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

## • EFICIENCIAS

### • Eficiencia Puntual



$$E_V^o = \frac{y - y_{n+1}}{y^* - y_{n+1}}$$

$y$ : es la composición del vapor que sale de un punto de la etapa, en donde la composición del líquido es  $x$  y  $y^*$  es la composición de un vapor hipotético en equilibrio con el líquido de composición  $x$ . También es posible definir una eficiencia de punto para el líquido.

**Las eficiencias puntuales pueden relacionarse con las eficiencias de etapa ( $E_g$ ) suponiendo un modelo físico para el mezclado del líquido. Existen gráficos y correlaciones.**

**Es importante tener presente que la eficiencia depende en forma compleja de muchos factores: propiedades físicas, factores hidrodinámicos, turbulencia, tamaño de burbuja, formación de espuma, etc.**

# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- Equipos

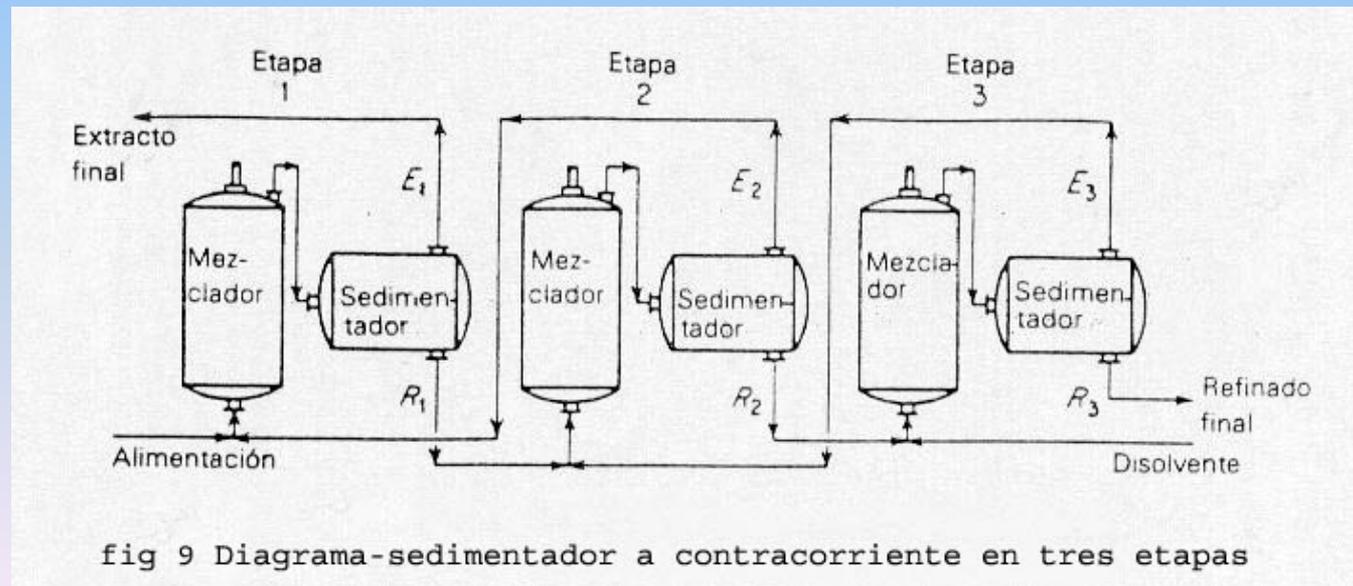
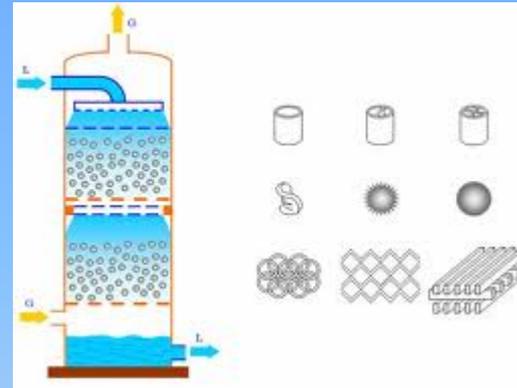
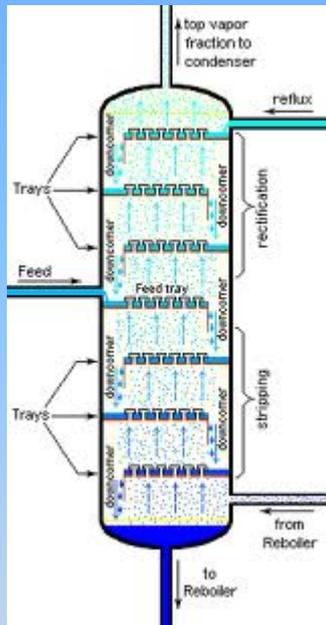
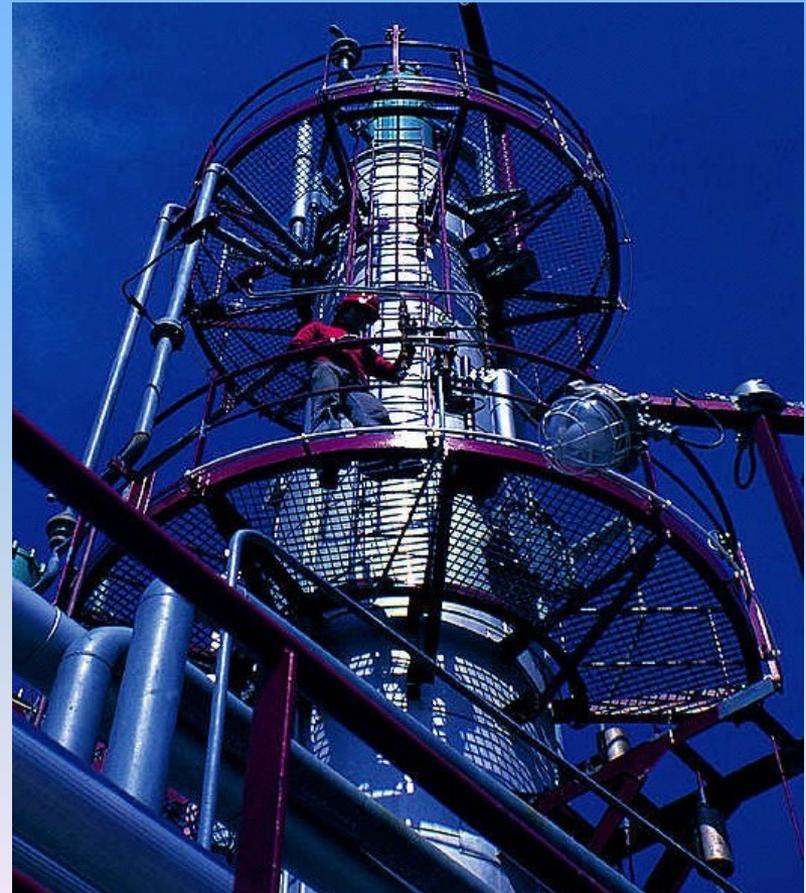


fig 9 Diagrama-sedimentador a contracorriente en tres etapas

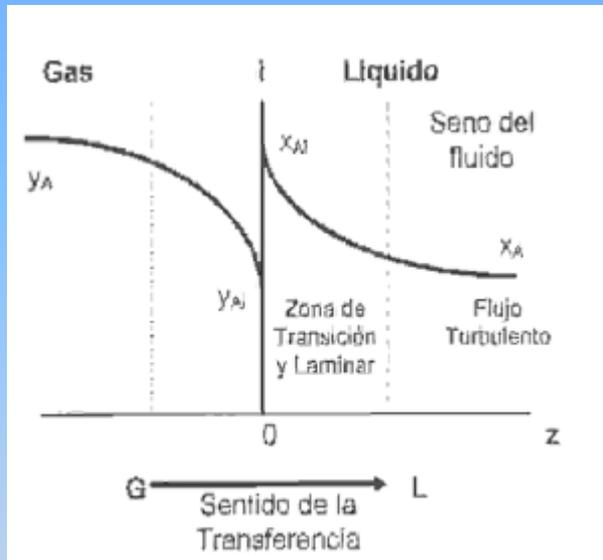
# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

---



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

## • TRANSFERENCIA DE MASA – Coeficientes Peliculares



$$N_A = k_y (y_{AG} - y_{Ai}) = k_x (x_{Ai} - x_{AL})$$

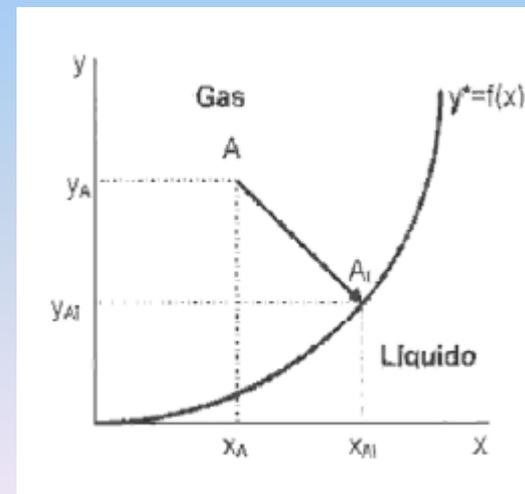
$$\frac{y_{AG} - y_{Ai}}{x_{AL} - x_{Ai}} = -\frac{k_x}{k_y}$$

$$N_A = k_g \cdot (p_A - p_{Ai})$$

$$k_g = \left[ \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}} \right]$$

$$N_A = k_y \cdot (y - y_i)$$

$$k_{y_0} = \left[ \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{frac. mol})} \right]$$



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

## • TRANSFERENCIA DE MASA – Coeficientes Globales

$$N_A \equiv K_y \cdot (y - y^*)$$

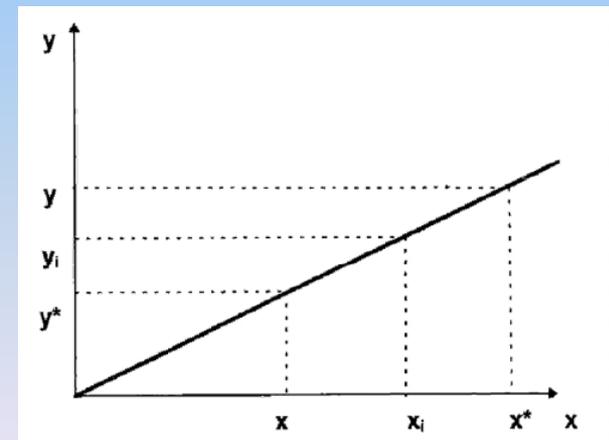
$$N_A \equiv K_x \cdot (x^* - x)$$

$K_y = \left[ \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{frac.mol})} \right]$  es el coeficiente global de transferencia de masa de la fase gas

$y^*$  = es la fracción molar de A en el gas en equilibrio con un líquido con fracción molar de A igual a  $x$ .

$K_x = \left[ \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{frac.mol})} \right]$  es el coeficiente global de transferencia de masa de la fase líquida

$x^*$  = es la fracción molar de A en el líquido en equilibrio con un gas con fracción molar de A igual a  $y$ .



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

## • TRANSFERENCIA DE MASA – Coeficientes

$$\begin{array}{l} y - y_i = N_A / k_y \\ y_i - y^* = m \cdot N_A / k_x \\ \hline y - y^* = N_A \cdot (1/k_y + m/k_x) \end{array} \quad \rightarrow \quad N_A = \frac{1}{1/k_y + m/k_x} \cdot (y - y^*) \quad \rightarrow \quad \frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}$$

$\frac{1}{K_y}$  = es la resistencia total a la transferencia de masa basada en la fuerza impulsora para toda la fase gaseosa.

$\frac{1}{k_y}$  = es la resistencia a la transferencia del lado del gas

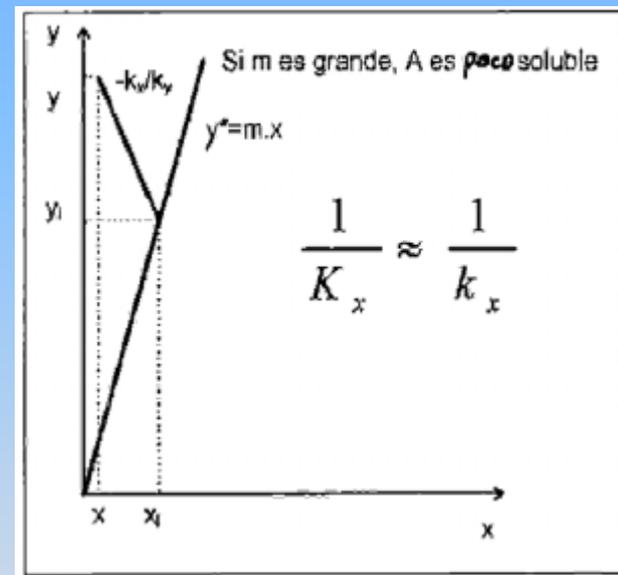
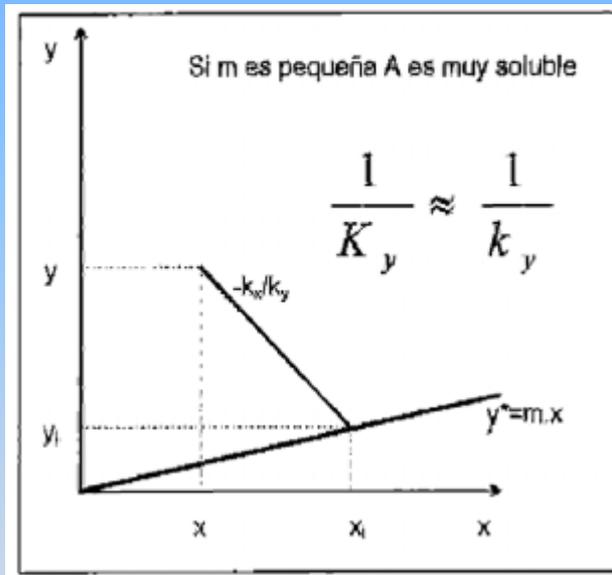
$\frac{m}{k_x}$  = es la resistencia a la transferencia del lado del líquido

$$\begin{array}{l} x^* - x_i = N_A / m \cdot k_y \\ x_i - x = N_A / k_x \\ \hline x^* - x = N_A \cdot (1/m \cdot k_y + 1/k_x) \end{array} \quad \rightarrow \quad N_A = \frac{1}{1/m \cdot k_y + 1/k_x} \cdot (x^* - x) \quad \rightarrow \quad \frac{1}{K_x} = \frac{1}{m \cdot k_y} + \frac{1}{k_x}$$

# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

- **Coeficientes (cont.)**

Para  $k_y; k_x$  del mismo orden



# Operaciones Unitarias de Transferencia de Materia

