



Universidad de Los Andes  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química  
Dpto. de Operaciones Unitarias y Proyectos



## ABSORCIÓN

Prof. Yoana Castillo  
[yoanacastillo@ula.ve](mailto:yoanacastillo@ula.ve)

## CONTENIDO

- Absorción: Definición.
- Fundamentos.
- Solubilidad de un gas en un líquido.
- Tipos de Absorción.
- Aplicaciones Industriales.
- Coeficientes de transferencia de masa.
- Elección del Solvente.
- Equipos.
- Trazado de etapas.
- Relación L/G mínimo.

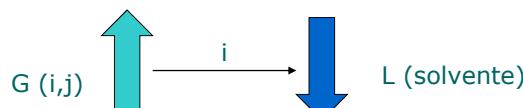
## ABSORCIÓN.

### Definición

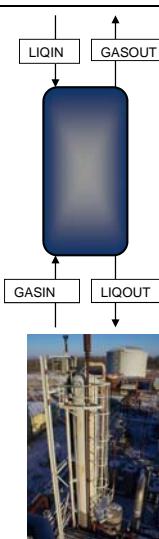
Operación unitaria en la que se eliminan uno ó más componentes de una corriente gaseosa al ser absorbidos por un líquido no volátil (solvente).

El solvente líquido debe agregarse como agente de separación [1].

Compuestos de punto de licuefacción muy bajo y pensiones de vapor muy parecidas.



Desorción: Operación inversa  $G \leftarrow i \rightarrow L$



## ABSORCIÓN: FUNDAMENTOS.

### • Difusión:

Transferencia de masa que sigue un principio basado en gradiente impulsor y una propiedad de transporte denominada Difusividad ( $D_{AB}$ ).



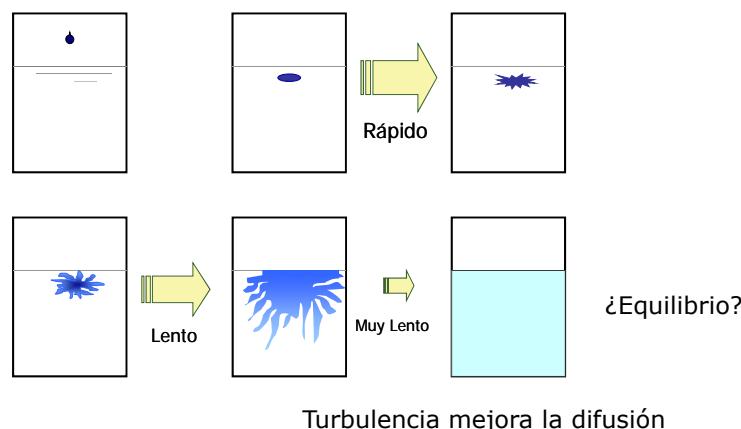
Ley de Fick establece:[2]

$$J_A = -D_{AB} \cdot \nabla C_A$$

$J_A$ = vector densidad de flujo con respecto a un observador en movimiento (mol/m<sup>2</sup>s)  
 $D_{AB}$ = Difusividad de A en B (cm<sup>2</sup>/s)  
 $C_A$ = Concentración de A (mol/m<sup>3</sup>)

## ABSORCIÓN: FUNDAMENTOS.

### Difusión molecular



## ABSORCIÓN: FUNDAMENTOS.

- Relaciones de equilibrio (solubilidad)

La transferencia de un componente de una fase gaseosa a una fase líquida se da cuando existe una diferencia de concentración.

El equilibrio se alcanza cuando la presión ejercida por el componente en la fase gaseosa se iguala a la presión parcial del componente en la fase líquida.

### Leyes fundamentales

Fase gaseosa ideal:  $y_1 = P_1 / P_T$

Ley de Dalton

Fase líquida ideal:  $P_1 = P_1^0 x_1$

Ley de Raoult

Soluciones diluidas:  $P_1 = H x_1$

Ley de Henry

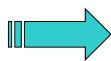
Fase gas ideal – fase líquida no ideal:  $y_1 P_T = P_1^0 Y_1 x_1$

$\gamma_1$  Van Laar, Margules

## SOLUBILIDAD DE UN GAS EN UN LÍQUIDO

La solubilidad de un gas en un líquido es función de:

- Naturaleza de las sustancias y de su desviación del equilibrio.
- Temperatura: La solubilidad es inversamente proporcional a la temperatura.
- Presión: La solubilidad es directamente proporcional a la presión.[3]

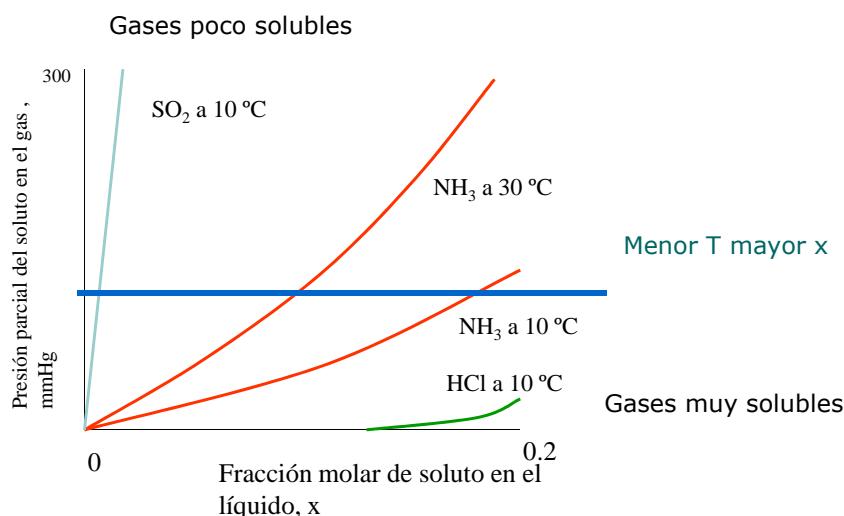


Concentración del compuesto gaseoso disuelto en el líquido a una P y T dadas.

Se expresan en:

- Forma numérica (Tablas.)
- Gráficos: Presiones parciales en función de concentración del componente en el líquido

## CURVAS DE SOLUBILIDAD



## TIPOS DE ABSORCIÓN.

- Física:

El gas se elimina por tener mayor solubilidad en el solvente que otros gases.

- Química:

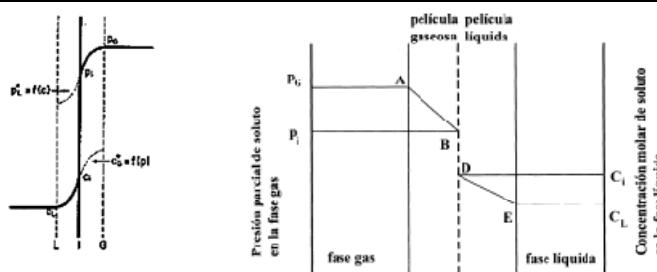
El gas que se va eliminar reacciona con el solvente y queda en solución.

Puede ser reversible o irreversible.[1]

## ALGUNAS APLICACIONES INDUSTRIALES:

- Eliminación de butano y pentano de una mezcla gaseosa de refinería utilizando un aceite pesado.
- Eliminación de contaminantes inorgánicos solubles en agua de corrientes de aire.
- Como dispositivos de recuperación de productos valiosos.
- Eliminación de impurezas en productos de reacción.
- Eliminación de CO<sub>2</sub> o de H<sub>2</sub>S por reacción con NaOH en una corriente de gases. [1,3]

## Coeficientes de transporte de materia. Teoría de la doble capa.[4]



- Resistencia reside en las 2 capas hipotéticas IG é IL.
- El flujo del soluto transferido será: N<sub>A</sub>

$$N_A = \frac{\text{sustancia transportada}}{\text{tiempo} * \text{área de contacto}}$$

$$N_A = K * \Delta Conc$$

→ Coeficiente de transferencia de materia

## Coeficientes de transporte de materia. Teoría de la doble capa.

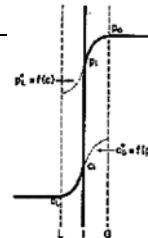
- Escribiendo  $N_A$  en función de los gradientes:

$$N_A = k_G * (P_G - P_i) \quad [1]$$

$$N_A = k_L * (C_i - C_L) \quad [2]$$

$$N_A = k_y * (y - y_i) \quad [3]$$

$$N_A = k_x * (x_i - x) \quad [4]$$



- Para compensar las diferencias de unidades, usamos la Ley de Henry  $P=m*C$ , entonces, igualando 1 y 2:

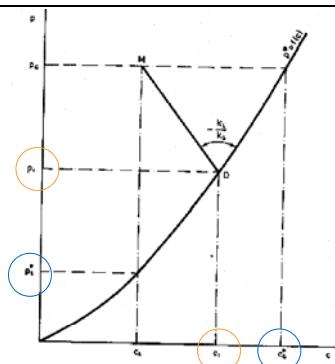
$$N_A = k_G * (P_G - P_i) = k_L * (C_i - C_L) \quad [5]$$

$$\frac{k_L}{k_G} = \frac{(P_G - P_i)}{(C_i - C_L)} \quad [6]$$

- Arreglando la ecuación 6, da:

$$-\frac{k_L}{k_G} = \frac{(P_G - P_i)}{(C_L - C_i)} \quad [7]$$

- En un diagrama  $P$  vs  $C$ , será:



- $P_i$  y  $C_i$  son difíciles de medir.

Solución ingenieril:

- Se calcula la transferencia en base a la fase GLOBAL, usando  $C_G^*$  y  $P_L^*$

- Planteando en función de los coeficientes GLOBALES  $K_G$  y  $K_L$

$$N_A = K_G * (P_G - P_L) \quad [8]$$

$$N_A = K_L * (C_G^* - C_L) \quad [9]$$

## Relación de los coeficientes de transferencia de materia individuales y globales

Igualando la ecuación 2 y 9 y recordando que "m" es la pendiente de la recta de equilibrio, se obtiene:

$$\frac{1}{K_L} = \frac{1}{k_G * m} + \frac{1}{k_L} \quad [10]$$

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{m}{k_L} \quad [11]$$

↓  
Coeficiente de transferencia de materia GLOBAL:  
 $K_L, K_G$

Coeficiente de transferencia de materia individuales ( $k_L, k_G$ )

## ELECCIÓN DEL SOLVENTE [3-4].

- El agua es el disolvente más comúnmente utilizado.
- Para los compuestos orgánicos que tienen baja solubilidad en agua, se usan otros disolventes, tales como los aceites de hidrocarburos.
- Líquidos usados como solventes incluyen también aceites minerales, aceites de hidrocarburos volátiles y soluciones acuosas.

### Cualidades de un buen disolvente para absorción

- Elevada solubilidad
  - Baja volatilidad
  - Baja viscosidad
  - Alta selectividad
  - Requerimientos básicos
- Toxicidad.
  - Estabilidad química.
  - No corrosivo.
  - No formar espumas
  - Económico y disponible....

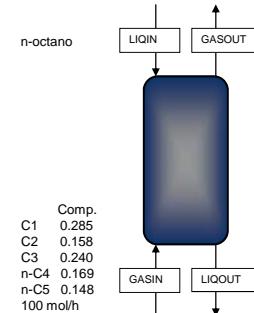
## Recuperación y reciclaje del Solvente.

- El efluente de la columna puede reciclarse al sistema y utilizarse de nuevo.

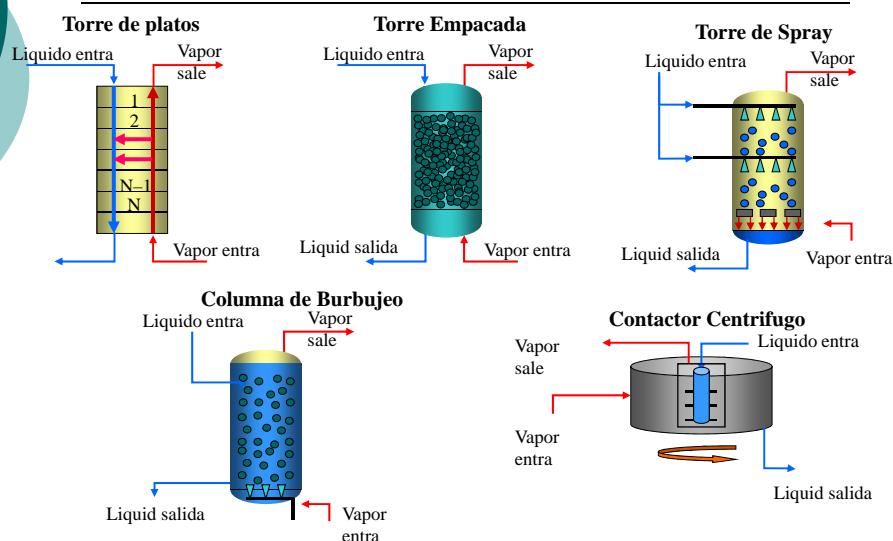
Solventes caros, como aceites de hidrocarburos, soluciones cáusticas...).

- Inicialmente, la corriente reciclada puede ir a un sistema de tratamiento de residuos para eliminar en lo posible los contaminantes o los productos de la reacción.

- La recirculación del solvente requiere de una bomba, sistema de recuperación de disolvente, tanques de retención y de mezclado de solvente, etc. [3]



## EQUIPOS [3,5]



## INTERNOS DE EQUIPOS DE ABSORCIÓN

### 1. Platos.

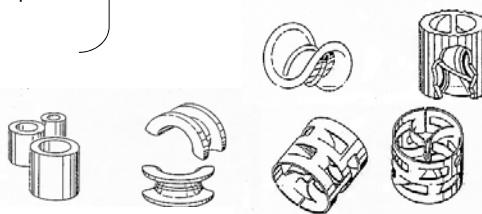
### 2. Empaques.

- Características adecuadas de flujo.
- Elevada superficie por unidad de volumen.
- Químicamente inerte.
- Resistencia estructural.
- Bajo peso por unidad de volumen.
- Pequeña retención de líquido.
- Bajo costo.

Tipo de empaques:

*Estructurados*

*Aleatorios*



### Características de rellenos comerciales secos

Empaque	Porcentaje de vacíos (ε)	Superficie específica (a <sub>s</sub> )	Piezas por pie <sup>2</sup>	Peso de lb/pie <sup>2</sup>
		pies <sup>2</sup> /pies <sup>3</sup>		
<b>Anillos Raschig de cerámica</b>				
½ plg	73	240	88 000	46
¾	63	111	10 500	54
1	73	55	1350	40
2	74	28	162	38
<b>Anillos Raschig de carbono</b>				
½ plg	55	212	85 000	46
¾	74	114	10 600	27
1	74	57	1325	27
2	74	28.5	166	27
<b>Sillas de montar</b>				
½ plg	60	274	113 000	56
¾	63	142	16 200	54
1	69	76	2200	45
2	72	32	250	40
<b>Anillos Pall</b>				
1 plg	93.4	66.3	1520	33
2	94.0	36.6	210	27.5
<b>Cyclohelix y espiral simple</b>				
¾ plg	58	40	63	60
4	60	32	31	61
6	66	21	9	59

## Comparación torres de relleno frente a platos

<u><b>Platos</b></u>	<u><b>Empaques</b></u>
Menor caída de presión del sistema.	▪ Mayor eficiencia de separación.
Menor obstrucción y ensuciamiento.	▪ Manejan mayores caudales de líquido y gas.
Menor coste de instalación y operación.	▪ Mayor costo de mantenimiento debido al relleno.
Menor potencia de bomba y ventilador.	▪ Se usan con ácidos y otros materiales corrosivos.
Soportan mayores fluctuaciones de T.	▪ Son más cortas

## Internos de la columna



Platos :  
Trazado análogo a McCabe Thiele

**Empaques :**  
Método de HETP

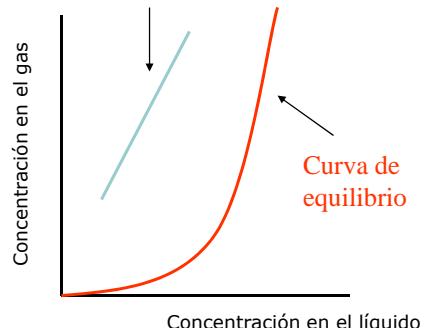
## CÁLCULO DE LA TORRE

Altura, N etapas    { Grafico  
Diámetro                      Algebraico



## Métodos gráficos:

## Línea de operación



La línea de operación está por encima de la línea de equilibrio porque en cada etapa hay más soluto en el gas que en la interfase.

## Métodos gráficos, Nomenclatura

### Caudales de fluido:

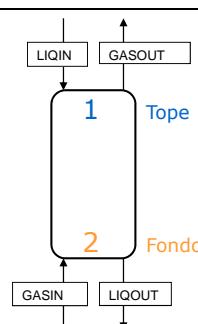
$$\begin{aligned} L & \text{ (moles de líquido / h m}^2\text{)} \\ G & \text{ (moles de gas / h m}^2\text{)} \end{aligned}$$

### Corrientes exentas :

$$\begin{aligned} L' & \text{ (moles de disolvente / h m}^2\text{)} \\ G' & \text{ (moles de inerte / h m}^2\text{)} \end{aligned}$$

### Composiciones exentas:

$$\begin{aligned} X & = x / 1 - x \quad (\text{moles de soluto / moles de disolvente}) \\ Y & = y / 1 - y \quad (\text{moles de soluto / moles de inerte}) \end{aligned}$$



## Métodos gráficos, Nomenclatura

### Balance de soluto en la torre:

$$L_1 x_1 + G_2 y_2 = L_2 x_2 + G_1 y_1$$

- Sustituyendo en función de caudales exentos:

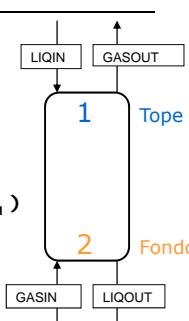
$$L' (x_1 / 1-x_1) + G' (y_2 / 1-y_2) = L' (x_2 / 1-x_2) + G' (y_1 / 1-y_1)$$

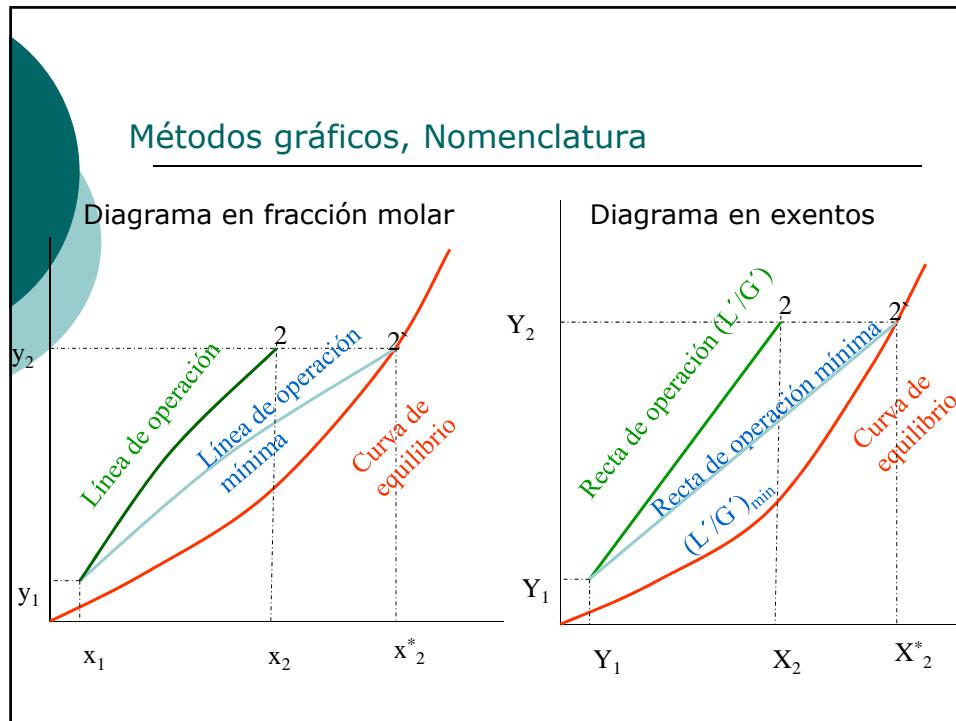
- Línea de operación:

$$L' [(x_2 / 1-x_2) - (x_1 / 1-x_1)] = G' [(y_2 / 1-y_2) - (y_1 / 1-y_1)]$$

- En concentraciones exentas:

$$L' (X_2 - X_1) = G' (Y_2 - Y_1)$$



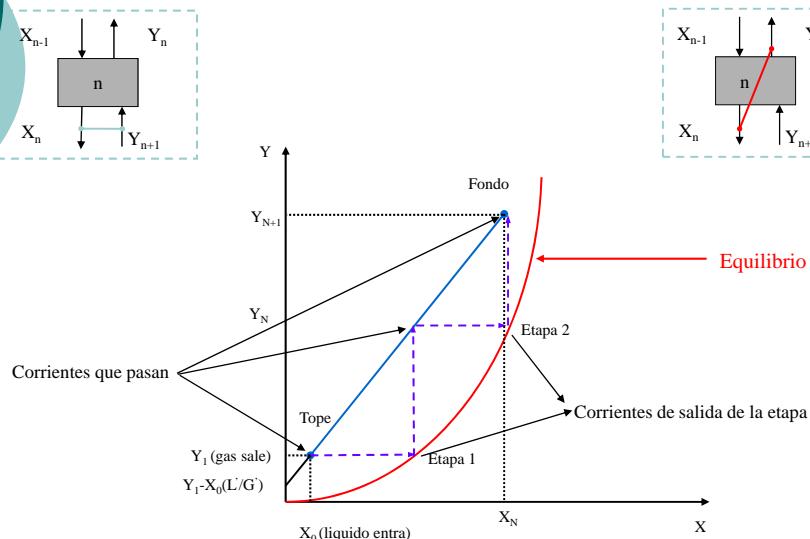


## TRAZADO DE ETAPAS "N" EN COLUMNAS CON PLATOS

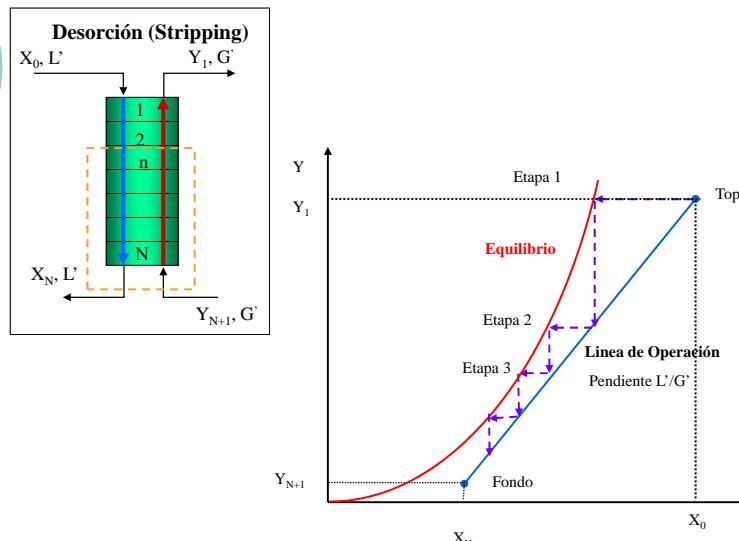
Método grafico análogo a Mc Cabe Thiele, considerar:

- Línea de operación recta: Gas portador insoluble y solvente no volátil.
- El calor de absorción es despreciable.
- La operación es isotérmica.

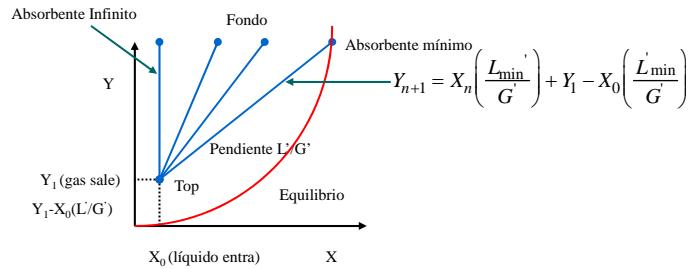
## TRAZADO DE ETAPAS: ABSORCIÓN CON PLATOS



## TRAZADO DE ETAPAS: DESORCIÓN

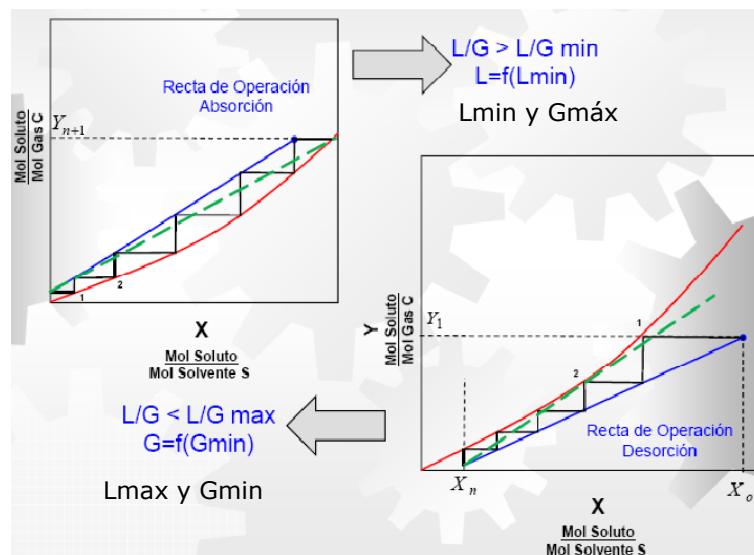


## RELACIÓN $L'/G'$ MÍNIMO ABSORCIÓN



La cantidad de solvente mínimo depende de la fracción de soluto a remover, el flujo de gas y el coeficiente  $K$  de distribución, es decir del Equilibrio.

## RELACIÓN $L'/G'$ MÍNIMO



## TRAZADO DE ETAPAS EN COLUMNAS EMPACADAS

Deducción de la ecuación de diseño por balance de materia en un diferencial de la columna y luego se integra a lo largo de la torre.

*SE REALIZARA DEDUCCION EN CLASES...*

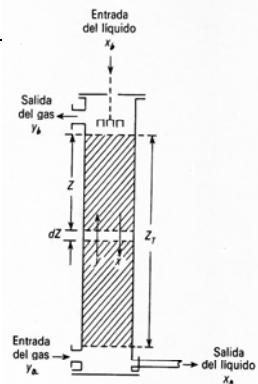
Se obtienen expresiones del tipo:

$$z = \frac{L}{k_L a S} \int_{x_a}^{x_b} \frac{dx}{x - x_i}$$

$$z = \frac{V}{k_V a S} \int_{y_a}^{y_b} \frac{dy}{y_i - y}$$

$$\mathbf{z} = \mathbf{H}_L \mathbf{N}_L$$

$$\mathbf{z} = \mathbf{H}_G \mathbf{N}_G$$



## REFERENCIAS

- [1] WANKAT, P. "Ingeniería de los procesos de separación". Pearson Prentice Hall. Segunda edición. 2008.
- [2] BIRD; STEWART; LIGHTFOOT. "Fenómenos de transporte". Reverté. 1998.
- [3] TREYBAL, R. "Operaciones de Transferencia de Masa". Mc Graw Hill. 2da edición.1980.
- [4] OCON; TOJO. "Problemas de Ingeniería Química". Capítulo 6. Aguilar. Madrid. 1974.
- [5] SEADER, J; HENLEY E. "Separation process principles".