

## Absorción de CO<sub>2</sub> en columna empacada Transferencia de masa y reacción química simultánea

### DATOS EXPERIMENTALES, corrida 2

Concentración en % en masa  
CO<sub>2</sub> a la entrada

$$\%wCO_{2e} := 16.4$$

Temperatura de la solución  
MEA - AGUA en el domo

$$T^{\circ}C_{mea} := 19 \quad ^{\circ}C$$

Concentración en % en  
masa de aire a la entrada

$$\%wAIRE_e := 100 - \%wCO_{2e}$$

$$\%wAIRE_e = 83.6$$

Flujo de  
alimentación de  
la solución  
de MEA - AGUA

$$Le := 8 \quad \frac{L}{h}$$

$$\epsilon_{ww} := 0.70$$

Concentración  
molar de la  
amina a la salida  
de la torre

$$B_{alimentada} := 2.5$$

$$\frac{gmolMEA}{LSol}$$

Concentración en % en masa  
de CO<sub>2</sub> a la salida

$$\%wCO_{2s} := 5.4$$

Temperatura del aire de  
entrada

$$T^{\circ}C_{aire} := 20 \quad ^{\circ}C$$

Concentración en % en  
masa de aire a la salida

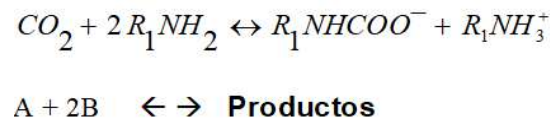
$$\%wAIRE_s := 100 - \%wCO_{2s}$$

$$\%wAIRE_s = 94.6$$

Temperatura ambiental

$$T_{amb} := T^{\circ}C_{mea} \quad ^{\circ}C$$

a esta temperatura debe empezar  
a resolverse la ecuación diferencial  
del segundo guión experimental



Flujo de aire alimentado  
en %

$$\text{RotametroAIRE} := 28$$

Flujo de CO<sub>2</sub>  
alimentado  
en mm

$$\text{RotametroCO}_2 := 36$$

Temperatura del CO<sub>2</sub> de  
entrada

$$T^{\circ}C_{co2e} := 20 \quad ^{\circ}C$$

área transversal de flujo

$$ATF := 14.188 \quad cm^2$$

Concentración molar  
de la amina a la  
entrada de la torre, en  
domo de la columna

$$B_{salida} := 1.7$$

$$\frac{gmolMEA}{LSol}$$

$$\%wMEAE := 15.341$$

$$\%wMEAs := 10.48$$

### Datos constantes

	Condiciones estándar	Presión de operación
$PMaire := 29$ g/gmol	$T^{\circ}CStandard := 25$ °C	$P_{op} := 0.771$
$PMCO2 := 44$ g/gmol	$PStandard := 1$ atm	
altura de la torre		
$H_{\text{www}} := 106$ cm	$PMmea := 61.08$ g/gmol	$PMagua := 18$ atm g/gmol
$T^{\circ}Kaire := T^{\circ}Caire + 273.15$	$R_{\text{www}} := 82.06$	$\frac{cm^3 \text{ mezcla} \cdot atm}{gmol \cdot \text{mezcla} \cdot ^{\circ}K}$
$P := 586$ mmHg		

### Los coeficientes de difusión

$$D_{\text{amina 2.5 M}}^{25^{\circ}C} = 7 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s} \text{ (de la Fig. 11)}$$

$$D_{CO2-H2O}^{25^{\circ}C} = 1.82 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s} \text{ (de la Fig. 10)}$$

$$D_{H2O}^{25^{\circ}C} = 10.94 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s} \text{ (de la Fig. 11)}$$

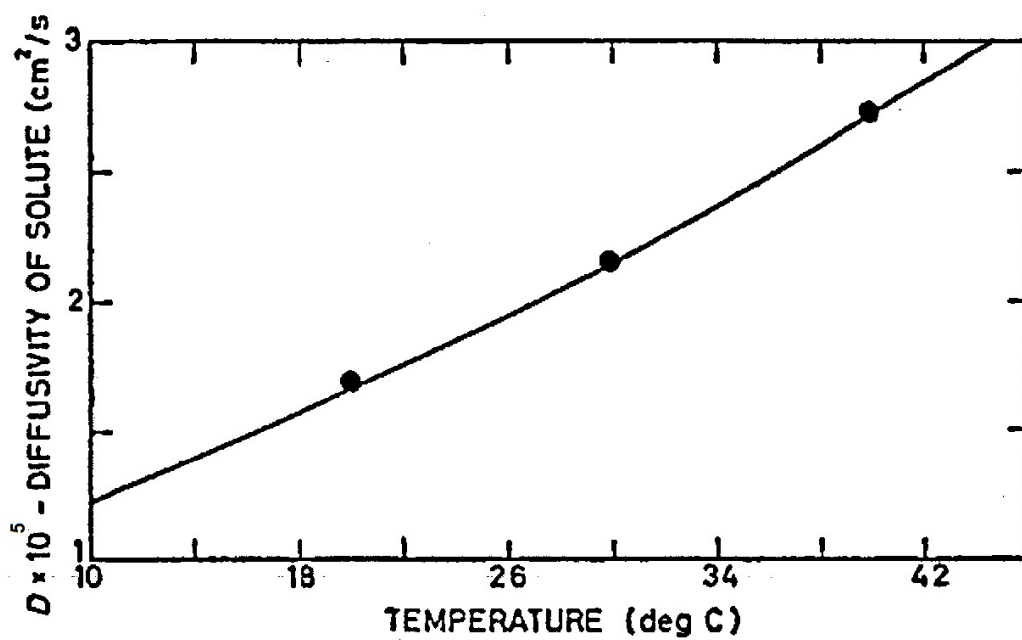
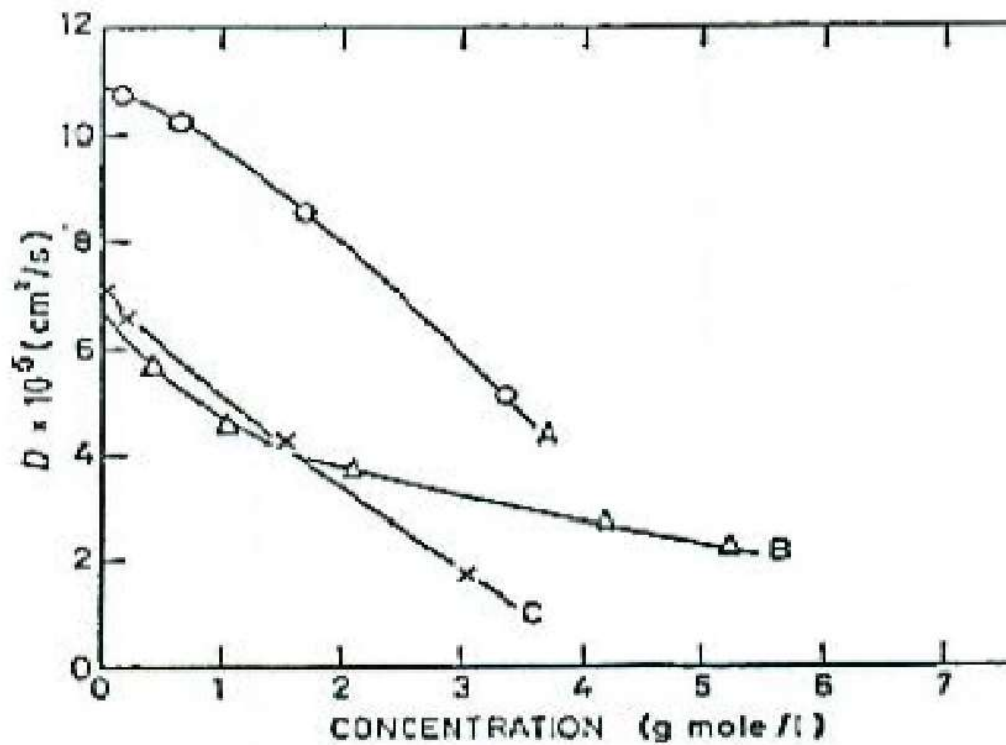


Fig. 10.—The diffusivity of carbon dioxide in water at various temperatures. (Thomas and Adams<sup>69</sup>)

The Chemical Engineer, october, 1966. P. V. Danckwerst.  
M.M. Sharma.

m=====m



Curve A: Monoethanolamine  
 Curve B: Diethanolamine  
 Curve C: Triethanolamine  
 Temperature = 25° C

Fig. 11.- Diffusivities of aminas in Water. (Thomas and Furzer).  
 The Chemical Engineer, october, 1966. P. V. Danckwerst.  
 M.M. Sharma.

$$D_A = D_{CO_2} = \frac{D_{\text{amina 2.5 M}}^{25^\circ\text{C}}}{D_{H_2O}^{25^\circ\text{C}}} \times D_{CO_2-H_2O}^{\text{a temperatura de alimentación}}$$

$$D_B = D_{MEA} = \frac{D_{\text{amina 2.5 M}}^{25^\circ\text{C}}}{D_{CO_2-H_2O}^{25^\circ\text{C}}} \times D_{CO_2-H_2O}^{\text{a temperatura de alimentación}}$$

$$T^{\circ}C_{CO_2e} := 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$D_{CO_2H_2O} := 1.65 \cdot 10^{-5}$$

$$D_A := \frac{7 \cdot 10^{-6}}{10.94 \cdot 10^{-6}} \cdot D_{\text{CO}_2\text{H}_2\text{O}}$$

$$D_B := \frac{7 \cdot 10^{-6}}{1.82 \cdot 10^{-5}} \cdot D_{\text{CO}_2\text{H}_2\text{O}}$$

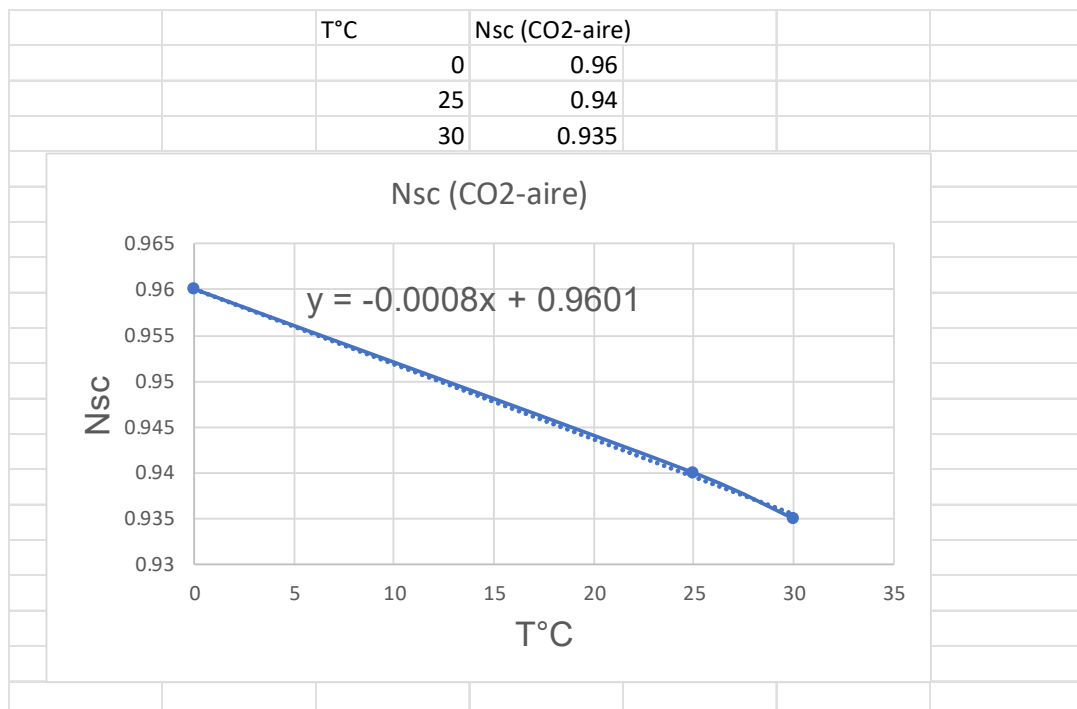
$$D_A = 1.056 \times 10^{-5}$$

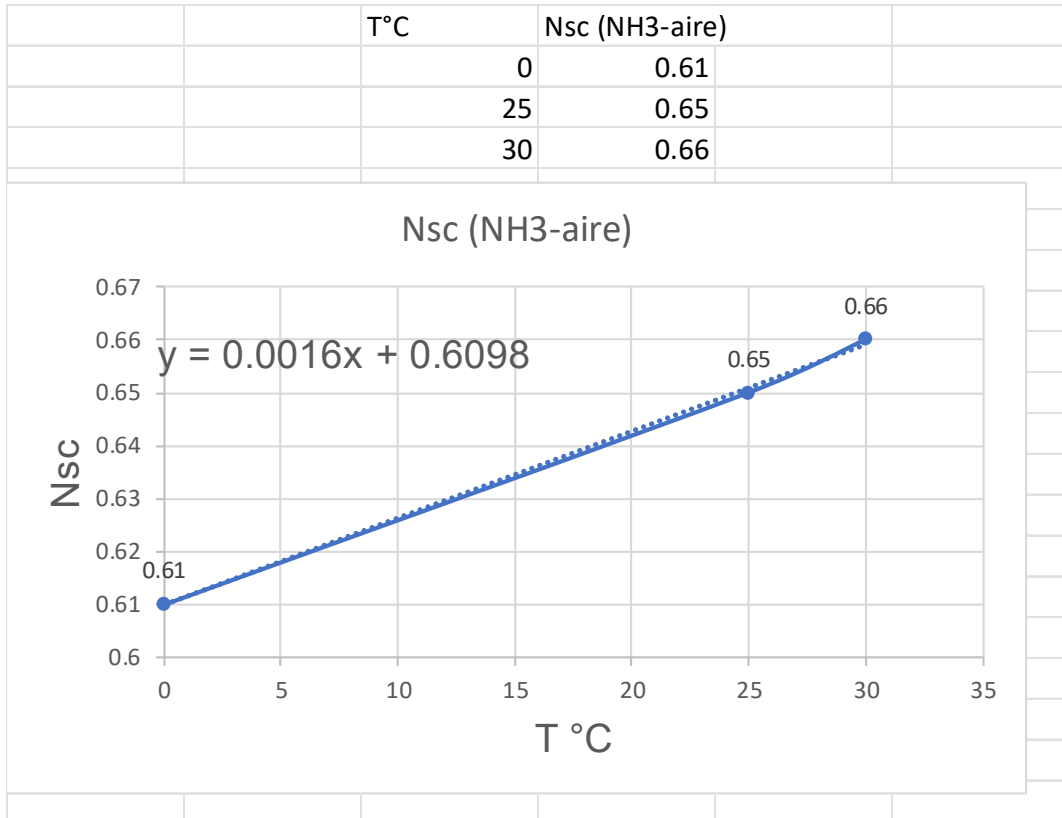
$$\frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

$$D_B = 6.346 \times 10^{-6}$$

$$\frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

### Los números de Schmidt





$$T^{\circ}C := T^{\circ}C_{co2e}$$

Nsc1 = No. de Schmidt NH3-Aire;

Para corregir la correlación de kga

$$Nsc1 := 0.0016 \cdot T^{\circ}C + 0.6098$$

$$Nsc1 = 0.642$$

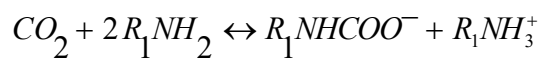
Nsc2 = No de Schmidt CO2-aire

Para corregir la correlación de kga

$$Nsc2 := -0.0008 \cdot T^{\circ}C + 0.9601$$

$$Nsc2 = 0.944$$

### La constante de rapidez de reacción



$$T^{\circ}K := T^{\circ}C_{mea} + 273.15$$

$$k_2 := 10^{\left(10.99 - \frac{2152}{T^{\circ}\text{K}}\right)} \frac{\text{L}}{\text{gmol} \cdot \text{s}} \quad \text{Constante de rapidez de reacción hacia la derecha}$$

$$k_2 = 4206.5 \quad \frac{\text{L}}{\text{gmol} \cdot \text{s}} \quad z := \frac{2}{1} \frac{\text{gmol} \cdot \text{MEA}}{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2} \quad \text{Relación estequiométrica de reacción}$$

### Cálculos previos para encontrar el coeficiente de transferencia de masa $k_L$ en la fase líquida mediante iteraciones sucesivas

1.- Fracción molar del gas en los fondos y el domo de la torre

$$w_{\text{CO}_2\text{e}} := \frac{\%w_{\text{CO}_2\text{e}}}{100} \quad \text{Es la fracción masa de CO}_2 \text{ a la entrada}$$

$$y_{\text{fCO}_2} := \frac{\frac{w_{\text{CO}_2\text{e}}}{P_{\text{MCO}_2}}}{\frac{w_{\text{CO}_2\text{e}}}{P_{\text{MCO}_2}} + \frac{(1 - w_{\text{CO}_2\text{e}})}{P_{\text{Maire}}}}$$

$$y_{\text{fCO}_2} = 0.114 \quad \frac{\text{gmolCO}_2}{\text{gmolmezcla}}$$

$$w_{\text{CO}_2\text{s}} := \frac{\%w_{\text{CO}_2\text{s}}}{100} \quad \text{Es la fracción masa de CO}_2 \text{ a la salida}$$

$$y_{\text{dCO}_2} := \frac{\frac{w_{\text{CO}_2\text{s}}}{P_{\text{MCO}_2}}}{\frac{w_{\text{CO}_2\text{s}}}{P_{\text{MCO}_2}} + \frac{(1 - w_{\text{CO}_2\text{s}})}{P_{\text{Maire}}}}$$

$$y_{\text{dCO}_2} = 0.0363 \quad \frac{\text{gmolCO}_2}{\text{gmolmezcla}}$$

2.- Concentración de la amina libre B (sin reaccionar) en los puntos intermedios en  $\text{gmol MEA} / \text{cm}^3$  de solución

Concentración molar de la amina a la

Concentración molar de la

entrada de la torre, en  
domo de la columna

amina a la salida  
de la torre

$$B_{\text{alimentada}} = 2.5$$

$$\frac{\text{gmolMEA}}{\text{LSol}}$$

$$B_{\text{salida}} = 1.7$$

$$\frac{\text{gmolMEA}}{\text{LSol}}$$

Dividir entre 5 espacios las composiciones anteriores o cualquier otro valor que quiera seleccionar

ORIGIN := 1

$$B^{\circ} := \begin{pmatrix} B_{\text{alimentada}} \\ B_{\text{salida}} \end{pmatrix}$$

$$r := \frac{B_{\text{alimentada}} - B_{\text{salida}}}{5}$$

$$\text{Divisiones} := B_{\text{alimentada}} + (B_{\text{alimentada}} - r) \cdot B_{\text{salida}}$$

Divisiones =

2.5
2.34
2.18
2.02
1.86
1.7

$$B^{\circ} := \begin{pmatrix} 2.5 \\ 2.34 \\ 2.18 \\ 2.02 \\ 1.86 \\ 1.7 \end{pmatrix}$$

Domo

$$\frac{\text{gmolMEA}}{\text{LSol}}$$

copiar ----->

Fondos

**2.1** Alturas intermedias en la torre en función de las concentraciones de la amina no reaccionada dentro de la columna

$$B^{\circ 1} := B_{\text{salida}} = 1.7$$

$$B^{\circ 2} := B_{\text{alimentada}} = 2.5$$



$$B^\circ = B^{\circ 1} + \frac{B^{\circ 2} - B^{\circ 1}}{H} \cdot Z$$

$$Z := \frac{(B^\circ - B^{\circ 1}) \cdot H}{B^{\circ 2} - B^{\circ 1}}$$

$$Z = \begin{pmatrix} 106 \\ 84.8 \\ 63.6 \\ 42.4 \\ 21.2 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ cm}$$

3.- Flujo de inertes (aire)  $G's \left( \frac{\text{gmolAIRE}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2} \right)$

$$\rho_{\text{AIREE}} := -4 \cdot 10^{-6} \cdot T^{\circ}\text{Caire} + 0.0013$$

$$\rho_{\text{AIREE}} = 0.0012 \quad \frac{\text{grAire}}{\text{cm}^3 \text{ aire}}$$

Corrección de los flujos de alimentación de aire a condiciones del laboratorio

$$Q_{1\text{AIRE}} := \frac{\text{RotámetroAIRE} \cdot 7.2}{100} \cdot \left( \frac{100}{1} \right)^3$$

a 100 % ----- 7.2 m<sup>3</sup> / h  
RotámetroAIRE ----- x

$$\frac{\text{cm}^3}{\text{h}} = \frac{\text{m}^3 \text{ Aire}}{\text{h}} \cdot \left( \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right)^3$$

$$T1^{\circ}\text{KStandar} := 25 + 273.15$$

$$T2^{\circ}\text{Kaire} := T^{\circ}\text{Caire} + 273.15$$

$$\frac{P1 \cdot Q1}{T1} = \frac{P2 \cdot Q2}{T2}$$

Presión en México

$$P2_{\text{mexico}} := 0.771 \text{ atm}$$

$$Q_{2\text{AireE}} := \frac{P_{\text{Standard}} \cdot Q_{1\text{AIRE}} \cdot T_2^{\circ\text{Kaire}}}{P_{2\text{mexico}} \cdot T_1^{\circ\text{KStandar}}} \frac{\text{cm}^3 \text{Aire}}{h}$$

$$G's := Q_{2\text{AireE}} \cdot \rho_{\text{AIREE}} \cdot \frac{1}{P_{\text{Maire}}} \cdot \frac{1}{\text{ATF}}$$

$$\frac{\text{gmolAIRE}}{h \cdot \text{cm}^2} = \frac{\text{cm}^3 \cdot \text{AIRE}}{h} \cdot \frac{\text{gAIRE}}{\text{cm}^3 \text{AIRE}} \cdot \frac{\text{gmolAIRE}}{\text{gAIRE}} \cdot \frac{1}{\text{cm}^2}$$

$$G's = 7.6231 \frac{\text{gmolAIRE}}{h \cdot \text{cm}^2}$$

4.- Las fracciones mol del CO<sub>2</sub> en los puntos intermedios de la torre

4.1 Masa velocidad de la mezcla líquida alimentada

$$Le = 8 \frac{L_{\text{sol}}}{h}$$

$$L_w := \left( Le \cdot \frac{1}{\text{ATF}} \right) \quad \frac{L_{\text{Sol}}}{h \cdot \text{cm}^2} = \frac{L_{\text{sol}}}{h} \cdot \frac{1}{\text{cm}^2}$$

$$L = 0.564 \frac{L_{\text{Sol}}}{h \cdot \text{cm}^2}$$

4.2.- La velocidad de la mezcla líquida en la columna para evaluar  $a$ , el área específica por unidad de volumen de torre empacada en la curva D

**Gráfica para calcular el área interfacial efectiva empacada (a)**

**Página 213 del libro Gas-Liquid reaction  
de P.V. Danckwerst F.R-S**

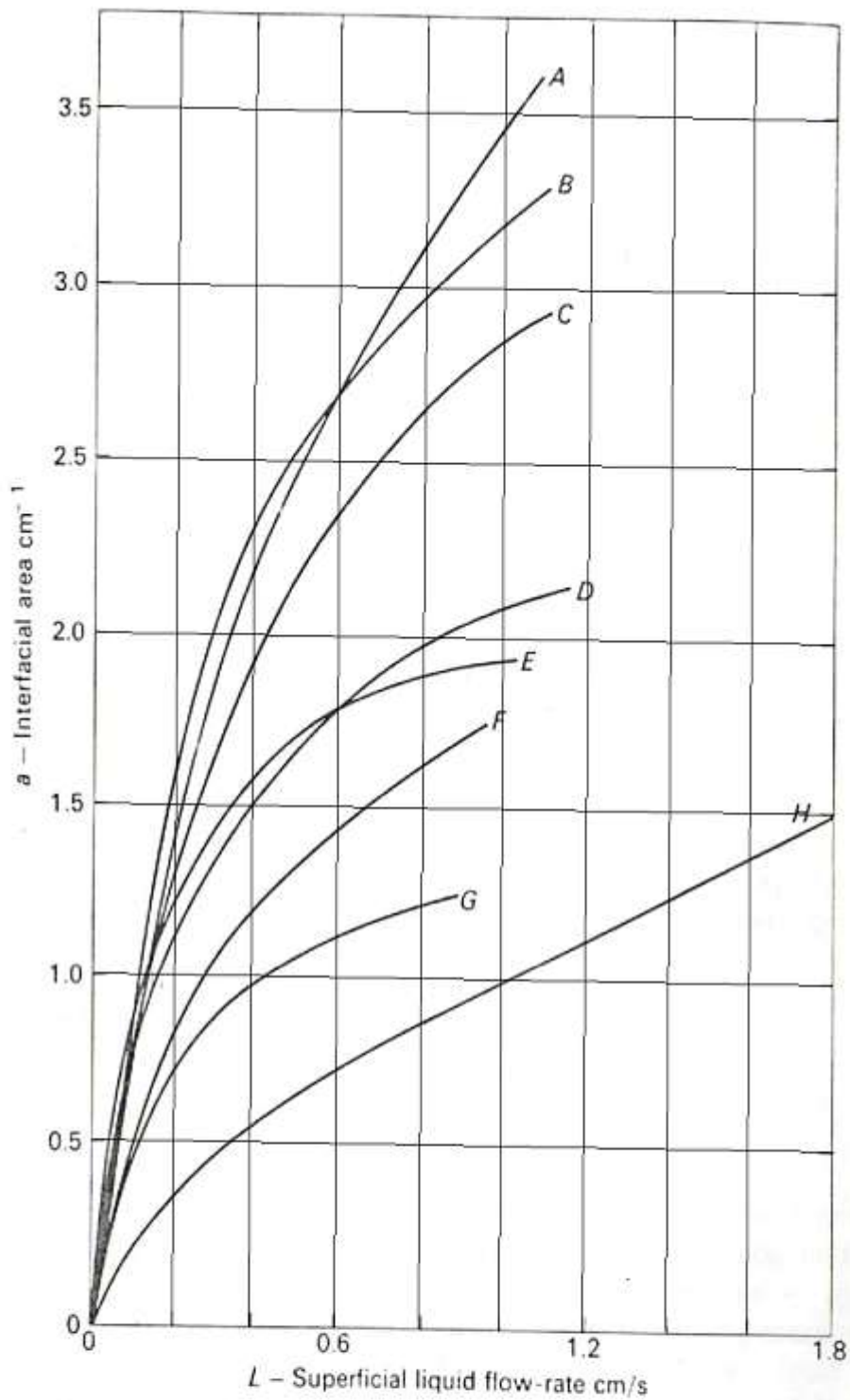


Fig. 9-1 Effective interfacial area for packings (after Danckwerts and Sharma, 1966)

Curve	Type and size of packing	Temperature (°C)	Tower diameter (in.)	Packing density (pieces/ $\text{cm}^3$ )	Dry packing area ( $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ )
A	1/2 in. ceramic Intalox saddles	25	4	0.630	4.7

B	1/2 in. ceramic Pall rings	25	4	0.360	4.2
C	5/8 in. steel Pall rings	25	6	0.220	3.5
D	1/2 in. ceramic Raschig rings	25	4	0.370	3.8
E	1 in. ceramic Pall rings	25	9	0.049	2.2
F	1 in. ceramic Intalox saddles	25	9	0.084	2.5
G	1 in. ceramic Raschig rings	25	9	0.048	1.8
H	1 1/2 in. ceramic Raschig rings	20	18	0.014	1.3

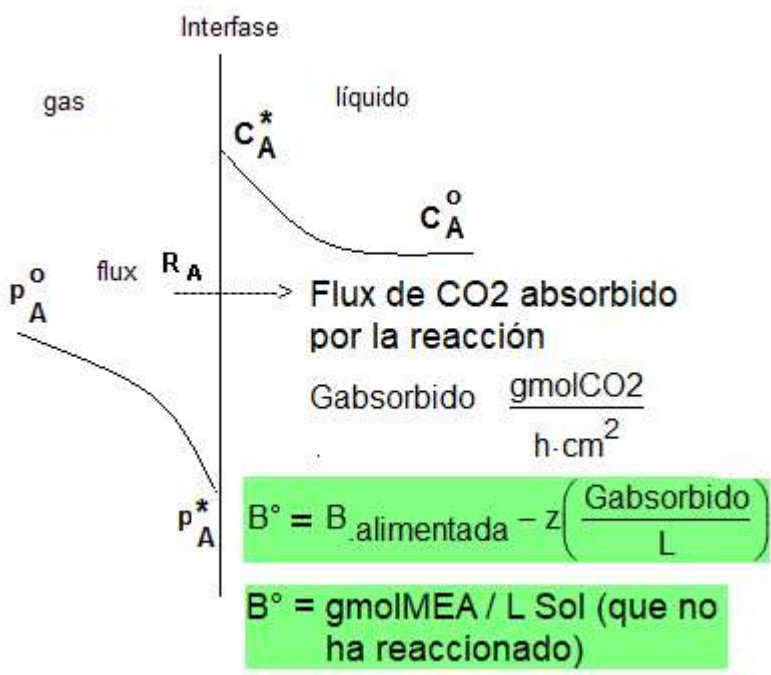
$$Lv := L \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1000}{1}$$

$$\frac{\text{cm}}{\text{s}} = \frac{L \text{ Sol}}{h \cdot \text{cm}^2} \cdot \frac{1 \cdot h}{3600 \text{s}} \cdot \frac{1000 \text{cm}^3}{1 \text{L}}$$

**$Lv = 0.157$**   $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$  De la curva D se puede leer **a**. Tomar  $L = Lv$  la rapidez superficial del flujo del líquido entre los empaques

**$a := 0.80$**   $\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}$  área específica por unidad de volumen de torre empacada

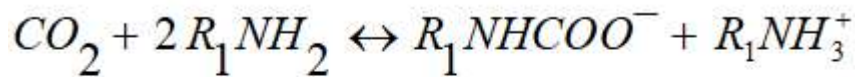
**5.-** Balance de la amina sin reaccionar  $B^\circ$  para cualquier punto dentro de la columna. Utilizar este balance **planteado en la fase líquida** para calcular la masa velocidad del  $\text{CO}_2$  absorbido /h  $\text{cm}^2$  utilizado por la reacción



$$B^{\circ} = B_{\text{alimentada}} - z \left( \frac{\text{Gabsorbido}}{L} \right)$$

$$\frac{\text{gmolMEA}}{L \text{ Sol}} = \frac{\text{gmolMEA}}{L \text{ Sol}} - \frac{2 \text{gmol} \cdot \text{MEA}}{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2} \cdot \frac{\frac{\text{gmolCO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^2}}{\frac{L \text{ Sol}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2}}$$

$z = \frac{2 \text{gmol} \cdot \text{MEA}}{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}$  es el factor estequiométrico de la reacción



$$\text{Gabsorbido} := \frac{(B_{\text{alimentada}} - B^{\circ}) \cdot L}{z}$$

Gabsorbido =	0	domo
	0.045	
	0.09	$\frac{\text{gmolCO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^2}$
	0.135	
	0.18	
	0.226	fondos

**6.-** Balance de la masa velocidad absorbida de CO<sub>2</sub> /h cm<sup>2</sup> **en la fase gaseosa** para saber la relación molar del CO<sub>2</sub> sin reaccionar en la fase gaseosa ( Y<sub>CO<sub>2</sub></sub> ) a diferentes alturas de la torre

$$y_{\text{CO}_2} = 0.036 \quad \frac{\text{gmolCO}_2}{\text{gmolmezcla}}$$

$$Y_{dCO_2} := \frac{y_{dCO_2}}{1 - y_{dCO_2}}$$

$$\text{Gabsorbido} = G's \cdot (Y_{CO_2} - Y_{dCO_2})$$

$$\frac{\text{gmolCO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^2} = \frac{\text{gmolAIRE}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2} \cdot \left( \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{gmol} \cdot \text{AIRE}} \right)$$

$$Y_{CO_2} := \left( \frac{\text{Gabsorbido}}{G's} + Y_{dCO_2} \right)$$

$$Y_{CO_2} = \begin{pmatrix} 0.038 \\ 0.044 \\ 0.049 \\ 0.055 \\ 0.061 \\ 0.067 \end{pmatrix} \quad \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{gmol} \cdot \text{aire}}$$

**6.1** Las fracciones mol de CO<sub>2</sub> sin reaccionar en los puntos intermedios de la torre

$$y_{CO_2} := \frac{Y_{CO_2}}{1 + Y_{CO_2}}$$

$$y_{CO_2} = \begin{pmatrix} 0.036 \\ 0.042 \\ 0.047 \\ 0.052 \\ 0.058 \\ 0.063 \end{pmatrix} \quad \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{gmol} \cdot \text{mezcla}}$$

**5.-** Las presiones parciales del CO<sub>2</sub> en los puntos intermedios de la columna estos valores se tomarán como las presiones en la interfase de la mezcla

Líquida y la mezcla gaseosa

$$\bar{p}_{CO_2} = \bar{y}_{CO_2} P_{total} \approx p_{i, CO_2} = p^*_{CO_2}$$

$$p_{i, CO_2} := y_{CO_2} \cdot P_{op} \quad atm$$

$$p_{i, CO_2} = \begin{pmatrix} 0.028 \\ 0.0322 \\ 0.0363 \\ 0.0405 \\ 0.0445 \\ 0.0486 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{Domo} \\ \\ \text{atm} \\ \\ \text{Fondos} \end{matrix}$$

**6.-** Determinación de los límites de integración de la torre

$$h = + \frac{L \varepsilon}{a} \int_{C_B^o \text{ Fondo}}^{C_B^o \text{ Domo}} \frac{dC_B^o}{R_A}$$

$$B_{domo} := B_{alimentada}$$

$$B_{fondo} := B_{salida}$$

$$B_{domo} = 2.5 \quad \frac{\text{gmolMEA}}{\text{L Sol}}$$

$$B_{fondo} = 1.7 \quad \frac{\text{gmolMEA}}{\text{L Sol}}$$

**7.-** Cálculo del valor del coeficiente individual de transferencia de masa  $k_g$  del lado de la fase gaseosa en los puntos intermedios en unidades de:

$$\frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{h} \cdot \text{L} \cdot \text{atm}}$$

**7.1** Masa velocidad de la mezcla gaseosa (aire+CO2) G<sub>masaVel</sub> en los puntos intermedios

$$G_{\text{Aire}} := G' \cdot P_{\text{Maire}}$$

$$\frac{\text{gAir}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2} = \frac{\text{gmol} \cdot \text{AIRE}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2} \cdot \frac{\text{g} \cdot \text{Air}}{\text{gmol} \cdot \text{Air}}$$

$$G_{\text{CO2}} := Y_{\text{CO2}} \cdot G' \cdot P_{\text{MCO2}}$$

$$\frac{\text{g} \cdot \text{CO2}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2} = \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO2}}{\text{gmolAire}} \cdot \frac{\text{gmolAIRE}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2} \cdot \frac{\text{gCO2}}{\text{gmolCO2}}$$

$$G_{\text{masaVel}} := G_{\text{Aire}} + G_{\text{CO2}}$$

$$G_{\text{masaVel}} = \begin{pmatrix} 233.689 \\ 235.674 \\ 237.659 \\ 239.644 \\ 241.628 \\ 243.613 \end{pmatrix} \frac{\text{g} \cdot \text{mezcla} \cdot \text{gaseosa}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2}$$

**7.2** Masa velocidad de la mezcla gaseosa en el sistema inglés en los puntos internos para calcular k<sub>ga</sub> (la correlación esta en el sistema inglés)



$$G_{MV} := G_{masaVel} \cdot \frac{1}{453.6} \cdot \left(\frac{30.48}{1}\right)^2$$

$$\frac{lb}{h \cdot ft^2} = \frac{g}{h \cdot cm^2} \cdot \frac{1lb}{453.6g} \cdot \left(\frac{30.48cm}{1ft}\right)^2$$

$$G_{MV} = \begin{pmatrix} 478.625 \\ 482.69 \\ 486.755 \\ 490.82 \\ 494.886 \\ 498.951 \end{pmatrix} \frac{lb}{h \cdot ft^2}$$

**7.3** Se necesita también la masa velocidad del líquido en el sistema inglés para calcular kga

$$\rho_{15\%masa} := (0.0007 \cdot T^{\circ}C_{mea}^2 - 0.5498 \cdot T^{\circ}C_{mea} + 1016.3) \cdot \left(\frac{1}{100}\right)^3 \cdot \frac{1000}{1}$$

$$\frac{g}{cm^3} = \frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{1m}{100cm}\right)^3 \cdot \left(\frac{1000g}{1k}\right)$$

$$\rho_L := \rho_{15\%masa}$$

$$\rho_L = 1.006 \frac{g}{cm^3}$$

$$L_{mv} := L \cdot 1000 \cdot (\rho_L)$$

$$\frac{g \cdot Sol}{cm^2 \cdot h} = \frac{L \cdot Sol}{h \cdot cm^2} \cdot \frac{1000cm^3}{1L} \cdot \frac{g \cdot Sol}{cm^3 \cdot Sol}$$

$$L_{mv} = 567.3 \frac{g \cdot Solución}{cm^2 \cdot h}$$

$$L_{MV} := L_{mv} \cdot \frac{1}{453.6} \cdot (30.48)^2$$

$$\frac{lb \cdot Solución}{h \cdot ft^2} = \frac{g \cdot Solución}{cm^2 \cdot h} \cdot \frac{1lb}{453.6g} \cdot \left(\frac{30.48cm}{1ft}\right)^2$$

$$L_{MV} = 1.162 \times 10^3 \frac{\text{lb} \cdot \text{solución}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2}$$

**7.4** Cálculo de  $k_{ga}$  en los puntos intermedios en:  $\frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{atm}}$

$$k_{ga} := 0.0142 \cdot (G_{MV})^{0.72} \cdot (L_{MV})^{0.38} \cdot \left( \frac{N_{sc1}}{N_{sc2}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{1}{P_{op}} \quad \frac{\text{lbmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{h} \cdot \text{ft}^3 \cdot \text{atm}}$$

$$k_{ga} := k_{ga} \cdot \frac{453.6}{1} \cdot \left( \frac{1}{30.48} \right)^3$$

$$\frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{atm}} = \frac{\text{lbmol}}{\text{h} \cdot \text{ft}^3 \cdot \text{atm}} \cdot \frac{453.6 \cdot \text{gmol}}{1 \cdot \text{lbmol}} \cdot \left( \frac{1 \cdot \text{ft}}{30.48 \cdot \text{cm}} \right)^3$$

$$k_{ga} = \begin{pmatrix} 0.283 \\ 0.285 \\ 0.287 \\ 0.289 \\ 0.29 \\ 0.292 \end{pmatrix} \quad \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{atm}}$$

**8.-** Cálculo de la relación de equilibrio  $m$  para este sistema reaccionante

Del apéndice 3.2 del guion experimental se toman los siguientes datos del equilibrio termodinámico a temperatura de 37.77 °C debido a que la reacción es exotérmica.

Se utilizaron las presiones parciales internas en la columna para seleccionar los valores al equilibrio, ya que se ha supuesto que las presiones parciales de CO<sub>2</sub> están dentro de la misma magnitud de los valores al equilibrio.

$$\bar{p}_{CO_2} = \bar{y}_{CO_2} P_{total} \approx p_{i, CO_2} = p^*_{CO_2}$$

$$p_{i, CO_2} = \begin{pmatrix} 0.028 \\ 0.0322 \\ 0.0363 \\ 0.0405 \\ 0.0445 \\ 0.0486 \end{pmatrix}$$

Domo

atm

Estos valores están contenidos en la tabla inferior

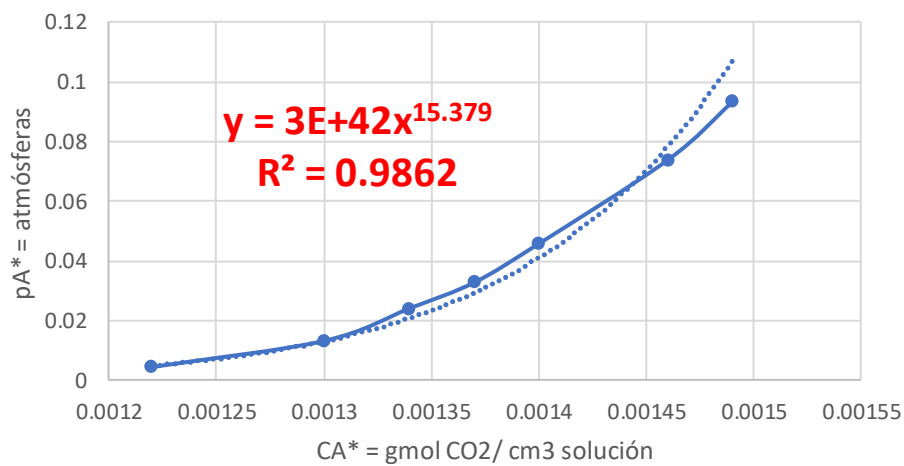
Fondos

$$T = 37.77 \text{ } ^\circ\text{C} = 100 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$c^* = \frac{\text{gmolCO}_2}{\text{cm}^3 \text{ solución}} \quad p^* = \text{atm}$$

0.00122	0.00431
0.0013	0.01309
0.00134	0.02402
0.00137	0.03269
0.0014	0.04569
0.00146	0.07376
0.00149	0.09317

Valores de equilibrio  $pA^*$  Vs  $CA^*$

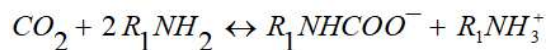


$$pA^\circ = 3 \cdot 10^{42} \cdot cA^\circ^{15.379} \longrightarrow cA^\circ^{15.379} = \frac{pCO_2}{3 \cdot 10^{42}}$$

$$(cA^\circ^{15.379})^{\frac{1}{15.379}} = \left( \frac{pA^\circ}{3 \cdot 10^{42}} \right)^{\frac{1}{15.379}}$$

$$C^\circ_A = \left( \frac{p^\circ}{3 \cdot 10^{42}} \right)^{\frac{1}{15.379}} \longrightarrow C^\circ_A := \left( \frac{p_{iCO_2}}{3 \cdot 10^{42}} \right)^{\frac{1}{15.379}} \cdot \frac{1000}{1}$$

$$\frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{L} \cdot \text{solución}} = \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{cm}^3 \cdot \text{solución}} \cdot \frac{1000 \cdot \text{cm}^3}{1\text{L}}$$



A + 2B  $\leftrightarrow$  Productos

**tomar \* = °**

Concentración interfacial  
en equilibrio en los  
puntos intermedios:  
gmol CO<sub>2</sub> / cm<sup>3</sup> de  
solución

Presión interfacial  
en equilibrio en los  
puntos intermedios:  
atm

$$p^\circ_A := p_{iCO_2}$$

$$C^\circ_A = \begin{pmatrix} 1.3708 \\ 1.3833 \\ 1.3943 \\ 1.4041 \\ 1.4129 \\ 1.4209 \end{pmatrix} \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{L} \cdot \text{solución}}$$

$$p^\circ_A = \begin{pmatrix} 0.028 \\ 0.0322 \\ 0.0363 \\ 0.0405 \\ 0.0445 \\ 0.0486 \end{pmatrix} \text{atm}$$

$$m := \frac{p^{\circ}A}{C^{\circ}A \cdot \frac{L}{1000}}$$

es la relación de equilibrio **m** para este sistema reaccionante

$$m = \frac{\text{atm}}{\frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{L} \cdot \text{solución}} \cdot \frac{1\text{L}}{1000\text{cm}^3}}$$

$$m = \begin{pmatrix} 36.1686 \\ 41.2417 \\ 46.2152 \\ 51.0965 \\ 55.8916 \\ 60.6055 \end{pmatrix} \frac{\text{atm}}{\frac{\text{gmolCO}_2}{\text{cm}^3 \text{sol}}}$$

## 9.- Inicio de las iteraciones para calcular kL

El No. de Hatta, el factor de mejora E, la rapidez de transferencia de masa RA en presencia de reacción, el régimen de reacción y el lugar donde se produce la reacción

Por prueba y error

$$kL := 4.5$$

$$\frac{\text{cm}}{\text{h}}$$

(al subir kL baja h)

(al bajar kL sube h)

### 9.1 Cálculo del No. de Hatta

$$\text{RaizM} := \frac{\sqrt{D_A \cdot k_2 \cdot B^{\circ}}}{kL \cdot \frac{1}{3600}}$$

B° = Concentración de la amina en el seno del líquido en los puntos intermedios de la torre: gmol B / L de mezcla sin reaccionar

$$1 = \frac{\sqrt{\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \cdot \frac{\text{L}}{\text{gmol} \cdot \text{s}} \cdot \frac{\text{gmol} \cdot \text{MEA}}{\text{L} \cdot \text{solución}}}}{\frac{\text{cm}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \cdot \text{h}}{3600 \cdot \text{s}}}$$

No. de HATTA

$$\text{RaizM} = \begin{pmatrix} 266.565 \\ 257.894 \\ 248.921 \\ 239.612 \\ 229.927 \\ 219.815 \end{pmatrix}$$

Froment & Bischof **(13)** .- Una reacción se da en la película del líquido cuando  $\sqrt{M} > 3$ , mientras que, si toma lugar en el seno de la fase líquida  $\sqrt{M} < 0.3$

Si la difusión es pequeña el No. de Hatta es alto y esto querrá decir que la reacción consumirá rápidamente al reactivo que es suministrado por difusión (reaccion en la película); esperaríamos entonces que los perfiles de concentración fueran muy pronunciados [la reacción está controlada por la difusión]

$$\sqrt{M} = \frac{\sqrt{k_1 D_A}}{k_L}, \quad \text{si } k_L = \frac{D_A}{\delta_L}$$

$$\sqrt{M} = \frac{\sqrt{\delta^2 k_1}}{D_A} = \frac{\text{rapidez de reacción en la Película}}{\text{rapidez de difusión en la película}}$$

Si la difusión es alta el No de Hatta es pequeño, esto significa que la reacción es lenta comparada con la difusión y, consecuentemente (se da en el seno de la fase líquida) donde los perfiles de concentración tenderán a ser planos

## 9.2 El factor de mejora E (Enhancement)

$$E1 := \frac{\overrightarrow{\text{RaizM}}}{\tanh(\text{RaizM})}$$

$$Ei := \overrightarrow{\left( 1 + \frac{D_B \cdot B^\circ}{z \cdot D_A \cdot C_A^\circ} \right)}$$

$$1 = 1 + \frac{\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \cdot \frac{\text{gmol} \cdot \text{MEA}}{\text{L} \cdot \text{solución}}}{\frac{\text{gmol} \cdot \text{MEA}}{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \cdot \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{L} \cdot \text{solución}}}$$

$$E1 = \begin{pmatrix} 266.565 \\ 257.894 \\ 248.921 \\ 239.612 \\ 229.927 \\ 219.815 \end{pmatrix}$$

$$Ei = \begin{pmatrix} 1.548 \\ 1.508 \\ 1.47 \\ 1.432 \\ 1.396 \\ 1.36 \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{pmatrix} 1.548 \\ 1.508 \\ 1.47 \\ 1.432 \\ 1.396 \\ 1.36 \end{pmatrix}$$

$$E := \left[ \frac{1}{\frac{1}{(Ei - 1)^{1.35}} + \frac{1}{(E1 - 1)^{1.35}}} \right]^{1.35} + 1$$

### 9.3 La rapidez de transferencia de masa $R_A$ en presencia de reacción

Flux del lado de la fase gaseosa

$$R_{Aa} = \frac{p_{i\text{CO}_2}}{\frac{1}{\text{kga}} + \frac{\text{He}}{E \cdot \text{kL} \cdot \text{a}}}$$

$$R_{Aa} := \left[ \frac{p_{i\text{CO}_2}}{\left( \frac{1}{\text{kga}} + \frac{\text{m}}{E \cdot \text{kL} \cdot \text{a}} \right)} \right]$$

$$\text{kga} = \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{atm}}$$

$$\text{m} = \frac{\text{atm}}{\frac{\text{gmolCO}_2}{\text{cm}^3 \text{Sol}}} = \frac{\text{atm} \cdot \text{cm}^3 \text{sol}}{\text{gmolCO}_2}$$

$$R_{Aa} = \frac{\text{atm}}{\left( \frac{1}{\frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{atm}}} + \frac{\frac{\text{atm} \cdot \text{cm}^3 \text{ sol}}{\text{gmolCO}_2}}{\frac{\text{cm} \cdot \text{cm}^2}{\text{h} \cdot \text{cm}^3}} \right)}$$

$$a = 0.8$$

$$\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}$$

$$R_{Aa} = \frac{\text{atm}}{\left[ \frac{\text{h} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{atm}}{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2} + \frac{\left( \frac{\text{atm} \cdot \text{cm}^3 \text{ sol}}{\text{gmolCO}_2} \right)}{\frac{1}{\text{h}}} \right]}$$

$$R_{Aa} = \frac{\text{atm}}{\left[ \frac{\text{h} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{atm}}{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2} + \frac{(\text{h} \cdot \text{cm}^3 \text{ sol} \cdot \text{atm})}{\text{gmolCO}_2} \right]}$$

$$R_{Aa} = \frac{\text{atm}}{\left[ \frac{\text{h} \cdot \text{cm}^3}{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2} + \frac{(\text{h} \cdot \text{cm}^3 \text{ sol})}{\text{gmolCO}_2} \right]} \cdot \text{atm}$$

$$R_A := \overrightarrow{\left[ \left[ \frac{p_{i\text{CO}_2}}{\left( \frac{1}{\text{kga}} + \frac{\text{m}}{\text{E} \cdot \text{kL} \cdot \text{a}} \right)} \right] \cdot \frac{1}{a} \right]}$$

$$R_A = \frac{1}{\left[ \frac{\text{h} \cdot \text{cm}^3}{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2} + \frac{(\text{h} \cdot \text{cm}^3 \text{ sol})}{\text{gmolCO}_2} \right]} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}$$





$$R_A = \begin{pmatrix} 0.00349 \\ 0.00362 \\ 0.00372 \\ 0.00378 \\ 0.00382 \\ 0.00384 \end{pmatrix} \frac{\text{gmol} \cdot \text{absorbido} \cdot \text{de} \cdot \text{CO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^2}$$

#### 9.4 El régimen de reacción y el lugar donde se produce la reacción

La reacción es de pseudo primer orden si cumple que

Danckwerts 117

Robert W. Field 63

Pero si  $\sqrt{M} < \frac{1}{2} E_i$  o

$$\sqrt{D_A k_2 c_B^0} < \frac{1}{2} k_L \left( 1 + \frac{D_B c_B^0}{z D_A c_A^*} \right) \quad (28)$$

$$\text{RaizM} = \begin{pmatrix} 266.565 \\ 257.894 \\ 248.921 \\ 239.612 \\ 229.927 \\ 219.815 \end{pmatrix} < \text{Ei} = \begin{pmatrix} 1.548 \\ 1.508 \\ 1.47 \\ 1.432 \\ 1.396 \\ 1.36 \end{pmatrix}$$

Por los resultados obtenidos la reacción no es de un régimen de reacción de pseudo-primer orden

Pero si  $\sqrt{M} > E_i$  y si  $E = E_i$ ; entonces la reacción es rápida en la película del líquido y de segundo orden

No. de HATTA

---

$$\text{RaizM} = \begin{pmatrix} 266.565 \\ 257.894 \\ 248.921 \\ 239.612 \\ 229.927 \\ 219.815 \end{pmatrix} > \text{Ei} = \begin{pmatrix} 1.548 \\ 1.508 \\ 1.47 \\ 1.432 \\ 1.396 \\ 1.36 \end{pmatrix}$$

$$\text{E} = \begin{pmatrix} 1.548 \\ 1.508 \\ 1.47 \\ 1.432 \\ 1.396 \\ 1.36 \end{pmatrix} = \text{Ei} = \begin{pmatrix} 1.548 \\ 1.508 \\ 1.47 \\ 1.432 \\ 1.396 \\ 1.36 \end{pmatrix}$$

### El lugar donde se produce la reacción

$$\text{RaizM} = \begin{pmatrix} 266.565 \\ 257.894 \\ 248.921 \\ 239.612 \\ 229.927 \\ 219.815 \end{pmatrix}$$

Froment & Bischof (13) .- Una reacción se da en la película del líquido cuando  $\sqrt{M} > 3$ , mientras que, si toma lugar en el seno de la fase líquida  $\sqrt{M} < 0.3$

Consultar la Figura 8. El factor de mejora E Vs. N° de Hatta

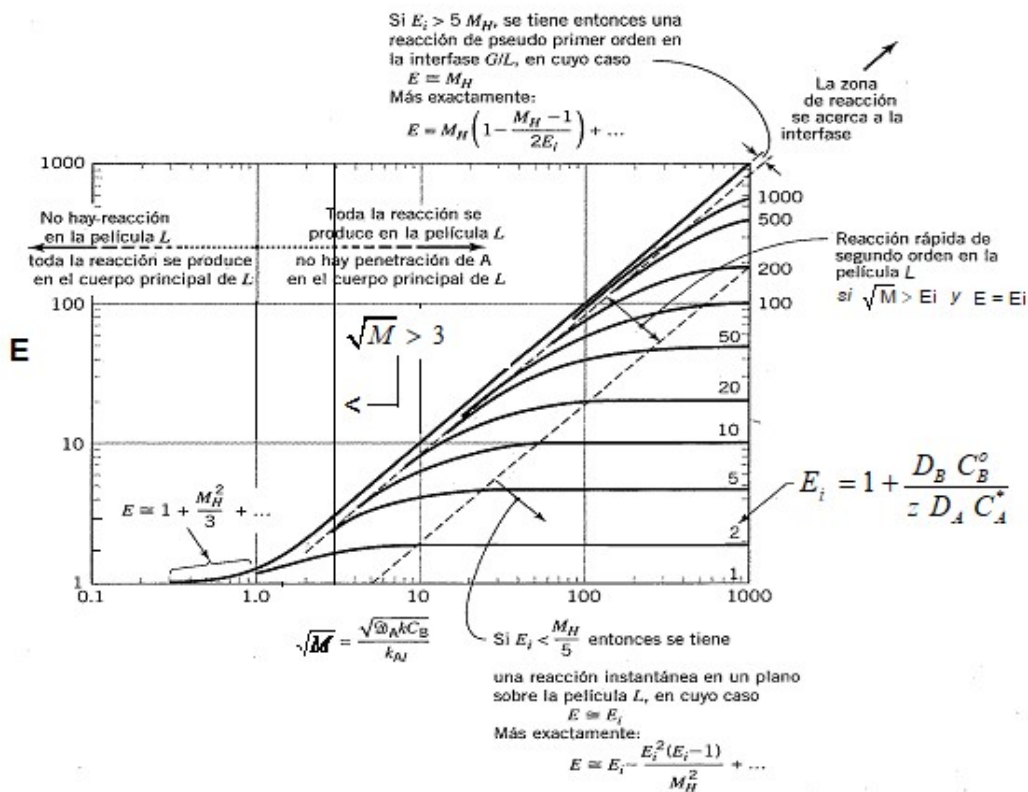


Fig. 8

### 9.5 Evaluación de la ecuación de diseño y del coeficiente $k_L$

$$h = + \frac{L \varepsilon}{a} \int_{C_B^o \text{ Fondo}}^{C_B^o \text{ Domo}} \frac{dC_B^o}{R_A} \quad ; \quad R_A := \left[ \left[ \frac{p_{iCO_2}}{\left( \frac{1}{\text{kg a}} + \frac{m}{\text{E} \cdot \text{kL} \cdot \text{a}} \right)} \right] \cdot \frac{1}{a} \right]$$

Variables ya calculadas para la ecuación de diseño

$$B^o = \begin{pmatrix} 2.5 \\ 2.34 \\ 2.18 \\ 2.02 \\ 1.86 \\ 1.7 \end{pmatrix} \begin{array}{l} \text{domo} \\ \\ \\ \\ \\ \text{fondo} \end{array}$$

$$R_A = \begin{pmatrix} 0.0035 \\ 0.0036 \\ 0.0037 \\ 0.0038 \\ 0.0038 \\ 0.0038 \end{pmatrix} \begin{array}{l} \text{domo} \\ \\ \\ \\ \\ \text{fondo} \end{array}$$

$$\frac{\text{gmol} \cdot \text{MEA}}{\text{L} \cdot \text{solución}}$$

$$\frac{\text{gmol} \cdot \text{absorbido} \cdot \text{de} \cdot \text{CO}_2}{\text{cm}^2 \cdot \text{h}}$$

$$L = 0.564 \quad \frac{\text{L Sol}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2}$$

$$kL = 4.5 \quad \frac{\text{cm}}{\text{h}}$$

$$\varepsilon = 0.7$$

$$H = 106 \quad \text{cm}$$

$$a = 0.8 \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}$$

$$B_{\text{domo}} = 2.5 \quad \frac{\text{gmol MEA}}{\text{cm}^3 \text{ Sol}}$$

$$B_{\text{fondo}} = 1.7 \quad \frac{\text{gmol MEA}}{\text{cm}^3 \text{ Sol}}$$

Solucion de la integraci3n

$$h = -\frac{L \varepsilon}{a} \int_{C_B^{\circ} \text{ Fondo}}^{C_B^{\circ} \text{ Domo}} \frac{d C_B^{\circ}}{R_A} = \begin{cases} h = \frac{L \varepsilon}{a} \int_{C_B^{\circ} \text{ Fondo}}^{C_B^{\circ} \text{ Domo}} \frac{d C_B^{\circ}}{R_A} \\ cm = \frac{\frac{cm^3}{h cm^2}}{\frac{cm^2}{cm^3}} \left( \frac{h cm^2}{gmol CO_2} \frac{gmol MEA}{cm^3 Sol} \right) \end{cases} \quad (39)$$

Cambio de variable

$$C_B^{\circ} := B^{\circ}$$

$$D := \frac{1}{R_A} \quad \frac{(\text{cm}^2 \cdot \text{h})}{(\text{gmol} \cdot \text{absorbido} \cdot \text{de} \cdot \text{CO}_2)}$$

$$D = \begin{pmatrix} 286.686 \\ 276.09 \\ 269.044 \\ 264.481 \\ 261.75 \\ 260.432 \end{pmatrix}$$

$$D_{Media} := \begin{bmatrix} \frac{[(D^{(1)})_1 + (D^{(1)})_2]}{2} \\ \frac{[(D^{(1)})_2 + (D^{(1)})_3]}{2} \\ \frac{[(D^{(1)})_3 + (D^{(1)})_4]}{2} \\ \frac{[(D^{(1)})_4 + (D^{(1)})_5]}{2} \\ \frac{[(D^{(1)})_5 + (D^{(1)})_6]}{2} \end{bmatrix}$$

$$\Delta C^{\circ}_B := \begin{bmatrix} (C^{\circ}_B)^{(1)}_1 - (C^{\circ}_B)^{(1)}_2 \\ (C^{\circ}_B)^{(1)}_2 - (C^{\circ}_B)^{(1)}_3 \\ (C^{\circ}_B)^{(1)}_3 - (C^{\circ}_B)^{(1)}_4 \\ (C^{\circ}_B)^{(1)}_4 - (C^{\circ}_B)^{(1)}_5 \\ (C^{\circ}_B)^{(1)}_5 - |(C^{\circ}_B)^{(1)}_6| \end{bmatrix}$$

$$\frac{\text{cm}^2 \cdot \text{h}}{\text{gmol} \cdot \text{absorbido} \cdot \text{de} \cdot \text{CO}_2}$$

$$\frac{\text{gmol} \cdot \text{MEA}}{\text{L} \cdot \text{solución}}$$

$$h = + \frac{L \varepsilon}{a} \int_{C_B^{\circ} \text{Fondo}}^{C_B^{\circ} \text{Domo}} \frac{dC_B^{\circ}}{R_A}$$

$$\text{Integral} := \sum \left( \overrightarrow{D_{Media} \cdot \Delta C^{\circ}_B \cdot \frac{1}{1000}} \right)$$

$$\frac{h}{\text{cm}} = \frac{\text{cm}^2 \cdot \text{h}}{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2} \cdot \frac{\text{gmol} \cdot \text{MEA}}{\text{L} \cdot \text{Sol}} \cdot \frac{1 \text{L}}{1000 \cdot \text{cm}^3}$$

$$\text{Integral} = 0.215 \quad \frac{h}{\text{cm}}$$

$$L = 0.564 \quad \frac{\text{L Sol}}{h \cdot \text{cm}^2} \quad \varepsilon = 0.7 \quad a = 0.8 \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}$$

$$h := \frac{L \cdot \frac{1000}{1} \cdot \varepsilon}{a} \cdot \text{Integral}$$

$$\text{cm} = \frac{\frac{\text{L Sol}}{h \cdot \text{cm}^2} \cdot \frac{1000 \cdot \text{cm}^3}{1 \cdot \text{L}}}{\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}} \cdot \left( \frac{h}{\text{cm}} \right)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} h = \frac{L \varepsilon}{a} \int_{C_B^o \text{ Fondo}}^{C_B^o \text{ Domo}} \frac{dC_B^o}{R_A} \\ \text{cm} = \frac{\text{cm}^3}{\frac{h \text{cm}^2}{\text{cm}^2}} \left( \frac{h \text{cm}^2}{\text{cm}^2} \frac{\text{gmol MEA}}{\text{gmol CO}_2 \text{ cm}^3 \text{ Sol}} \right) \end{array} \right.$$

$$h = 106.168 \quad \text{cm}$$

## 9.6 Resultados de la evaluación del coeficiente

### =====RESULTADOS=====

Altura de la torre

Altura del modelo

$$H = 106 \quad \text{cm}$$

$$h = 106.168 \quad \text{cm}$$

$$kL = 4.5 \quad \frac{\text{cm}}{h}$$

(al subir kL baja h)

$$kL \cdot a = 3.6 \quad \frac{1}{h}$$

(al bajar kL sube h)

### =====

## SOLUCIÓN AL CUESTIONARIO

I.- Al terminar las iteraciones anteriores de la Guía de Cálculos, utilizar la gráfica de la Fig. (8) para determinar el régimen de reacción (el orden de reacción) del sistema (MEA/H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>/AIRE) para cada uno de los tres flujos alimentados a la columna.

**R =** En el inciso 9.4 se demuestra que la reacción es de 2° orden

II.- Utilizar el N° de Hatta para establecer el sitio donde toma lugar para cada uno de los tres flujos de MEA/AGUA alimentados a la co

$$\text{RaizM} = \begin{pmatrix} 266.565 \\ 257.894 \\ 248.921 \\ 239.612 \\ 229.927 \\ 219.815 \end{pmatrix} \quad \text{RaizM}_2 := \text{RaizM}$$

Los números de Hatta para saber el mecanismo que favorece la reacción

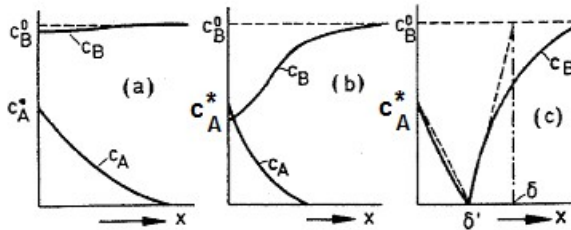
$$\text{RaizM}_1 := \begin{pmatrix} 118.766 \\ 111.413 \\ 103.538 \\ 95.013 \\ 85.644 \\ 75.115 \end{pmatrix} \quad \text{RaizM}_2 = \begin{pmatrix} 266.565 \\ 257.894 \\ 248.921 \\ 239.612 \\ 229.927 \\ 219.815 \end{pmatrix} \quad \text{RaizM}_3 := \begin{pmatrix} 315.669 \\ 304.747 \\ 293.419 \\ 281.636 \\ 269.338 \\ 256.451 \end{pmatrix}$$

Si la difusión es pequeña el No. de Hatta es alto y esto querrá decir que la reacción consumirá rápidamente al reactivo que es suministrado por difusión (reaccion en la película); esperaríamos entonces que los perfiles de concentración fueran muy pronunciados [la reacción está controlada por la difusión]

$$\sqrt{M} = \frac{\sqrt{k_1 D_A}}{k_L}, \quad \text{si } k_L = \frac{D_A}{\delta_L}$$

$$\sqrt{M} = \frac{\sqrt{\delta^2 k_1}}{D_A} = \frac{\text{rapidez de reacción en la Película}}{\text{rapidez de difusión en la película}}$$

Si la difusión es alta el No de Hatta es pequeño, esto significa que la reacción es lenta comparada con la difusión y, consecuentemente (se da en el seno de la fase líquida) donde los perfiles de concentración tenderán a ser planos



Si la concentración de  $C_B$  es alta en comparación con  $C_A$ , entonces B no se empobrece significativamente en la interface y el caso (a) se reduce a una reacción de pseudo-primero orden. Para el caso general (b), en el que la concentración de  $C_B$  declina claramente en comparación con la concentración en que se encuentra en el seno del líquido, pero no llega a cero, la reacción es rápida. El modelo de película produce dos ecuaciones diferenciales acopladas que se pueden resolver numéricamente, **Van Krevelen y Hoftijzer [17]** han proporcionado la siguiente solución en forma implícita para evaluar E.

**III.-** Gráfica (1). Trazar los tres perfiles de los coeficientes individuales de transferencia de masa con reacción química  $k_L r$  Vs.  $Z$  [cm] las posiciones de las alturas dentro de la columna. II tendencias de estos perfiles.

$$kL \cdot a \cdot E = \begin{pmatrix} 5.573 \\ 5.43 \\ 5.291 \\ 5.156 \\ 5.024 \\ 4.894 \end{pmatrix}$$

$$kLaE_2 := kL \cdot a \cdot E$$

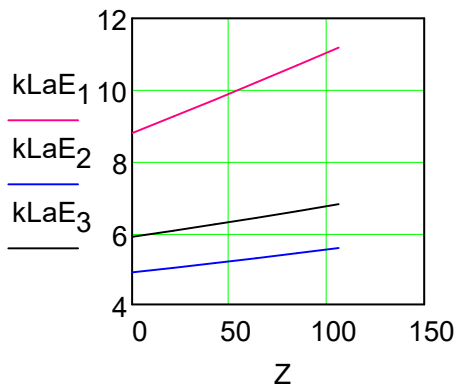


$$kLaE_1 := \begin{pmatrix} 11.181 \\ 10.685 \\ 10.199 \\ 9.722 \\ 9.252 \\ 8.787 \end{pmatrix}$$

$$kLaE_2 = \begin{pmatrix} 5.573 \\ 5.43 \\ 5.291 \\ 5.156 \\ 5.024 \\ 4.894 \end{pmatrix}$$

$$kLaE_3 := \begin{pmatrix} 6.798 \\ 6.6 \\ 6.413 \\ 6.234 \\ 6.061 \\ 5.892 \end{pmatrix}$$

Cada uno de estos coeficientes representa la facilidad con la que se transfiere el CO<sub>2</sub> en la película del líquido, entre mayor sea uno del otro significa que es más fácil la transferencia, si es menor significa que hay poca facilidad para la transferencia de CO<sub>2</sub> a la interfase al final de la película



La reacción es muy rápida pero la difusión en la película del líquido es lenta.

La reacción aumenta la transferencia de masa y hace que la difusión de CO<sub>2</sub> hacia la interfase sea lenta es decir: La reacción le dice a la película del líquido "Apúrate que necesito más CO<sub>2</sub> y le responde NO puedo"

Línea roja --> coeficiente intermedio, mediana transferencia de masa velocidad de reacción alta

línea azul --> es el coeficiente más bajo, difícil transferencia de masa, baja velocidad de reacción

línea negra --> es el coeficiente más alto, transferencia alta de CO<sub>2</sub> velocidad de reacción alta

**Los flujos de 8 y 10 L/h son los que generan una velocidad de reacción más alta**

IV.- Determinar el tiempo de residencia que favorece la reacción para la formación de la mayor cantidad producida de los iones carbámico y amina.

Los tiempos de residencia de las tres corridas experimentales

$$\tau_2 := \frac{ATF \cdot H}{Le \cdot 1000} \cdot 60$$

$$\text{min} = \frac{\text{cm}^2 \cdot \text{cm}}{\frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \cdot \text{cm}^3}{1\text{L}}} \cdot \frac{60\text{min}}{1 \cdot \text{h}}$$

$$\tau_1 := 18.047 \quad \text{min}$$

$$\tau_2 = 11.279 \quad \text{min}$$

$$\tau_3 := 9.024 \quad \text{min}$$

**R =** En la corrida tres se obtiene el tiempo de residencia de la mezcla reaccionante que favorece más a la reacción, con una producción de mayor cantidad de iones carbámico y amina.

V.- Utilizar los siguientes flujos de alimentación de (MEA/H<sub>2</sub>O) 5, 8 y 10 L/h para encontrar el tiempo de residencia de esta mezcla donde se favorezca la reacción, ya que para este proceso interesa la formación de la mayor cantidad de productos, los iones carbámico y amina, para este caso ¿Cuál es el mecanismo controlante (el más lento) entre la difusión o la reacción, el sitio donde se da la reacción, en la película del líquido o en el seno del fluido de la fase líquida?.

**R = El flujo de la tercera corrida contesta el problema de este guión experimental**





ar la reacción  
lumina.

volumétricos  
 $\cdot a = k_L a \times E$   
interpretar las