

## TORRES DE PLATOS

### PROBLEMA 1

Se requiere diseñar un plato de una torre fraccionada. Los datos operativos son los siguientes:

Caudal de vapor: 96,7 m<sup>3</sup>/h  
Caudal líquido: 10,66 m<sup>3</sup>/h

Densidad del vapor: 45 kg/m<sup>3</sup>  
Densidad del líquido: 560 kg/m<sup>3</sup>

Tensión superficial del líquido: 3 dyn/cm

Se fijan las siguientes condiciones de diseño:

Espaciado entre platos: 450 mm  
Altura del vertedero de salida del líquido del plato: 50 mm  
Diámetro de orificio: 4 cm (para plato de Válvulas).

Válvula parcialmente abierta:

$$h_D = 1,35 \cdot e \cdot \frac{\rho_m}{\rho_l} + 272 \cdot K_1 \cdot V_h^2 \cdot \frac{\rho_g}{\rho_l} [=] \text{ mm}$$

Válvula totalmente abierta:

$$h_D = 272 \cdot K_2 \cdot V_h^2 \cdot \frac{\rho_g}{\rho_l} [=] \text{ mm}$$

Siendo,

$e$  = espesor del plato

$\rho_m$  = densidad del material del plato

Tipos de válvulas:

Válvula	K <sub>1</sub>	E (mm)			
		1.88	2.67	3.4	6.35
		K <sub>2</sub>			
Glitch V1	0.2	1.05	0.92	0.82	0.5
Glitch V4	0.1	0.5	0.39	0.3	-

### PROBLEMA 2

El butano de una mezcla butano – aire debe ser absorbido por un aceite pesado no volátil. El porcentaje molar de butano en la mezcla gaseosa es 4% y se busca llegar a una recuperación del 90%. Se propone realizar la operación mediante una columna con 7 platos perforados trabajando a 1 atm(a) y 20°C.

Se pide:

- a) Calcular el consumo de aceite puro que se requiere por cada litro de butano recuperado.

- b) Diseñar una torre tal que normalmente opere con un 85% de inundación, y estimar la caída total de presión del gas en la columna.
- c) ¿Cómo se ve modificado el consumo de aceite si la presión de operación se triplica?
- d) ¿Qué sucede con la performance hidráulica de la Torre para esta nueva condición?

Considerar que las soluciones son ideales y que la operación es isotérmica

Datos:

- Equilibrio a 1 atm(a):  $y = 0,8 x$
- Caudal de gas: 100 mol/s
- Peso molecular del aceite: 250
- Densidad del aceite:  $0,9 \frac{g}{cm^3}$
- Densidad del butano líquido (20°C):  $0,58 \frac{g}{cm^3}$
- Tensión superficial:  $56 \frac{dyn}{cm}$
- Altura promedio del líquido sin espuma en los platos ( $H_l$ ): 5 cm
- Espesor del plato (e): 3,35 mm
- Dh (diámetro de orificio) = 12 mm
- t (distancia entre platos) = 45 cm
- $\frac{A_h}{A_n} = 0,1$
- $\frac{A_h}{A_a} = 0,12$

### **CUESTIONARIO – FLUIDODINAMICA DE PLATOS**

Luego de dos interminables años de su vida haciendo cálculos de pérdidas de cargas en líneas de vapor, usted ha sido nombrado Jefe de Procesos. ¡Que emoción!

En su primer día, su jefe le pide ciertas evaluaciones rápidas. Su jefe es ansioso y quiere una respuesta cada 5 minutos:

1. Estime la pérdida de carga máxima de una torre de 10 platos, espaciados 24" y con una altura de rebosadero de 2". Considere que la densidad del líquido es  $650 \text{ kg/m}^3$ . ¿Es importante esa pérdida de carga?
2. Se ha diseñado cierta columna de absorción (espaciamiento de platos 450 mm) considerando un factor de espuma de 0.5.

Sin embargo, minutos antes de la puesta en marcha, Ud. descubre que hay un error: que el factor de espuma que debió emplearse era 0.4. Usted continúa investigando la memoria de cálculo y encuentra que la altura del líquido en el ducto de descenso (corregida por espuma) resultaba ser 346.6 mm. ¿Qué hace?

- a) Se pone contento porque la torre funcionará más aliviada.
- b) Aborta la puesta en marcha.
- c) Decide realizar la puesta en marcha, pero modificando ciertos parámetros sobre la marcha (¿Cuáles?).

3. Su departamento diseñó una torre de absorción que trabajaría a  $14 \text{ kgf/cm}^2\text{g}$  (al 70% de inundación). En planta se presentan problemas y le preguntan si la torre podrá operar satisfactoriamente a  $10 \text{ kgf/cm}^2\text{g}$ . ¿Qué responde? Ud. siempre contesta con un número, aunque sea aproximado.

4. Un empleado de su sector, después de estar calculando durante días un plato, le dice que el diseño lagrimea. Ud. le da varias alternativas ¿Cuáles?

5. El mismo empleado de la pregunta anterior le plantea que solucionó el problema del lagrimeo pero que ahora el plato no verifica el arrastre fraccionario. ¿Qué le recomienda?

6. Ahora el tipo solucionó el arrastre fraccionario pero esta vez le dice que no le verifica el tiempo de residencia. ¿Qué le dice?

7. Ud. debe informar los pares “caudal de gas – caudal de líquido” que puede manejar una torre existente (le dieron los planos de detalle de los platos). Para una evaluación preliminar alcanza con verificar la inundación por arrastre. ¿Cómo procede?

8. Se le solicita optimice un diseño que estaría proveyendo una baja eficiencia en la transferencia de masa, el sistema tiene tendencia a la formación de espumas. Para ello le piden que evalúe la posibilidad de:

- a) Aumentar el tiempo de contacto.
- b) Aumentar la superficie interfacial a través de incrementar la velocidad del gas.
- c) Aumentar los coeficientes de transferencia a través de promover turbulencia.

Ud. no quiere hacer todo ese trabajo y se opone marcando las consecuencias negativas de cada acción. Ud. sabe que todo en la vida es una solución de compromiso, pero lo cierto es que no está de ánimo para calcular ¿Qué argumenta en cada caso?

9. Ud. diseñó una torre que opera a muy alta presión. El factor limitante de diseño resultó ser la inundación por arrastre. Su jefe le pide que evalúe la posibilidad de disminuir el diámetro y aumentar el espaciado de platos. Asuma que el tipo algo sabe: ¿Por qué se lo pide?, ¿Tiene sentido? (piense como puede resultar el cálculo de la inundación por arrastre), ¿Piensa que el cambio propuesto lo pondrá más cerca o más lejos de la inundación por bajante?

10. Ud. debe diseñar una columna de absorción con una entrada lateral de gas en la zona media. El caudal de la alimentación lateral es del orden de la alimentación gaseosa de la base. Ud. hace diseños óptimos (baratos), pero que funcionan. ¿Qué es lo primero que se le ocurre?, ¿Cómo procede?

## **TORRES RELLENAS**

### **PROBLEMA 4**

Se quiere absorber el metanol contenido en una mezcla gaseosa de metanol aire (5% de metanol v/v) con agua pura en una torre rellena con anillos Raschig de cerámica tamaño nominal 38mm, colocados al azar. La torre trabaja en contracorriente y a presión atmosférica. Se necesitan que pasen 700 m<sup>3</sup>/h de gas que ingresa por la parte inferior de la torre a 27°C. A la salida de la torre el gas contiene 0,1% v/v. El agua entra por la parte superior a 27°C. Se sabe que debido al calor de disolución de metanol en agua y una vez trazada la curva de equilibrio, el líquido sale de la torre a 49,1°C.

Cálculos de transferencia de masa dan que la altura de relleno es de 7,07m y que  $L/G = 1,23$  (kmol/h)/(kmol/h). Para obtener una buena transferencia de masa se decidió trabajar en la región de carga, adoptando para el diseño el 70% de la velocidad másica de inundación para el gas.

Hallar:

- diámetro de la columna.
- pérdida de carga en el relleno mojado.
- líquido retenido.
- pérdida de carga en el relleno seco (demister) de 1m colocado por encima de la entrada del líquido para eliminar el arrastre de agua con la corriente de gas de tope.
- pérdida de carga total y potencia requerida de un compresor

### **PROBLEMA 5**

Se desea reducir el contenido de amoníaco de 9000 ft<sup>3</sup>/h (80°F; 1 atm) de una mezcla amoniacal de 5% a 0,04% en volumen mediante la utilización de agua.

Se dispone de una torre de 1 ft de diámetro rellena hasta una altura de 8 ft con monturas Berl de 1 pulgada.

- ¿Logrará la torre satisfacer el requerimiento del proceso?

A 80°F las soluciones amoniacaes cumplen la ley de Henry hasta una concentración del 5% en moles de amoníaco en el líquido y con un valor de  $m = 1,414$ .

Se puede considerar que la  $H_{EPT} = 0,4$  m.

### **PROBLEMA 6**

Una torre rellena con anillos Raschig se va a utilizar para absorber benceno de una mezcla diluida con un gas inerte puro. Por cuestiones del proceso se requiere extraer el 95% del benceno ingresante.

Se conocen los siguientes datos:

Propiedad	Unidad	Gas	Líquido
Mr	-	11	260
$\mu$	Cp	0,01cp	2cp
D	m <sup>2</sup> /s	1,3x10 <sup>-5</sup>	4,71.10 <sup>-10</sup>
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>		800
Caudal	kg/s	0,05	0,1
Concentración entrada		Y <sub>0</sub> = 0	X <sub>0</sub> = 0,01

- T<sub>op</sub>= 27°C
- P<sub>op</sub>= 111,5 kPa
- Relleno Cerámico
- $\sigma = 30$  dyn/cm
- H<sub>EPT</sub> = 0,6 m
- P<sup>V</sup><sub>benceno (27°C)</sub> = 14,51 kPa

Se pide:

- Adoptar un diámetro de relleno menor que 3 pulgadas
- Calcular el diámetro de la torre
- Calcular la pérdida de carga por metro de relleno
- Calcular los coeficientes de transferencia de masa K<sub>G</sub> y K<sub>L</sub>

### **ADICIONAL – VERIFICACIÓN DE PLATO**

#### **PROBLEMA 7**

Se dispone de una torre ya construida, operando establemente. Ante un cambio de las condiciones operativas, se desea verificar su correcto funcionamiento. Las nuevas condiciones operativas son las siguientes:

Parámetro	Unidad	Gas	Líquido
Caudal		282,5 ft <sup>3</sup> /s	24500 gpm
Densidad	lb/ft <sup>3</sup>	0,9	60,0
Tensión sup.	dyn/cm	-	40

Verificar:

- Que la inundación por arrastre no supere el 85%.

- b) Que la inundación por bajante no supere 85%. Esquematizar un diagrama de balance de presiones en el plato.

En todos los casos, indicar suposiciones y simplificaciones realizadas.

Datos:

- Eficiencia de plato según fabricante  $E_{MV}$ : 90% (sin corrección por arrastre fraccionario)
- Altura operativa del rebosadero: 2 in (en el plano se indica 5in ya que la posición del rebosadero es regulable desde 2in a 5in)
- Cantidad de válvulas: 350
- Altura de válvula:  $\frac{1}{2}$  in
- Diámetro de válvula:  $1\frac{7}{8}$  in

### Correlaciones y fórmulas

- Pérdida de carga en plato seco (mm liq)

$$h_d = 20 + 50 \cdot \frac{\rho_v}{\rho_L} U_H^2$$

- Pérdida de carga a través del líquido aireado (mm liq)

$$h'_L = \beta h_{ds} \quad ; \quad h_{ds} = h_w + h_{ow} + 0.5h_{hg}$$

- Altura cresta de rebosadero (mm)

$$h_{ow} = 664 \cdot \left( \frac{Q}{L_w} \right)^{2/3} \cdot F_w$$

- Pérdida de carga por expansión a la salida del DC (mm liq)

$$h_{da} = 165.2 \left( \frac{Q}{A_{da}} \right)^2$$

### Símbolos

- $Q$  Caudal de líquido (m<sup>3</sup>/s)
- $A_{da}$  Área mínima de flujo debajo del conducto de bajada (m<sup>2</sup>)
- $L_w$  Longitud del rebosadero (m)
- $h_{dc}$  Líquido claro en conducto de bajada (mm)
- $h'_L$  Pérdida de carga a través del líquido aireado (mm)
- $h_g$  Gradiente hidráulico (mm)
- $U_H$  Velocidad en los orificios (m/s)

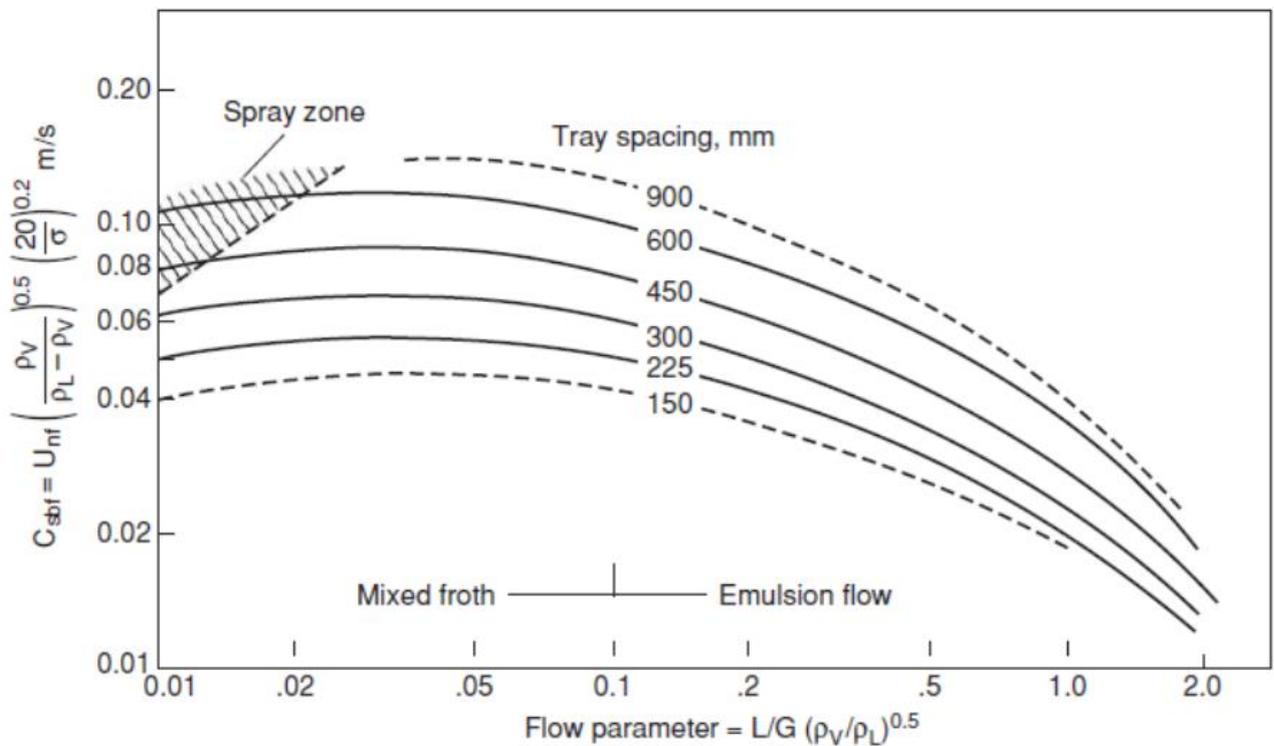
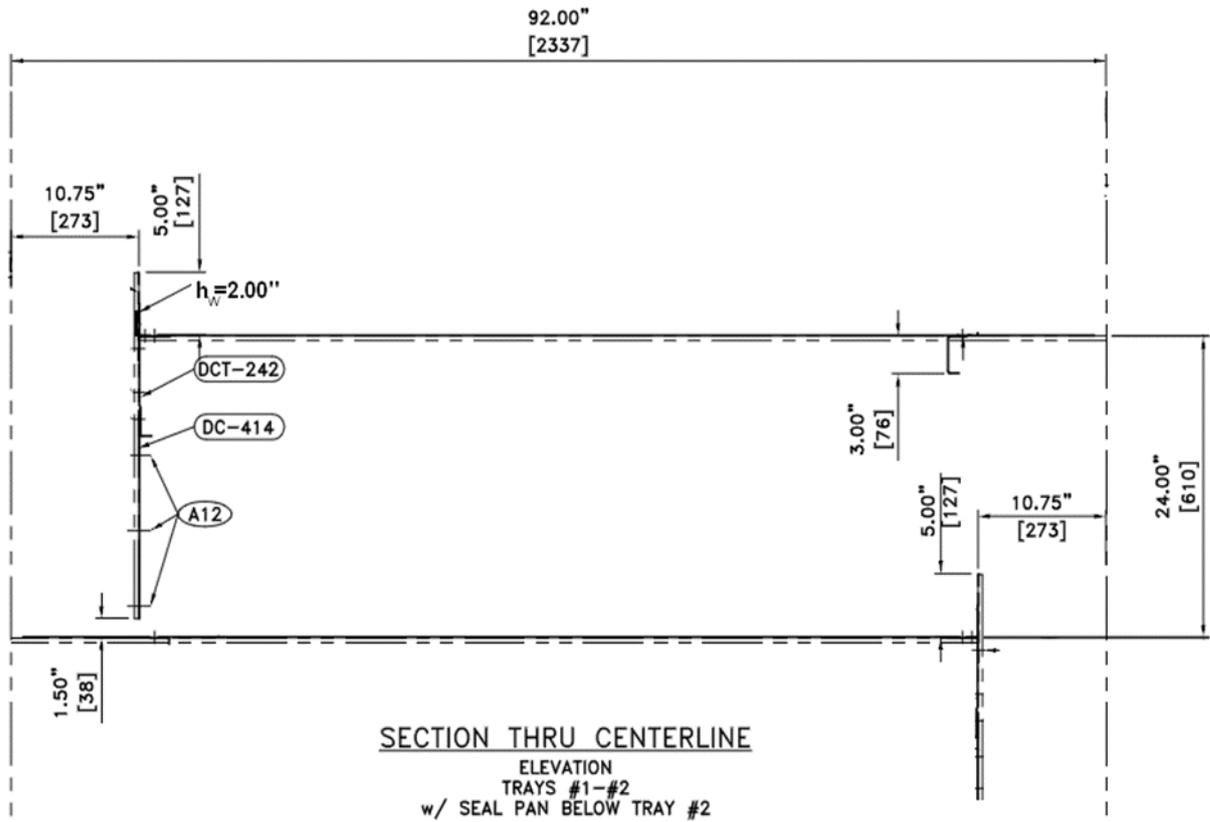


FIG. 14-31 Fair's entrainment flooding correlation for columns with crossflow trays (sieve, valve, bubble-cap). [Fair, *Pet/Chem Eng* 33(10), 45 (September 1961).]

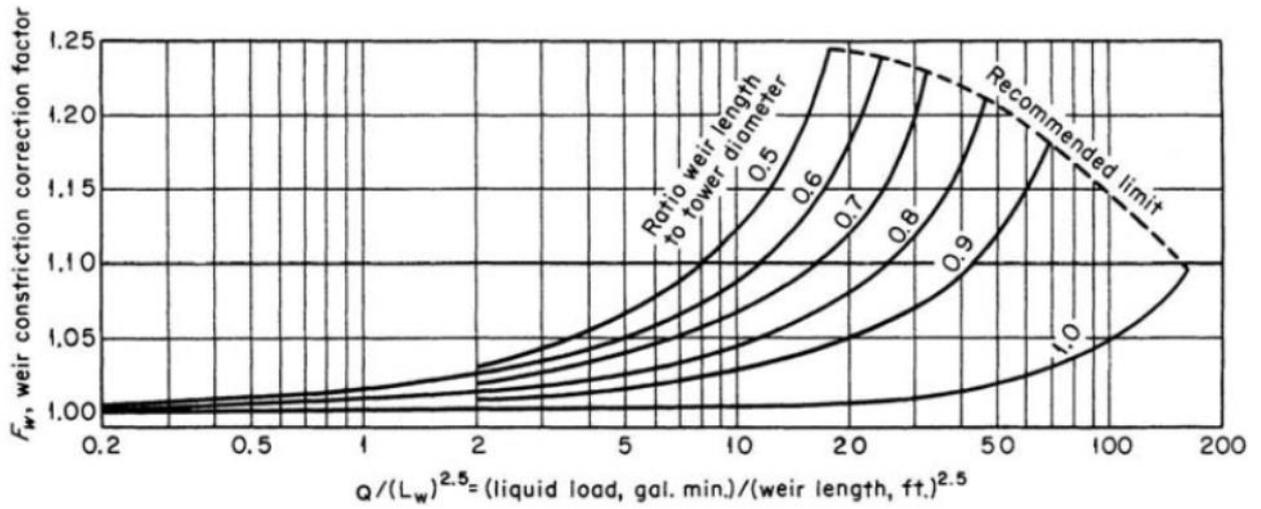


FIG. 14-38 Correction for effective weir length. To convert gallons per minute to cubic meters per second, multiply by  $6.309 \times 10^{-5}$ ; to convert feet to meters, multiply by 0.3048. [Bolles, Pet. Refiner, 25, 613 (1946).]

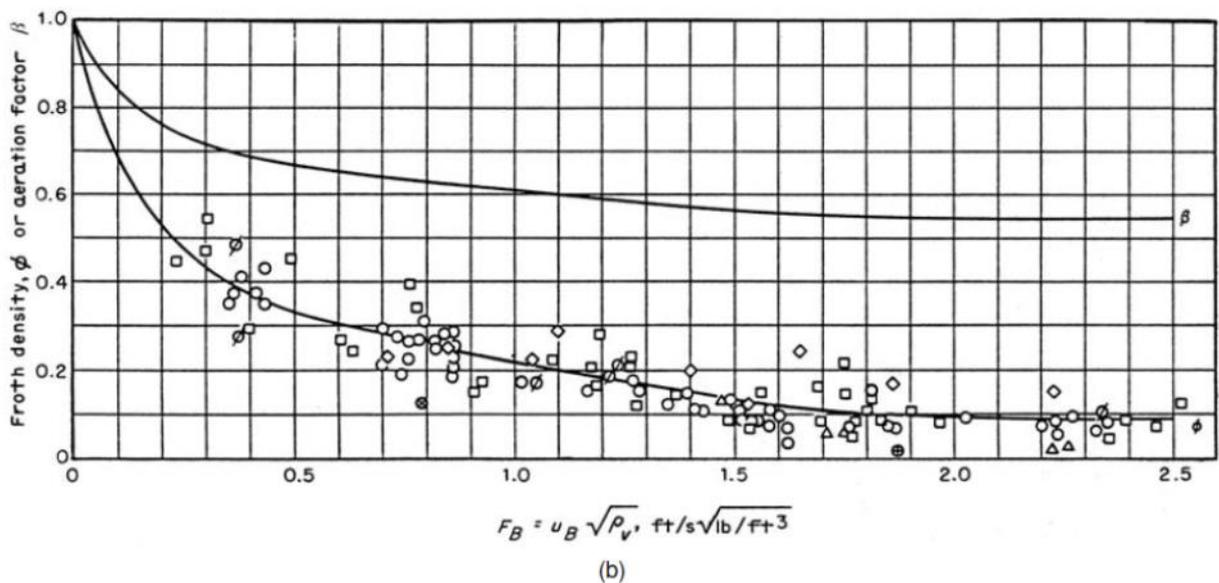
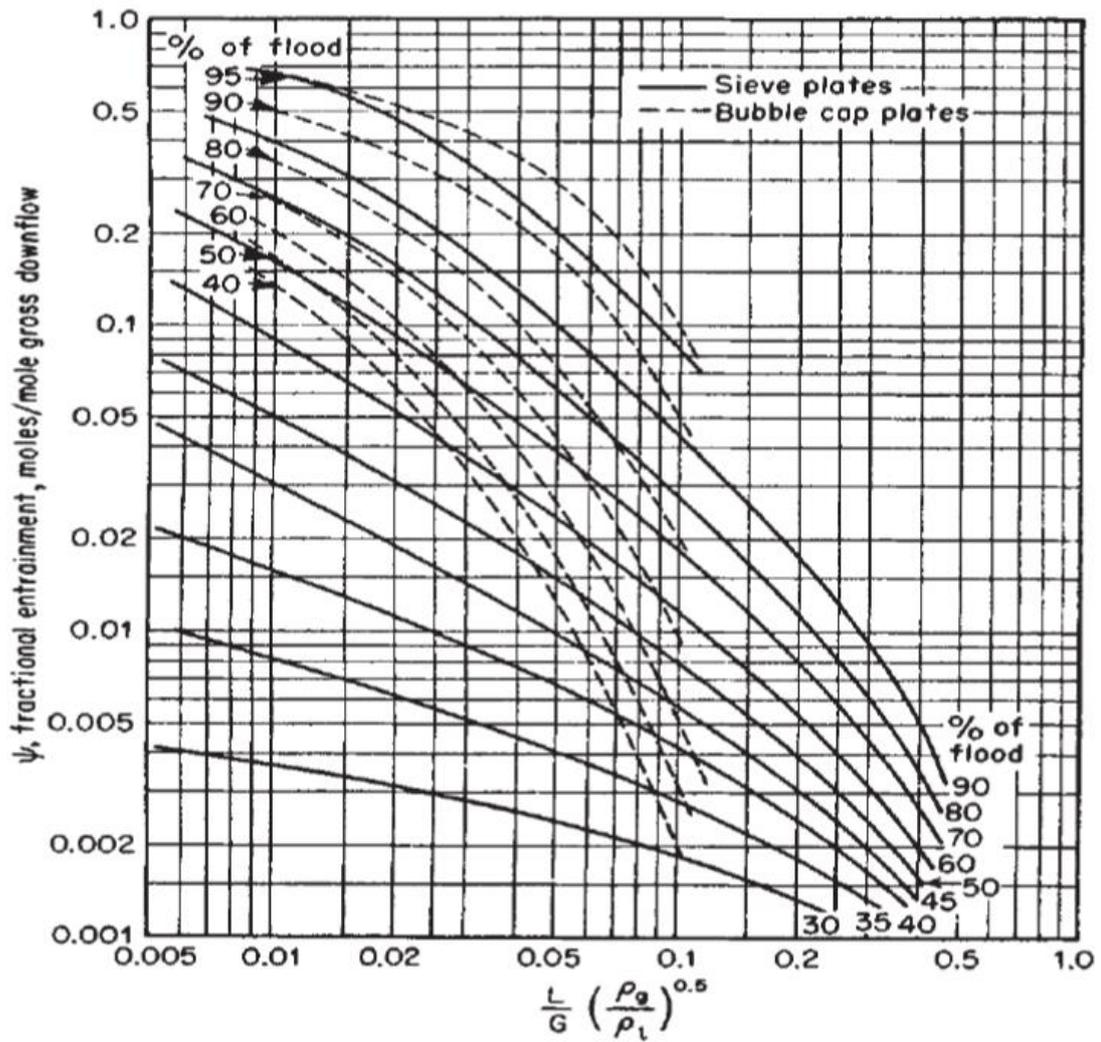


FIG. 14-37 Aeration factor for pressure drop calculation. (a) Sieve trays. [Bolles and Fair, Encyclopedia of Chemical Processing and Design, vols. 16, 86. J. M. McKetta (ed.), Marcel Dekker, New York, 1982.] (b) Valve trays. (From G. F. Klein, Chem. Eng., May 3, 1982, p. 81; reprinted courtesy of Chemical Engineering.)



**FIG. 14-26** Entrainment correlation.  $L/G$  = liquid-gas mass ratio; and  $\rho_l$  and  $\rho_g$  = liquid and gas densities. [Fair, Pet./Chem. Eng., 33(10), 45 (September 1961).]

**ADICIONAL – USO DE PROGRAMA DE DISEÑO DE PLATOS**

**PROBLEMA 8**

Se desea destilar una mezcla multicomponente utilizando una columna de platos perforados cuya alimentación se encuentra entre los platos 4 y 5. El simulador de procesos arroja el siguiente perfil:

Tray	Gas						Líquido						
	Mass Flow [kg/h]	Gas Flow [m3/h]	Mole Wt.	T [C]	Density [kg/m3]	Viscosity [cP]	Mass Flow [kg/h]	Liq Flow [m3/h]	Mole Wt.	T [C]	Density [kg/m3]	Viscosity [cP]	Surf Ten [dyne/cm]
1	9285	430,7	48,86	78,53	21,56	0,0104	16366	27,5	68,77	58,17	595,19	0,171	10,57
2	11444	499,3	52,34	87,03	22,92	0,0104	18525	32,5	69,48	78,53	569,23	0,144	8,67
3	12280	523,1	54,23	93,59	23,48	0,0105	19361	34,4	70,55	87,03	562,15	0,137	8,13
4	11795	524,2	55,53	111,97	22,5	0,0109	18875	33,5	72,49	93,59	563,26	0,136	8,01
5	11040	428,5	62,62	122	25,77	0,0105	41703	66,1	96,59	111,97	631,09	0,211	9,52
6	14376	537,2	64,99	126,94	26,76	0,0104	45039	73,7	94,49	122	610,76	0,184	8,29
7	15855	578,5	66,87	132,08	27,4	0,0104	46518	77	94,45	126,94	604,27	0,175	7,91
8	17160	610,5	69,33	139,44	28,11	0,0105	47823	79,7	95,09	132,08	600,36	0,168	7,66
9	18687	644,9	73,21	152,08	28,98	0,0107	49350	82,6	96,63	139,44	597,47	0,162	7,43
10	19607	667,5	80,47	183,03	29,37	0,011	50270	84,2	100,72	152,08	597,31	0,155	7,21

Diseñe la columna de platos utilizando un programa de algún proveedor de torres:

- Determine los platos críticos para el diseño. Justifique
- Calcule el diámetro de la columna
- Diseñe los platos de la columna y justifique sus elecciones.
- Realice un esquema de la columna y de los platos.