



# TEMA 4. ABSORCIÓN

## ÍNDICE

**4.1. Fundamento**

**4.2. Equipos**

**4.3. Transferencia de materia G-L con contacto continuo**

**4.4. Absorción y desabsorción de un solo componente**

## 4.1. Fundamento

### **ABSORCIÓN:**

- Operación de separación en la que una o más sustancias de una mezcla gaseosa se eliminan por contacto con un líquido adecuado.
- Segunda operación de separación más frecuente (tras rectificación)
- Operación controlada por la difusión
- Ejemplos:
  - Lavado de gases de coquización con agua (absorción de  $\text{NH}_3$ )
  - Lavado de HCs gaseosos con soluciones alcalinas (absorción de  $\text{H}_2\text{S}$ )
  - Eliminación de acetona en mezclas acetona/aire por absorción en agua
- Transferencia de materia desde la fase L a G: desabsorción o stripping
- Tipos:
  - **Con Reacción Química:**  $\text{SH}_2$ -gas natural con soluciones alcalinas
  - **Sin Reacción Química:** Acetona-aire con agua

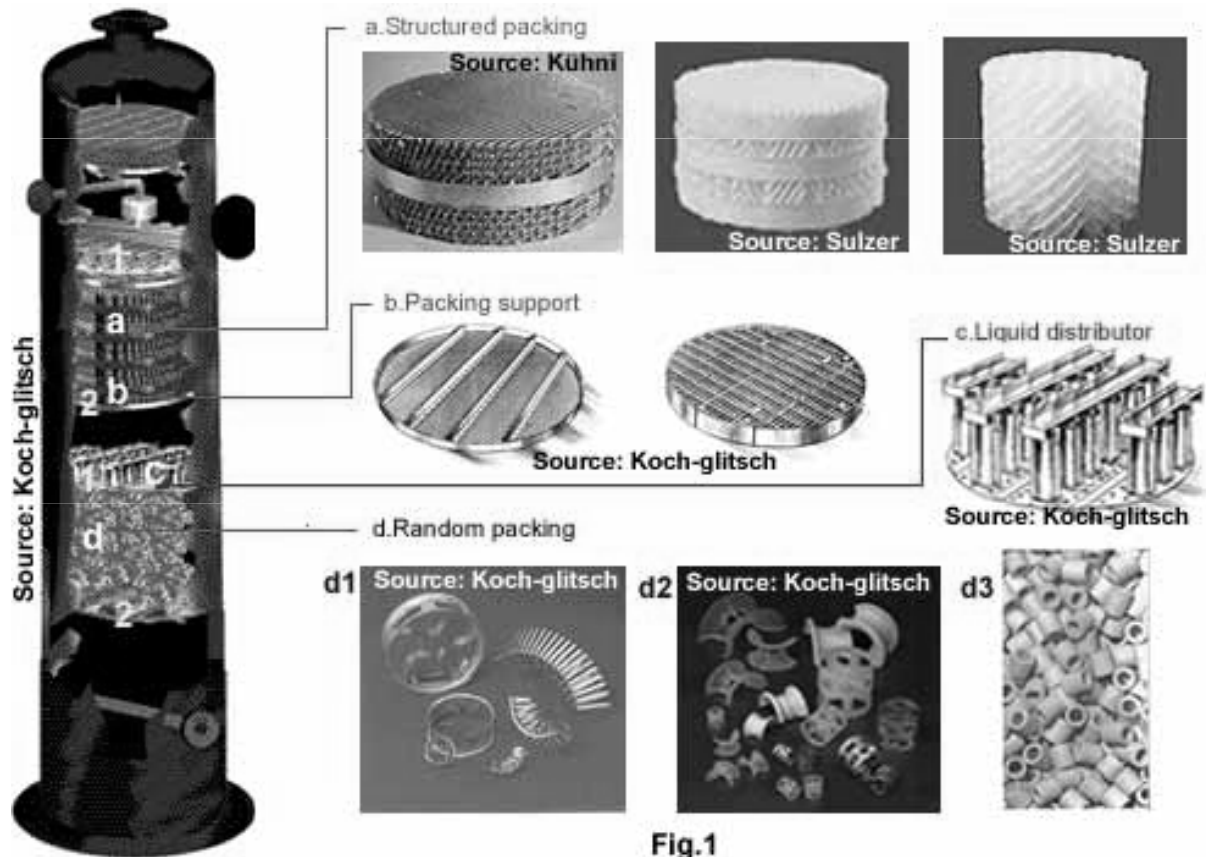
## 4.1. Fundamento

### **REQUISITOS DEL DISOLVENTE:**

- Elevada solubilidad del soluto/s a separar.
- Baja volatilidad
- Bajo coste
- Baja viscosidad
- No corrosivo Baja toxicidad
- Baja reactividad
- Bajo punto de congelación

## 4.2. Equipos

### • Torres de relleno

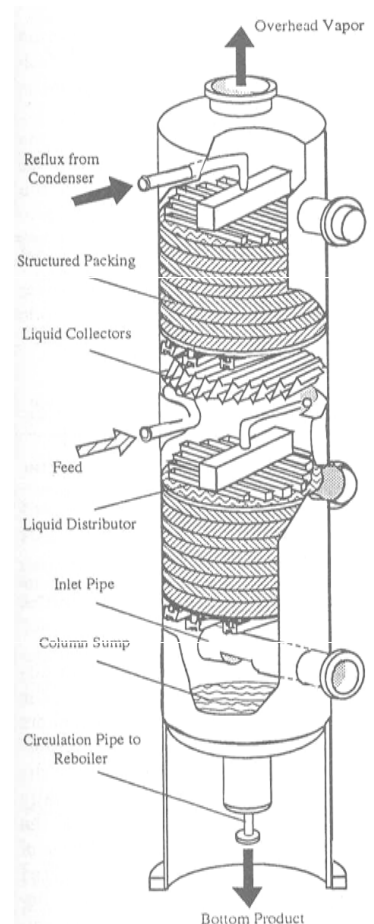


## 4.2. Equipos





### • Torres de relleno

#### Requisitos del relleno






- Proporcionar un gran área superficial
- Facilitar la distribución uniforme del líquido sobre su superficie
- Tener una estructura abierta
- Facilitar el paso uniforme del vapor a través de toda la sección de la columna
- Ser químicamente inerte frente a los fluidos de la torre
- Ser mecánicamente resistente, sin tener un peso excesivo
- Tener un coste razonable



### 4.2. Equipos

Element type	Material	Dimension (length outside × diameter × wall thickness) (mm)	Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	No. of elements per m <sup>3</sup> (1000/m <sup>3</sup> )	Specific surface area a (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Percent void space ε (%)		
 Raschig rings <sup>1)</sup>	ceramic	15 × 15 × 2	700	210	330	70		
		25 × 25 × 3	620	46	195	73		
	carbon steel V2A, V4A stainless steel	50 × 50 × 5	520	6.4	98	78		
		100 × 100 × 10	450	0.75	44	81		
		15 × 15 × 0.5	660	230	350	92		
		25 × 25 × 0.8	640	51	220	93		
50 × 50 × 1.0	430	6.5	110	95				
100 × 100 × 1.5	300	0.75	48	96				
 Pall rings <sup>1)</sup>	ceramic	25 × 25 × 3	620	46	220	73		
		50 × 50 × 5	550	6.3	120	78		
	metal	15 × 15 × 0.4	510	220	360	93		
		25 × 25 × 0.6	460	52	215	94		
	plastic	50 × 50 × 0.8	320	6.3	105	96		
		15 × 15 × 1.0	120	215	350	88		
		25 × 25 × 1.3	85	52	220	90		
		50 × 50 × 1.5	72	6.4	110	92		
		 Intalox saddle <sup>1)</sup>	ceramic	15	670	400	450	71
			25	610	85	255	74	
50	530	9.3	120	79				
 Berl saddle <sup>1)</sup>	ceramic	15	800	280	430	67		
		25	700	75	260	69		
		50	600	8.0	120	73		

(continued next page)

Element type	Material	Dimension (length outside × diameter × wall thickness) (mm)	Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	No. of elements per m <sup>3</sup> (1000/m <sup>3</sup> )	Specific surface area a (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Percent void space ε (%)
 Super-Torus saddle <sup>2)</sup>	plastic	Nominal size				
		1	80	40	240	90
		2	57	6.2	110	94
		3	40	1.2	90	95.5
 Super saddle <sup>1)</sup>	plastic (polypropylene)	25 × 25	118	90	258	95
	metal	25 × 25 × 0.25	190	95	262	95
 Interpack filling <sup>1)</sup>	metal	15 × 15 × 0.4	460	520	360	93
		20 × 20 × 0.4	350	211	260	95
		30 × 30 × 0.6	330	56.5	160	94
 Top Pack <sup>1)</sup>	metal	80 × 0.6	170		75	98
 Hacketten <sup>1)</sup>	plastic	45	63		135	93
		90	53		108	94

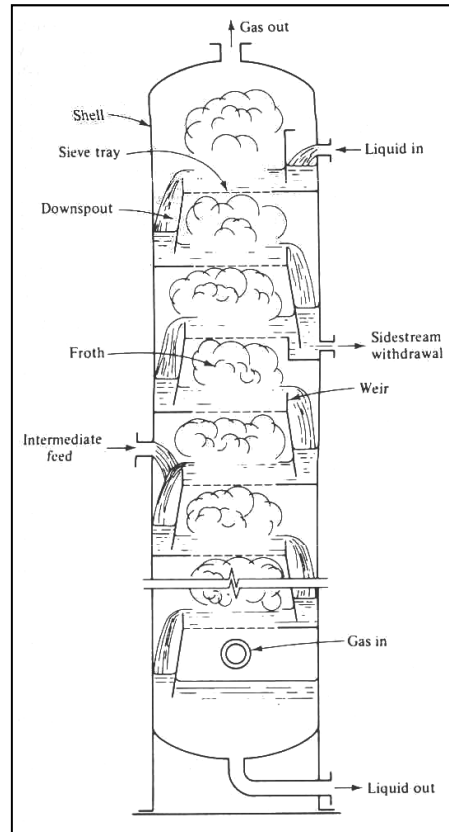
### 4.2. Equipos



Imagen de dos distribuidores

## 4.2. Equipos

- **Torres de pisos**



## 4.2. Equipos

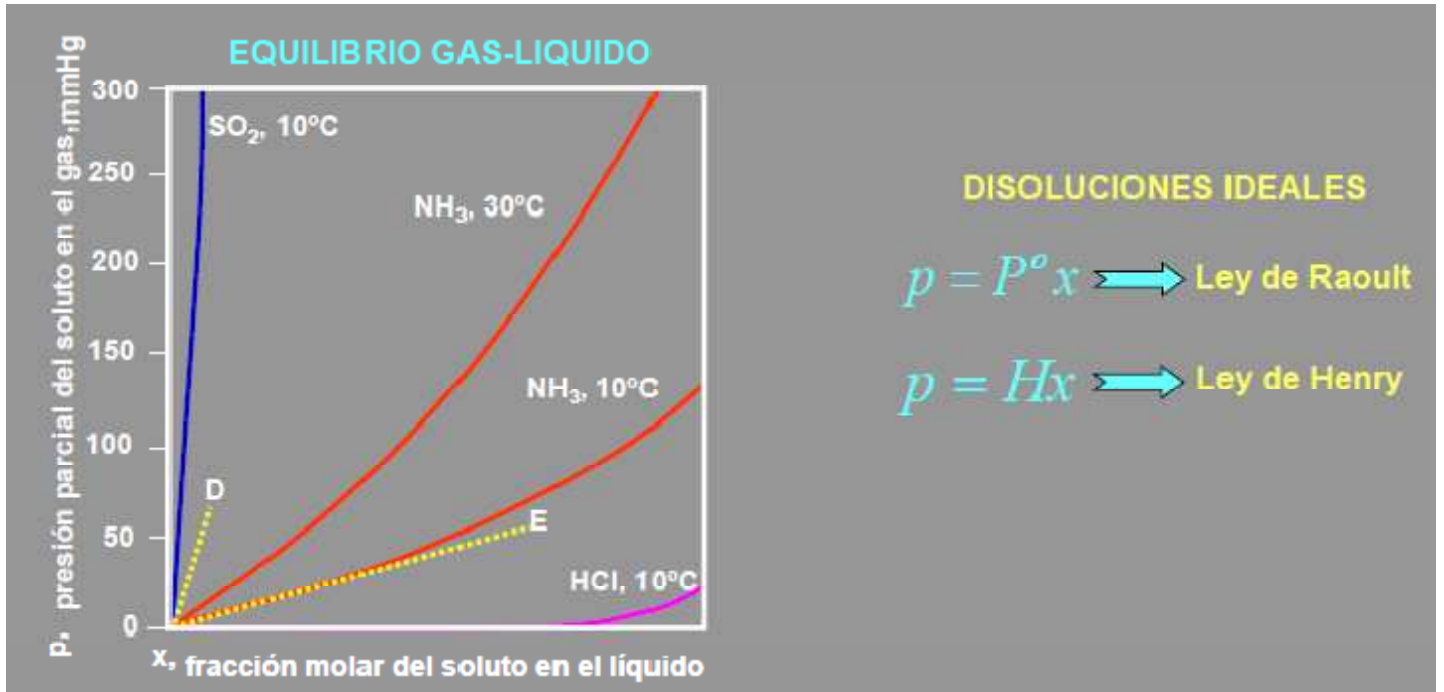
- **Condiciones que favorecen las columnas de relleno:**

1. Columnas de pequeño diámetro ( $D < 0,6 \text{ m}$   $\Rightarrow$  el relleno es más económico)
2. Medios corrosivos
3. Destilaciones críticas a vacío, donde son imprescindibles caídas de presión bajas
4. Bajas retenciones de líquido (si el material es térmicamente inestable)
5. Líquidos que forman espuma (debido a que en columnas de relleno la agitación es menor)

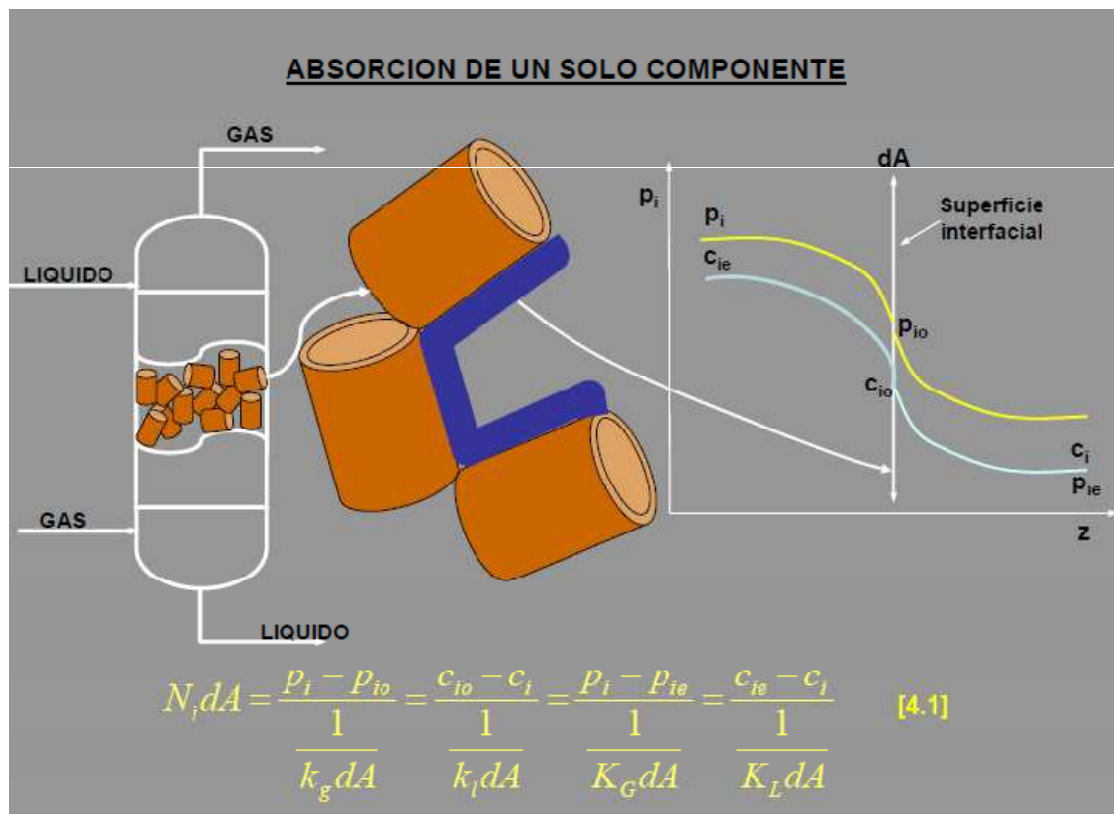
- **Condiciones que favorecen las columnas de pisos:**

1. Cargas variables de líquido y/o vapor
2. Presiones superiores a la atmosférica
3. Bajas velocidades de líquido
4. Gran número de etapas y/o diámetro
5. Elevados tiempos de residencia del líquido
6. Posible ensuciamiento (las columnas de platos son más fáciles de limpiar)
7. Esfuerzos térmicos o mecánicos (que pueden provocar la rotura del relleno)
8. Es más fácil colocar serpentines de refrigeración (en caso necesario)

### 4.3. Transferencia de materia G-L con contacto continuo



### 4.3. Transferencia de materia G-L con contacto continuo



### 4.3. Transferencia de materia G-L con contacto continuo

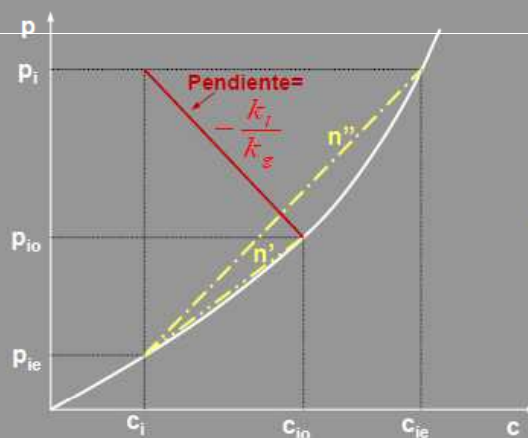
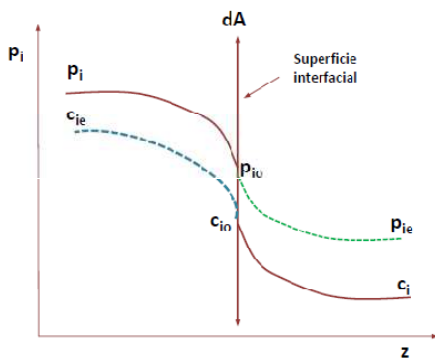
La **dirección de la transferencia de materia** a través de la interfase **NO** depende de la diferencia de concentraciones entre las fases

Depende de:



- Relaciones de equilibrio
- Diferencia de concentraciones de las fases respecto al equilibrio

### 4.3. Transferencia de materia G-L con contacto continuo



$$\frac{p_i - p_{i0}}{c_i - c_{i0}} = -\frac{k_l}{k_g} \quad [4.2]$$

$$n' = \frac{p_{i0} - p_{ie}}{c_{i0} - c_i} \quad [4.3]$$

$$n'' = \frac{p_i - p_{ie}}{c_{ie} - c_i} \quad [4.4]$$

### 4.3. Transferencia de materia G-L con contacto continuo

[4.1] }  
[4.3] }  
[4.4] }

$$N_i dA = \frac{p_i - p_{io}}{\frac{1}{k_g dA}} = \frac{p_{io} - p_{ie}}{\frac{1}{k_l dA}} = \frac{p_i - p_{ie}}{\frac{1}{k_g dA} + \frac{1}{k_l dA}} = \frac{p_i - p_{ie}}{\frac{1}{K_G dA}} = \frac{p_i - p_{ie}}{\frac{1}{K_L dA}} \quad [4.5]$$

RELACION COEFICIENTES INDIVIDUALES/GLOBALES

$$\equiv \frac{1}{K_G dA} = \frac{1}{k_g dA} + \frac{1}{k_l dA} = \frac{1}{K_L dA} \quad [4.6]$$

LINEA DE EQUILIBRIO

→

RECTA

→

LEY DE HENRY

→

$n' = n'' = H$

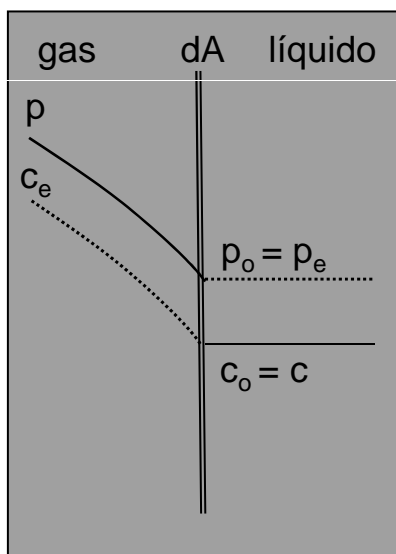
→

COEFICIENTES VARIAN POCO CON LA CONCENTRACION

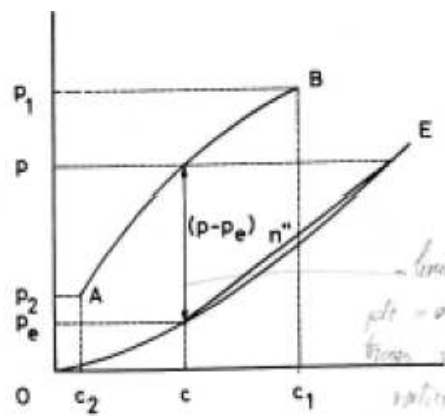
Gases como O<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> a presiones moderadas cumplen la Ley de Henry

### 4.3. Transferencia de materia G-L con contacto continuo

**Caso A:** Solutos muy solubles en la fase líquida ⇒ Resistencia de la fase gaseosa controlante



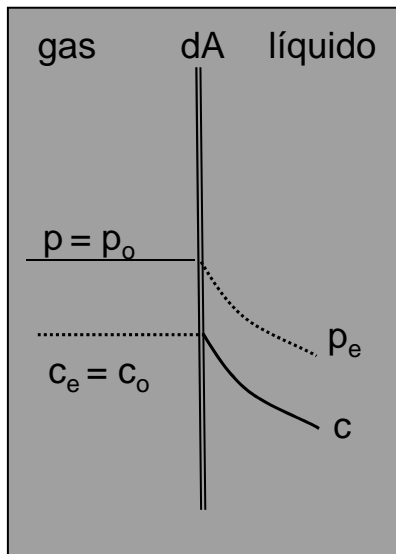
$$\frac{p_i - p_{io}}{c_i - c_{io}} = -\frac{k_l}{k_g} \Rightarrow k_l, K_L \rightarrow \infty \Rightarrow -\frac{k_l}{k_g} \rightarrow \infty$$



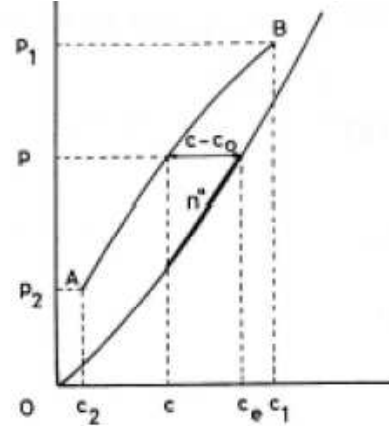


### 4.3. Transferencia de materia G-L con contacto continuo

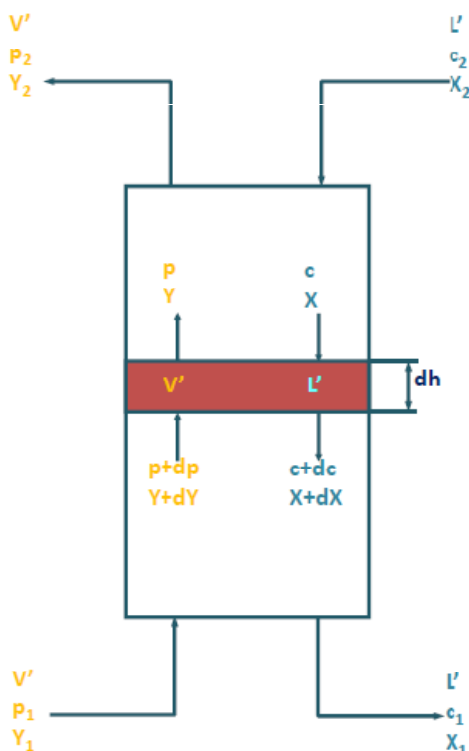
**Caso B:** Solutos poco solubles en la fase líquida  $\Rightarrow$  Resistencia de la fase líquida controlante



$$\frac{p_i - p_{io}}{c_i - c_{io}} = -\frac{k_l}{k_g} \Rightarrow k_g, K_g \rightarrow \infty \Rightarrow -\frac{k_l}{k_g} \approx 0$$



### 4.4. Absorción y desabsorción de un solo componente



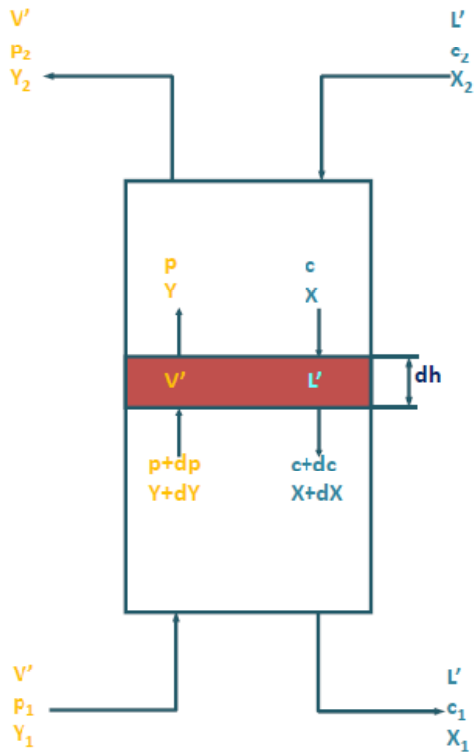
$V'$ ,  $L'$ : Caudales molares de las corrientes gas y líquido, respectivamente, en base libre de soluto

$Y$ ,  $X$ : Razones molares de soluto de las corrientes gas y líquido, respectivamente, en base libre de soluto

$$[4.7] X_i = \frac{c_i}{c_t - c_i} = \frac{x_i}{1 - x_i} \therefore [4.9] L = L' \left( 1 + \frac{c_i}{c_t - c_i} \right) = L' (1 + X_i)$$

$$[4.8] Y_i = \frac{p_i}{\Pi - p_i} = \frac{y_i}{1 - y_i} \therefore [4.10] V = V' \left( 1 + \frac{p_i}{\Pi - p_i} \right) = V' (1 + Y_i)$$

### 4.4. Absorción y desabsorción de un solo componente



Balace de soluto en dh:

$$V' \cdot (y + dY) + L' \cdot X = V' \cdot Y + L' \cdot (X + dX)$$

$$-V' \cdot dY = -L' \cdot dX \quad [4.11]$$

[4.7] [4.8]

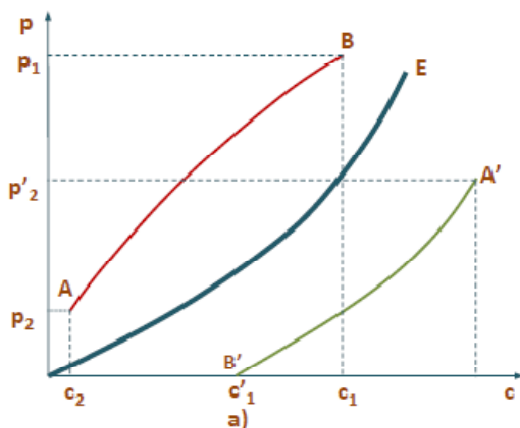
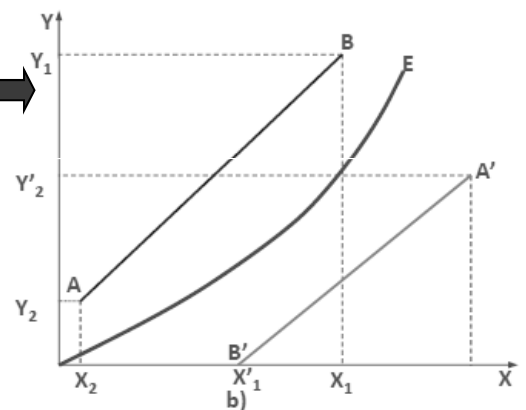
$$-V' \frac{\Pi}{(\Pi - p)^2} dp = -L' \frac{c_t}{(c_t - c)^2} dc \quad [4.12]$$

### 4.4. Absorción y desabsorción de un solo componente

Integrando entre los límites que abarque el relleno:

$$[4.11] \Rightarrow V' \cdot (Y - Y_2) = L' \cdot (X - X_2) \therefore Y = \frac{L'}{V'} X + \left( Y_2 - \frac{L'}{V'} X_2 \right) \quad [4.13]$$

$$[4.12] \Rightarrow V' \cdot \left( \frac{p}{\Pi - p} - \frac{p_2}{\Pi - p_2} \right) = L' \cdot \left( \frac{c}{c_t - c} - \frac{c_2}{c_t - c_2} \right) \quad [4.14]$$



## 4.4. Absorción y desabsorción de un solo componente

A partir de [4.1] y [4.12], y teniendo en cuenta que :

$$dA = a \cdot S \cdot dh \quad [4.15]$$

Siendo "a" la superficie de contacto entre las dos fases por unidad de volumen de relleno

Mediante integración entre los límites de la columna:

$$h = \frac{V'}{S} \int_{p_2}^{p_1} \frac{\Pi \cdot dp_i}{k_g \cdot a (\Pi - p_i)^2 (p_i - p_{io})} \quad [4.16]$$

$$h = \frac{L'}{S} \int_{c_2}^{c_1} \frac{dc_i}{k_l \cdot a \cdot c_i \left(1 - \frac{c_i}{c_t}\right)^2 (c_{io} - c_i)} \quad [4.18]$$

$$h = \frac{V'}{S} \int_{p_2}^{p_1} \frac{\Pi \cdot dp_i}{K_G \cdot a (\Pi - p_i)^2 (p_i - p_{ie})} \quad [4.17]$$

$$h = \frac{L'}{S} \int_{c_2}^{c_1} \frac{dc_i}{K_L \cdot a \cdot c_i \left(1 - \frac{c_i}{c_t}\right)^2 (c_{ie} - c_i)} \quad [4.19]$$

NOTA: los coeficientes no salen de las integrales porque no son constantes

## 4.4. Absorción y desabsorción de un solo componente

- Coeficientes individuales: suelen considerarse constantes
- Coeficientes globales: dependen de la composición

Simplificaciones:

- Una de las dos fases es controlante
  - Se cumple la ley de Henry
- }      ➔      Coeficientes globales  
K<sub>L</sub> y K<sub>G</sub> constantes:

Teniendo en cuenta las expresiones [4.7] y [4.8], las ecuaciones [4.16] a [4.19] en función de las razones molares:

$$h = \frac{V'/S}{k_g \cdot a \cdot \Pi} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{(1+Y)(1+Y_o)dY}{(Y-Y_o)} \quad [4.20] \quad h = \frac{L'/S}{k_l \cdot a \cdot c_t} \int_{X_2}^{X_1} \frac{(1+X)(1+X_o)dX}{X_o - X} \quad [4.22]$$

$$h = \frac{V'/S}{K_G \cdot a \cdot \Pi} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{(1+Y)(1+Y_e)dY}{(Y-Y_e)} \quad [4.21] \quad h = \frac{L'/S}{K_L \cdot a \cdot c_t} \int_{X_2}^{X_1} \frac{(1+X)(1+X_e)dX}{X_e - X} \quad [4.23]$$

## 4.4. Absorción y desabsorción de un solo componente

Mezclas diluidas:

- Concentraciones de soluto < 15%
- La presión parcial del gas portador permanece constante y casi coincidente con la presión total.
- Los coeficientes individuales de transferencia de material son casi constantes a lo largo de la columna.
- La concentración de soluto es suficientemente reducida para que se cumpla:

$$Y = \frac{p}{\Pi - p} \cong \frac{p}{\Pi} = y \quad [4.24] \quad V = V'(1 + Y) \cong V' \quad [4.26]$$

$$X = \frac{c}{c_t - c} \cong \frac{c}{c_t} = x \quad [4.25] \quad L = L'(1 + X) \cong L' \quad [4.27]$$

## 4.4. Absorción y desabsorción de un solo componente

Mezclas diluidas:

$$h = \frac{V'/S}{k_g \cdot a \cdot \Pi} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y_o} \quad [4.28] \quad h = \frac{L'/S}{k_l \cdot a \cdot c_t} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{X_o - X} \quad [4.29]$$

Simplificaciones (I):

- Una de las dos fases es controlante
- Se cumple la ley de Henry



$$h = \frac{V'/S}{K_G \cdot a \cdot \Pi} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y_e} \quad [4.30] \quad h = \frac{L'/S}{K_L \cdot a \cdot c_t} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{X_e - X} \quad [4.31]$$

## 4.4. Absorción y desabsorción de un solo componente

Mezclas diluidas:

Simplificaciones (II):

- Los datos de equilibrio se ajustan a una recta

$$h = \frac{V'/S}{k_g \cdot a \cdot \Pi} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y_o} \quad [4.28] \quad \Rightarrow \quad \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y_o} = \frac{Y_1 - Y_2}{(Y - Y_o)_{ml}}$$

$$h = \frac{L'/S}{k_l \cdot a \cdot c_i} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{X_o - X} \quad [4.29] \quad \Rightarrow \quad \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{X - X_o} = \frac{X_1 - X_2}{(X - X_o)_{ml}}$$

$$(Y - Y_o)_{ml} = \frac{(Y_1 - Y_{o1}) - (Y_2 - Y_{o2})}{\text{Ln} \left( \frac{Y_1 - Y_{o1}}{Y_2 - Y_{o2}} \right)} \quad (X - X_o)_{ml} = \frac{(X_1 - X_{o1}) - (X_2 - X_{o2})}{\text{Ln} \left( \frac{X_1 - X_{o1}}{X_2 - X_{o2}} \right)}$$

### Bibliografía

- Operaciones de Separación por Etapas de Equilibrio en Ingeniería Química. E.J. Henley y J.D. Seader. Editorial Reverté. Barcelona, 1988. ISBN: 8429179089
- Mass-Transfer Operations. R.E. Treybal. Editorial McGraw-Hill. 1981. ISBN: 0070666156
- Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. McCabe, Warren L. McGraw Hill. 2007. ISBN: 9789701061749.
- Operaciones de Separación en Ingeniería Química. Métodos de Cálculo. P. J. Martínez de la Cuesta, E. Rus Martínez. Editorial Pearson Educación. España 2004. ISBN: 8420542504