

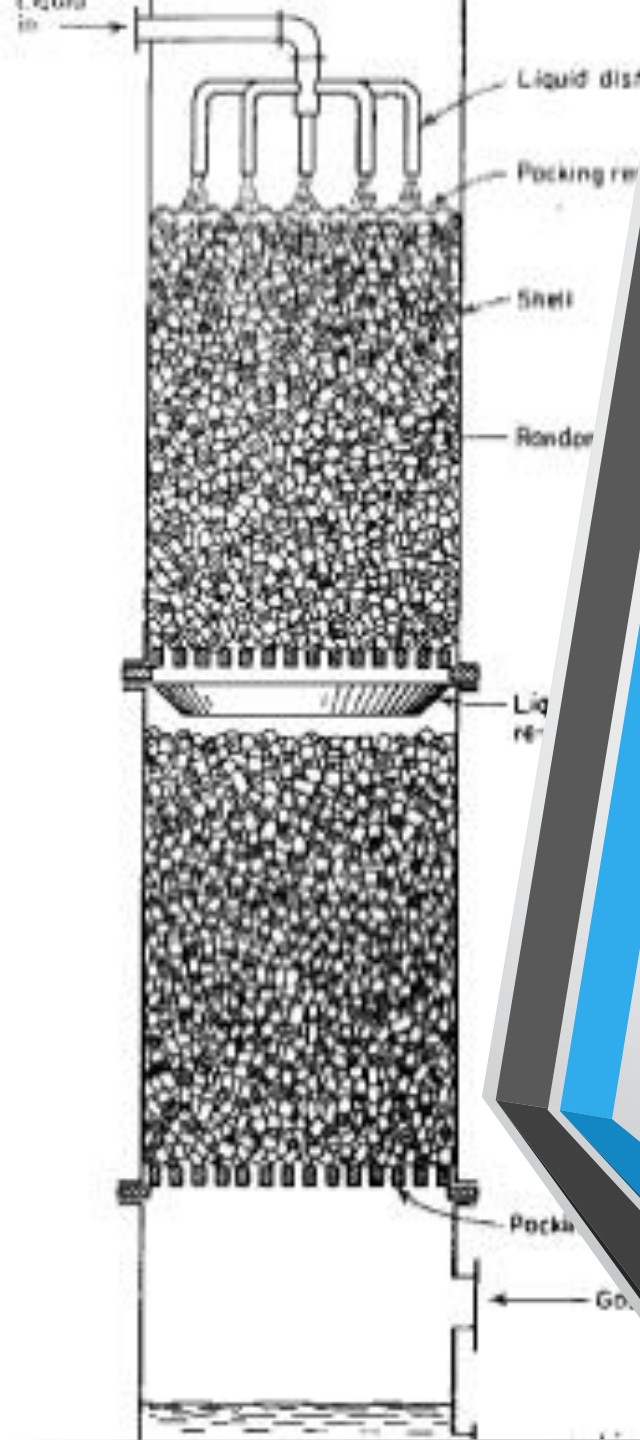


ENCUENTRO III



Cálculo de torres de absorción de múltiples etapas en contracorriente

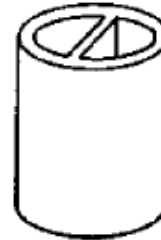
Contacto continuo



EQUIPOS



(a) Raschig ring



(b) Lessing ring



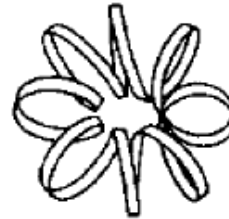
(c) Partition ring



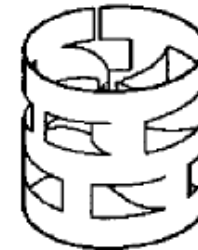
(d) Berl saddle
(Courtesy, Maurice A. Knight)



(e) Intalox saddle
(Courtesy, United States Stoneware Co.)



(f) Tellerette
(Courtesy, Celcote Company, Inc.)



(g) Pall ring
(Courtesy, United States Stoneware Co.)

Las columnas empacadas se caracterizan por :


- Mantener alta carga de vapor y más baja carga de líquido que la de plato.
- Su eficiencia varía con el tipo y tamaño de empaque.
- La distribución del líquido se dificulta para diámetros de columna superiores a 3 ft.
- Con empaque apropiado se puede trabajar fluidos corrosivos.
- Presentan menores pérdidas de carga que las de plato.
- Son más fáciles de construir.
- Su costo inicial es menor que las de plato.
- Son apropiadas para fluidos que generan espumas.
- La retención de líquido es pequeña.
- Se prefieren para servicios a baja presión.
- Requieren distribuidores de líquido cada 16 ft a 20 ft.
- Con empaque Pall (Paredes delgadas) se consigue capacidades similares a las de plato.

¿QUÉ PASOS SE
RECOMIENDA PARA
DISEÑO Y/O
SELECCIÓN DE
EQUIPOS?

Procedimiento para el diseño de una columna de relleno

- Seleccionar el mejor AMS (Agente Material de Separación).
- Seleccionar el tipo y tamaño del relleno
- Determinar las presiones a las que el equipo funciona
- Determinar las temperaturas de los flujos de entrada y salida del equipo y la cantidad de calor a extraer (efectos térmicos).
- Determinar la altura de la columna requerida para alcanzar la separación especificada
- Determinar la circulación óptima del disolvente a través del equipo (Relación L/G).
- Determinar la mejor velocidad del flujo a través del equipo (D).
- Determinar el diámetro de la columna (capacidad), para manipular los caudales de líquido y vapor
- Realizar el diseño hidráulico del equipo
- Seleccionar y diseñar las características internas de la columna: soporte del relleno, distribuidor de líquido, redistribuidores.

Selección del AMS

- 
- Alta solubilidad del soluto
 - Económico
 - No volátil
 - No corrosivo
 - Estable
 - No viscoso
 - No espumante
 - No inflamable

Criterios de selección del material de empaque

TIPOS DE RELLENO

REQUISITOS

- Área superficial elevada por unidad de volumen de lecho.
- Estructura abierta baja resistencia a la circulación de los fluidos.
- Promover a una distribución uniforme de los fluidos a lo largo de la torre.

CARGA DE GEOMETRIA REGULAR

CARGA ALEATORIA

RELLENOS PARA CARGA ALEATORIA



Anillos Raschig cerámicos – metálico – vidrio - plástico



Anillos Pall cerámicos – metálico – vidrio - plástico

RELLENOS PARA CARGA ALEATORIA



Silla Berl cerámico



Silla Intalox cerámicos – metálico



CARACTERÍSTICAS DE LOS RELLENOS

Tipo	Material	Tamaño Nominal Pulg.	Densidad Global, lb./pie ³	Área Total, pe ² /pie ³	Porosidad	F _p	f _p
Monturas Berl	Cerámica	½	54	142	0.62	240	1.58
		1	45	76	0.68	110	1.36
		1 ^{1/2}	40	46	0.71	65	1.07
Monturas Intalox	Cerámica	½	46	190	0.71	200	2.27
		1	42	78	0.73	92	1.54
		1 ^{1/2}	39	59	0.76	52	1.18
		2	38	36	0.76	40	1.0
		3	36	28	0.79	22	0.64
Anillos Raschig	Cerámica	½	55	112	0.64	580	1.52
		1	42	58	0.74	155	1.36
		1 ^{1/2}	43	37	0.73	95	1.0
		2	41	28	0.74	65	0.92
Anillos Pall	Acero	1	30	63	0.94	48	1.54
		1 ^{1/2}	24	39	0.95	28	1.36
		2	22	31	0.96	20	1.09
	Polipropileno	1	5.5	63	0.90	52	1.36
		1 ^{1/2}	4.8	39	0.91	40	1.18
Tellerettes		1	7.5	55	0.87	40	-
		2	3.9	38	0.93	20	-
		3	5.0	30	0.92	15	-

RECMENDACIONES DE TAMAÑOS DE DIÁMETROS PARA EMPAQUES

<i>DIÁMETRO DE LA COLUMNA</i>	TAMAÑO DEL EMPAQUE A USAR
< 0,3 M (1 ft)	< 25 mm (1 inch)
0,3 a 0,9 m (1 a 3 ft)	15 a 38 mm (1 a 1,5 inch)
> 0,9 m (3 ft)	50 a 75 mm (2 a 3 inch)

Table 9-28
Maximum Capacities of Various Packings

Packings	C_g at Maximum Efficiency, ft/sec	ΔP at Maximum Efficiency, H ₂ O/ft	C_g at Maximum Capacity, ft/sec	ΔP at Maximum Capacity, H ₂ O/ft
2 in. Pall Rings	0.295	0.81	0.315	1.29
2 in. Intalox Saddles	0.248	0.96	0.279	1.74
#50 Intalox Metal Packing	0.327	0.52	0.345	0.88
#40 Intalox Metal Packing	0.290	0.60	0.310	0.99
1-½-in. Pall Rings	0.269	0.95	0.287	1.48
1-½ in. Intalox Saddles	0.211	1.09	0.237	1.88
#40 Intalox Metal Packing	0.290	0.60	0.310	0.99
#25 Intalox Metal Packing	0.260	0.96	0.278	1.62

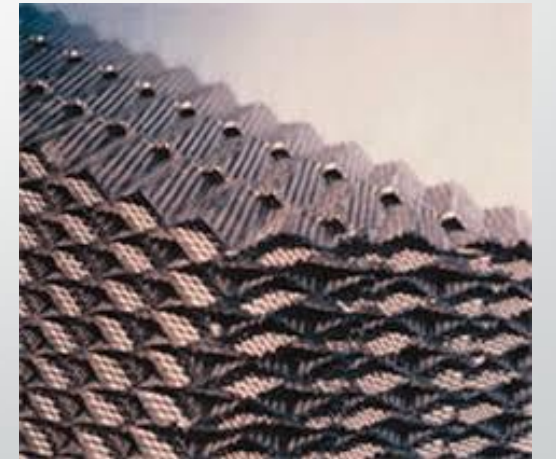
Note: #25 Intalox[®], Norton = app. 1-in. size

#40 Intalox[®], Norton = app. 1½-in. size

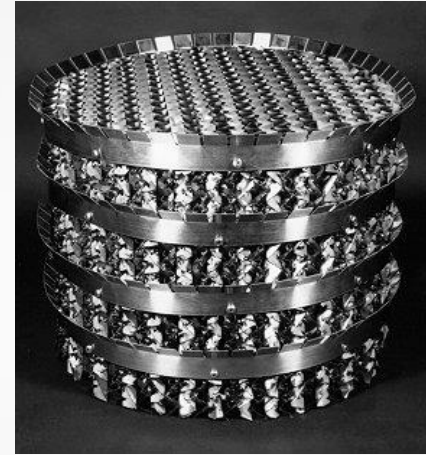
#50 Intalox[®], Norton = app. 2-in. size

Reproduced by permission of The American Institute of Chemical Engineers, Strigle, R. F., Jr. and Rukovena, F. *Chem. Eng. Prog.* Vol. 75, Mar. © (1979) p. 86, all rights reserved.

RELLENOS COMPACTOS DE GEOMETRIA REGULAR



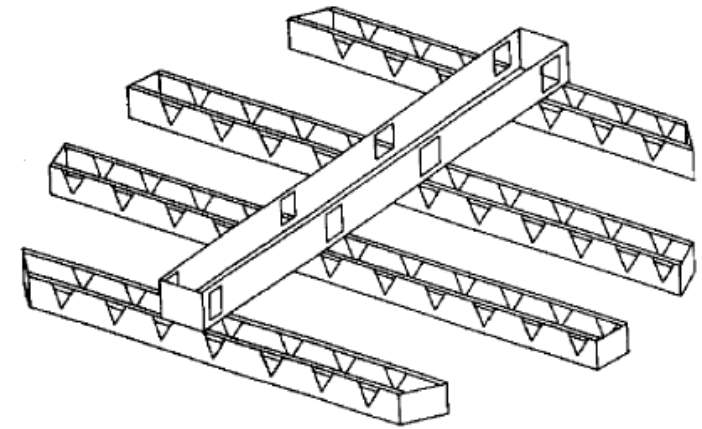
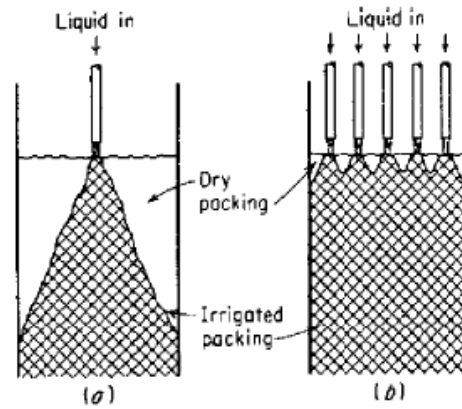
Structured Packing



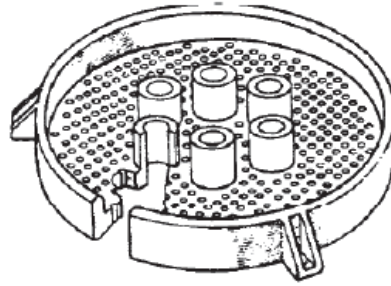
Fair, J.R., Seibert, A.F., Behrens, M., Saraber, P.P., and Olujić, Z. "Structured Packing Performance-Experimental Evaluation of Two Predictive Models", *Ind. Eng. Chem. Res.* 39 (6), 1788-1796 (2000).



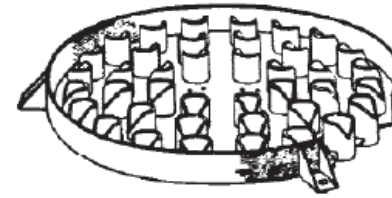
Distribuidores de líquido



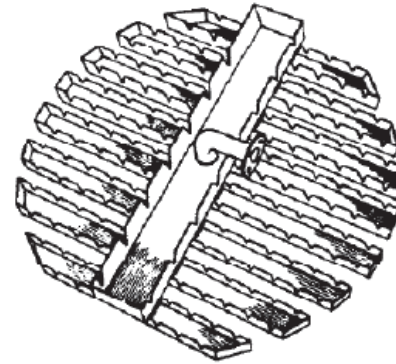
DISTRIBUIDORES



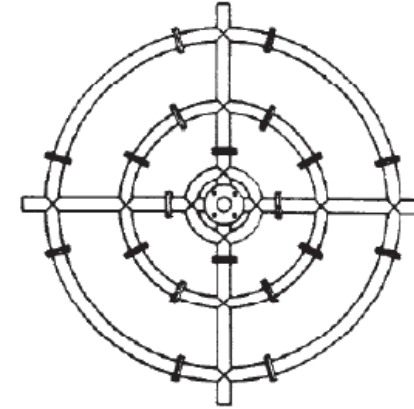
(a)



(b)



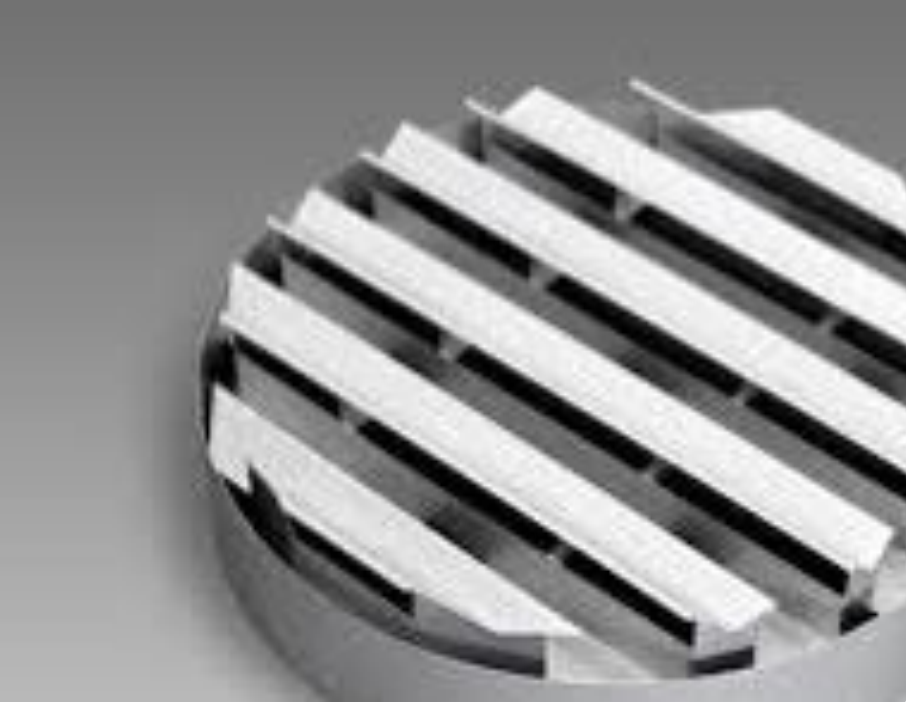
(c)



(d)

Figura 2.8 Tipos de distribuidor de líquido y gas: (a) plato perforado, (b) chimenea, (c) vertedero (solo líquidos), (d) anillos concéntricos perforados (Richardson *et al.*, 2002)

DISTRIBUIDORES




Altura del lecho relleno

Altura de Torre

La altura de una torre de absorción o de stripping es función de:

- De las variaciones de concentraciones que se desean conseguir.
- De las velocidades de transferencia de materia por unidad de volumen de relleno.
- Los cálculos están basados en:

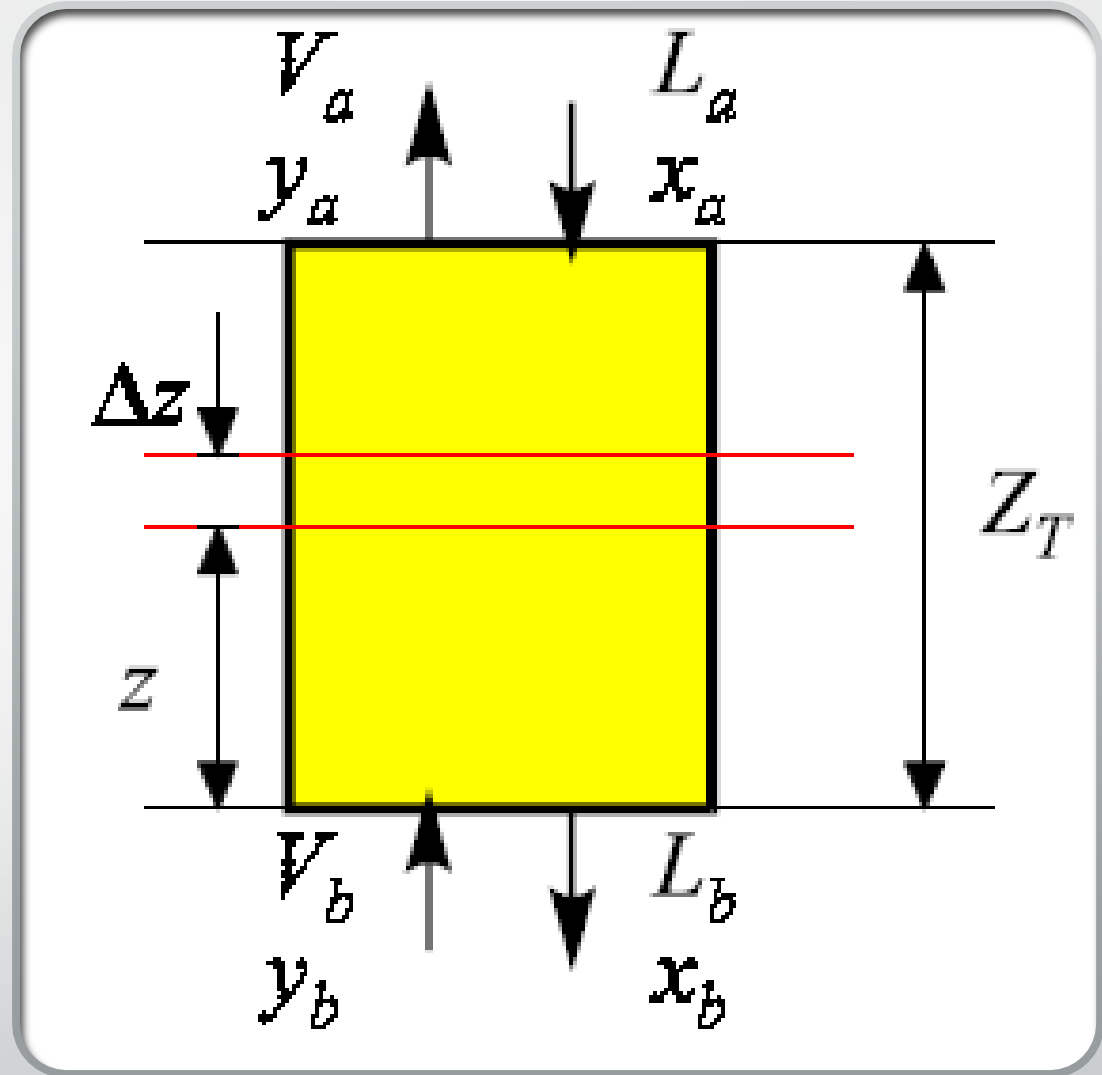
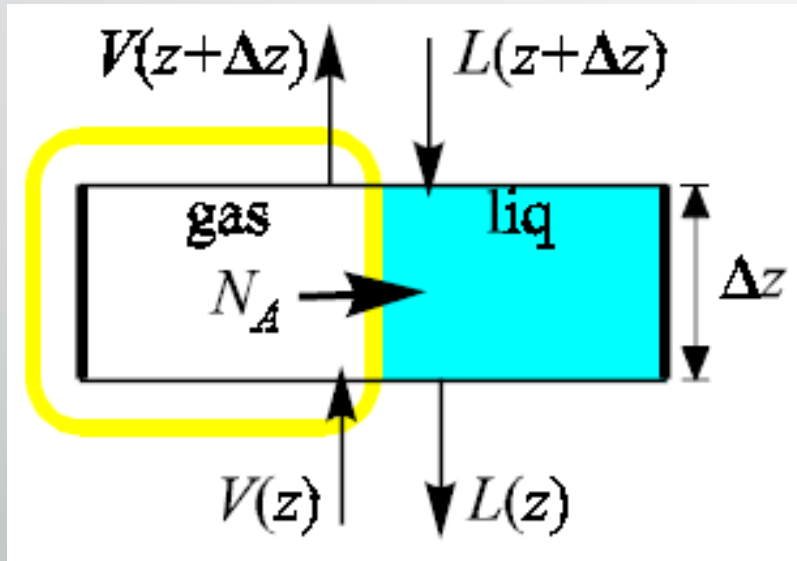
- Balance de Materia
- Balance de Energía
- Estimación de fuerzas imp.
- Coeficientes de transf. de materia



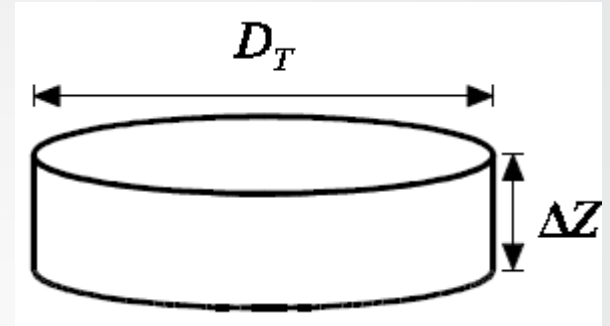
Para determinar el tamaño de una torre de absorción o de stripping es necesario conocer:

- Datos de equilibrio (Curva de equilibrio).
- Balance global de materia (Curva de Operación).
- Velocidad de transferencia del soluto desde una fase a la otra.

ALTURA DE TORRE EMPACADA



- $\frac{\text{velocidad de transferencia molar}}{\text{volumen de empacado}} = r = K_y a (y - y^*)$



- $a = \frac{\text{area interfacial}}{\text{volumen de empacado}}$

- $\text{velocidad de transferencia molar} = rS\Delta z$

- $Gy|_z = Gy|_{z+\Delta z} + rS\Delta z \quad \frac{d(Gy)}{dz} = -rs \quad \frac{G_s}{1-y} \frac{dy}{dz} = -K_y a (y - y^*) s$

- $dz = \frac{-G_s dy}{(1-y)(y-y^*)K_y a S} \quad Z_T = \int_0^{z_T} dz = \frac{y_a}{y_b} \frac{-G_s dy}{(1-y)(y-y^*)K_y a S}$

ALTURA DEL LECHO DE RELLENO

Altura de una etapa de equilibrio equivalente: HETP

Nº de etapas

$$Z = \frac{G_m}{K_G a P} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e}$$

$$Z = \frac{L_m}{K_L a C_t} \int_x^{x_1} \frac{dx}{x - x_e}$$

G_m = Flujo molar del gas

L_m = Flujo molar del líquido

a = Área interfacial por unidad de volumen

P = Presión de diseño del equipo

C_t = Concentración molar total

y_1 e y_2 = Fracción molar del soluto en el gas en el pie y cabeza de la columna

x_1 e x_2 = Fracción molar del soluto en el líquido en el pie y cabeza de la columna

x_e = Fracción molar del soluto en el líquido en equilibrio con la concentración de soluto en el gas en cualquier punto de la columna

y_e = Fracción molar del soluto en el gas en equilibrio con la concentración de soluto en el líquido en cualquier punto de la columna

$$Z = H_{OG}N_{OG}$$

$$Z = H_{OL}N_{OL}$$

H_{OG} = *Altura de una unidad global de transferencia en el gas*

H_{OL} = *Altura de una unidad global de transferencia en el líquido*

N_{OG} = *Número de unidades globales de transferencia en la fase gas*

N_{OL} = *Número de unidades globales de transferencia en la fase líquido*

$$Z = \frac{G_m}{K_G a P} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e}$$

$$Z = H_{OG} N_{OG}$$

H_{OG} = Altura de una unidad global de transferencia en la fase gas

H_{OL} = Altura de una unidad global de transferencia en la fase líquida

N_{OG} = Número de unidades globales de transferencia en la fase gas $N_{OG} = \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dy}{y - y_e}$ $N_{OG} = \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{p - p_e}$

N_{OL} = Número de unidades globales de transferencia en la fase líquida

$$N_{OL} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{x_e - x}$$

$$Z = \frac{L_m}{K_L a C_t} \int_x^{x_1} \frac{dx}{x - x_e}$$

$$Z = H_{OL} N_{OL}$$

$$H_{OG} = \frac{G_m}{K_G a P}$$

$$H_{OL} = \frac{L_m}{K_L a C_t}$$

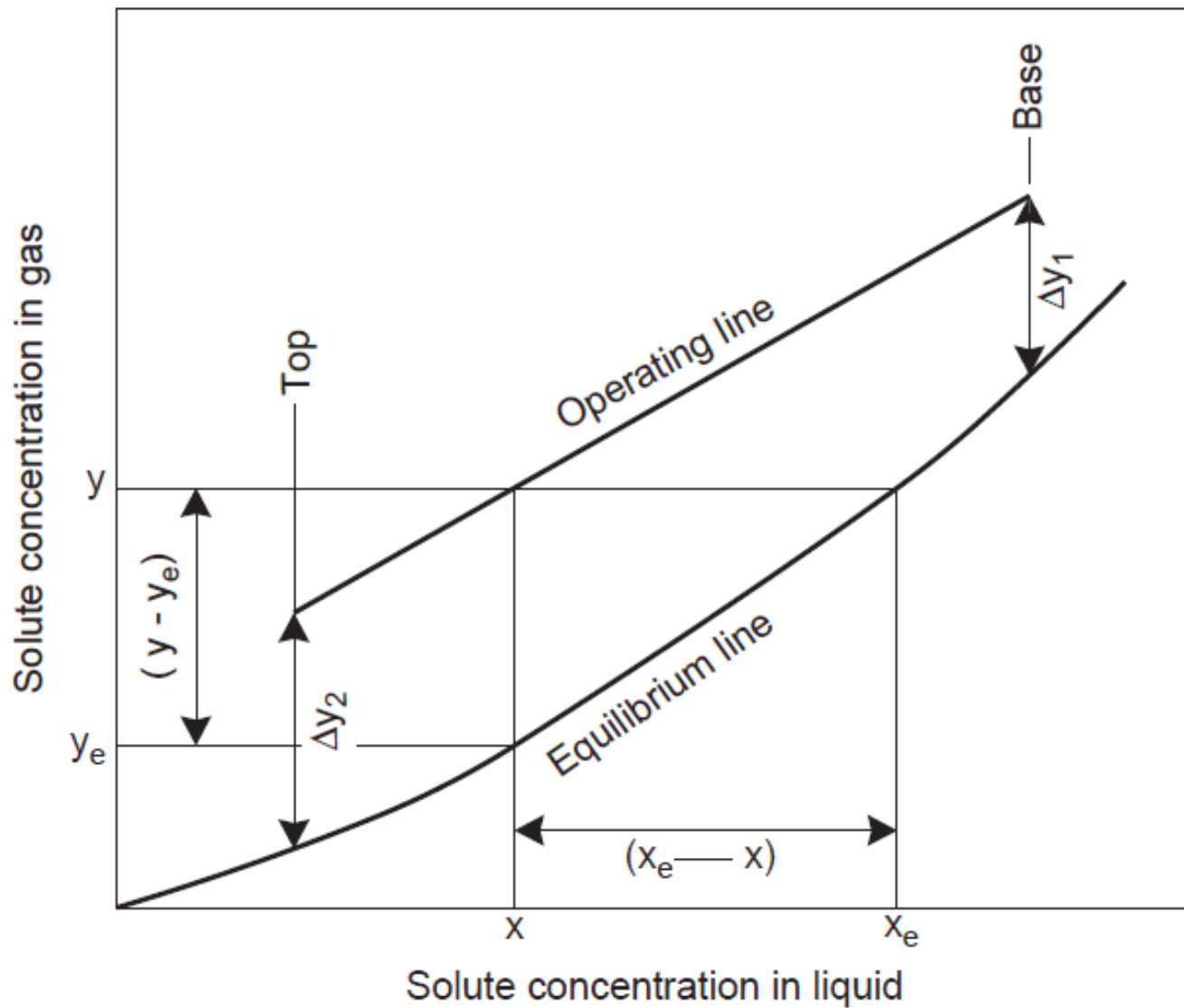


Figure 11.41. Gas absorption concentration relationships.

$$H_{OG} = H_G + m \frac{G_m}{L_m} H_L$$

$$H_{OL} = H_L + \frac{L_m}{m G L_m} G$$

$$N_{OG} = \frac{y_1 - y_2}{\Delta y_{lm}}$$

$$y_{lm} = \frac{\Delta y_1 - \Delta y_2}{\ln \left(\frac{\Delta y_1}{\Delta y_2} \right)}$$

$$\Delta y_1 = y_1 - y^*_{1}$$

$$\Delta y_2 = y_2 - y^*_{2}$$

Ray Sinnott / Gavin Towler

Para sistemas cuyas curvas de equilibrio se puedan considerar rectas:

$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \left(\frac{mG_m}{L_m}\right)} \ln \left[\left(1 - \frac{mG_m}{L_m}\right) \frac{y_1}{y_2} + \frac{mG_m}{L_m} \right]$$

$$\text{Factor de absorción} = A = \frac{mG_m}{L_m}$$

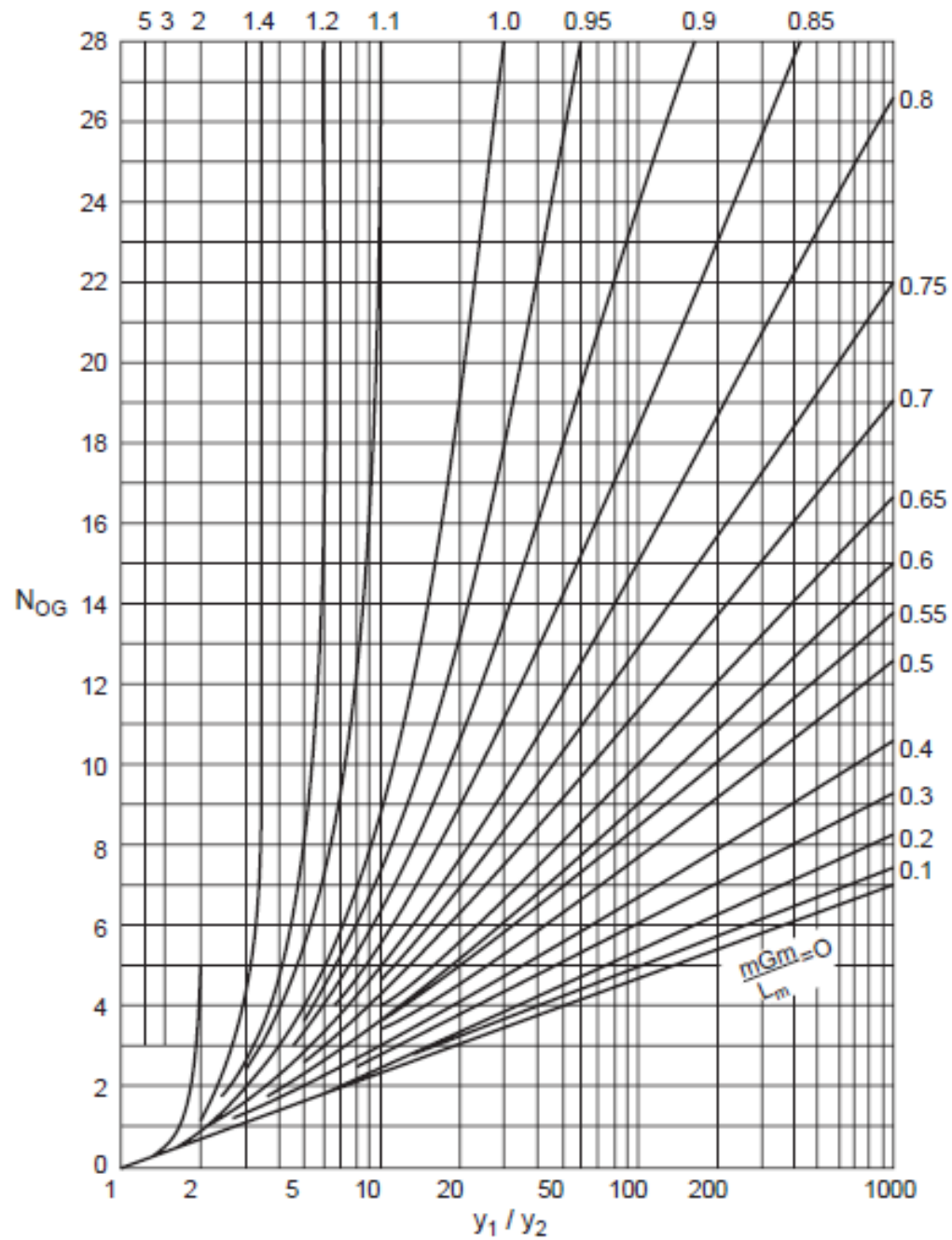
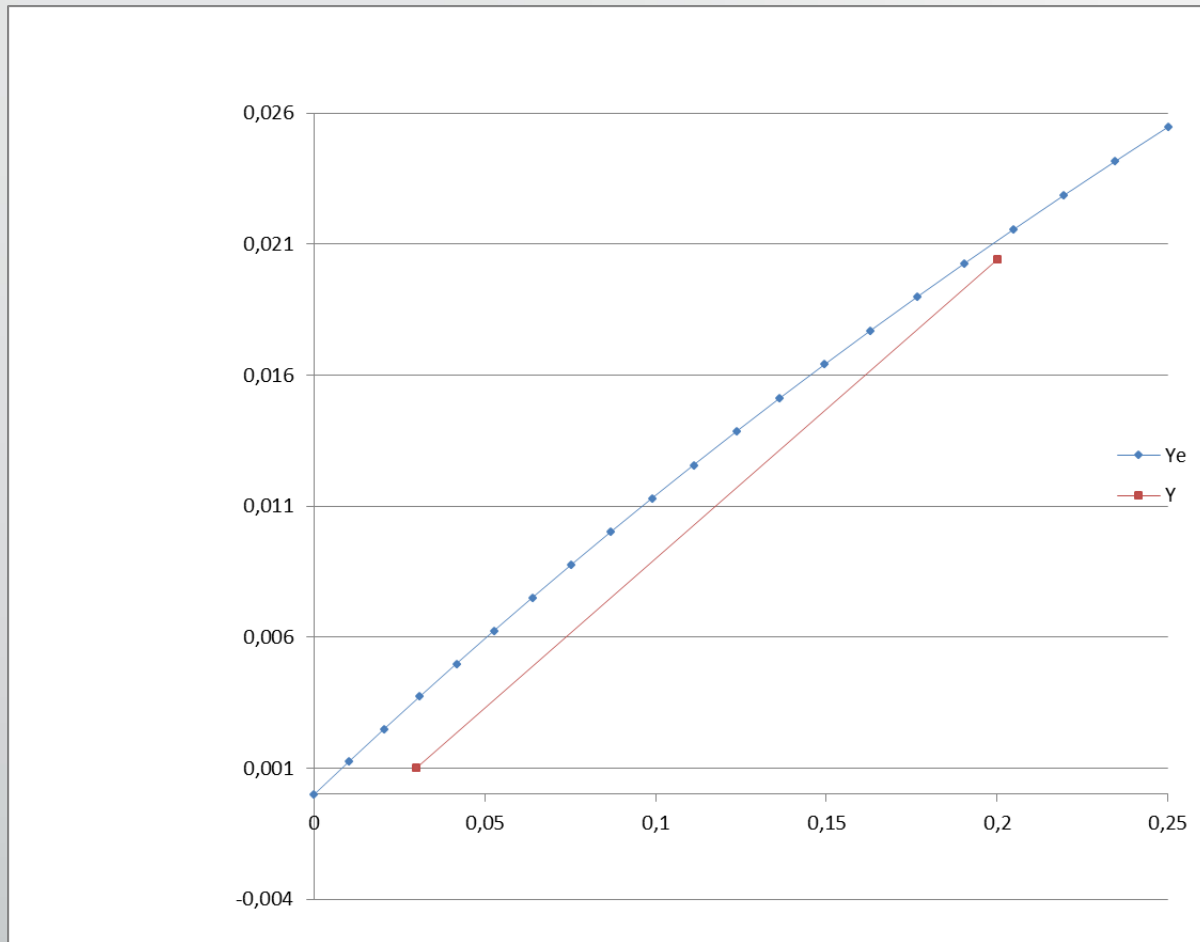


Figure 11.42. Number of transfer units N_{OG} as a function of y_1/y_2 with mG_m/L_m as parameter.

Desorción



$$N_{OL} = \int_{X_2}^{X_1} \frac{dx}{x_e - x}$$

$$N_{OL} = \frac{1}{\left(1 - \frac{L}{mG}\right)} \ln \left[\left(\frac{L}{mG}\right) + \left(1 - \frac{L}{mG}\right) \frac{x_2}{x_1} \right]$$

$$\text{Factor de desabsorción (stripping)} = \frac{1}{A} = \frac{L}{mG}$$