

GUÍA 4 - Absorción / Desorción

Problema 8

1° Cuatrimestre - 2025

Enunciado

Se tratarán mediante una operación adiabática una corriente de 0,75 kmol/h de nitrógeno y 0,1 kmol/h de metanol, con 0,38 kmol/h de una solución acuosa que contiene 1% molar de metanol, con el fin de reducir la concentración de metanol de la corriente gaseosa al 0,5% molar. La temperatura de ingreso de la solución acuosa es de 10°C.

1. Determinar la temperatura de salida de la corriente acuosa y el número de etapas teóricas.
2. Con la torre operativa, determinar las nuevas concentraciones si hay un aumento de temperatura de un 10% y de caudal de solución acuosa del 5%.

Datos

- Equilibrio
- $Q_{Abs} = 9,8 \text{ kJ/mol}$
- $C_{p_{sv}}^L = 0,06 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}^\circ\text{C}}$
- $C_{p_{st}}^L = 0,022 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}^\circ\text{C}}$

T	[°C]	10	20	30	40	50	55
m	N/A	0,009	0,16	0,32	0,41	0,46	0,5

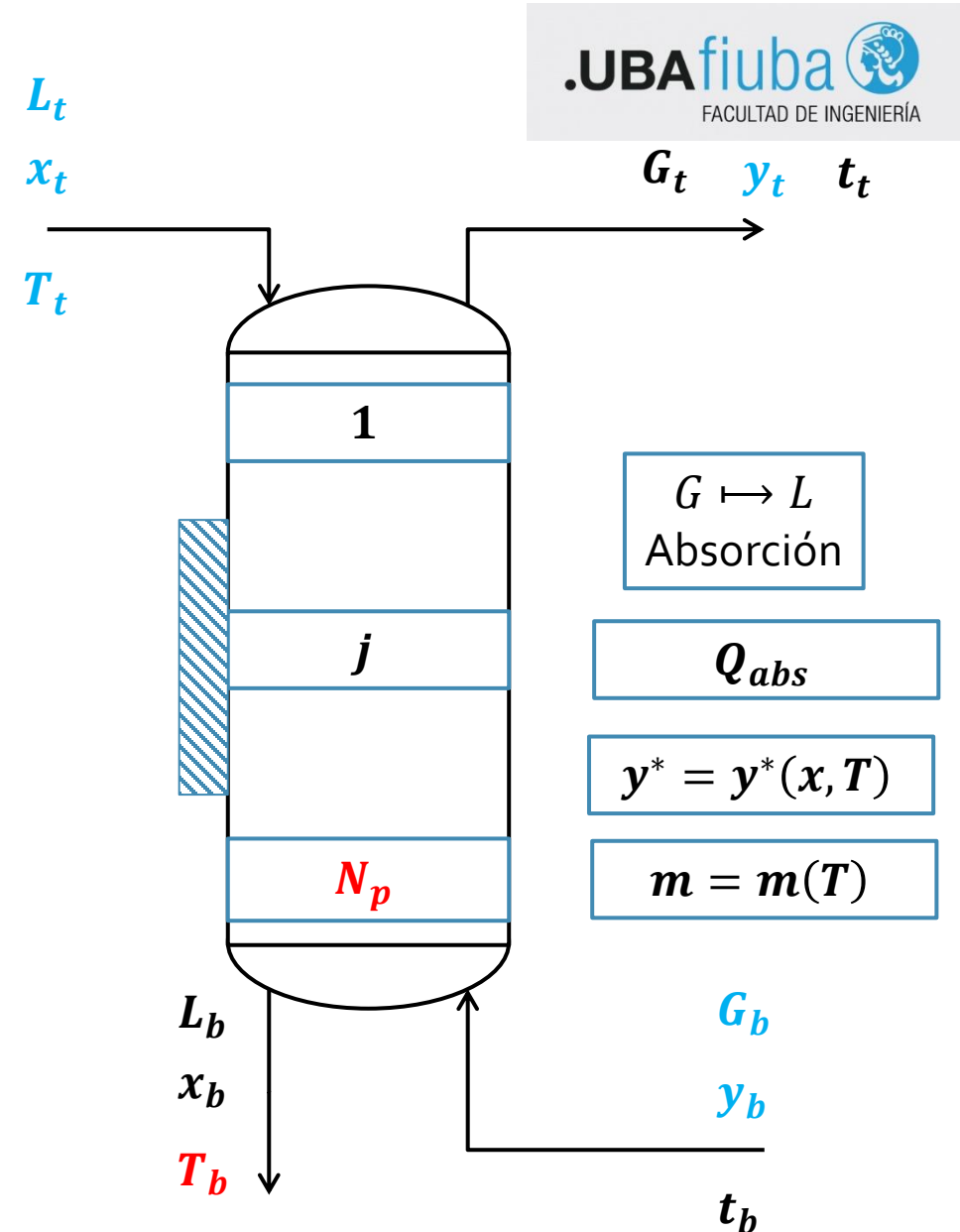
Enunciado

Se tratarán mediante una operación adiabática una corriente de 0,75 kmol/h de nitrógeno y 0,1 kmol/h de metanol, con 0,38 kmol/h de una solución acuosa que contiene 1% molar de metanol, con el fin de reducir la concentración de metanol de la corriente gaseosa al 0,5% molar. La temperatura de ingreso del agua es de 10°C.

1. Determinar la temperatura de salida de la corriente acuosa y el número de etapas teóricas.

$$y^* = y^*(x, T) = m_{(T)} \cdot x$$

$$Y^* = Y^*(X, T) = \frac{m_{(T)} \cdot X}{1 + [m_{(T)} - 1] \cdot X}$$

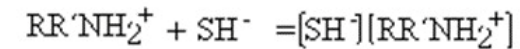
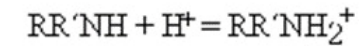
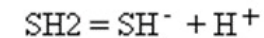


Ejemplo de aplicación – Absorción Gas Natural con Aminas

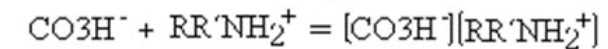
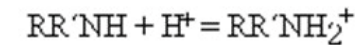
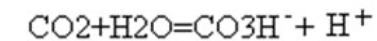


Reacciones involucradas:

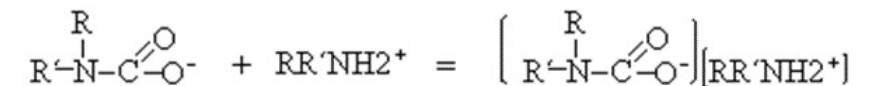
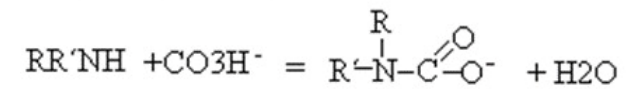
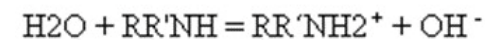
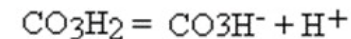
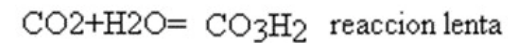
con SH₂



con CO₂: Mecanismo 1



Mecanismo 2



Resolución – Ítem 1

1) Planteamos Balance de Masa Global (en relaciones)

$$BM]_{Glob} \quad G_S \cdot Y_B + L_S \cdot X_T = L_S \cdot X_B + G_S \cdot Y_T$$

$$G_S \cdot (Y_B - Y_T) = L_S \cdot (X_B - X_T)$$

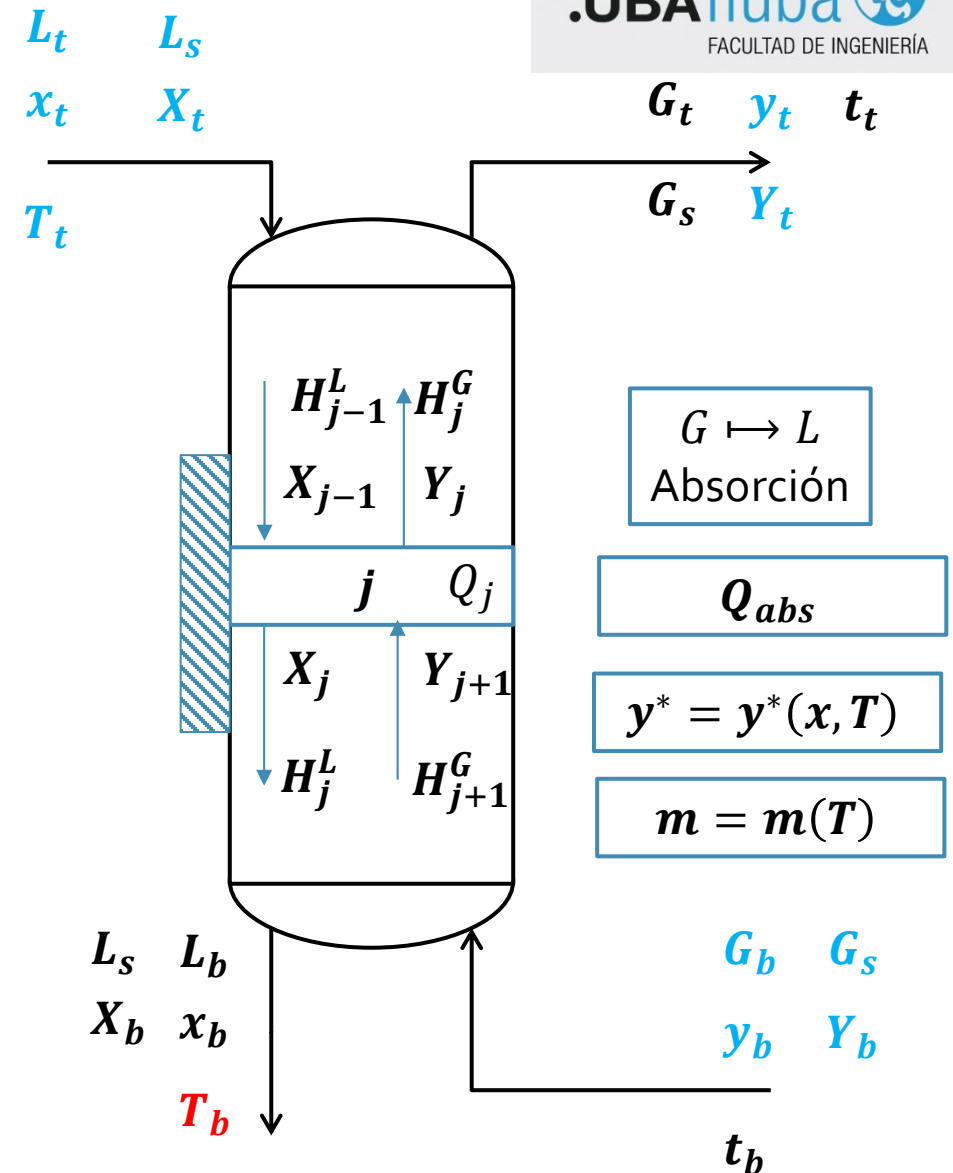
2) Tomando la etapa j , realizamos un BM parcial y un Balance de Energía:

$$BM]_j \quad G_S \cdot (Y_{j+1} - Y_j) = L_S \cdot (X_j - X_{j-1})$$

$$BE]_j \quad H_{j+1}^G + H_{j-1}^L - H_j^G - H_j^L + Q_j = 0$$

Entalpías asociadas
al calor sensible

Calor asociado a la
Transferencia de materia



Resolución – Ítem 1

Consideraciones

- La torre ENTERA es adiabática
- Sin embargo, cada etapa intercambia un calor asociado al pasaje de moles de soluto de una fase a la otra
- El calor de absorción / desorción estará compuesto por:

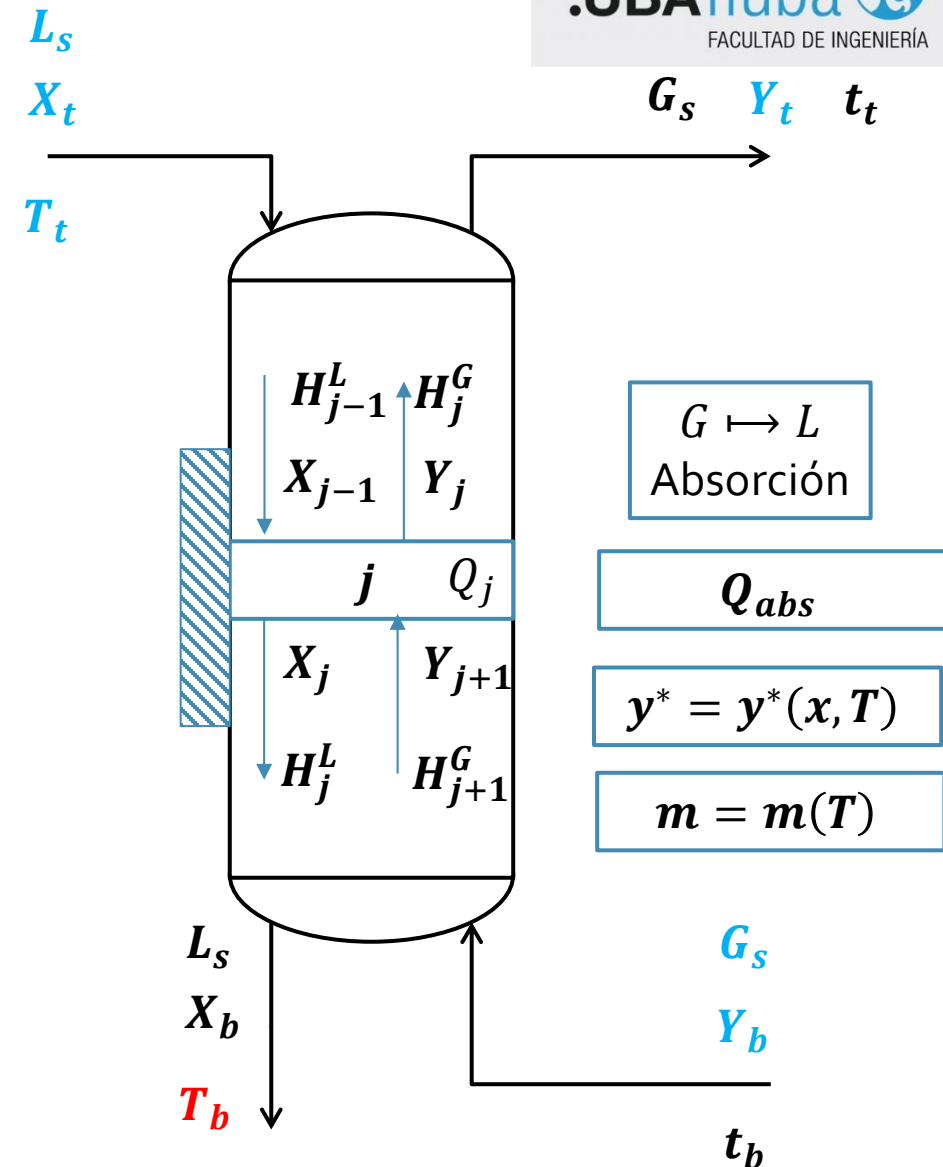
$$Q_j = \underbrace{G_s \cdot \lambda \cdot (Y_{j+1} - Y_j)}_{\text{Calor asociado a la condensación / evaporación}} - \underbrace{L_s \cdot \Delta H_s \cdot (X_j - X_{j-1})}_{\text{Calor asociado a la Mezcla de la fase líquida}}$$

Calor asociado a la condensación / evaporación Calor asociado a la Mezcla de la fase líquida

- Para cualquier etapa, se tiene:

$$H^L = H_{sv}^L + H_{st}^L = \underbrace{L_s \cdot C_{p_{sv}}^L \cdot T}_{\text{Entalpía solvente}} + \underbrace{L_{st} \cdot C_{p_{st}}^L \cdot T}_{\text{Entalpía soluto}} \quad (*)$$

(*) Se omite la temperatura y entalpía de referencia.



Resolución – Ítem 1

Álgebra para el lado líquido (se omite el subíndice de la etapa)

$$H^L = H_{sv}^L + H_{st}^L = L_s \cdot C_{p_{sv}}^L \cdot T + L_{st} \cdot C_{p_{st}}^L \cdot T$$

$$L \cdot (1 - x) \cdot C_{p_{sv}}^L \cdot T + L \cdot x \cdot C_{p_{st}}^L \cdot T$$

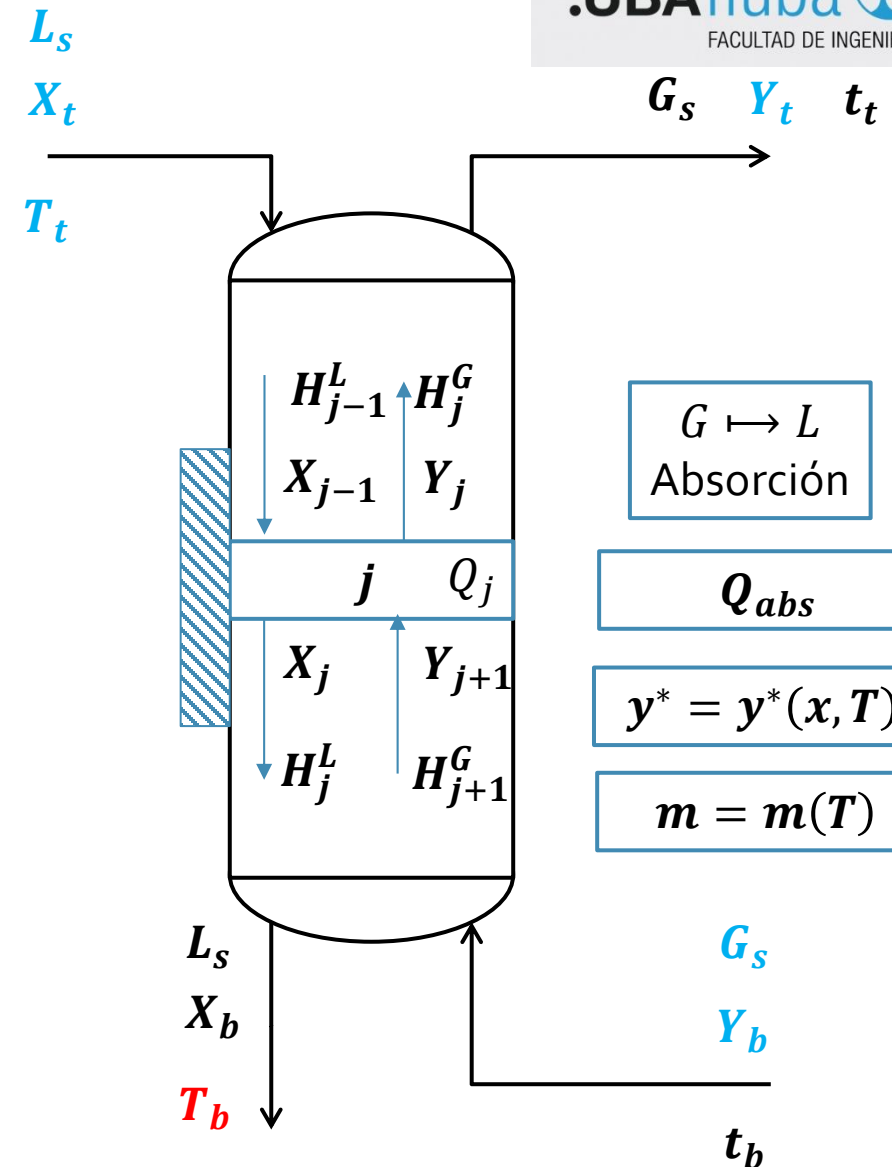
Saco Factor Común

$$L \cdot (1 - x) \cdot T$$

$$L \cdot (1 - x) \cdot T \cdot \left(C_{p_{sv}}^L + \frac{x}{1 - x} \cdot C_{p_{st}}^L \right)$$

$$H^L = L_s \cdot T \cdot \left(C_{p_{sv}}^L + X \cdot C_{p_{st}}^L \right)$$

$$H^L = L_s \cdot C_{p_{mix}}^L \cdot T$$



Resolución – Ítem 1

Álgebra para el lado gaseoso (se omite el subíndice de la etapa)

$$H^G = H_{sv}^G + H_{st}^G = G_s \cdot C_{p_{sv}}^G \cdot t + G_{st} \cdot C_{p_{st}}^G \cdot t$$

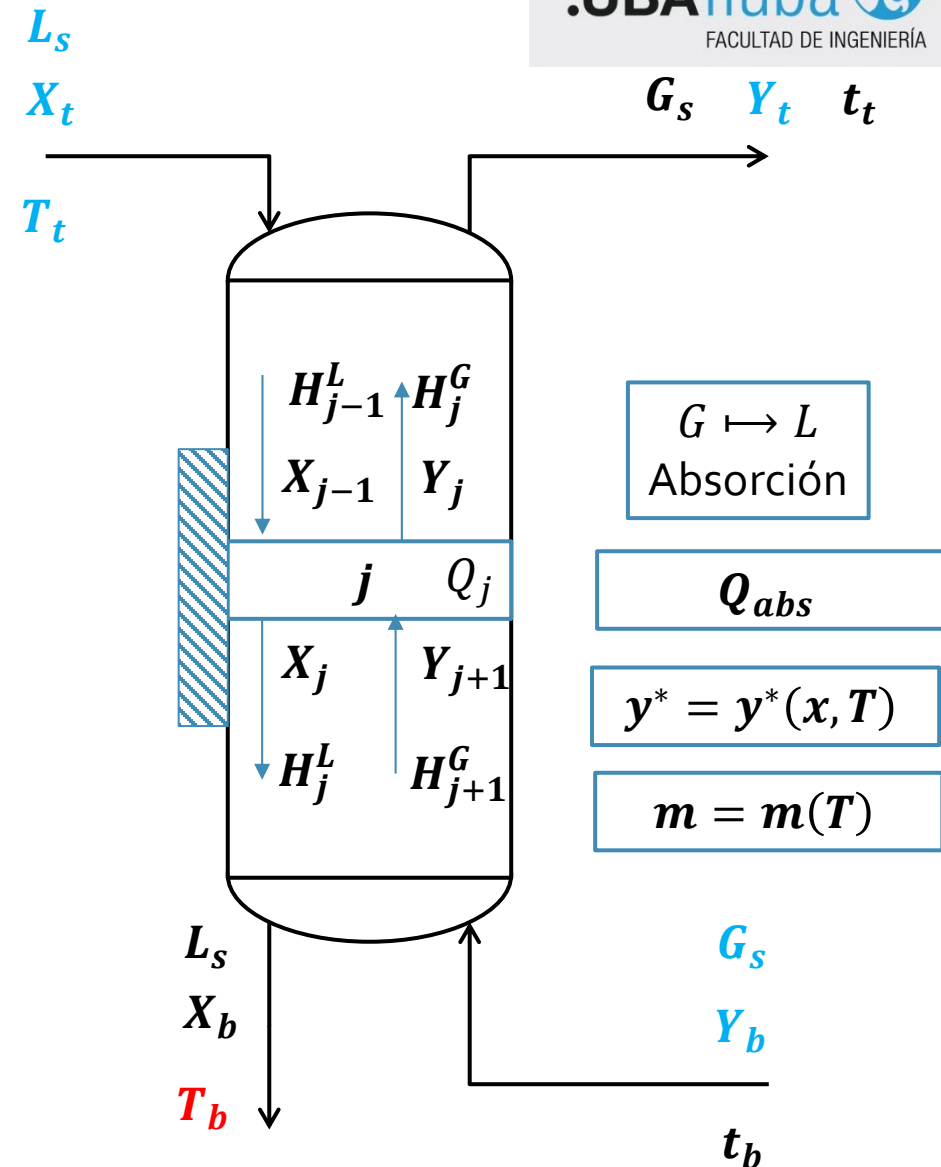
$$G \cdot (1 - y) \cdot C_{p_{sv}}^G \cdot t + G \cdot y \cdot C_{p_{st}}^G \cdot t$$

Saco Factor Común
 $G \cdot (1 - y) \cdot t$

$$G \cdot (1 - y) \cdot t \cdot \left(C_{p_{sv}}^G + \frac{y}{1 - y} \cdot C_{p_{st}}^G \right)$$

$$H^G = G_s \cdot t \cdot \left(C_{p_{sv}}^G + Y \cdot C_{p_{st}}^G \right)$$

$$H^G = G_s \cdot C_{p_{mix}}^G \cdot t$$

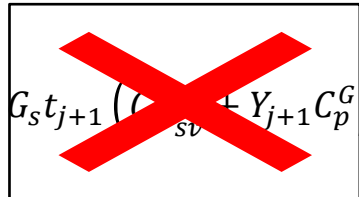


Resolución – Ítem 1

Método Simplificado – Solución General

Hipótesis

- Propiedades físicas constantes
- Solamente el soluto se transfiere entre fases
- Capacidades caloríficas del gas son muy pequeñas (OJO! esto no significa que no cambie de temperatura)



$$G_s t_{j+1} (C_{p_{sv}}^L + Y_{j+1} C_{p_{st}}^G) + L_s T_{j-1} (C_{p_{sv}}^L + X_{j-1} C_{p_{st}}^L) - G_s t_j (C_{p_{sv}}^L + Y_j C_{p_{st}}^L) - L_s T_j (C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L) + Q = 0$$

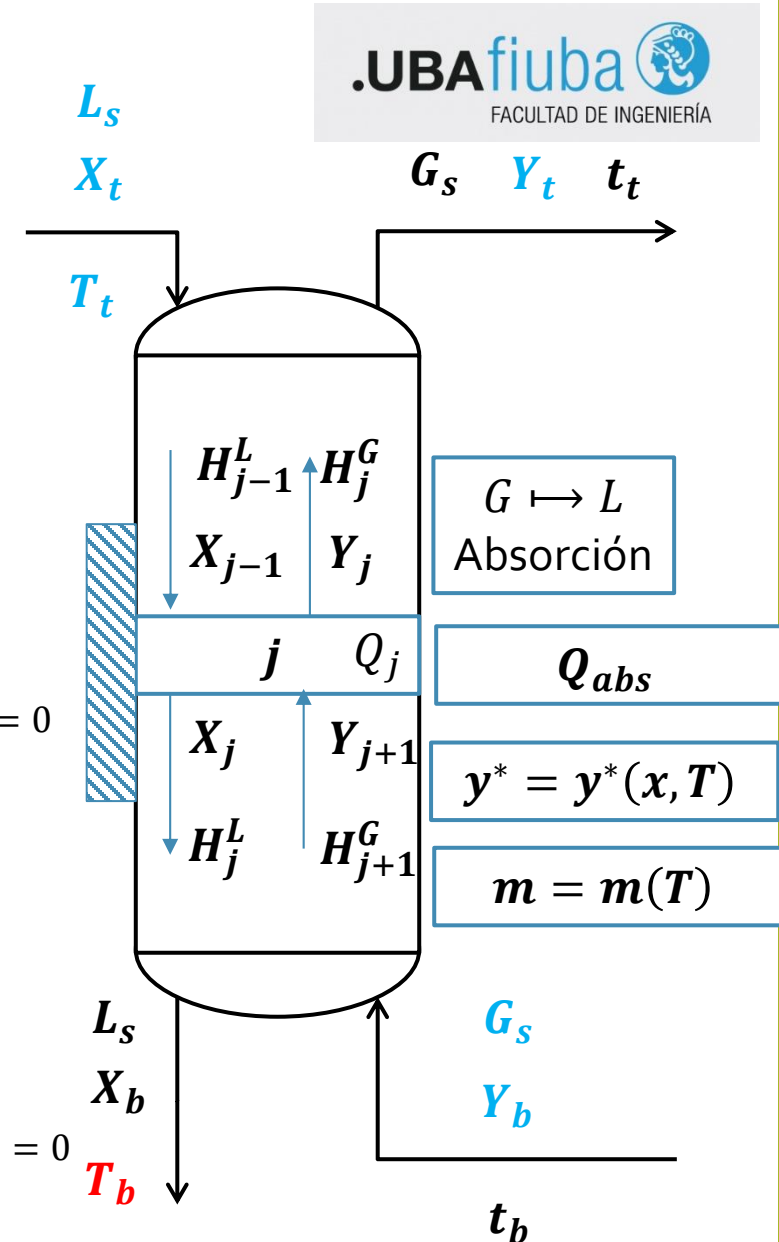
$$Q = G_s \cdot \lambda \cdot (Y_{j+1} - Y_j) - L_s \cdot \Delta H_s \cdot (X_j - X_{j-1})$$

$$L_s T_{j-1} (C_{p_{sv}}^L + X_{j-1} C_{p_{st}}^L) - L_s T_j (C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L) + G_s \lambda (Y_{j+1} - Y_j) - L_s \Delta H_s (X_j - X_{j-1}) = 0$$



$$BM]_j \quad G_s \cdot (Y_{j+1} - Y_j) = L_s \cdot (X_j - X_{j-1})$$

$$L_s \cdot T_{j-1} \cdot (C_{p_{sv}}^L + X_{j-1} \cdot C_{p_{st}}^L) - L_s \cdot T_j \cdot (C_{p_{sv}}^L + X_j \cdot C_{p_{st}}^L) + L_s \cdot \lambda \cdot (X_j - X_{j-1}) - L_s \cdot \Delta H_s \cdot (X_j - X_{j-1}) = 0$$



Resolución – Ítem 1

Método Simplificado – Solución General

$$L_s T_{j-1} (C_{p_{sv}}^L + X_{j-1} C_{p_{st}}^L) - L_s T_j (C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L) + L_s \lambda (X_j - X_{j-1}) - L_s \Delta H_s (X_j - X_{j-1}) = 0$$

$$T_{j-1} (C_{p_{sv}}^L + X_{j-1} C_{p_{st}}^L) - T_j (C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L) + \lambda (X_j - X_{j-1}) - \Delta H_s (X_j - X_{j-1}) = 0$$

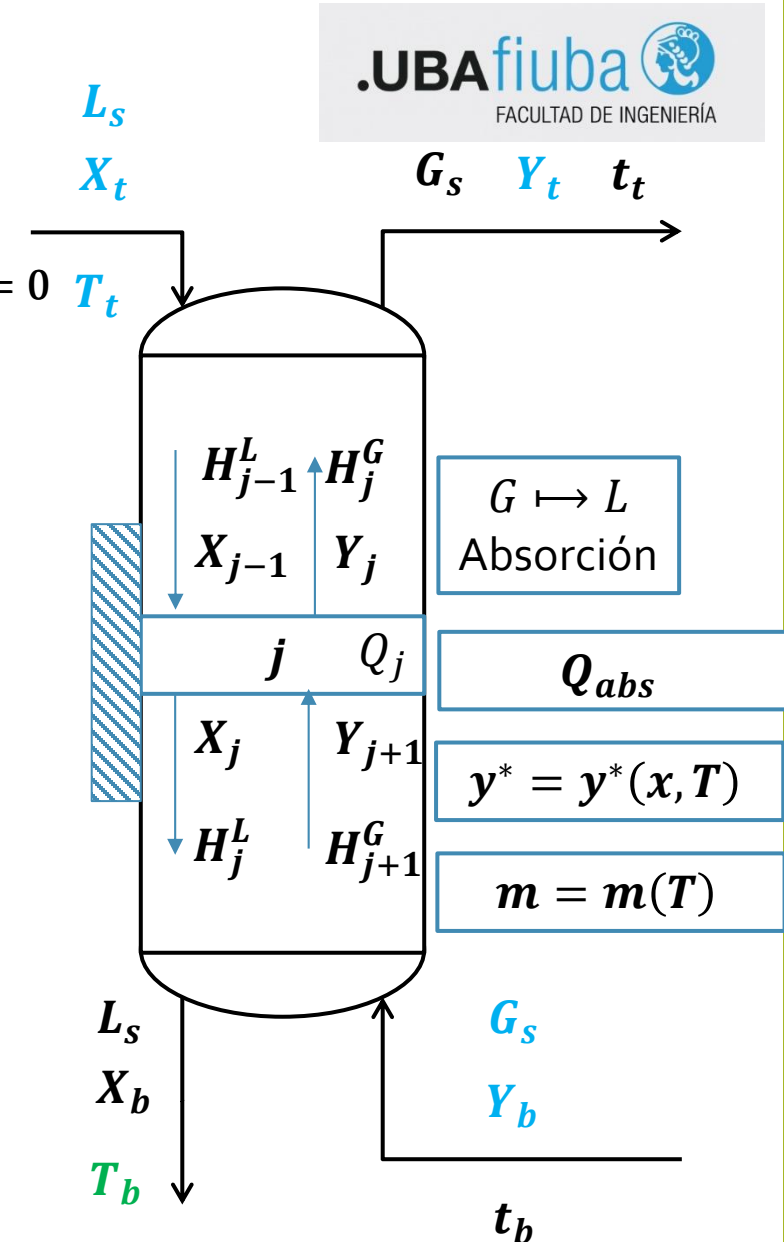
$$T_{j-1} \cdot (C_{p_{sv}}^L + X_{j-1} \cdot C_{p_{st}}^L) - T_j \cdot (C_{p_{sv}}^L + X_j \cdot C_{p_{st}}^L) + (\lambda - \Delta H_s) \cdot (X_j - X_{j-1}) = 0$$

$$T_j = T_{j-1} \left(\frac{C_{p_{sv}}^L + X_{j-1} C_{p_{st}}^L}{C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L} \right) + \frac{\lambda - \Delta H_s}{C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L} (X_j - X_{j-1})$$

$$T_j = T_T \left(\frac{C_{p_{sv}}^L + X_T C_{p_{st}}^L}{C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L} \right) + \frac{\lambda - \Delta H_s}{C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L} (X_j - X_T)$$

$$T_j = T_T \left(\frac{C_{p_{sv}}^L + X_T C_{p_{st}}^L}{C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L} \right) + \frac{Q_{abs}}{C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L} (X_j - X_T)$$

BM desde
tope hasta j



Resolución – Ítem 1

Método Simplificado – Solución Diluida

Hipótesis

- Hipótesis de Método Simplificado. Solución General
- Solución Diluida ($X_k \rightarrow x_k$)

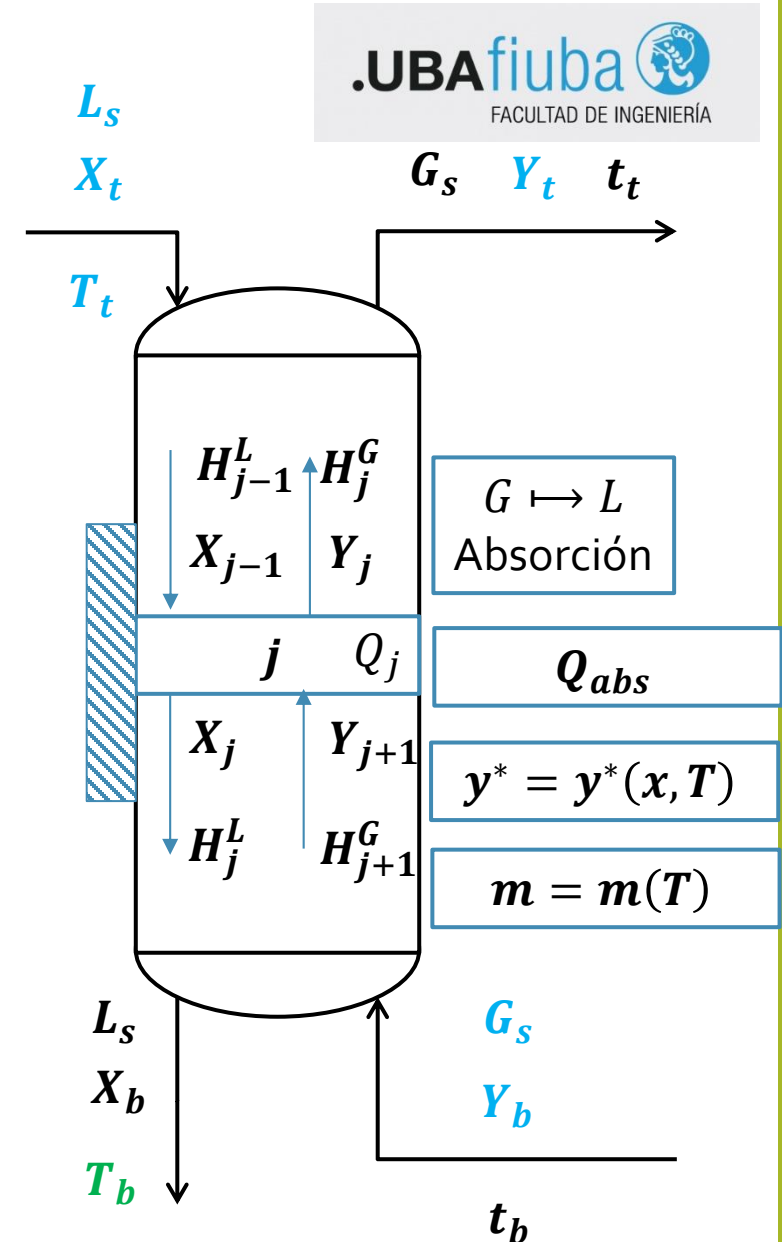
$$T_j = T_T \cdot \left(\frac{C_{p_{sv}}^L + X_T \cdot C_{p_{st}}^L}{C_{p_{sv}}^L + X_j \cdot C_{p_{st}}^L} \right) + \frac{Q_{abs}}{C_{p_{sv}}^L + X_j \cdot C_{p_{st}}^L} (X_j - X_T)$$

$$T_j = T_T \left(\frac{C_{p_{sv}}^L + x_T \cdot C_{p_{st}}^L}{C_{p_{sv}}^L + x_j \cdot C_{p_{st}}^L} \right) + \frac{Q_{abs}}{C_{p_{sv}}^L + x_j \cdot C_{p_{st}}^L} (x_j - x_T)$$

$X_k \rightarrow x_k$

$x_k \rightarrow 0$

$$T_j = T_T + \frac{Q_{abs}}{C_{p_{sv}}^L} (x_j - x_T)$$



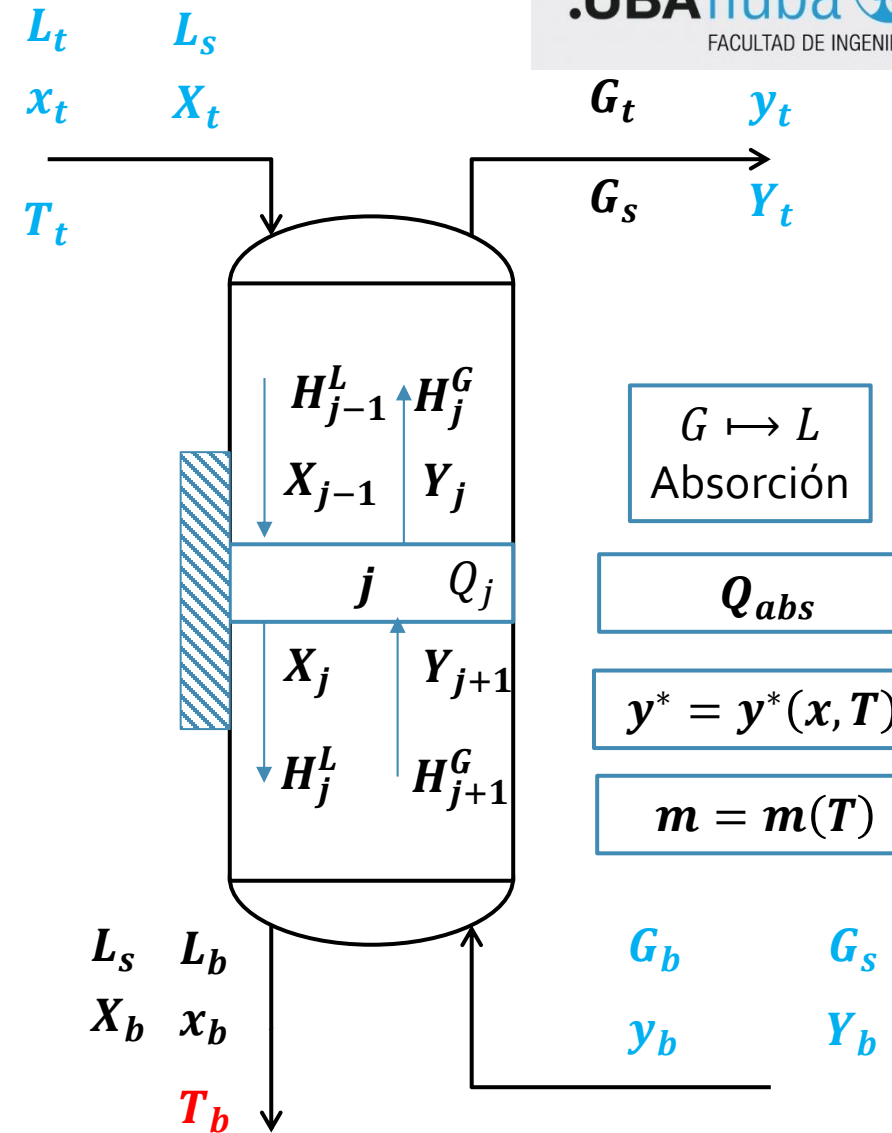
Resolución – Ítem 1

Método Simplificado – Solución General

$$T_j = T_T \cdot \left(\frac{C_{p_{sv}}^L + X_T \cdot C_{p_{st}}^L}{C_{p_{sv}}^L + X_j \cdot C_{p_{st}}^L} \right) + \frac{Q_{abs}}{C_{p_{sv}}^L + X_j \cdot C_{p_{st}}^L} \cdot (X_j - X_T)$$

Método Simplificado – Solución Diluida

$$T_j = T_T + \frac{Q_{abs}}{C_{p_{sv}}^L} \cdot (x_j - x_T)$$



Resolución – Ítem 1

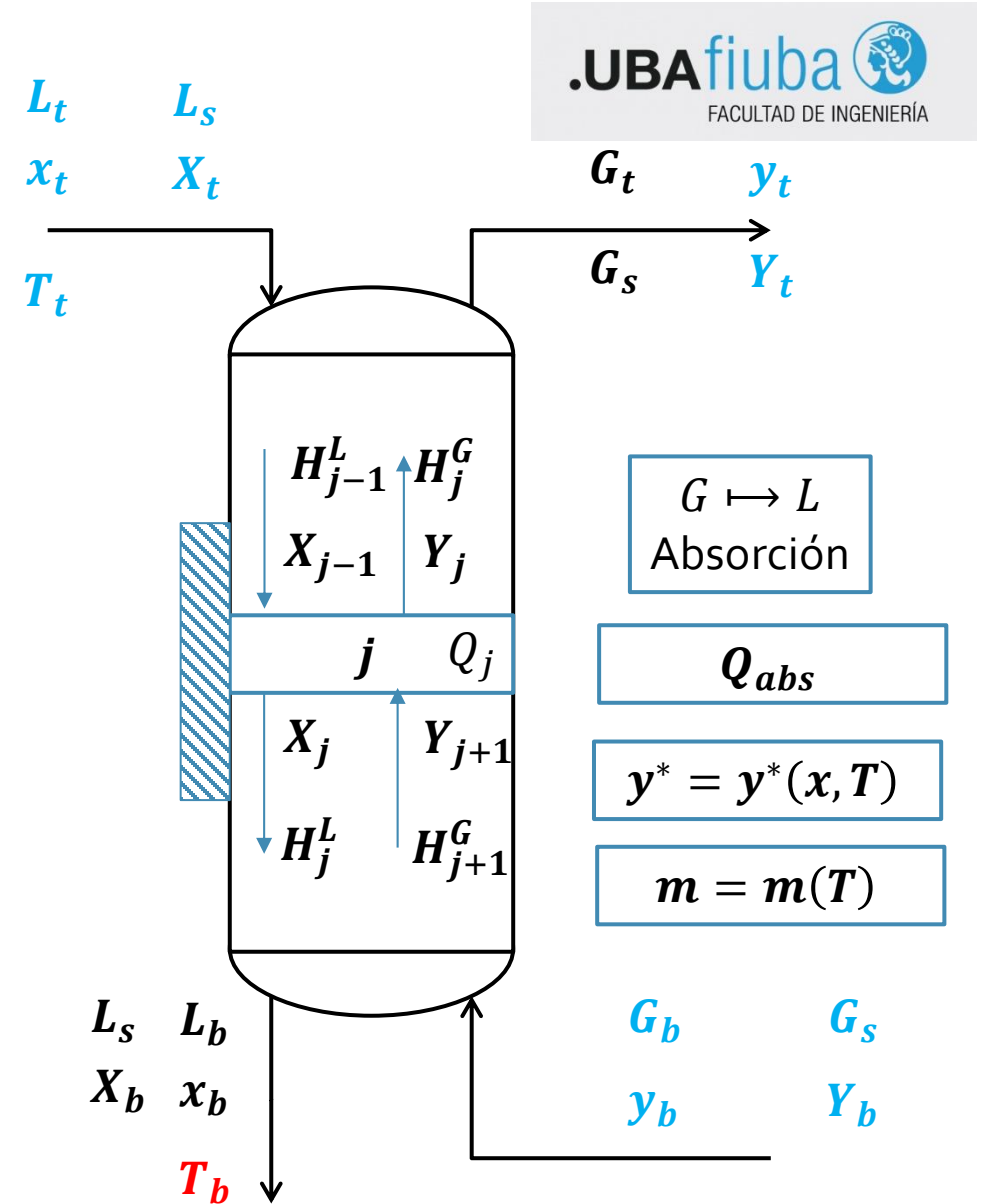
Se tratarán mediante una operación adiabática una corriente de 0,75 kmol/h de nitrógeno y 0,1 kmol/h de metanol, con 0,38 kmol/h de una solución acuosa que contiene 1% molar de metanol, con el fin de reducir la concentración de metanol de la corriente gaseosa al 0,5% molar. La temperatura de ingreso del agua es de 10°C.

- Determinar la temperatura de salida de la corriente acuosa y el número de etapas teóricas.

Método Simplificado – Solución Diluida

Datos

$$\left\{ \begin{array}{l} L_t = 0,38 \frac{\text{kmol}}{h} \\ G_b = 0,75 \frac{\text{kmol}}{h} + 0,1 \frac{\text{kmol}}{h} \\ x_t = 0,01 \\ y_t = 0,005 \\ y_b = ?? \\ x_b = ?? \end{array} \right. \quad y_b = \frac{0,1 \text{ kmol/h}}{0,1 \text{ kmol/h} + 0,75 \text{ kmol/h}} = 0,118$$



Resolución – Ítem 1

Se tratarán mediante una operación adiabática una corriente de 0,75 kmol/h de nitrógeno y 0,1 kmol/h de metanol, con 0,38 kmol/h de una solución acuosa que contiene 1% molar de metanol, con el fin de reducir la concentración de metanol de la corriente gaseosa al 0,5% molar. La temperatura de ingreso del agua es de 10°C.

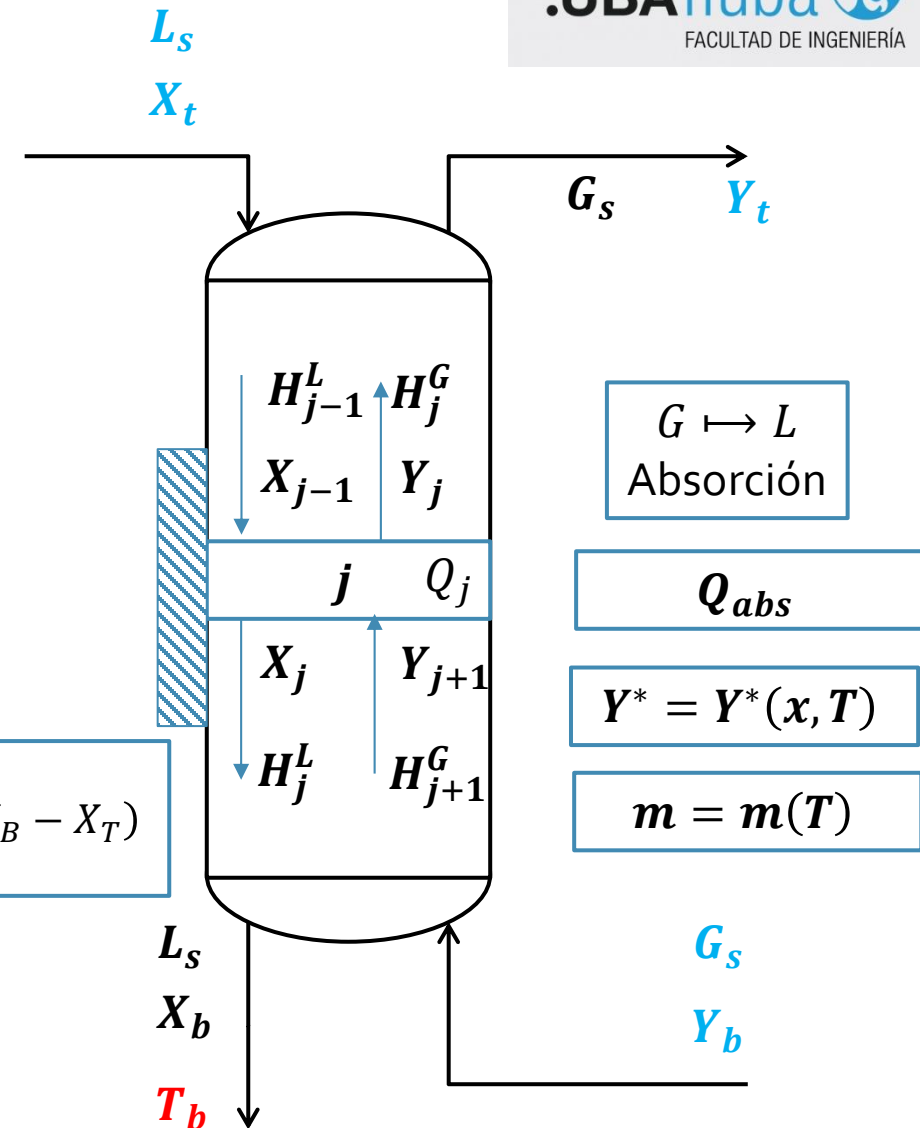
- Determinar la temperatura de salida de la corriente acuosa y el número de etapas teóricas.

Método Simplificado. Solución General

$$\left\{ \begin{array}{l} L_S = 0,376 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \\ G_S = 0,75 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \\ X_t = 0,0101 \\ Y_t = 0,005 \\ Y_B = \frac{0,118}{1 - 0,118} = 0,133 \\ X_B = X_T + \frac{G_S}{L_S} (Y_B - Y_T) = 0,266 \end{array} \right.$$

$$T_B = T_T \cdot \left(\frac{C_{p_{sv}}^L + X_T C_{p_{st}}^L}{C_{p_{sv}}^L + X_B C_{p_{st}}^L} \right) + \frac{Q_{abs}}{C_{p_{sv}}^L + X_B C_{p_{st}}^L} \cdot (X_B - X_T)$$

$$T_B = 38,6^\circ\text{C}$$



Resolución – Ítem 1

Método Simplificado – Cálculo de etapas – Método de Lewis

• Ecuaciones

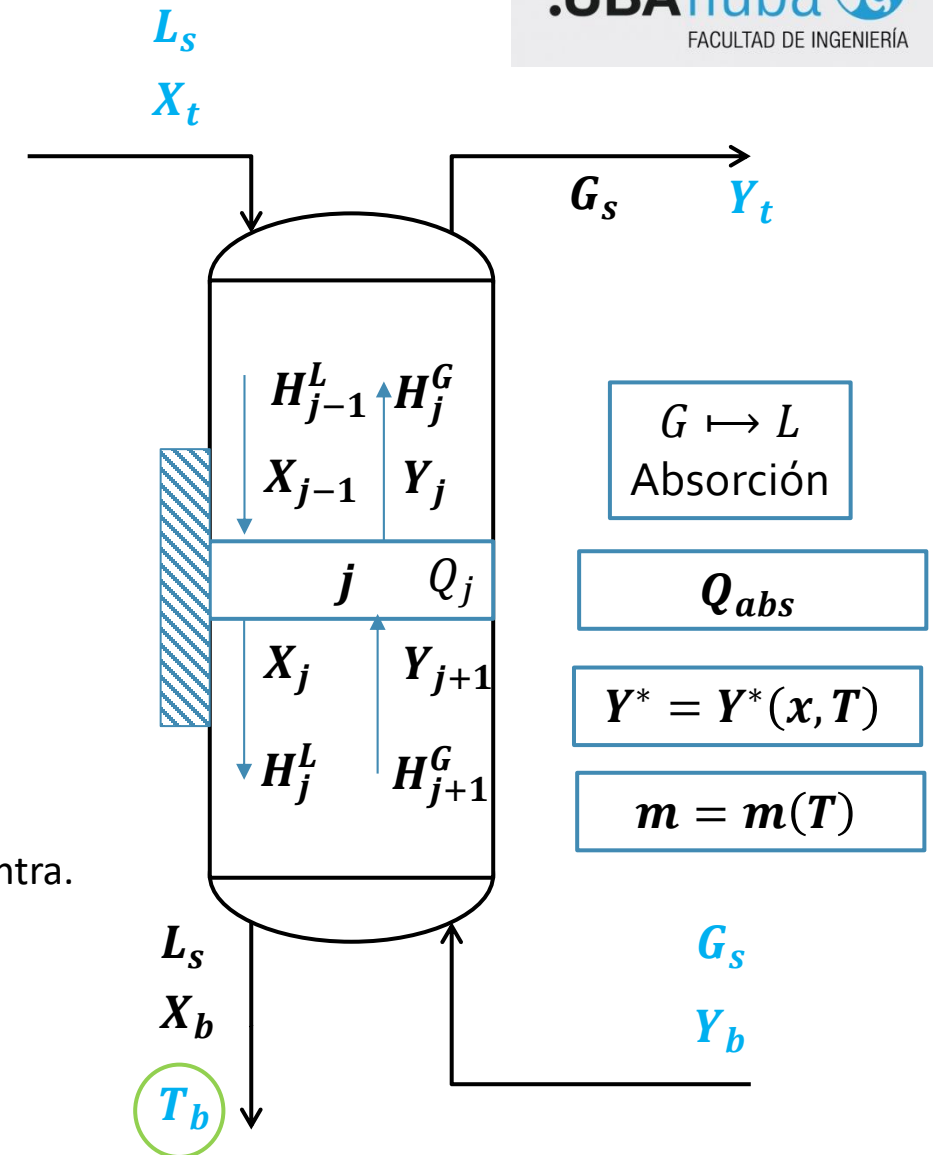
$$BM]_j \quad G_s \cdot (Y_{j+1} - Y_j) = L_s \cdot (X_j - X_{j-1})$$

$$T_j = f(T_T, Q_{abs}, X_j)$$

$$Y_j^* = Y_j^*(X_j, T_j) = \frac{m(T_j) \cdot X_j}{1 + [m(T_j) - 1] \cdot X_j}$$

• Procedimiento:

1. Empezar desde el fondo: T_b es a la salida del plato: **la de equilibrio**.
2. Con la temperatura del plato y la composición \rightarrow sacamos el equilibrio Y_j^* .
3. Del plato conocemos: las dos composiciones que salen y la gaseosa que entra. Podemos obtener con el BM la composición X_{j-1} .
4. Del balance térmico, se obtiene la temperatura del plato T_{j-1} .
5. Reiniciar el ciclo y parar cuando se obtenga X_t .



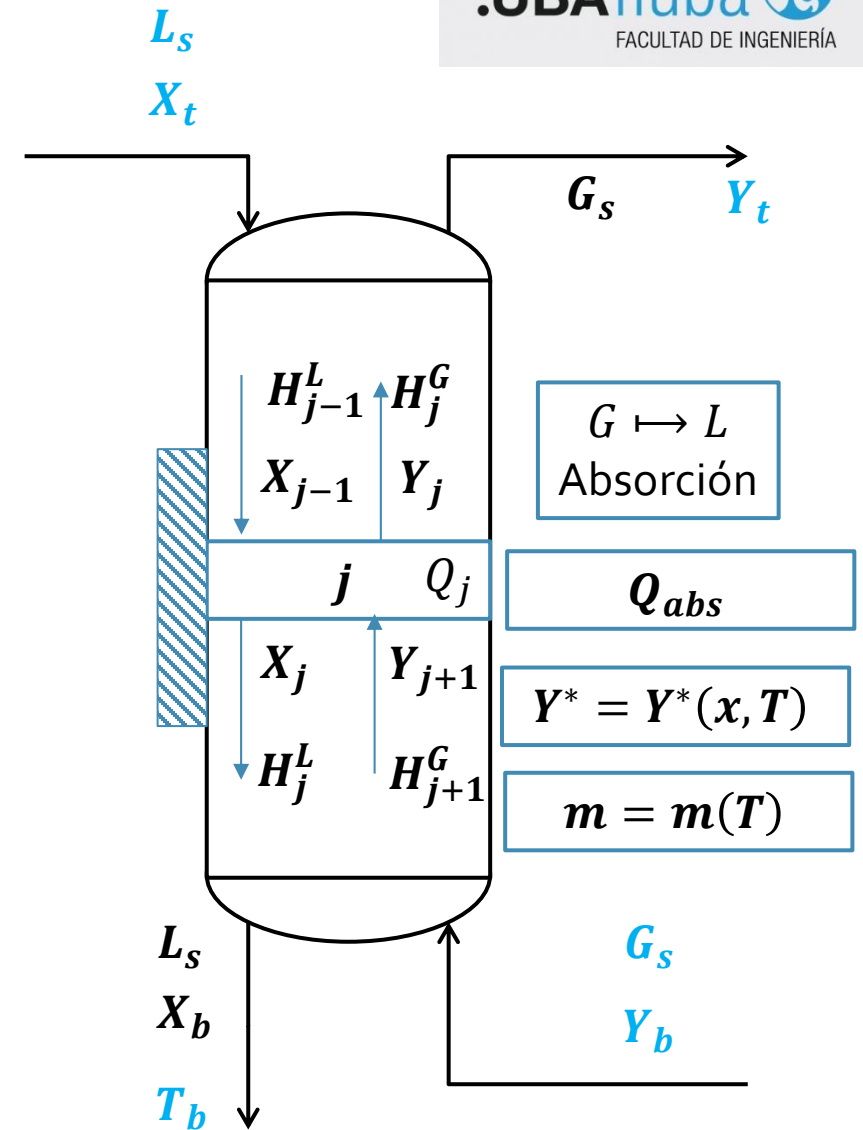
Resolución – Ítem 1

Método Simplificado – Cálculo de etapas – Método de Lewis

N	X _N	T _(N)	m _(T)	Y _N	Y _{N+1}	X _{N-1}	T _(N-1)
N_p	X_B	BE global	Tabla de datos	Equilibrio	Y_B	BM etapa N	BE etapa N
$N_p - 1$							
$N_p - 2$							



$N_p = 5$



Resolución – Ítem 1

Método Simplificado – Cálculo de etapas – Método de McCabe - Thiele

$$\frac{Y_t - Y_b}{X_t - X_b} = \frac{L_s}{G_s}$$

• Recta de Operación

T	[°C]	10	20	30	40
m	N/A	0,009	0,16	0,32	0,41

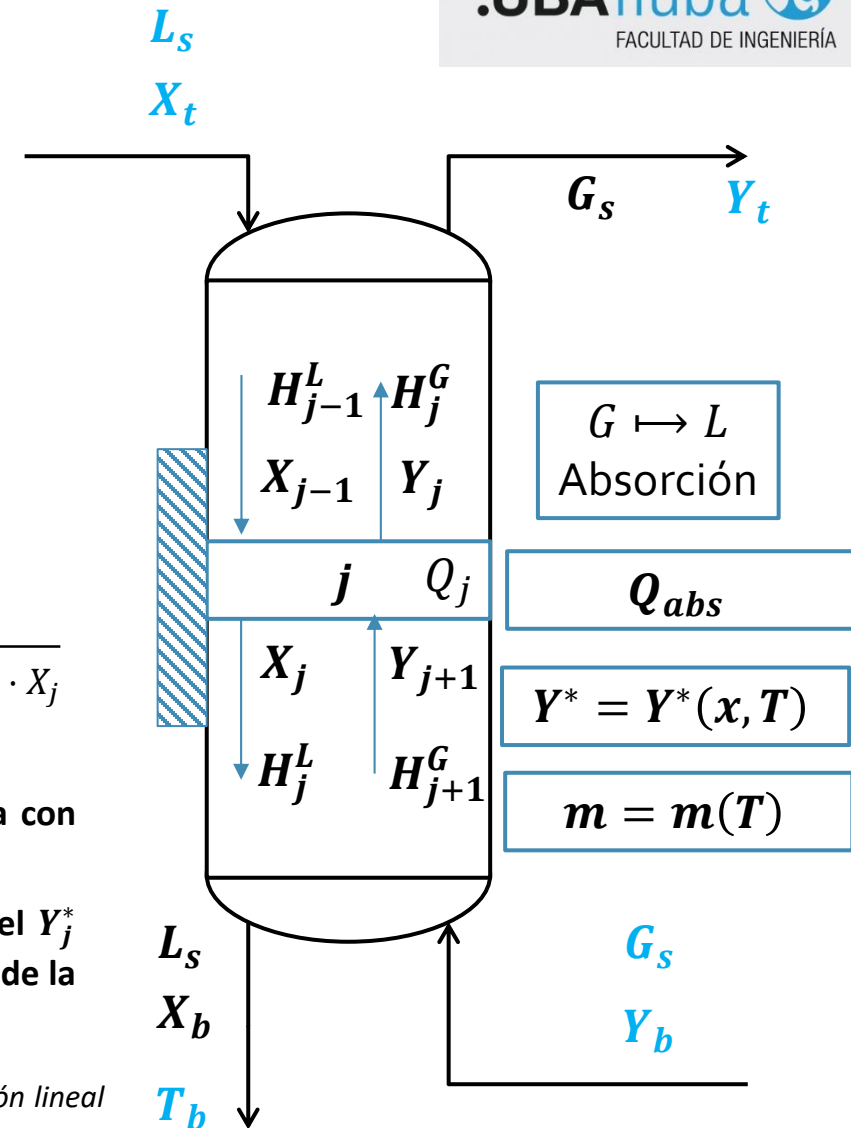
$$T_j = T_T \cdot \left(\frac{C_{p_{sv}}^L + X_T C_{p_{st}}^L}{C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L} \right) + \frac{Q_{abs}}{C_{p_{sv}}^L + X_j C_{p_{st}}^L} \cdot (X_j - X_T) \quad Y_j^* = Y_j^*(X_j, T_j) = \frac{m(T_j) \cdot X_j}{1 + [m(T_j) - 1] \cdot X_j}$$

Y*	-	bajito	0,011	0,041	0,077
X	-	0,004	0,007	0,142	0,212

Propongo T_j y despejo la X_j relacionada con ese valor.

Luego, me meto en el equilibrio y saco el Y_j^* asociado a ese X_j . Repito para todas las T de la tabla

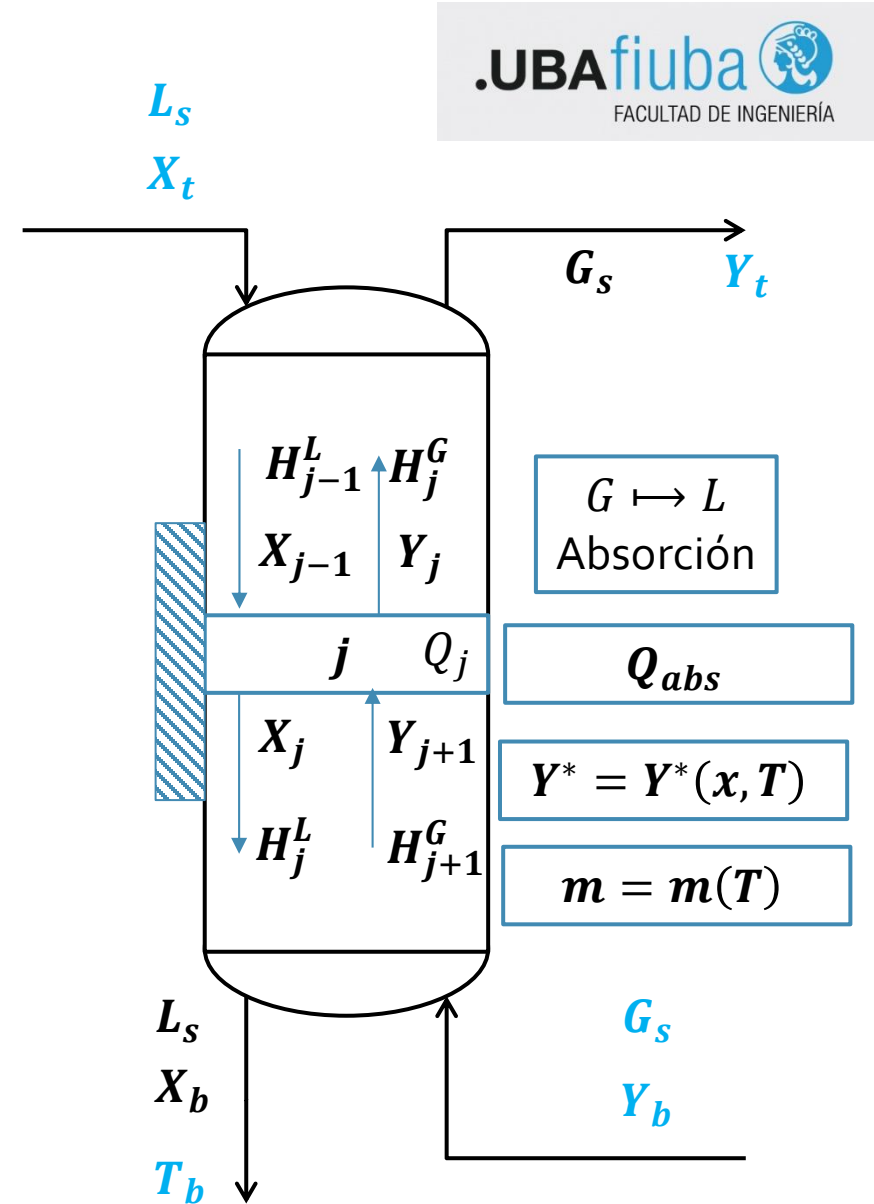
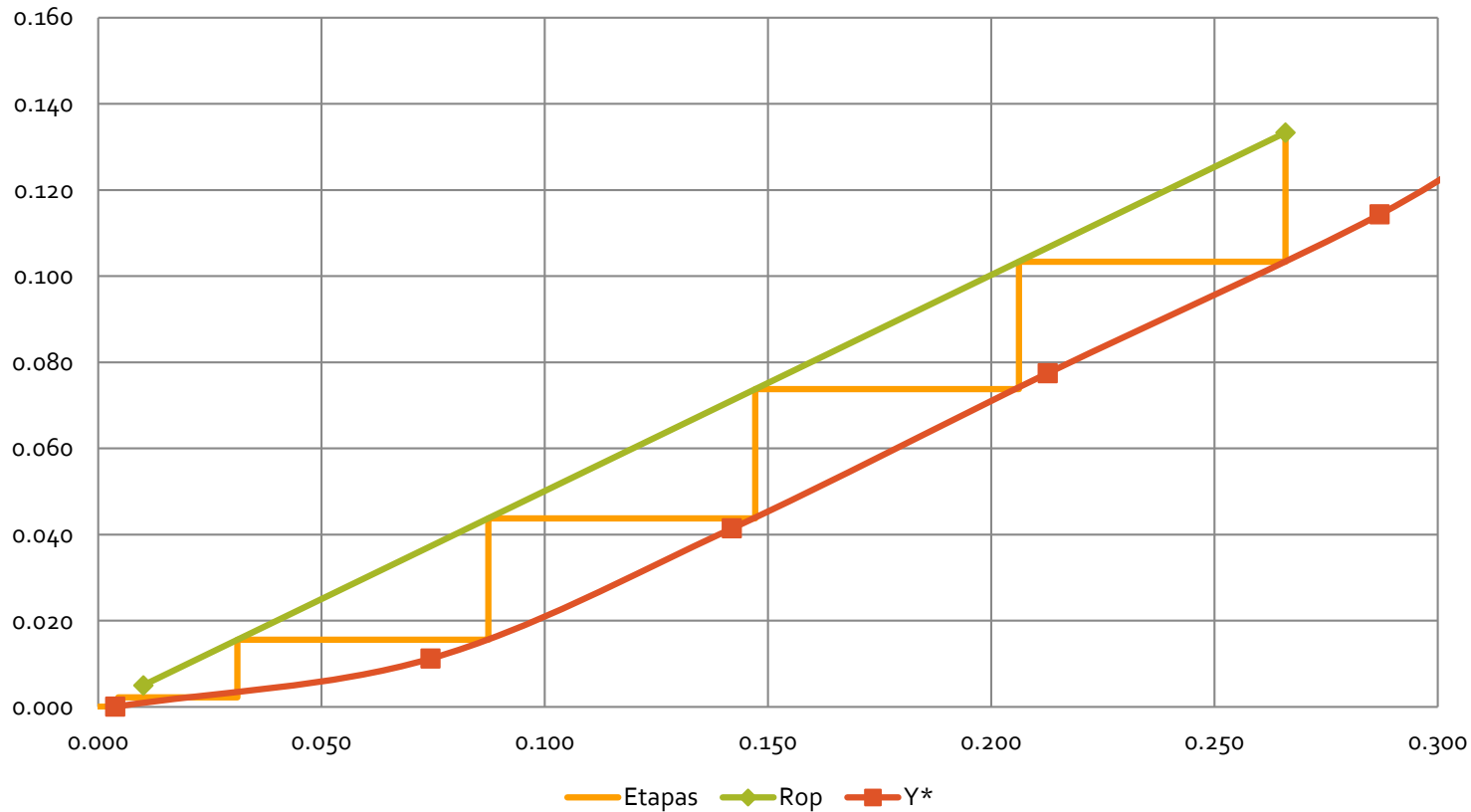
Nota: También podemos proponer X, calcular T_j asociado y obtener la pendiente asociada mediante regresión lineal con los datos de la tabla, calcular Y^ y graficar los puntos que necesitemos*



Resolución – Ítem 1

Método Simplificado – Cálculo de etapas – Método de McCabe - Thiele

Relación Molar



Resolución – Ítem 2

Se tratarán mediante una operación adiabática una corriente de 0,75 kmol/h de nitrógeno y 0,1 kmol/h de metanol con 0,38 kmol/h de una solución acuosa que contiene 1% molar de metanol con el fin de reducir la concentración de metanol de la corriente gaseosa al 0,5% molar. La temperatura de ingreso del agua es de 10°C.

2. **Con la torre ya operando, determinar las nuevas concentraciones si hay un aumento de la temperatura de un 10% y de caudal de solución acuosa del 5%.**

Observaciones / Preguntas

1. Es un problema de iteración gráfica, pues se conocen las composiciones de entrada y la cantidad de etapas de equilibrio
2. Iteramos con una de las composiciones de salida para contar 5 etapas de equilibrio (LA TORRE YA ESTÁ CONSTRUIDA).

La pregunta del millón: ¿vamos a separar más o menos que antes? ¿Por qué?

3. ¿Qué pasa con la curva de equilibrio? ¿cambia? ¿Por qué?



¿PREGUNTAS?