

Absorción de CO₂ en columna empacada Transferencia de masa y reacción química simultánea

DATOS EXPERIMENTALES, corrida 3

Concentración en % en masa
CO₂ 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

$$L_e := 10 \quad \frac{L}{h}$$

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

Concentración
molar de la
amina a la salida
de la torre

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

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

Concentración en % en masa
de CO₂ a la salida

$$\%wCO_{2s} := 4.4$$

Temperatura del aire de
entrada

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

Concentración en % en
masa de aire a la salida

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

$$\%wAIRE_s = 95.6$$

Temperatura del CO₂ de
entrada

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

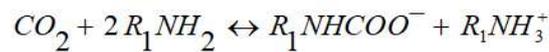
área transversal de flujo

$$ATF := 14.188 \quad \text{cm}^2$$

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

$$B_{\text{salida}} := 1.65$$

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



Se utiliza en el 2° programa del Balance de Energía

$$\%wMEAE := 15.341$$

$$\%wMEAs := 10.028$$

Datos constantes

	Condiciones estándar	Presión de operación
$P_{Maire} := 29$ g/gmol	$T^{\circ}C_{Standard} := 25$ °C	$P_{Op} := 0.771$
$P_{MCO2} := 44$ g/gmol	$P_{Standard} := 1$ atm	
altura de la torre	$P_{Mmea} := 61.08$ g/gmol	$P_{Magua} := 18$ atm
$H_{\text{www}} := 106$ cm		
	$R_{\text{www}} := 82.06$ $\frac{\text{cm}^3 \text{mezcla} \cdot \text{atm}}{\text{gmol} \cdot \text{mezcla} \cdot ^{\circ}K}$	
$T^{\circ}K_{aire} := T^{\circ}C_{aire} + 273.15$		
$P := 586$ mmHg		

Los coeficientes de difusión

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

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

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

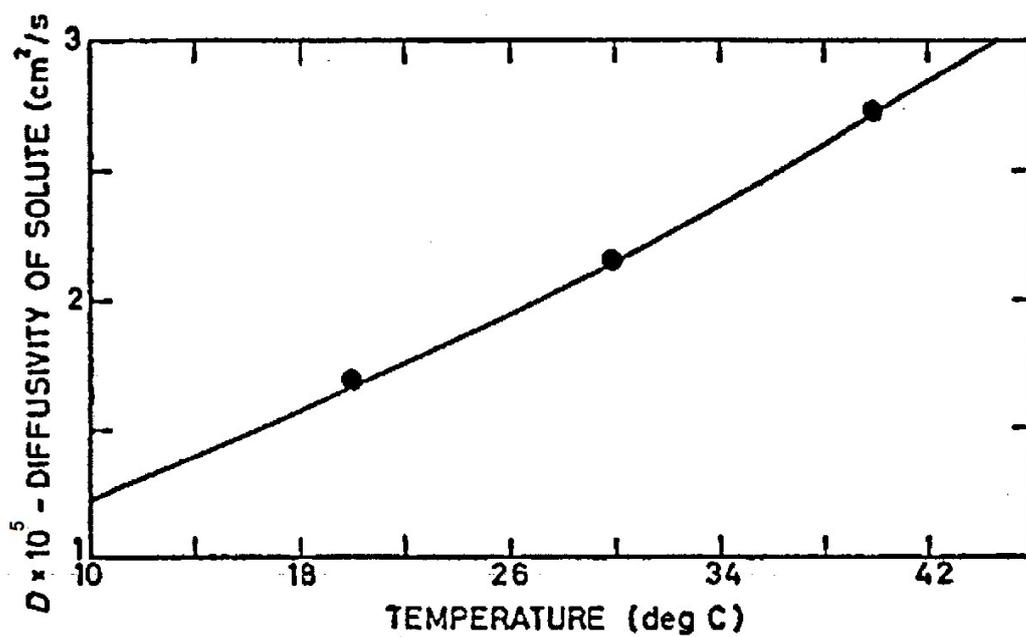
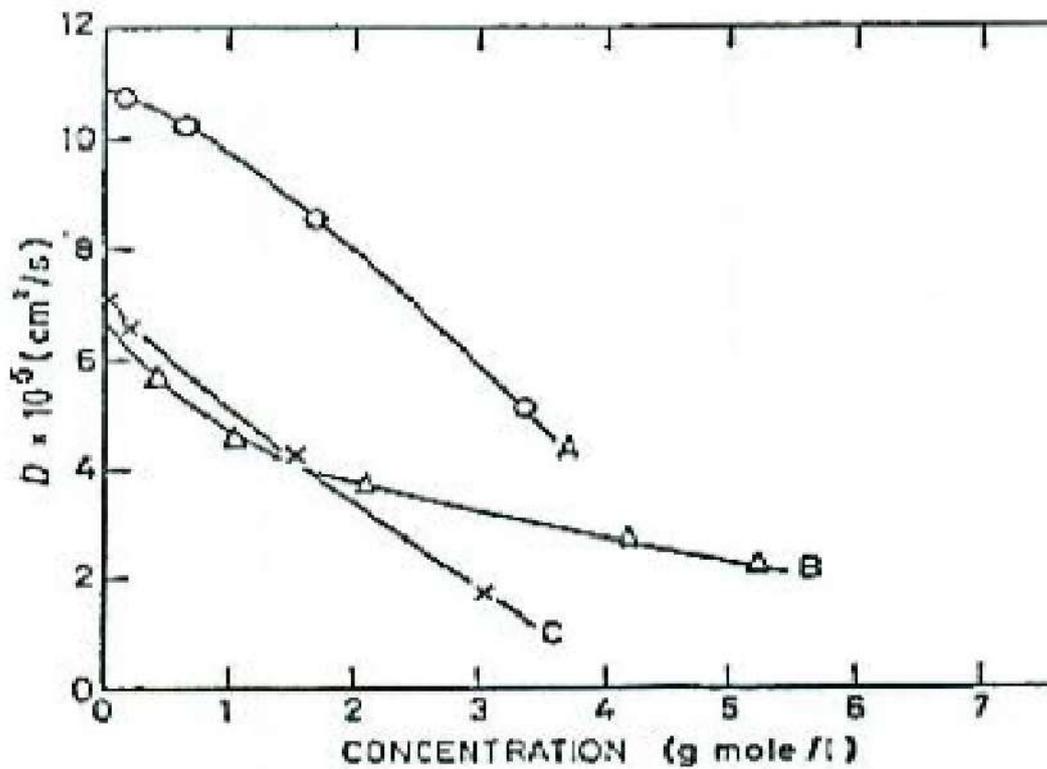


Fig. 10.—The diffusivity of carbon dioxide in water at various temperatures. (Thomas and Adams⁶⁹)

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.

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

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

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

$$D_{\text{CO}_2\text{H}_2\text{O}} := 1.65 \cdot 10^{-5}$$

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

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

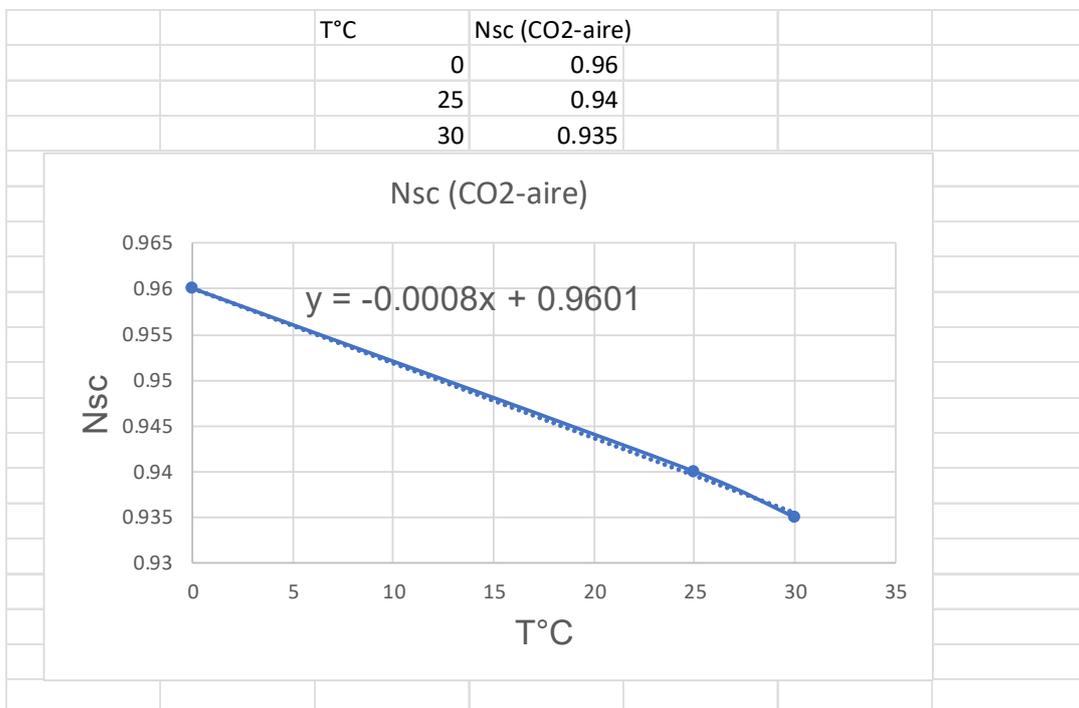
$$D_A = 1.056 \times 10^{-5}$$

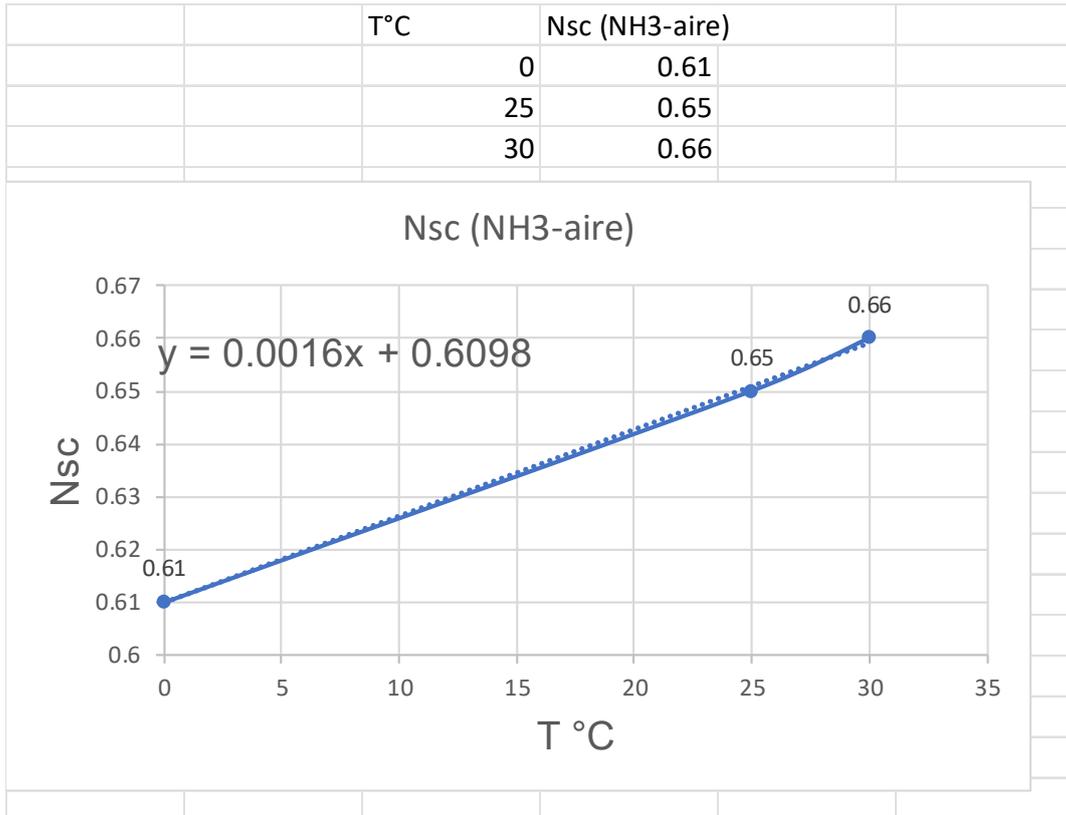
$$\frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

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

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

Los números de Schmidt





$$T^{\circ}\text{C} := T^{\circ}\text{Cco2e}$$

Nsc1 = No. de Schmidt NH3-Aire;

Para corregir la correlación de kga

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

$$\text{Nsc1} = 0.642$$

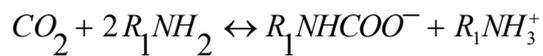
Nsc2 = No de Schmidt CO2-aire

Para corregir la correlación de kga

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

$$\text{Nsc2} = 0.944$$

La constante de rapidez de reacción



$$T^{\circ}\text{K} := T^{\circ}\text{Cmea} + 273.15$$

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

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

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

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

$$y_{\text{fCO}_2} := \frac{\frac{w_{\text{CO}_2\text{e}}}{\text{PMCO}_2}}{\frac{w_{\text{CO}_2\text{e}}}{\text{PMCO}_2} + \frac{(1 - w_{\text{CO}_2\text{e}})}{\text{PMaire}}}$$

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

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

$$y_{\text{dCO}_2} := \frac{\frac{w_{\text{CO}_2\text{s}}}{\text{PMCO}_2}}{\frac{w_{\text{CO}_2\text{s}}}{\text{PMCO}_2} + \frac{(1 - w_{\text{CO}_2\text{s}})}{\text{PMaire}}}$$

$$y_{\text{dCO}_2} = 0.0294 \quad \frac{\text{gmolCO}_2}{\text{gmolmezcla}}$$

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 entrada de la torre, en

Concentración molar de la amina a la salida

domo de la columna

de la torre

$$B_{alimentada} = 2.5$$

$$B_{salida} = 1.65$$

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

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

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

ORIGIN := 1

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

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

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

Divisiones =

2.5
2.33
2.16
1.99
1.82
1.65

copiar ----->

$$B^{\circ} := \begin{pmatrix} 2.5 \\ 2.33 \\ 2.16 \\ 1.99 \\ 1.82 \\ 1.65 \end{pmatrix}$$

Domo

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

Fondos

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

$$B^{\circ 1} := B_{salida} = 1.65$$

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

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

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

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

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

$$Q1_{\text{AIRE}} := \frac{\text{RotámetroAIRE} \cdot 7.2}{100} \cdot \left(\frac{100}{1} \right)^3$$

a 100 % ----- 7.2 m³ / 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

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

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

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

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

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

4.- Las fracciones mol del CO2 en los puntos intermedios de la torre

4.1 Masa velocidad de la mezcla líquida alimentada

$$Le = 10 \frac{Lsol}{h}$$

$$L_{ww} := \left(Le \cdot \frac{1}{ATF} \right) \quad \frac{L Sol}{h \cdot cm^2} = \frac{Lsol}{h} \cdot \frac{1}{cm^2}$$

$$L = 0.705 \frac{L Sol}{h \cdot cm^2}$$

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**

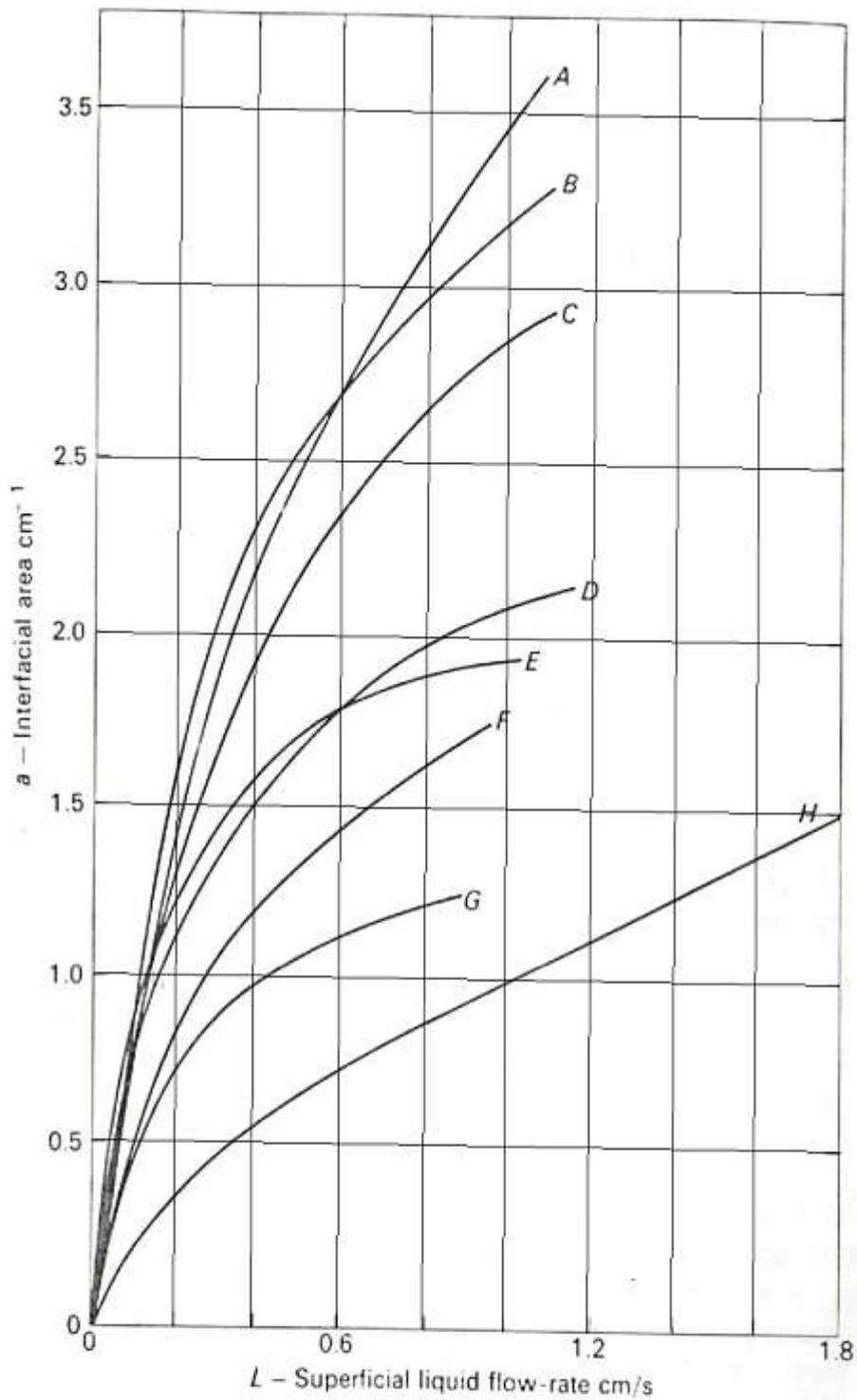


Fig. 9-1 Effective interfacial area for packings (after Danckwerts and Sharma, 1966)

Curve	Type and size of packing	Temperature (°C)	Tower diameter (in.)	Packing density (pieces/ cm^3)	Dry packing area (cm^2/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

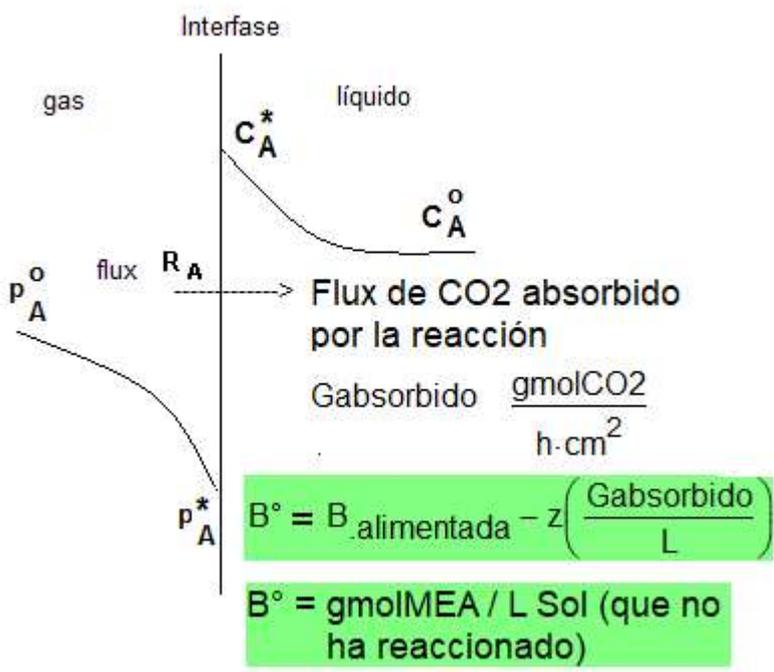
$$Lv := L \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1000}{1}$$

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

Lv = 0.196 $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$ De la curva D se puede leer **a**. Tomar $L = Lv$ la rapidez superficial del flujo del líquido entre los empaques

a := 1.15 $\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}$ área específica por unidad de volumen de torre empacada

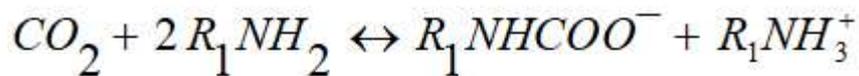
5.- Balance de la amina sin reaccionar B° para cualquier punto dentro de la columna. Utilizar este balance **planteado en la fase líquida** para calcular la masa velocidad del CO_2 absorbido / h cm^2 utilizado por la reacción



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

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

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



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

Gabsorbido =)	0	domo
		0.06	
		0.12	$\frac{\text{gmolCO}_2}{h \cdot \text{cm}^2}$
		0.18	
		0.24	
		0.3	fondos

6.- Balance de la masa velocidad absorbida de CO₂ /h cm² **en la fase gaseosa** para saber la relación molar del CO₂ sin reaccionar en la fase gaseosa (Y_{CO₂}) a diferentes alturas de la torre

$$y_{\text{CO}_2} = 0.029 \quad \frac{\text{gmolCO}_2}{\text{gmolmezcla}}$$

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

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

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

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

$$Y_{CO_2} = \begin{pmatrix} 0.03 \\ 0.038 \\ 0.046 \\ 0.054 \\ 0.062 \\ 0.07 \end{pmatrix} \quad \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{gmol} \cdot \text{aire}}$$

6.1 Las fracciones mol de CO₂ sin reaccionar en los puntos intermedios de la torre

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

$$y_{CO_2} = \begin{pmatrix} 0.029 \\ 0.037 \\ 0.044 \\ 0.051 \\ 0.058 \\ 0.065 \end{pmatrix} \quad \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{gmol} \cdot \text{mezcla}}$$

5.- Las presiones parciales del CO₂ 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

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

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

$$p_{i, CO_2} = \begin{pmatrix} 0.0227 \\ 0.0284 \\ 0.0339 \\ 0.0394 \\ 0.0449 \\ 0.0502 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{Domo} \\ \\ \text{atm} \\ \\ \text{Fondos} \end{matrix}$$

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

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

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

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

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

$$B_{fondo} = 1.65 \quad \frac{\text{gmolMEA}}{\text{L Sol}}$$

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_{masaVel} en los puntos intermedios

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

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

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

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

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

$$G_{\text{masaVel}} = \begin{pmatrix} 231.245 \\ 233.881 \\ 236.517 \\ 239.153 \\ 241.789 \\ 244.425 \end{pmatrix} \frac{\text{g} \cdot \text{mezcla} \cdot \text{gaseosa}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2}$$

7.2 Masa velocidad de la mezcla gaseosa en el sistema inglés en los puntos internos para calcular k_{ga} (la correlación esta en el sistema inglés)

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

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

$$G_{MV} = \begin{pmatrix} 473.619 \\ 479.018 \\ 484.417 \\ 489.816 \\ 495.214 \\ 500.613 \end{pmatrix} \frac{lb}{h \cdot ft^2}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$L_{mv} = 709.125 \frac{g \cdot Solución}{cm^2 \cdot h}$$

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

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

$$L_{MV} = 1.452 \times 10^3 \frac{\text{lb} \cdot \text{solución}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2}$$

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

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

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

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

$$k_{ga} = \begin{pmatrix} 0.306 \\ 0.309 \\ 0.311 \\ 0.314 \\ 0.316 \\ 0.319 \end{pmatrix} \quad \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{atm}}$$

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 CO₂ están dentro de la misma magnitud de los valores al equilibrio.

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

$$p_{i CO_2} = \begin{pmatrix} 0.0227 \\ 0.0284 \\ 0.0339 \\ 0.0394 \\ 0.0449 \\ 0.0502 \end{pmatrix}$$

Domo

atm

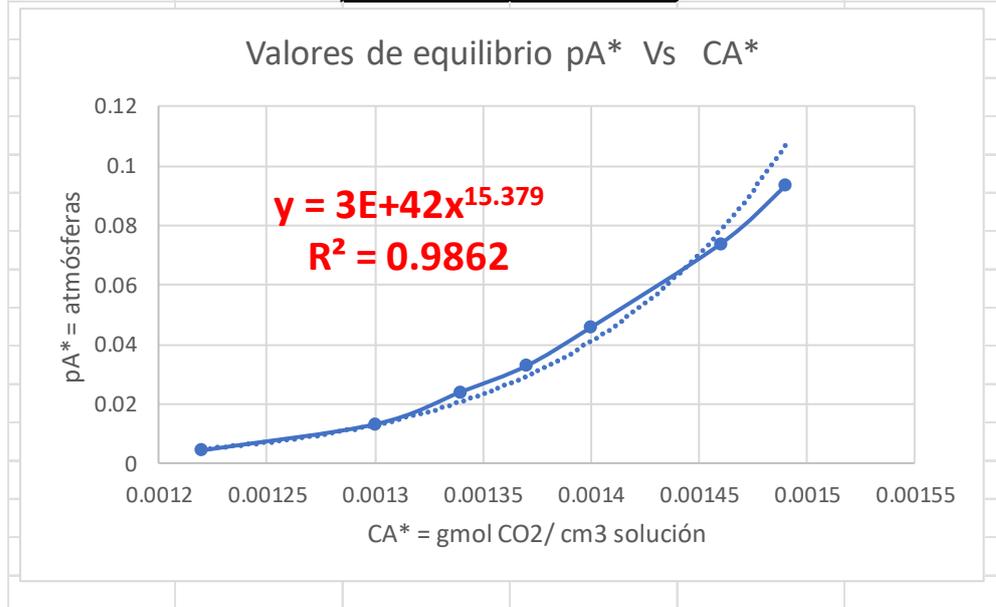
Estos valores están contenidos en la tabla inferior

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

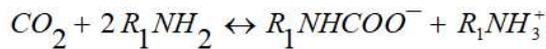


$$pA^\circ = 3 \cdot 10^{42} \cdot cA^\circ^{15.379} \quad \longrightarrow \quad cA^\circ^{15.379} = \frac{pCO_2}{3 \cdot 10^{42}}$$

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

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

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



A + 2B \leftrightarrow Productos

tomar * = °

Concentración interfacial
en equilibrio en los
puntos intermedios:
gmol CO₂ / cm³ de
solución

Presión interfacial
en equilibrio en los
puntos intermedios:
atm

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

$$C^\circ_A = \begin{pmatrix} 1.3523 \\ 1.3721 \\ 1.3882 \\ 1.4018 \\ 1.4136 \\ 1.4239 \end{pmatrix} \quad \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{L} \cdot \text{solución}}$$

$$p^\circ_A = \begin{pmatrix} 0.0227 \\ 0.0284 \\ 0.0339 \\ 0.0394 \\ 0.0449 \\ 0.0502 \end{pmatrix} \quad \text{atm}$$

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

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

$$m = \begin{pmatrix} 23.8153 \\ 29.3303 \\ 34.6923 \\ 39.9184 \\ 45.0207 \\ 50.009 \end{pmatrix}$$

$$\frac{\text{atm}}{\frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{cm}^3 \text{solución}}}$$

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

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

$$kL := 3.8$$

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

(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

$$\text{RaizM} = \begin{pmatrix} 315.669 \\ 304.747 \\ 293.419 \\ 281.636 \\ 269.338 \\ 256.451 \end{pmatrix}$$

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 (reacción 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)

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

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

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

$$E1 = \begin{pmatrix} 315.669 \\ 304.747 \\ 293.419 \\ 281.636 \\ 269.338 \\ 256.451 \end{pmatrix}$$

$$Ei = \begin{pmatrix} 1.56 \\ 1.51 \\ 1.47 \\ 1.43 \\ 1.39 \\ 1.35 \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{pmatrix} 1.56 \\ 1.51 \\ 1.47 \\ 1.43 \\ 1.39 \\ 1.35 \end{pmatrix}$$

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

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

Flux del lado de la fase gaseosa

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

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

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

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

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

$$a = 1.15$$

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

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

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

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

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

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



$$R_A = \begin{pmatrix} 0.0029 \\ 0.0032 \\ 0.0034 \\ 0.0036 \\ 0.0037 \\ 0.0038 \end{pmatrix} \quad \frac{\text{gmol} \cdot \text{absorbido} \cdot \text{de} \cdot \text{CO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^2}$$

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

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

$$\text{RaizM} = \begin{pmatrix} 315.669 \\ 304.747 \\ 293.419 \\ 281.636 \\ 269.338 \\ 256.451 \end{pmatrix} < \text{Ei} = \begin{pmatrix} 1.556 \\ 1.51 \\ 1.468 \\ 1.427 \\ 1.387 \\ 1.348 \end{pmatrix}$$

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 es de segundo orden

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

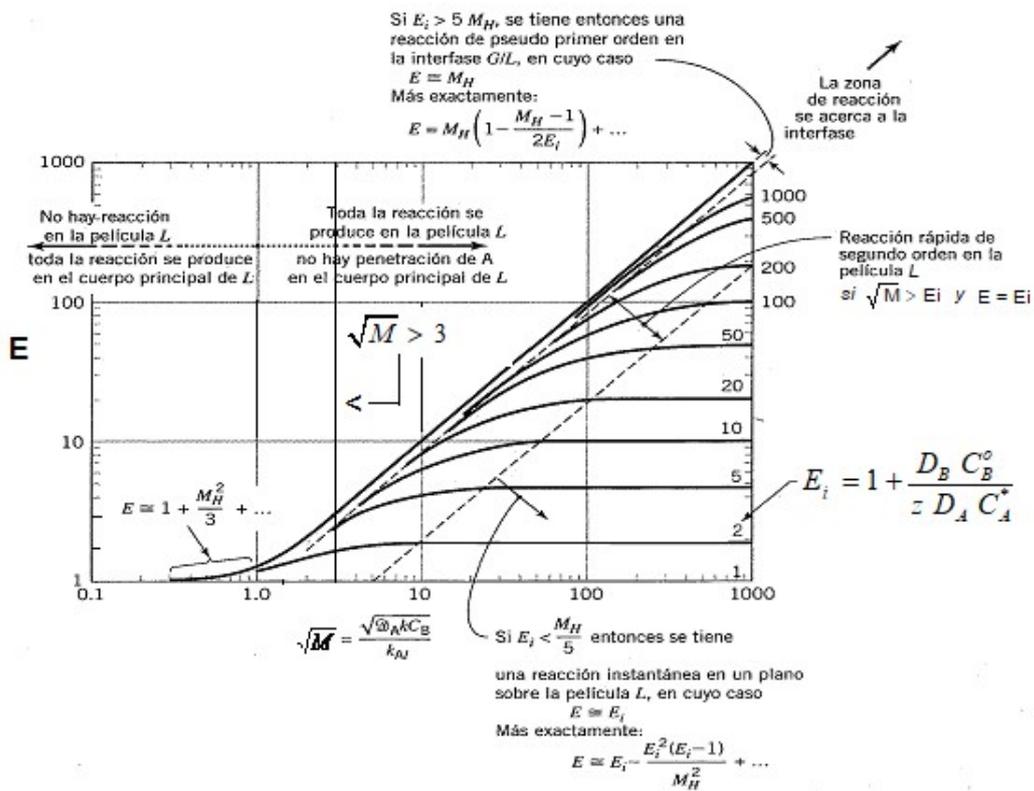


Fig. 8

Comprobación que es de segundo orden

No. de HATTA

RaizM =	$\begin{pmatrix} 315.669 \\ 304.747 \\ 293.419 \\ 281.636 \\ 269.338 \\ 256.451 \end{pmatrix}$	>	$E_i = \begin{pmatrix} 1.556 \\ 1.51 \\ 1.468 \\ 1.427 \\ 1.387 \\ 1.348 \end{pmatrix}$
---------	--	---	---

$$E = \begin{pmatrix} 1.556 \\ 1.51 \\ 1.468 \\ 1.427 \\ 1.387 \\ 1.348 \end{pmatrix} = Ei = \begin{pmatrix} 1.556 \\ 1.51 \\ 1.468 \\ 1.427 \\ 1.387 \\ 1.348 \end{pmatrix}$$

El lugar donde se produce la reacción

$$\text{RaizM} = \begin{pmatrix} 315.669 \\ 304.747 \\ 293.419 \\ 281.636 \\ 269.338 \\ 256.451 \end{pmatrix}$$

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 $\sqrt{M} < 0.3$

9.5 Evaluación de la ecuación de diseño y del coeficiente kL

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

Variables ya calculadas para la ecuación de diseño

$$B^o = \begin{pmatrix} 2.5 \\ 2.33 \\ 2.16 \\ 1.99 \\ 1.82 \\ 1.65 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{domo} \\ \\ \\ \\ \\ \text{fondo} \end{matrix}$$

$$R_A = \begin{pmatrix} 0.0029 \\ 0.0032 \\ 0.0034 \\ 0.0036 \\ 0.0037 \\ 0.0038 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{domo} \\ \\ \\ \\ \\ \text{fondo} \end{matrix}$$

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

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

$$L = 0.705 \quad \frac{\text{L Sol}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2}$$

$$kL = 3.8 \quad \frac{\text{cm}}{\text{h}}$$

$$\varepsilon = 0.7$$

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

$$a = 1.15 \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}$$

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

$$B_{\text{fondo}} = 1.65 \quad \frac{\text{gmol MEA}}{\text{cm}^3 \text{ Sol}}$$

Solucion de la integraci3n

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

Cambio de variable

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

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

$$D = \begin{pmatrix} 342.941 \\ 311.508 \\ 292.131 \\ 279.649 \\ 271.529 \\ 266.385 \end{pmatrix}$$

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

$$\Delta C^{\circ}_B := \left[\begin{array}{c} (C^{\circ}_B)^{(1)}_1 - (C^{\circ}_B)^{(1)}_2 \\ (C^{\circ}_B)^{(1)}_2 - (C^{\circ}_B)^{(1)}_3 \\ (C^{\circ}_B)^{(1)}_3 - (C^{\circ}_B)^{(1)}_4 \\ (C^{\circ}_B)^{(1)}_4 - (C^{\circ}_B)^{(1)}_5 \\ (C^{\circ}_B)^{(1)}_5 - |(C^{\circ}_B)^{(1)}_6| \end{array} \right]$$

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

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

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

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

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

$$\text{Integral} = 0.248 \quad \frac{h}{\text{cm}}$$

$$L = 0.705 \quad \frac{\text{L Sol}}{h \cdot \text{cm}^2} \quad \epsilon = 0.7 \quad a = 1.15 \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}$$

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

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

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

$$h = 106.445 \quad \text{cm}$$

9.6 Resultados de la evaluación del coeficiente

=====RESULTADOS=====

Altura de la torre

Altura del modelo

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

$$h = 106.445 \quad \text{cm}$$

$$kL = 3.8 \quad \frac{\text{cm}}{h}$$

(al subir kL baja h)

$$kL \cdot a = 4.37 \quad \frac{1}{h}$$

(al bajar kL sube h)

=====

SOLUCIÓN AL CUESTIONARIO

1.- 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/H₂O-CO₂/AIRE) para cada uno de los flujos alimentados a la columna.

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

2.- Utilizar el N° de Hatta para establecer el mecanismo controlante de la reacción para cada uno de los flujos alimentados a la columna.

$$\text{RaizM} = \begin{pmatrix} 315.669 \\ 304.747 \\ 293.419 \\ 281.636 \\ 269.338 \\ 256.451 \end{pmatrix}$$

$$\text{RaizM}_3 := \text{RaizM}$$

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

$$\text{RaizM}_1 := \begin{pmatrix} 118.766 \\ 111.413 \\ 103.538 \\ 95.013 \\ 85.644 \\ 75.115 \end{pmatrix}$$

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

$$\text{RaizM}_3 = \begin{pmatrix} 315.669 \\ 304.747 \\ 293.419 \\ 281.636 \\ 269.338 \\ 256.451 \end{pmatrix}$$

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

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

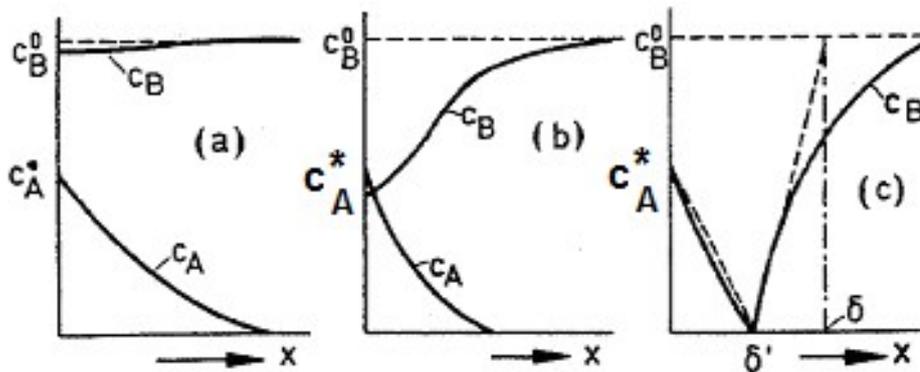
Si la difusión es pequeña el No. de Hatta es alto y esto querrá decir que la reacción consumirá rápidamente al reactivo que es suministrado por difusión (reaccion en la película); esperaríamos entonces que los perfiles de concentración fueran muy pronunciados [la reacción está controlada por la difusión]

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

En las dos últimas corridas el mecanismo controlante es la difusión, la difusión no responde a las **exigencias de la reacción**

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-primer 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.



3.- Gráfica (1). Trazar los tres perfiles de los coeficientes volumétricos individuales de transferencia de masa con reacción química $k_L r a = k_L a \times E$ Vs. z [cm], las posiciones de las alturas dentro de la columna. Interpretar las tendencias de estos perfiles.

$$kL \cdot a \cdot E = \begin{pmatrix} 6.798 \\ 6.6 \\ 6.413 \\ 6.234 \\ 6.061 \\ 5.892 \end{pmatrix}$$

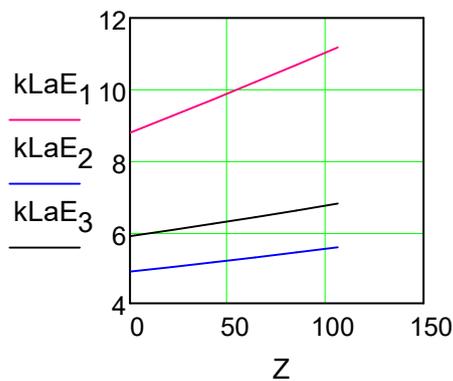
$$kLaE_3 := kL \cdot a \cdot E$$

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

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

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

Cada uno de estos coeficientes representa la facilidad con la que se transfiere el CO₂ 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 CO₂ de la interfase al final de la película



Línea roja kLaE₁--> coeficiente alto, alta transferencia de masa, velocidad de reacción lenta (este caso no interesa)

línea azul kLaE₂--> coeficiente bajo, difícil transferencia de masa, porque hay una alta velocidad de reacción (este caso sí interesa)

línea negra kLaE₃--> coeficiente bajo, difícil transferencia de masa, porque hay una alta velocidad de reacción (este caso también interesa)

El flujo de 10 L/h genera una velocidad de reacción más alta

4.- 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

$$\tau_3 := \frac{ATF \cdot H}{Le \cdot 1000} \cdot 60$$

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

$\tau_1 := 18.047$ min $\tau_2 := 11.279$ min $\tau_3 = 9.024$ min

R = En la corrida 10 L/h genera una velocidad de reacción más alta con el menor tiempo de residencia con una producción de mayor cantidad de iones carbámico y amina producidos

5.- Reportar 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

FIN

m =====

Guía de Cálculos Experimentales de Absorción con Reacción II

Transferencia de masa y reacción química simultánea en una columna de absorción, el perfil de temperaturas

CÁLCULOS PARA RESOVER EL BALANCE DE ENRGÍA

Tabla (2). Temperaturas experimentales en la columna de absorción

Posición z en la columna (cm)	Temperaturas (°C)		
	5 L / h	8 L / h	10 L / h
Abajo 0	28.2	29.6	30.3
22	36.7	34.5	31.6
44	34.3	31.1	28.9
66	31.6	29.0	27.6
88	27.1	25.7	25.4
arriba 110	24.6	24.5	24.3

$$\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\Phi_H + Q_V}{v_z \rho_L C_{p_{mezcla}}}$$

Temperatura de inicio del termómetro de la torre

Tinicio := 24.3 °C

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} = \frac{\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^3} + \frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^3}}{\frac{\text{cm}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{gmol}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot ^{\circ}\text{C}}}$$

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

1.- Calor generado por la reacción $\Phi_H \implies \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\Phi_H + Q_V}{v_z \rho_L C_{p_{mezcla}}}$

$\Phi_H = R_A a (-\Delta H_r)$ se utiliza la correlación de Hanne M. Kvmsdal, página 15

$\Delta H_r = \Delta H$ absorción se utiliza la correlación de Hanne M. Kvmsdal, página 14

T = Temperatura variable del líquido en °C durante la integración de la ecuación diferencial

$\Delta H_{abs} := (84.68 - 0.1135 \cdot T + 0.0027 \cdot T^2) \cdot 1000 \cdot 0.23901$

Ec. (10), Pag. (14)

$$\frac{\text{cal}}{\text{gmol}} = \frac{\text{kJ}}{\text{gmol}} \cdot \frac{1000\text{J}}{1\text{kJ}} \cdot \frac{0.23901\text{cal}}{1\text{J}}$$

1.1 La rapidez de transferencia de masa R_A en presencia de reacción en función de la posición Z y el valor de " a " el área específica por unidad de volumen de torre empacada

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

$$R_A = \begin{pmatrix} 0.0029 \\ 0.0032 \\ 0.0034 \\ 0.0036 \\ 0.0037 \\ 0.0038 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{domo} \\ \\ \\ \\ \\ \text{fondo} \end{matrix}$$

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

$$R_A := R_A \cdot \frac{1}{3600}$$

$$\frac{\text{gmolCO}_2}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} = \frac{\text{gmol} \cdot \text{absorbido} \cdot \text{de} \cdot \text{CO}_2}{\text{cm}^2 \cdot \text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{S}}$$

$$R_A = \begin{pmatrix} 8.0999 \times 10^{-7} \\ 8.9172 \times 10^{-7} \\ 9.5087 \times 10^{-7} \\ 9.9331 \times 10^{-7} \\ 1.023 \times 10^{-6} \\ 1.0428 \times 10^{-6} \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{domo} \\ \\ \\ \\ \\ \text{fondo} \end{matrix}$$

$$Z = \begin{pmatrix} 106 \\ 85 \\ 64 \\ 42 \\ 21 \\ 0 \end{pmatrix} \text{cm}$$

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

Cálculo del polinomio de tercer orden

Zi := 1 .. 6

Zi :=

	1
1	106
2	85
3	64
4	42
5	21
6	0

M := augment(Z)

B := RA

n := 3

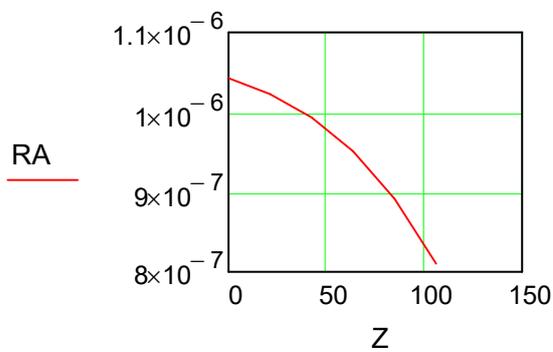
R := regress(M, B, n)

$$R = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 1.043 \times 10^{-6} \\ -8.047 \times 10^{-10} \\ -5.39 \times 10^{-12} \\ -7.297 \times 10^{-14} \end{pmatrix}$$

$$RA := -7.297 \times 10^{-14} \cdot Z^3 - 5.39 \times 10^{-12} \cdot Z^2 - 8.047 \times 10^{-10} \cdot Z + 1.043 \times 10^{-6}$$

gmolCO2

s · cm²



$$a = 1.15 \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}$$

Se puede calcular

$$\Phi_H = R_A a (-\Delta H_r)$$

FIN

2.- La velocidad superficial de la mezcla líquida v_z

$$\implies \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\Phi_H + Q_V}{v_z \rho_L C_{p_{mezcla}}}$$

$V_Z := Lv$ El valor de Lv se calculó en el programa anterior

$$V_Z = 0.196 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

FIN

3.- La densidad de la mezcla líquida alimentada ρ_L

$$\implies \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\Phi_H + Q_V}{v_z \rho_L C_{p_{mezcla}}}$$

$$T^{\circ}\text{C}_{\text{mea}} := 19 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

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

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

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

$$\rho_L = 1.006 \frac{\text{gSol}}{\text{cm}^3\text{Sol}}$$

FIN

4.- La capacidad calorífica de la mezcla líquida alimentada a presión

$$\text{constante } C_{p_{mezcla}} \implies \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\Phi_H + Q_V}{v_z \rho_L C_{p_{mezcla}}}$$

De datos experimentales la temperatura de la solución alimentada de MEA - AGUA

$$T^{\circ}\text{C}_{\text{mea}} := 19 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$T\text{Le}^{\circ}\text{K} := T^{\circ}\text{C}_{\text{mea}} + 273.15$$

$$C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} := (92.053 - 3.9953 \cdot 10^{-2} \cdot T\text{Le}^{\circ}\text{K} - 2.1103 \cdot 10^{-4} \cdot T\text{Le}^{\circ}\text{K}^2 + 5.3469 \cdot 10^{-7} \cdot T\text{Le}^{\circ}\text{K}^3) \cdot 0.2369$$

$$\frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot ^{\circ}\text{C}} = \frac{\text{Joule}}{\text{gmol} \cdot ^{\circ}\text{K}} \cdot \frac{0.23901 \cdot \text{cal}}{1 \cdot \text{Joule}}$$

$$C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} := 17.934$$

$$\frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$C_{p_{\text{MEA}}} := (23.11 + 1.2283 \cdot T\text{Le}^{\circ}\text{K} - 3.1218 \cdot 10^{-3} \cdot T\text{Le}^{\circ}\text{K}^2 + 3.0714 \cdot 10^{-6} \cdot T\text{Le}^{\circ}\text{K}^3) \cdot 0.23901$$

$$C_{p_{\text{MEA}}} := 45.912 \frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$w_{\text{MEAE}} := \frac{\%w_{\text{MEAE}}}{100}$$

$$x_{\text{MolarMEAE}} := \frac{\frac{w_{\text{MEAE}}}{P_{\text{Mmea}}}}{\frac{w_{\text{MEAE}}}{P_{\text{Mmea}}} + \frac{(1 - w_{\text{MEAE}})}{P_{\text{Magua}}}} \frac{\text{gmolMEAE}}{\text{gmolSolución}}$$

$$x_{\text{MolarMEAe}} = 0.0507 \quad \frac{\text{gmolMEA}}{\text{gmolSolución}}$$

$$C_{p_{\text{Mezcla}}} := [C_{p_{\text{MEA}}} \cdot x_{\text{MolarMEAe}} + C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot (1 - x_{\text{MolarMEAe}})]$$

$$\frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_{p_{\text{Mezcla}}} = 19.352 \quad \frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot ^\circ\text{C}}$$

FIN

5 .- Flujo de calor volumétrico por las paredes de la columna Q_V

$$\implies \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\Phi_H + Q_V}{v_z \rho_L C_{p_{\text{mezcla}}}}$$

$$Q_V = -h_{\text{paredes}} a (T_L - T_{\text{amb}})$$

TL= Temperatura variable a lo largo de la columna en función de z

$$h_{\text{paredes}} = 1000 \times 4.05 \times 10^{-3} \times \left(\frac{\rho_g V_g}{\text{Diam hidráulico}} \right)^{0.5} (C_{p_g})^{0.33}$$

Ec. (26), Pag. (15) de Hanne M. Kvmsdal,

5.1 Diámetro hidráulico de la torre, se calcula con: $A = \pi R^2$

$$R_{\text{HidraTorre}} := \sqrt{\frac{\text{ATF} \cdot \left(\frac{1}{100}\right)^2}{\pi}} \quad m = \sqrt{\text{cm}^2 \cdot \left(\frac{1\text{m}}{100 \cdot \text{cm}}\right)^2}$$

$$D_{\text{hid}} := 2(R_{\text{HidraTorre}})$$

$$D_{\text{hid}} = 0.043 \quad \text{m}$$

FIN

5.2 La densidad de la mezcla AIRE-CO₂ dentro de la torre ρ_g

$$T^{\circ}\text{Caire} = 20 \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$T^{\circ}\text{Cco2e} := 20 \quad ^{\circ}\text{C}$$

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

$$\rho_{\text{CO}_2} := -5 \cdot 10^{-6} \cdot T^{\circ}\text{Cco2e} + 0.002$$

$$\rho_{\text{AIRE}} = 1.22 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{CO}_2} = 1.9 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$y_{\text{MolarCO}_2\text{e}} := y_{\text{fCO}_2}$$

$$\rho_g := \rho_{\text{CO}_2} \cdot y_{\text{MolarCO}_2\text{e}} + \rho_{\text{AIRE}} \cdot (1 - y_{\text{MolarCO}_2\text{e}})$$

$$\frac{\text{g} \cdot \text{mezcla}}{\text{cm}^3 \text{mezcla}}$$

$$\rho_g = 1.298 \times 10^{-3}$$

$$\frac{\text{g} \cdot \text{mezcla}}{\text{cm}^3 \text{mezcla}}$$

FIN

5.3 Velocidad de la mezcla gaseosa V_g

$$G_s := G' \cdot s \cdot P_{\text{Maire}}$$

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

$$G_{\text{CO}_2} := (Y_{\text{dCO}_2}) \cdot G' \cdot s \cdot P_{\text{MCO}_2}$$

$$\frac{\text{g} \cdot \text{CO}_2}{\text{h} \cdot \text{cm}^2} = \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{gmolAIRE}} \cdot \frac{\text{gmolAIRE}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2} \cdot \frac{\text{gCO}_2}{\text{gmolCO}_2}$$

$$G_{\text{mv}} := G_s + G_{\text{CO}_2}$$

$$G_{\text{mv}} = 231.245 \frac{\text{g} \cdot \text{mezcla} \cdot \text{gaseosa}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2}$$

$$V_g := G_{\text{mv}} \cdot \frac{1}{\rho_g} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{100}$$

$$\frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{g} \cdot \text{mezcla} \cdot \text{gaseosa}}{\text{h} \cdot \text{cm}^2} \cdot \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \cdot \frac{1 \cdot \text{h}}{3600 \cdot \text{s}} \cdot \frac{1 \text{m}}{100 \text{cm}}$$

$$V_g = 0.4949$$

$$\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

FIN

5.4 Capacidad calorífica a presión constante del gas de entrada a la torre

 C_{p_g}

$$T^{\circ}K_{CO_2} := T^{\circ}C_{CO_2e} + 273.15$$

$$T^{\circ}K := T^{\circ}K_{CO_2} \quad \text{cambio de variable}$$

$$A := 27.437$$

$$B := 4.2315 \cdot 10^{-2}$$

$$C := -1.9555 \cdot 10^{-5}$$

$$D := 3.9968 \cdot 10^{-9}$$

$$E := -2.9872 \cdot 10^{-13}$$

$$C_{p_{CO_2}} := (A + B \cdot T^{\circ}K + C \cdot T^{\circ}K^2 + D \cdot T^{\circ}K^3 + E \cdot T^{\circ}K^4)$$

 $\frac{\text{joule}}{\text{gmol} \cdot ^{\circ}C}$

$$C_{p_{CO_2}} = 38.26 \quad \frac{\text{joule}}{\text{gmol} \cdot ^{\circ}C}$$

$$T^{\circ}K_{AIRE} := T^{\circ}C_{AIRE} + 273.15$$

$$aa := 1 \cdot 10^{-5}$$

$$bb := -0.0051$$

$$cc := 29.77$$

$$C_{p_{AIRE}} := aa T^{\circ}K^2 + bb \cdot T^{\circ}K + cc$$

$$C_{p_{AIRE}} = 29.134 \quad \frac{\text{joule}}{\text{gmol} \cdot ^{\circ}C}$$

El peso molecular de la mezcla AIRE-CO₂

$$PM_{AIRE.CO_2} := PM_{CO_2} \cdot y_{MolarCO_2e} + PM_{AIRE} \cdot (1 - y_{MolarCO_2e})$$

$$PM_{\text{Aire.CO2}} = 30.717 \frac{\text{gmezcla}}{\text{gmolmezcla}}$$

$$Cp_g := [Cp_{\text{CO2}} \cdot y_{\text{MolarCO2e}} + Cp_{\text{AIRE}} \cdot (1 - y_{\text{MolarCO2e}})] \cdot \left[\frac{1}{PM_{\text{Aire.CO2}}} \cdot \rho_g \cdot \left(\frac{100}{1} \right)^3 \right]$$

$$\frac{\text{joule}}{\text{gmolmezcla} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\frac{\text{Joules}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{K}} = \frac{\text{joule}}{\text{gmolmezcla} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \left[\frac{\text{gmolmezcla}}{\text{gmezcla}} \cdot \frac{\text{g} \cdot \text{mezcla}}{\text{cm}^3 \text{mezcla}} \cdot \left(\frac{100 \text{cm}}{1 \cdot \text{m}} \right)^3 \right]$$

$$Cp_g := 1275.111$$

$$\frac{\text{Joules}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{K}}$$

se requieren en estas unidades, ver artículo de Hanne M. Kvmsdal, página 15

5.5 El coeficiente de película en las paredes de la columna

h_{paredes}

$$\rho_g = 1.298 \times 10^{-3} \frac{\text{g} \cdot \text{mezcla}}{\text{cm}^3 \text{mezcla}}$$

$$Vg = 0.4949 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rho_{g^*} := (\rho_g) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \left(\frac{100}{1} \right)^3$$

$$Cp_g = 1275.111 \frac{\text{Joules}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{K}}$$

$$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{g} \cdot \text{mezcla}}{\text{cm}^3 \text{mezcla}} \cdot \frac{1 \text{Kg}}{1000 \text{g}} \cdot \left(\frac{100 \text{cm}}{1 \text{m}} \right)^3$$

$$D_{hid} = 0.043 \text{ m}$$

$$\rho_g = 1.298 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{\text{paredes}} := \left[1000 \cdot 4.05 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{\rho_g \cdot Vg}{D_{hid}} \right)^{0.5} \cdot (Cp_g)^{0.33} \cdot 0.36 \right] \cdot \frac{1}{(1000)} \cdot 239.006 \cdot \frac{1}{100^2}$$

$$\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \frac{1\text{kw}}{1000\text{W}} \cdot \frac{239.006 \cdot \frac{\text{cal}}{\text{s}}}{1\text{kw}} \cdot \left(\frac{1\text{m}}{100\text{cm}}\right)^2$$

$$h_{\text{paredes}} := 0.0014$$

$$\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Se puede calcular

$$Q_V = -h_{\text{paredes}} a (T_L - T_{\text{amb}})$$

$$\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^3} = \left(\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right) \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3} \cdot ^\circ\text{C}$$

6.- Resumen para programar en MATHEMATICA

6.1

Z = es una variable en Mathematica

$$\text{RA} := -7.472 \times 10^{-14} \cdot Z^3 - 4.131 \times 10^{-12} \cdot Z^2 - 5.485 \times 10^{-10} \cdot Z + 1.019 \times 10^{-6}$$

$$\frac{\text{gmolCO}_2}{\text{s} \cdot \text{cm}^2}$$

dejarla en rojo z está variando

COPIARLA, YASE CALCULÓ

6.2

T = es una variable en Mathematica

$-\Delta H_r = \Delta H$ absorción

$$\Delta H_{\text{abs}} := (84.68 - 0.1135 \cdot T + 0.0027 \cdot T^2) \cdot 1000 \cdot 0.23901$$

Ec. (10), Pag. (14)

$$\frac{\text{cal}}{\text{gmol}} = \frac{\text{kJ}}{\text{gmol}} \cdot \frac{1000\text{J}}{1\text{kJ}} \cdot \frac{0.23901\text{cal}}{1\text{J}}$$

T = Temperatura del líquido en °C, está variando

La temperatura T = T(z)

6.3

La temperatura de la solución MEA- AGUA en el domo se tomó como temperatura ambiental

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

$$h_{paredes} = 0.0014 \quad \frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^{\circ}C}$$

$$Q_v = -h_{paredes} \cdot a \cdot (T - T_{amb})$$

T = Temperatura del líquido en °C, está variando en la ecuación diferencial

$$\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^3} = \frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3} \cdot ^{\circ}C$$

La temperatura T = T(z)

6.4

$$\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\Phi_H + Q_V}{v_z \rho_L C p_{mezcla}}$$

$$\frac{^{\circ}C}{\text{cm}} = \frac{\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^3} + \frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^3}}{\frac{\text{cm}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{gmol}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot ^{\circ}C}}$$

$$\rho_L = \frac{\text{g} \cdot \text{mezcla}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_L := \rho_L \cdot \frac{1}{18}$$

$$\frac{\text{gmol}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{g} \cdot \text{mezcla}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{\text{gmol} \cdot \text{mezcla}}{18 \text{g} \cdot \text{mezcla}}$$

$$\rho_L = 0.056 \quad \frac{\text{gmol} \cdot \text{mezcla}}{\text{cm}^3 \cdot \text{mezcla}}$$

$$V_Z = 0.196 \quad \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$T_{inicio} = 24.3 \quad ^{\circ}C$$

$$h_{paredes} = 0.0014 \quad \frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^{\circ}C}$$

$$a = 1.15 \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3}$$

$$h_{ww} := 106$$

$$C_{pMezcla} = 19.352 \quad \frac{\text{cal}}{\text{gmol} \cdot ^{\circ}C}$$

$$Q_v = -h_{\text{paredes}} \cdot a \cdot (T - T_{\text{ambiental}})$$

T = Temperatura del líquido

$$\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^3} = \left(\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right) \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\Phi_H = R_A a (-\Delta H_r)$$

$$\frac{\text{cal}}{\text{cm}^3 \cdot \text{s}} = \left(\frac{\text{gmolCO}_2}{\text{s} \cdot \text{cm}^2} \right) \cdot \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3} \right) \cdot \left(\frac{\text{cal}}{\text{gmol}} \right)$$

$$-\Delta H_r = \Delta H_{\text{absorción}}$$

COPIARLA, YA SE CALCULÓ

$$R_A := -7.297 \times 10^{-14} \cdot Z^3 - 5.39 \times 10^{-12} \cdot Z^2 - 8.047 \times 10^{-10} \cdot Z + 1.043 \times 10^{-6}$$

$$\frac{\text{gmolCO}_2}{\text{s} \cdot \text{cm}^2}$$

$$\Delta H_{\text{absorción}} := (84.68 - 0.1135 \cdot T + 0.0027 \cdot T^2) \cdot 1000 \cdot 0.23901$$

$$\frac{\text{cal}}{\text{gmol}} = \frac{\text{kJ}}{\text{gmol}} \cdot \frac{1000\text{J}}{1\text{kJ}} \cdot \frac{0.23901\text{cal}}{1\text{J}}$$

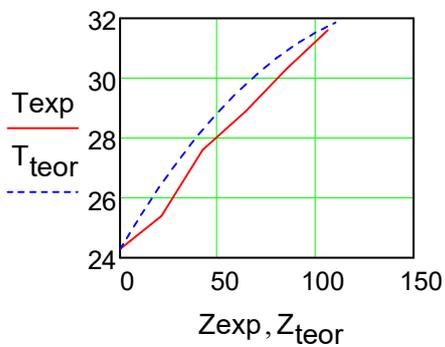
$$\Phi_H := (R_A) \cdot a \cdot (\Delta H_{\text{absorción}}) \cdot 1000 \cdot 0.23901$$

$$\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm}^3} = \frac{\text{gmolCO}_2}{\text{s} \cdot \text{cm}^2} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3} \cdot \frac{\text{cal}}{\text{gmol}}$$

FIN

SOLUCIÓN AL CUESTIONARIO

1.- Reportar en la Gráfica (1) los perfiles teóricos y experimentales de las temperaturas Vs, las posiciones z de la columna, presentar el análisis de estos perfiles



2.- Calcular y reportar el tiempo de residencia del flujo donde se favorezca la reacción, ya que para este proceso interesa la formación de la mayor cantidad de productos, los iones carbámico y amina

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

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

$$\tau = 9.024 \quad \text{min}$$

3.- Determinar la conversión del CO₂ en la película del líquido y presentar en la Gráfica (2) la conversión en función de las posiciones z de la columna, presentar el análisis de este perfil

$$\text{RaizM} = \begin{pmatrix} 315.669 \\ 304.747 \\ 293.419 \\ 281.636 \\ 269.338 \\ 256.451 \end{pmatrix} \quad C^{\circ}A = \begin{pmatrix} 1.3523 \\ 1.3721 \\ 1.3882 \\ 1.4018 \\ 1.4136 \\ 1.4239 \end{pmatrix} \quad \frac{\text{gmol} \cdot \text{CO}_2}{\text{L} \cdot \text{solución}}$$

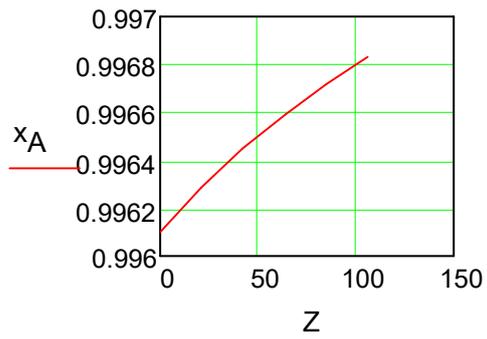
$$\bar{C}_A = \frac{1}{\delta_L} \int_0^{\delta_L} c_A^* \left[\frac{\cosh \sqrt{M} (1 - x/\delta_L)}{\cosh \sqrt{M}} \right] dx = c_A^* \frac{\tanh \sqrt{M}}{\sqrt{M}}$$

$$x_A = \frac{[A^*] - [\bar{C}_A]}{[A^*]}$$

$$C_{A\text{Prom}} := \left(C^{\circ}A \cdot \frac{\tanh(\text{RaizM})}{\text{RaizM}} \right)$$

$$C^{\circ}A = \begin{pmatrix} 1.352 \\ 1.372 \\ 1.388 \\ 1.402 \\ 1.414 \\ 1.424 \end{pmatrix}$$

$$x_A := \frac{C^{\circ}_A - C_{A\text{Prom}}}{C^{\circ}_A} \quad x_A = \begin{pmatrix} 0.997 \\ 0.997 \\ 0.997 \\ 0.996 \\ 0.996 \\ 0.996 \\ 0.996 \end{pmatrix} \quad z := \begin{pmatrix} 106 \\ 85 \\ 64 \\ 42 \\ 21 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{Domo} \\ \\ \text{cm} \\ \\ \text{Fondos} \end{matrix}$$



FIN

1

—■
—
■

