

1. OPERACIONES QUE SE PUEDEN REALIZAR EN UNA TORRE DE RELLENO

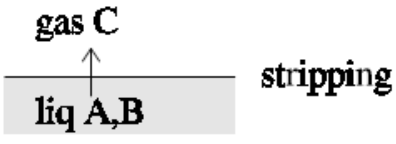
Operación	*Ejemplos de aplicación*
Absorción física	Remoción de contaminantes del aire, eliminación de olores.
Absorción química	Absorción de dióxido de carbono-en control de emisiones y en el proceso Solvay. Absorción en procesos de producción de acido nítrico, acido sulfúrico, cloro y fluoruro de hidrogeno.
Desorción	Decarbonatación de agua, despojamiento de amoniaco.
Destilación	Rectificación al vacio de crudo. Separación de sustancias termolábiles. Separación de isotopos.
Extracción liquido – liquido	Recuperación de compuestos orgánicos de corrientes acuosas.
Deshumidificación	Desalinización de agua.
Enfriamiento	Plantas térmicas y nucleares. Enfriamiento de cloro gaseoso.

2. DIFERENCIA EXISTE ENTRE UN ABSORBEDOR Y UN STRIPPING

Absorción de gases: Cuando 2 componentes de un gas son separados por el contacto con un líquido (en el que un componente es preferentemente soluble)



Desorción ó stripping: Cuando 2 componentes de un líquido son separados por el contacto con un gas.



3. PRINCIPALES TIPOS DE RELLENO

Tabla 22.1. Características de rellenos para torres[6b]

Tipo	Material	Tamaño nominal, pulg	Densidad global?, lb/pie^3	Area total†, pie^2/pie^3	Porosidad, ε	Factores de relleno‡	
						F_p	f_p
Monturas Berl	Cerámica	½	54	142	462	240	§1,58
		1	45	76	0,68	110	§1,36
		1½	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
		1½	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	4	55	112	0,64	580	§1,52
		1	42	58	0,74	1.55	§1,36
		1½	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
		1½	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
		1½	4,8	39	0,91	40	1,18

† La densidad global y el área total están referidas a la unidad de volumen de la columna.
‡ El factor F_p es un factor de caída de presión, y el factor f_p es un coeficiente relativo de transferencia de materia.
§ Basados en datos NH_3—H_2O; los demás factores basados en datos CO_2—NaOH.

4. PRINCIPALES REQUERIMIENTOS DEL RELLENO DE UNA TORRE

Los principales requerimientos de los empaques son que estos deberían tener:

- Alta área interfasial de contacto líquido-gas. Esto se cuantifica a través del área superficial por unidad de volumen de empacado, a_p que se define:

a_p = área superficial/volumen de empacado.

- El valor de a_p debe ser elevado debido a la estructura macroscópica (huecos) del empacado y no debido a la estructura microscópica interna (porosidad).
- Características adecuadas de flujo. Debe de ser capaz de manejar altos flujos de material con bajas caídas de presión.
- Químicamente inerte.
- Resistencia estructural para manejo e instalación.
- Bajo costo.

5. TABLA LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE RELLENO.

Tabla 6.3 Características de los empaques **aleatorios**[a]

Empaque	Tamaño nominal, mm (in)										
	6 ($\frac{1}{4}$)	9.5 ($\frac{3}{8}$)	13 ($\frac{1}{2}$)	16 ($\frac{5}{8}$)	19 ($\frac{3}{4}$)	25 (1)	32 ($1\frac{1}{4}$)	38 ($1\frac{1}{2}$)	50 (2)	76 (3)	89 ($3\frac{1}{2}$)
	Anillos de Raschig										
Ceramica:											
Espesor de pared, mm	0.8	1.6	2.4	2.4	2.4	**3**	4.8	4.8	6	**9.5**	
C_f	1600	1000	580	380	255	**155**	125	95	65	**37**	
C_D			909	749	457	**301**		181.8	**135.6**		
ε	0.73	0.68	0.63	0.68	0.73	**0.73**	**0.74**	0.71	0.74	0.78	
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)	787 (240)	508 (155)	**364 (111)**	328 (100)	262 (80)	**190 (58)**	**148 (45)**	125 (38)	92 (28)	62 (19)	
Metal											
0.8 mm pared											
C_f	700	390	**300**	**170**	155	115					
ε	0.69		0.84		0.88	0.92					
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)	774 (236)		420 (128)		274 (83.5)	206 (62.7)					
1.6 mm pared											
C_f			410	**290**	220	137	**110**	83	57	32	
C_D			688	**431**	485	304		172.9	133.5		
ε			0.73		0.78	0.85	0.87	0.90	0.92	0.95	
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)			387 (118)		236 (71.8)	186 (56.7)	162 (49.3)	135 (41.2)	103 (31.4)	68 (20.6)	

Anillos de **Pall**

Plástico											
C_f				97		52		40	25		16
CD				**207**		105.2		61.8	47.5		23.9
ϵ				0.87		0.90		0.91	0.92		0.92
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)				**341 (104)**		206 (63)		128 (39)	102 (31)		85 (26)
Metal											
C_f				70		48		28	20		16
C_D				133.4		95.5		56.6	36.5		
ϵ				0.93		0.94		0.95	**0.96**		
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)				**341 (104)**		206 (63)		128 (39)	102 (31)		
Flexirings											
C_f				78		45		28	22		**18**
ϵ				0.92		0.94		**0.96**	**0.96**		0.97
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)				345 (105)		213 (65)		**131 (40)**	**115** (35)		92 (28)
Hy-pak:‡											
C_f						45			18	**15**	
C_D						88.1			28.1	**26.6**	
ϵ						**0.96**			0.97	**).97**	

Tabla 6.3 Continuación

Packing	Tamaño nominal, mm (in)										
	6 (1/4)	9.5 (3/8)	13 (1/2)	16 (5/8)	19 (3/4)	25 (1)	32 (1 1/4)	38 (1 1/2)	50 (2)	76 (3)	89 (3 1/2)
	Sillas de montar de Berl										
Cerámica											
C_f	900		240		170	110		65	**45**		
C_D			508		295	184					
ε	0.60		0.63		0.66	0.69		0.75	**0.72**		
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)	899 (274)		466 (142)		269 (82)	249 (76)		**144 (44)**	**105 (32)**		
	Sillas Intalox										
Cerámica											
C_f	**725**	**330**	**200**		145	98		52	40	22	
C_D			399		256	241.5		36.2	71.3	**40.6**	
ε	**0.75**		0.78		0.77	0.775		3.81	0.79		
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)	**984 (300)**		623 (190)		335 (102)	256 (78)		195 (59.5)	118 (36)		
Plástico											
C_f						33			21	16	
C_D						**96.7**			56.5	30.1	
ε						0.91			0.93	**0.94**	
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)						**207** (63)			108 (33)	89 (27)	

						SuperIntalox					
Cerámica[c]											
C_f						**60**			*30*		
C_D						123			63.3		
ε						0.79			0.81		
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)						253 **(77)**			105 (32)		
Plástico[d]											
C_f						33			21	16	
C_D						79.5			53.5	30.1	
ε						0.90			0.93	0.94	
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)						**207 (63)**			108 (33)	89 (27)	
						Tellerettes					
Plástico										**67-mm**	**95-mm (R)**
C_f						**40**			20		
ε						0.87			0.93	0.93	0.92
a_p, m^2/m^3 (ft^2/ft^3)						180 (55)			**112 (34)**	112 (34)	

[a] Los datos son para el empaque arrojado húmedo. Cortesia: **Chemical Process Products** Division, Norton Co.; Koch **Engineering** *Ca;* Ceilcote *Co.; Chemical Engineéring Progress; Chemical Engineer.*

[b] **Tamaño** nominal y espesor de la pared, mm, **resp.:** 6, 0.8; 9.5. 1.6; 13 a 19. 2.4; 25. 3; 32 y 38, 4.8; **50, 6;** 76, 9.5.

[c] a_p en m^2/m^3 (ft^2/ft^3)

[d] **Tamaños 1, 2 y 3**

6. CONTACTO LIQUIDO GAS EN LAS TORRES DE RELLENO

El contacto liquido – gas en una columna empacada es continua, no por etapas, como en una columna de platos. El flujo de liquido cae hacia abajo en la columna sobre el área de empaque y el gas o vapor, asciende en contracorriente, en la columna. En algunas columnas de absorción de gases se usa corrientes en flujo co-corriente. La performance de una columna empacada depende mucho del mantenimiento de una buena distribución de líquido y gas a través del lecho empacado, y esto es una consideración importante en el diseño de columnas empacadas.

7. VELOCIDAD DE INUNDACION E IMPORTANCIA

En una torre empacada con cierto tipo y tamaño de relleno y con un flujo conocido de líquido, existe un límite máximo para la velocidad del flujo de gas, llamado *velocidad de inundación.* **La torre no puede operar con una velocidad de gas superior a ésta**. A velocidades gaseosas bajas, el líquido fluye hacia abajo a través del empaque casi sin influencia por el flujo ascendente de gas. A medida que se aumenta el gasto de gas (cuando se trata de velocidades bajas), la caída de presión es proporcional al gasto a la potencia 1.8. Al llegar al gasto de gas llamado *punto de carga,* éste comienza a impedir el flujo descendente de líquido y al mismo tiempo aparecen acumulaciones o piscinas localizadas en el empaque. La caída de presión del gas comienza a incrementarse a velocidades cada vez mayores; a medida que el gasto del gas aumenta, la acumulación o retención de líquido también aumenta. En el punto de inundación el líquido ya no puede seguir fluyendo a través del empaque y sale expulsado con el gas. En la operación real de una torre, la velocidad del gas se mantiene por debajo del punto de inundación. Entonces la velocidad gaseosa económica óptima se aproxima a la mitad de la velocidad de inundación. Esta velocidad depende de un balance económico entre el costo de la energía y los costos fijos del equipo En algunas referencias se analizan

métodos detallados de diseño para predecir la caída de presión en diversos tipos de empaques.

8. DEFINICION DE HETP Y CALCULO

La altura de relleno equivalente a un plato teórico, HETP, generalmente está comprendida entre 1 y 2 pies. Los rellenos más pequeños tienen valores menores de la HETP, con frecuencia inferiores a 1,0 pies, pero su capacidad es menor y generalmente no se utilizan en columnas grandes. La caída de presión por plato equivalente es generalmente menor para un plato perforado o de barboteo, lo cual constituye una importante ventaja cuando se opera a vacío. Los valores de la HETP se pueden predecir, aproximadamente, a partir de la teoría y de los datos de absorción de gases. Los valores de HETP y Hoy son iguales si las líneas de equilibrio y operación son rectas y paralelas. En muchas destilaciones la línea de operación superior tiene mayor pendiente que la línea de equilibrio, mientras que para la línea de operación inferior ocurre lo contrario. En este caso, la HETP media es aproximadamente igual a Hoy, y Hoy se puede estimar a partir de correlaciones para el cálculo de HY y H_{ox} Utilizando los datos para la absorción de NH, y O2 en agua generalmente se obtienen valores para líquidos orgánicos, que tienen menores tensiones superficiales y que pueden dar lugar a una mayor área interfacial para un flujo dado de líquido. Sin embargo, el funcionamiento de una columna de gran diámetro puede ser peor que el predicho a partir de ensayos en planta piloto debido a la dificultad de obtener una distribución uniforme del gas y el líquido

Cómo calcular la HETP?

Para determinadas composiciones en el tope y el fondo de la columna se calcula el NTP a reflujo total,

HETP = H / NTP

En este caso el rehervidor parcial no se considera.
La HETP depende de:

- tipo y tamaño del empaque
- naturaleza fisicoquímica de los componentes de la mezcla
- flujo del gas

Estimaciones especiales en ausencia de datos

- En ausencia de datos se puede aproximar HETP igual al diámetro de la columna (Ludwig, E. E., Applied process design for chemical and petrochemical plants. 2 ed. Gulf Pub. Co. Vol.2. Houston, 1979).
- Para anillos Pall de 1, 1 1/2 y 2 in., la HETP se puede tomar igual a 1, 1 1/2 y 2 ft, respectivamente (Eckert,J. S., Selecting the proper distillation column packing. Chem. Eng. Prog., 66(3), 39 (1970)).

* Estos valores estimados de HETP son casi independientes del sistema destilado; sí la distribución del líquido no es excelente se recomienda un factor de seguridad del 30 al 50%.

9. DEFINICION Y CALCULO DEL HTU

Un HTU corresponde a la altura de una unidad de transferencia.

Una mejor aproximación al comportamiento real de una torre empacada se consigue por medio del concepto de unidad de transferencia, el cual se fundamenta en modelos de transferencia de masa entre fases, en contacto continuo. El número de unidades de transferencia (NTU) viene dado por ecuaciones de la forma:

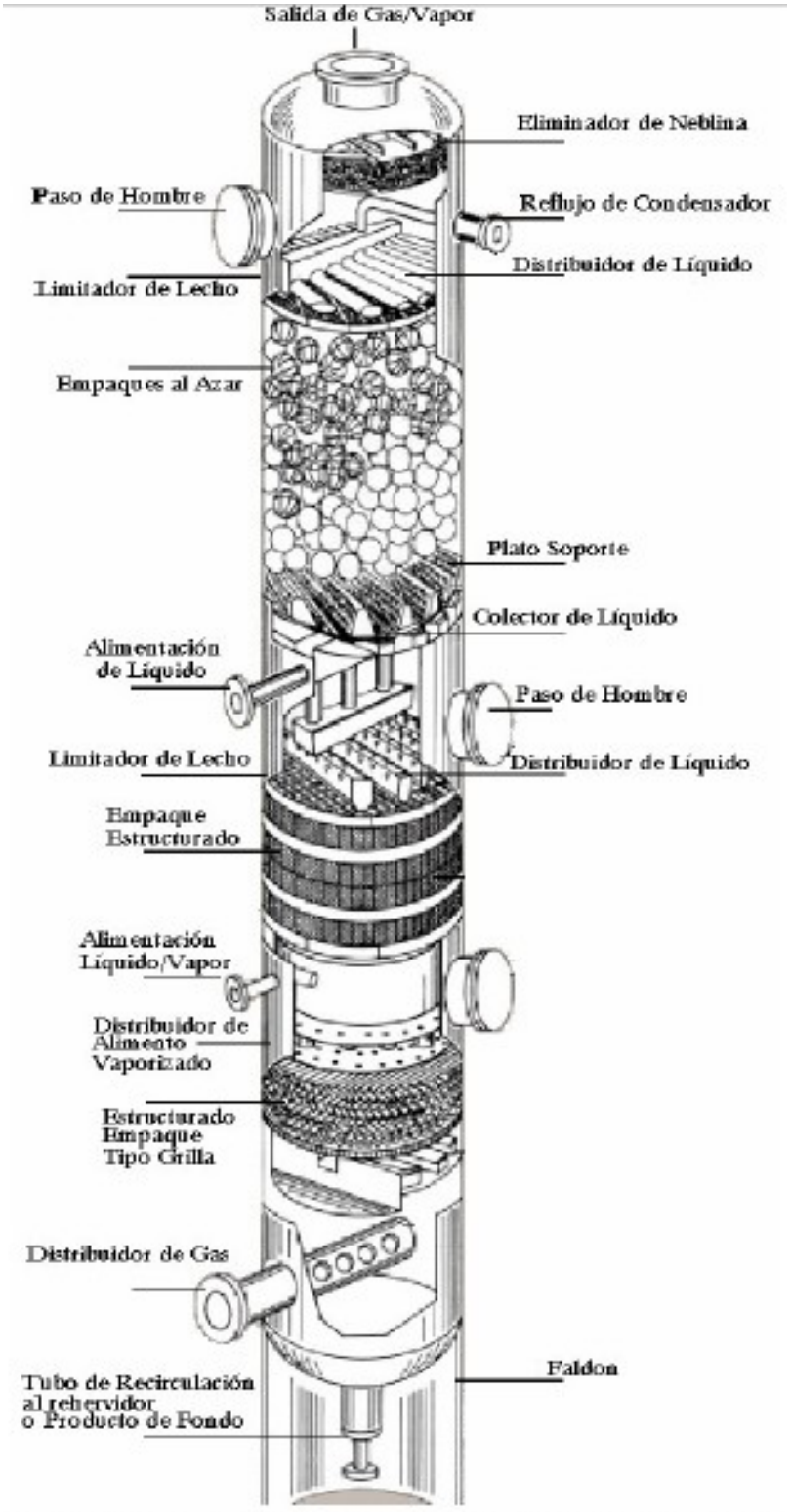
$$NTU = \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{y^{i} - y}$$

Y la altura de una unidad de transferencia se calcula con expresiones tales como

$$HTU = \frac{G_m}{A_T k_{OG} a_e P}$$

Que exigen conocer el coeficiente global de transferencia y el área interfacial especifica efectiva, los cuales pueden calcularse con base en diversos métodos de estimación y correlaciones que ofrece la literatura.

10. Muestre un grafico señalando las partes y distribución interna de una torre rellena.


Salida de Gas/Vapor
Eliminador de Neblina
Paso de Hombre
Reflujo de Condensador
Distribuidor de Líquido
Limitador de Lecho
Empaques al Azar
Plato Soporte
Colector de Líquido
Alimentación de Líquido
Paso de Hombre
Limitador de Lecho
Distribuidor de Líquido
Empaque Estructurado
Alimentación Líquido/Vapor
Distribuidor de Alimento Vaporizado
Estructurado Empaque Tipo Grilla
Distribuidor de Gas
Faldon
Tubo de Recirculación al rehervidor o Producto de Fondo

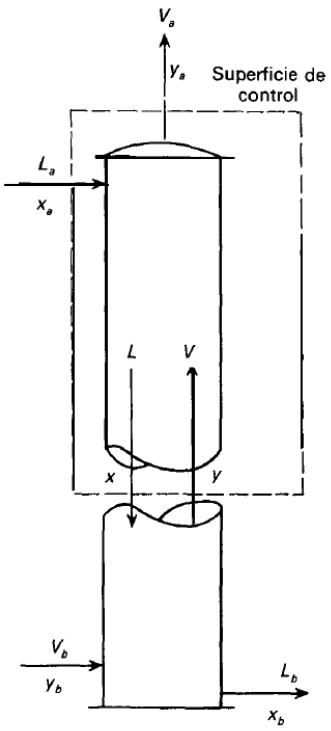
11. Muestre en un cuadro la comparación de rellenos de torres estructuradas.

TABLE 13.14. Comparison of Structured Tower Packings

	Goodloe packing	Hyperfil packing	Koch-Sulzer packing	Nes-Kloss packing	Leva film trays
General information:					
Type	Knitted multifilament	Knitted multifilament	Corrugated woven-wire fabric	Rolled screen with spacers	Multiple unsealed downcomer trays on close tray spacing
Approximate number of units 12 in and larger sold through 1975	610	90	300	42	120
Largest diameter sold to date	5 ft, 6 in	5 ft	11 ft	6 ft	14 ft, 6 in
Materials in which available					
Process and system considentions:					
Minimum head pressure, torr			0.5	1.5[c]	5
Liquid considerations:					
Minimum rates, gal/(min)(ft²)[c]	0.016	0.1[c]	0.06	0.1[c]	0.05
Maximum rate, gal/(min)(ft²)[c]	>4.9	4.7[c]	>8	3.8[c]	5
Maximum viscosity, cP[e]	200				>100
Holdup, fraction of total volume, typical	0.07-0.12	0.1	0.04	0.03	
Sensitivity to uneven initial liquid distribution	Moderate	Moderate	Fairly low	High[d]	Moderate
Vapor F factor, based on internal cross-sectional area of shell, typical	0.5-1.5	1.0	1.8	2.5-3.0	
Maximum	1.7	1.4	3.3	4.0	2.0
Minimum	low	0.14		0.16	0.25
HETS, in:					
Range	3½-8½	3½-9	4-10	4-18	12-24
Typical	5	5		8	18
Pressure drop, mmHg per foot of packed height			See Fig. 3	See Fig. 2	See Fig. 4
Pressure drop per theoretical stage			[f]		
Fouling considerations:					
Sensitive to particulate solids?	Yes	Yes	Moderately[h]	No	No
Sensitive to fouling by tarry substances?	Yes	Yes	Moderately[h]	Yes	No
Sensitive to fouling from polymer formation?	Yes	Yes	Moderately[h]	Yes	No
Mechanical considerations:					
Is the device furnished as a package including shell and internals?	Optional	Optional	Optional	Yes	Optional
Can it be installed through shell manholes?	Yes[i]	Yes	Yes	NO	No
Can it be installed in an existing shell with only minor modifications?	Yes[i]	Yes	Yes		Yes[k]
Test facilities:					
Are pilot test facilities available?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

12. Detalle los siguientes cálculos para torres rellenas de absorción.

a. Balance de materia.



Los balances en la sección marcada:

Materia total:

$$L_a + V = L + V_a$$

Componente A:

$$L_aX_a + V_y = L_x + V_ay_a$$

Las ecuaciones de los balances globales de materia, basadas en las corrientes extremas, son:

Materia total:

$$L_a + V_b = L_b + V_a$$

Componente A:

$$L_ax_a + V_by_b = L_bx_b + V_ay_a$$

b. Selección, arreglo y tamaño de empaque

En general se recomienda seleccionar un ***tamaño de empacado*** menor al 10% del diámetro de la columna. Se ha observado que en general, la eficiencia de transferencia de masa es similar para empacados del mismo tamaño. Por tanto, para una caída de presión (o inundación) fija, o bien como el volumen de empacado es $\pi D^2/4$ y el costo del empacado es proporcional al volumen: por lo que se concluye que conviene seleccionar aquel empacado con menor Cf.

Por ejemplo para *pall rings*:

Material	**$/ f t^3(1990)**	**C_f**	**$C_f^{0.5}$×($/ ft^3)**

Acero al carbón	18.2	20	81.4
Polipropileno	13.1	25	65.5
Acero inoxidable	86.2	20	385.5

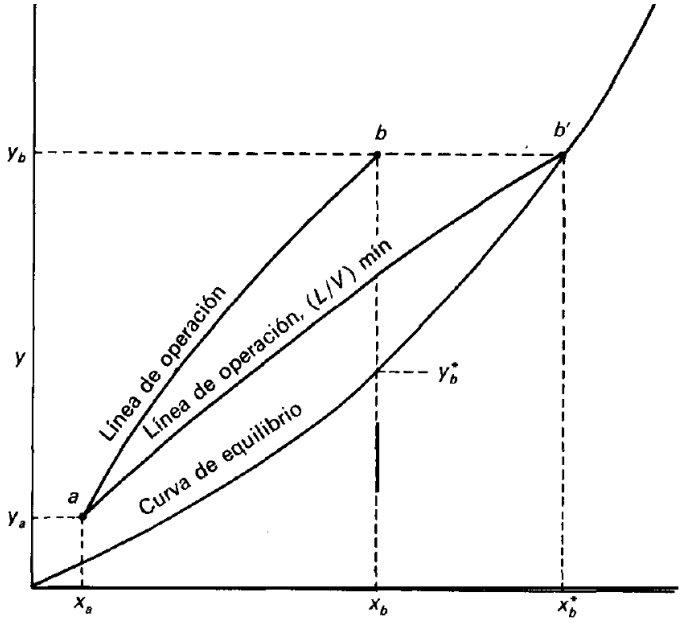
Arreglo de empaque.

Empacados al azar (random packing), donde las partículas de empacado se encuentra distribuido en la columna totalmente al azar. El diseño particular de las partículas influye mucho en las características de transferencia de masa y caída de presión.

Empacados ordenados (regular packing), en donde la distribución del empacado sigue un patrón definido dentro de la columna, especialmente diseñado para lograr características adecuadas de flujo y transferencia de masa.

- A una capacidad dada, los empaques estructurados ofrecen mayor área superficial especifica y por consiguiente mayor eficiencia. De igual forma, dada una eficiencia (igual área superficial específica) el factor de empaque de los empaques estructurados es menor, lo que corresponde a una mayor capacidad.
- En general los empaques estructurados tienen mayor eficiencia y capacidad y presentan menor caída de presión por plato teórico que los empaques al azar. Sin embargo, la eficiencia y la capacidad de los empaques estructurados disminuyen rápidamente al aumentar la presión o la velocidad del líquido, con lo cual se reduce su ventaja sobre los empaques al azar.

c. Relación G/L límite.



Relación gas liquido limitante

Relación gas-liquido limitante: Relación entre los flujos molares del líquido y el gas. Por tanto, para un flujo de gas dado, una reducción del flujo de líquido da lugar a una disminución de la pendiente de la línea de operación. Considérese la línea de operación *ab* de la Figura .Supóngase que tanto la velocidad del gas como las concentraciones extremas x, y. e y, se mantienen constantes mientras que el flujo de líquido *L* va disminuyendo. El extremo superior de la línea de operación se desplaza en la dirección de la

línea de equilibrio, y x_b, la concentración del líquido concentrado, aumenta. La máxima concentración del líquido concentrado y la mínima velocidad de flujo del líquido posible se obtienen cuando la línea de operación justamente toca a la línea de equilibrio, tal como corresponde a la línea *ab'* de la Figura .Para esta condición se necesita una altura infinita de la sección de relleno, toda vez que la diferencia de concentración para la transferencia de materia se hace cero en el fondo de la torre. En cualquier torre real la velocidad del líquido tiene que ser mayor que este mínimo para conseguir la variación especificada en la composición del gas. En una columna de absorción en contracorriente, la relación *L/V* es importante desde el punto de vista económico. Sin embargo, al utilizar más cantidad de líquido se obtiene una disolución líquida más diluida, de la que es más difícil recuperar el soluto por deserción o stripping. El coste de la energía que se requiere para el stripping suele representar la parte más importante del coste total de la operación de absorción-stripping. El flujo óptimo de líquido para absorción se obtiene equilibrando los costes de operación de ambas unidades frente a los costes fijos del equipo. En general, el flujo de líquido para un absorbedor deberá estar comprendido en el intervalo de 1.1 a 1.5 veces el flujo mínimo.

d. Velocidad de absorción.

La velocidad de absorción se puede expresar de cuatro formas diferentes utilizando coeficientes individuales o globales basados en las fases gaseosa o líquida. Para la mayor parte de los cálculos se utilizan coeficientes volumétricos debido a que es más difícil determinar los coeficientes por unidad de área, ya que para los fines de diseño el cálculo se centra generalmente en la determinación del volumen total del absorbedor. Las ecuaciones sólo son estrictamente válidas para gases diluidos pero pueden utilizarse con poco error con mezclas con un contenido de hasta un 10 por 100 de soluto. La velocidad de absorción por unidad de volumen de la

columna de relleno viene dada por cualquiera de las siguientes ecuaciones, donde y y x se refieren a la fracción molar del componente que se absorbe:

$$r = k_y a(y - y_i)$$

$$r = k_x a(xi - x)$$

$$r = K_y a(y - y^*)$$

$$r = K_x a(x^* - x)$$

e. Altura de la torre.

La altura requerida en una torre de absorción o eliminación de gas depende

- ✓ Los equilibrios termodinámicos incluidos
- ✓ El grado especificado de eliminación del soluto y del gas
- ✓ La eficiencia de transferencia de masa del equipo.

Estas mismas consideraciones se aplican tanto a una torre empacada como de platos.

Los puntos 1 y2 determina el numero de etapas teóricas (torres de platos) o unidades de transferencia (torre empacada) requeridas.

El punto 3 se obtiene con base en la eficiencia y el espaciamiento de las bandejas (torres de platos)

Por lo general, las especificaciones para la eliminación del soluto se obtienen a partir de consideraciones económicas

La altura de la columna está dada por la siguiente expresión en relación al coeficiente de transmisión de materia de la fase gas y la composición del gas (en esta fase podríamos usar las presiones parciales para el cálculo de N_{OG}

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

$$H_{OG} = \frac{G_m}{K_G a P} \qquad N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e}$$

También se puede expresar en función de los mismos parámetros de la fase líquida:

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

$$H_{OL} = \frac{L_m}{K_L a C_t} \qquad N_{OL} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{x_e - x}$$

Donde:

- Gm y Lm Flujo molar de gas o líquido por unidad de área de sección transversal a área interfacial por unidad de volumen
- P presión total
- Ct concentración molar total
- y1 y y2 fracción molar del soluto en el gas en el fondo y en el tope de la columna respectivamente
- x1 y x2 fracción molar del soluto en el liquido en el fondo y en el tope de la columna, respectivamente
- xe concentración del liquido en equilibrio con la concentración del gas en cualquier punto
- ye concentración del gas en equilibrio con la concentración del liquido en cualquier punto

Para el cálculo de H_{OG} y H_{OL} usamos las siguientes expresiones, ya que las constantes K_G y K_L deben ser determinadas

experimentalmente para cada caso, y para cada tamaño de columna.

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

$$H_{OL} = H_L + \frac{L_m}{mG_m}H_G$$

Donde:

m pendiente de la línea de equilibrio

Gm/Lm pendiente de la línea de operación

H_G y H_L alturas de las unidades de transferencia de película del gas y del líquido, respectivamente.

Hay distintas fórmulas empíricas para el cálculo de estos parámetros, que a su vez dependen del tipo de empaque y del tamaño de éste.

f. Diámetro de la torre y caída de presión.

Fijando una caída de presión.

1. Determinar la razón de flujos (L/G) en unidades másicas.

2. Calcular el factor $\frac{L}{G}\sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_{L-¿\rho_G}}¿}$ en unidades másicas.

3. Escoger el valor de ΔP/Z deseada. Este valor puede modificarse al determinar la ΔP total de la columna. Se recomienda:

0.05-0.1 inH2O/ft para operaciones al vacío,

0.2- 0.4 inH2O/ft para operaciones alrededor de la presión atmosférica

1.0-1.5 inH2O/ft para operaciones a alta presión.

4. Utilizando la figura de caída de presión u otra similar, con el factor $\frac{L}{G}\sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_{L-¿\rho_G}}¿}$ determinar el valor de la ordenada Y.

5. Calcular el flujo de gas por unidad de área

$$\widehat{G}=¿¿$$

6. Determinar el diámetro $D¿\sqrt{\frac{4G}{\pi\widehat{G}}}$

Fijando un % de inundación.

En este caso el procedimiento se modifica en los pasos 3, 4 y 5 a:

3. Utilizando la figura 6.34 u otra similar con el factor $\frac{L}{G}\sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_{L-¿\rho_G}}¿}$ y bajo condiciones de inundación, determinar el valor de la ordenada Y_f

4. Calcular el flujo de gas de inundación por unidad de área

$$\widehat{G}=¿¿$$

5. Determinar el flujo de gas de operación como un porcentaje del flujo de gas de inundación

$$G = (50\%\text{-}80\%)G_f$$

13. Detalle los siguientes cálculos en una torre rellena de Desorción.

a. Balance de materia

Materia total:

$$\mathbf{L_a + V_b = L_b + V_a}$$

Con respecto al soluto:

$$\mathbf{L_a x_a + V_b y_b = L_b x_b + V_a y_a}$$

b. Relación G/L

Al igual que con la absorcion, hay un mínimo de G/L necesario para alcanzar la separación deseada, En operación típica de un desorbedor, la velocidad del gas o vapor de agua es elegida para ser justo por encima del mínimo.

c. Altura de la torre.

La altura de la columna de ***stripping*** puede calcularse a partir del número de unidades de transferencia y la altura de una unidad de transferencia, utilizando las mismas ecuaciones que para la absorción. Con frecuencia la atención se tija en la concentración de la fase líquida, y se utilizan No, y H_{Ox}

$$Z = H_{Ox} N_{Ox} = H_{Ox} \int \frac{d_x}{x^{¿} - x}$$

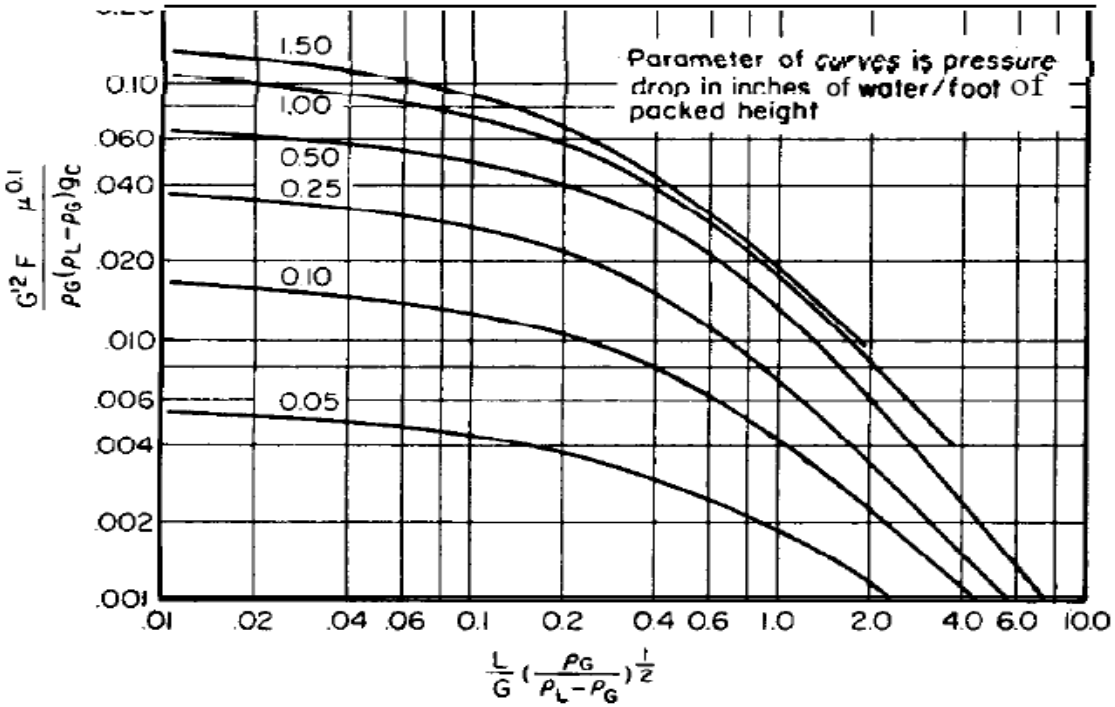
Para $$H_{Ox} = H_x + \frac{L_M}{mG_M} H_y$$

$$N_{Ox} = \int \frac{d_x}{x^{¿} - x}$$

d. Diámetro de la torre.

$$\frac{\Delta_p}{Z} = 0.25 a 0.5 \frac{pulg H_2O}{pie de empaque}$$

14. Muestre los gráficos de correlación de velocidad de flujo y caída de presión, Caídas típicas de presión, y Factores de relleno que serán de utilidad en el diseño.



L = Liquid rate, lb/(s)(ft^2)

G' = Gas rote, lb/(s)(ft^2)

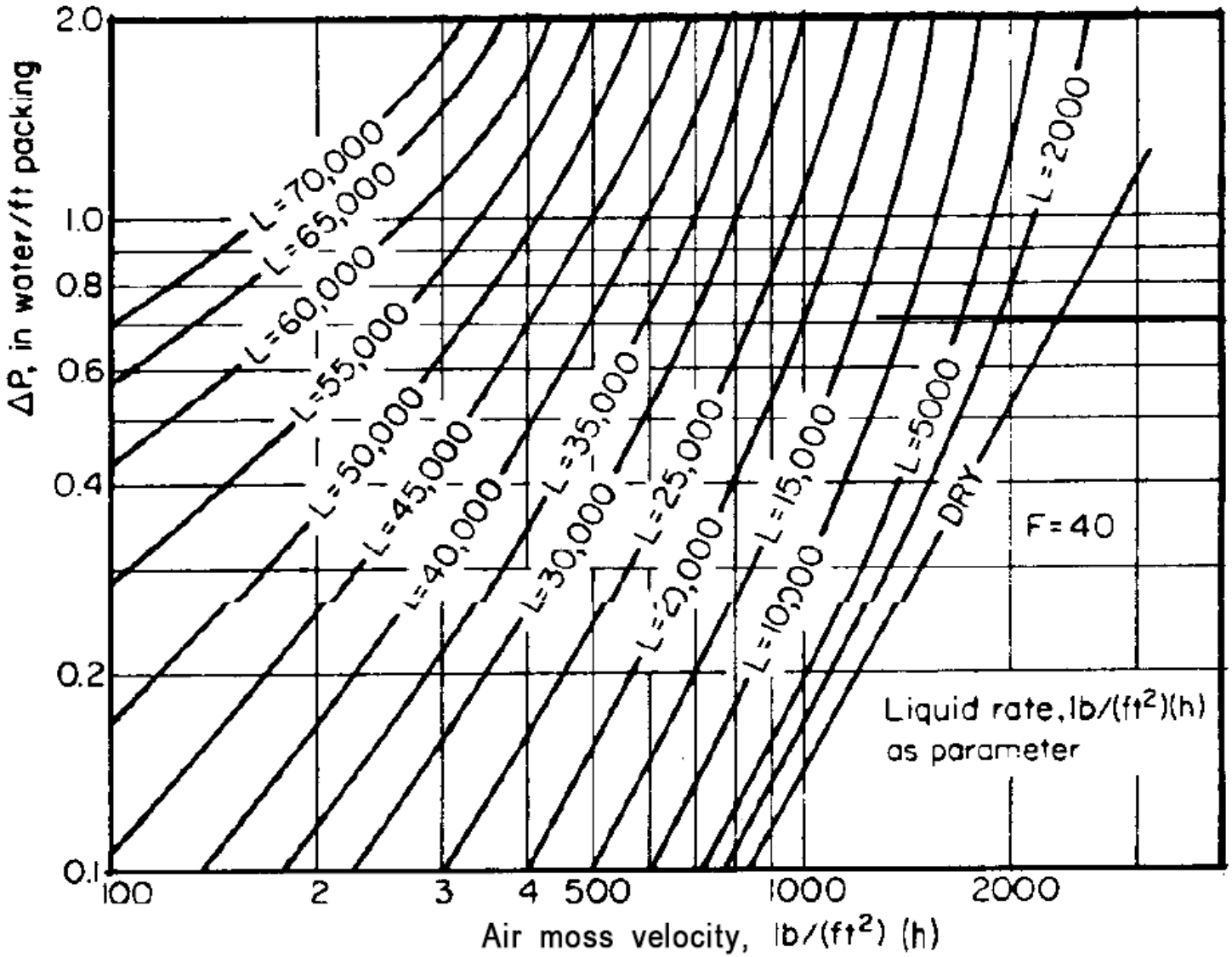
ρ_L = Liquid density, lb/ft^3

ρ_G = Gos density, lb/ft^3

F = Pocking factor

μ = Viscosity of liquid, centipoise

g_c = Gravitational constant = 32.2


ΔP, in water/ft packing
2.0
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.1
100
2
3
4
500
1000
2000
Air moss velocity, lb/(ft²) (h)
L=70,000
L=65,000
L=60,000
L=55,000
L=50,000
L=45,000
L=40,000
L=35,000
L=30,000
L=25,000
L=20,000
L=15,000
L=10,000
L=5000
L=2000
DRY
F=40
Liquid rate, lb/(ft²)(h)
as parameter

Itar desbordarse.

Type of Packing	Mat'l.	Nominal Packing Size, In										
		¼	⅜	½	⅝	¾	1	1¼	1½	2	3	3½
Super Intalox	Ceramic	—	—	—	—	—	60	—	—	30	—	—
Super Intalox	Plastic	—	—	—	—	—	33	—	—	21	16	—
Intalox saddles	Ceramic	725	330	200	—	145	98	—	52	40	22	—
Hy-Pak rings	Metal	—	—	—	—	—	42	—	—	18	15	—
Pall rings	Plastic	—	—	—	97	—	52	—	40	25	—	16
Pall rings	Metal	—	—	—	70	—	48	—	28	20	—	16
Berl saddles	Ceramic	900×	—	240×	—	170[h]	110[h]	—	65[h]	45×	—	—
Raschig rings	Ceramic	1,600[b,×]	1,000[b,×]	580[c]	380[c]	255[c]	155[d]	125[e,×]	95[e]	65[f]	37[g,×]	—
Raschig rings 1/32-in wall	Metal	700×	390×	300×	170	155	115×	—	—	—	—	—
Raschig rings 1/16-in wall	Metal	—	—	410	290	220	137	110×	83	57	32×	—
Tellerettes	Plastic	—		—	—	—	40	—	—	20	—	—
Maspak	Plastic	—		—	—	—	—	—	—	32	20	—
Lessing exp.	Metal	—	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—
Cross partition	Ceramic	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70	—

[a] 1/32 Wall [c] 1/32 Wall [e] 1/16 Wall [g] ⅜ Wall [h] Packing factors obtained in 16- and 30-n I.D towers ×Extrapolated
[b] 1/16 Wall [d] ⅛ Wall [f] ¼ wall

Ejemplo de Diseño de una columna de relleno

Una torre rellena con anillos cerámicos de 1 pulg (25,4 mm) ha de construirse para tratar 25 000 pie^3 (708 m^3) de gas de entrada por hora. El contenido de amoníaco en el gas que entra es del 2 por 100 en volumen. Como absorbente se utiliza agua exenta de amoníaco. La temperatura es de 68 “F (20 “C) y la presión es de 1 atm. La relación entre el flujo de gas y el flujo de líquido es de 1 Ib de gas por libra de líquido.

(a) Si la velocidad del gas es la mitad de la velocidad de inundación, ¿cuál ha de ser el diámetro de la torre?

(b) ¿cuál es la caída de presión si la sección de relleno tiene 20 pies (6.1 m) de altura?

Solución

Densidad del gas:

Peso molecular del aire: (0.21×32) + (0.79×28) = 28.84 = 29 g/mol

Peso molecular de amoniaco: 17 g/mol

Peso molecular del gas que entra: (29×0.98) + (17×0.02) = 28.76

- Densidad del gas: $\rho = \frac{P\overline{PM}}{RT}$

$$\rho_y = \frac{28.76\,\frac{lb}{lbmol} \times 14.7\,psia}{10.73\,\frac{pie^3 \times psia}{lbmol \times °R} \times (460+68)°R}$$

$$\rho_y = 62.3\,lb/pie^3$$

- Densidad del liquido: (agua) Gravedad especifica = 1

$$G_s = \frac{\rho_L}{\rho_{H_2O}}$$

$$\rho_x = 1 \times 62.5\,lb/pie^3$$

$$\rho_x = 62.5\,lb/pie^3$$

- Viscosidad: μ = 1Cp

- Factor de proporcionalidad de la ley de Newton:

$$g_c = 32.174 \frac{pie.lb}{lb_f.S^2}$$

- Para anillos cerámicos de 1pulg:

$$F_p = 155 \ldots (tabla\,22.1 - pag.719\,McCabe)$$

- $\left(\frac{G_x}{G_y}\right)\sqrt{\frac{\rho_y}{\rho_x - \rho_y}} = 1.\sqrt{\frac{0.07462}{62.5 - 0.07462}} = 0.0346$

De la figura 22.4: (Mc Cabe-pág. 722) con una línea de inundación de 2.

En la mayoría de las torres rellenas con anillos o monturas, la carga suele comenzar para una caída de presión del orden de 0.5 pulg de agua por pie de empaque, y la velocidad de inundación se presenta para una caída de presión comprendida entre 2 y 3 pulg de agua por pie de empaque.

$$\frac{G_y{}^2 F_p \mu_x{}^{0.1}}{g_c(\rho ¿¿ x - \rho_y)\rho_y = 0.19 ¿}$$

$$G_y = \sqrt{\frac{0.19 \times 32.174 \times 0.07462(62.5 - 0.07462)}{155 \times 1^{0.1}}}$$

$$G_y = 0.428 \frac{lb}{pie^2.seg}$$

a) Si la velocidad del gas es la mitad de la velocidad de inundación. ¿cuál ha de ser el diámetro de la torre?

Flujo total de gas:

$$25000\,pie^3 * 0.07462 \frac{\frac{lb}{pie^3} * 1}{3600} = 0.518\,lb/seg$$

$$S = \frac{0.518\, lb/seg}{\frac{0.428}{2}\,\frac{lb}{pie^2 . seg}}$$

$$S = 2.42\, pie^2$$

Entonces: $D¿\sqrt{\frac{4(2.42)}{\pi}}$

$$D¿ 1.76\, pies$$

b) Para la mitad de la velocidad de inundación,

$$G_y = \frac{0.428}{2} = 0.214\,\frac{lb}{pie^2 . seg} = G_x$$

Y el valor de la abscisa de la figura 22.4 es también 0.0346.

La ordenada es 0.19/4 = 0.0475.

Para estas condiciones la caída de presión es del orden de 0.45 pulg de agua por pie de altura de relleno; la caída de presión es de 20 × 0.45 = 9 pulg de agua.