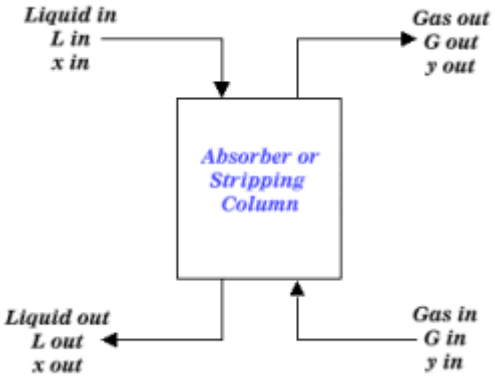
Packed Column Design

Designing a randomly packed column is a subtle blend of art and science. Packed columns are most frequently used to remove



contaminants from a gas stream (absorption). However, packed columns can also be used to remove volatile components from a liquid stream by contacting it with an inert gas (stripping). They are also used in distillation applications where the separation is particularly difficult due to close boiling components. While we'll discuss all of these applications, we'll focus on absorption. However, the design methods are similar for any of the scenarios.

The first step in designing a packed tower is more science than art. The equilibrium data between the contaminant and the solvent (or the distillation components) is needed for the analysis. If tabulated data for your system is unavailable and the total amount of the contaminant is small (as it usually will be), Raoult's Law can be used to estimate the equilibrium data for absorption or stripping applications. For distillation, equilibrium data can be predicted by selecting the appropriate thermodynamic model (see Choosing a Thermodynamic Model for Use in Simulation). The operating line for the tower is constructed differently depending on whether you're dealing with distillation or absorption/stripping. Since we're focusing on absorption, we'll use it as an example. In absorption/stripping, the operating line is constructed differently depending on whether the contaminated stream can be considered "dilute" or if it must be treated as a concentrated stream. Usually, it is safe to treat the stream as dilute if the contaminant makes up less than 10 mole percent of the stream. For streams that cannot be considered dilute, the mass transfer coefficients must be evaluated in terms of the gas and liquid flows. Then, graphical evaluation of several integral relationships must be completed. This type of evaluation is outside the scope of this article and a text should be consulted for solving these types of problems. For this article, we will consider dilute streams which are more common for packed tower absorption and stripping.

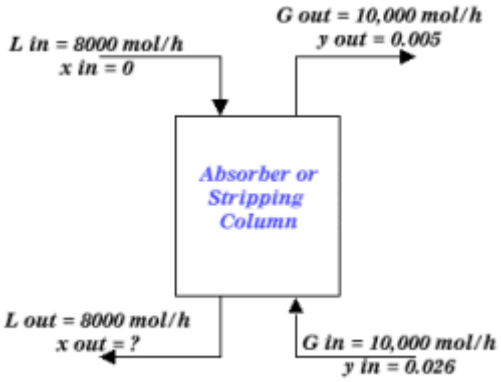
Dilute streams allow the column designer to assume constant mass transfer and the operating line can be constructed in terms of the simplified balance shown below:

$$L_{out}\ x_{out} + G_{out}\ y_{out} = L_{in}\ x_{in} + G_{in}\ y_{in}$$

This relation is used in the following manner:

Suppose you wish to remove acetone from a gas stream of 10,000 mol/h in a packed column. The inlet gas contains 2.6 mole percent acetone and the

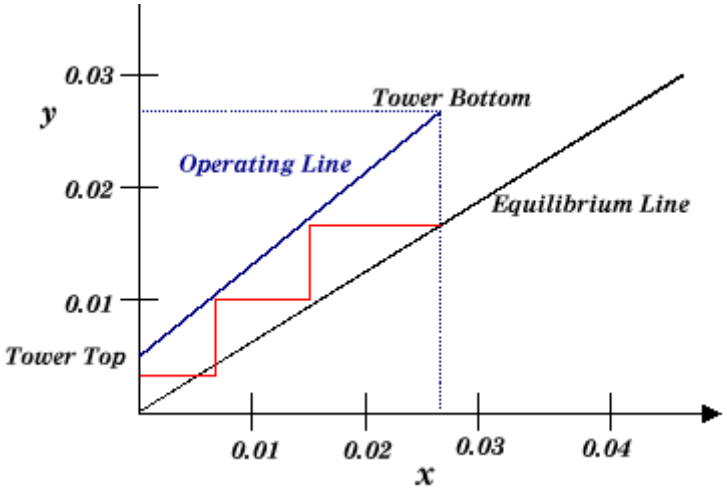
outlet gas stream can contain no more than 0.5 mole percent acetone. Assume a pure water stream enters the packed tower at a rate of 8,000 mol/h.



L out x out + G out y out = L in x in + G in y in

(8000) x out + (10000)(0.005) = (8000)(0)+(10000)(0.026)

x out = 0.02625



The equilibrium and operating lines are constructed as follows:

Just as in the McCabe-Thiele analysis of distillation, the equilibrium stages are stepped off between the two lines. Note that for stripping, the operating line would be on the other side of the equilibrium line. Once the theoretical number of stages have been determined, you can proceed with the design of the column by following the three steps that we'll outline below.

To best illustrate the other steps in the process, **we'll use the following example:**

PACKED COLUMN DESIGN

1. Especifique el tipo de empacado y las dimensiones de la columna (D y H) que será usada para remover cloro de una corriente gaseosa usando un solvente orgánico. Asuma que la separación requiere 20 etapas teóricas. El flujo de vapor es 7000 kg/h, la densidad promedio del vapor es 4.8 kg/m^3. El flujo del líquido es 5000 kg/h, la densidad promedio del líquido es 833 kg/m^3. La viscosidad cinemática del liquido es 0.48 centistokes (4.8×10^{-7} m^2/s).

SOLUCION:

PASO 1: SELECCION DEL TIPO Y TAMAÑO DEL RELLENO

Aquí hay que decidir entre empaque estructurado y al azahar. Se sabe que el empaque al azahar es el tipo más usado en las columnas. Se recomienda escoger el más económico que en este caso es el relleno al azahar.
A continuación se presentan las tablas que muestran los factores de empaque en unidades inglesas y métricas respectivamente.
Presentamos los factores para el empaque al azahar que es el mas común:

Packing Factors for Column Packings

Packing Type	Material	Nominal Packing Size, in										
		1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	3	3 1/2
Hy-Pak	Metal						43			18		15
Super Intalox Saddles	Ceramic						60			30		
Super Intalox Saddles	Plastic						33			21		16
Pall Rings	Plastic				97		52		40	24	22	16
Pall Rings	Metal				70		48		33	20	37	16
Intalox Saddles	Ceramic	725	330	200		145	92		52	40		
Raschig Rings	Ceramic	1600	1000	580	380	255	155	125	95	65	32	
Raschig Rings	Metal, 1/32 in	700	390	300	170	155	115					
Raschig Rings	Metal, 1/16 in			410	290	220	137	110	83	57		
Berl Saddles	Ceramic	900		240		170	110		65	45		
Tellerettes	Plastic						38			19		
Mas Pac	Plastic									32		20
Quartz Rock										160		
Cross Partition	Ceramic										80	
Flexipac	Metal						33			22		16
Interlox	Metal						41			27		18
Chempak	Metal						29					

Packing Factors for Column Packings

Packing Type	Material	Nominal Packing Size, mm										
		6.35	9.53	12.70	15.88	19.05	25.40	31.75	38.10	50.80	76.20	88.90
Hy-Pak	Metal						43			18		15
Super Intalox Saddles	Ceramic						60			30		
Super Intalox Saddles	Plastic						33			21		16
Pall Rings	Plastic				97		52		40	24	22	16
Pall Rings	Metal				70		48		33	20	37	16
Intalox Saddles	Ceramic	725	330	200		145	92		52	40		
Raschig Rings	Ceramic	1600	1000	580	380	255	155	125	95	65	32	
Raschig Rings	Metal, .79 mm	700	390	300	170	155	115					
Raschig Rings	Metal, 1.6 mm			410	290	220	137	110	83	57		
Berl Saddles	Ceramic	900		240		170	110		65	45		
Tellerettes	Plastic						38			19		
Mas Pac	Plastic									32		20
Quartz Rock										160		
Cross Partition	Ceramic										80	
Flexipac	Metal						33			22		16
Interlox	Metal						41			27		18
Chempak	Metal						29					

Generalmente, Diámetro de la columna, pies/Tamaño del empaque, pulg es:

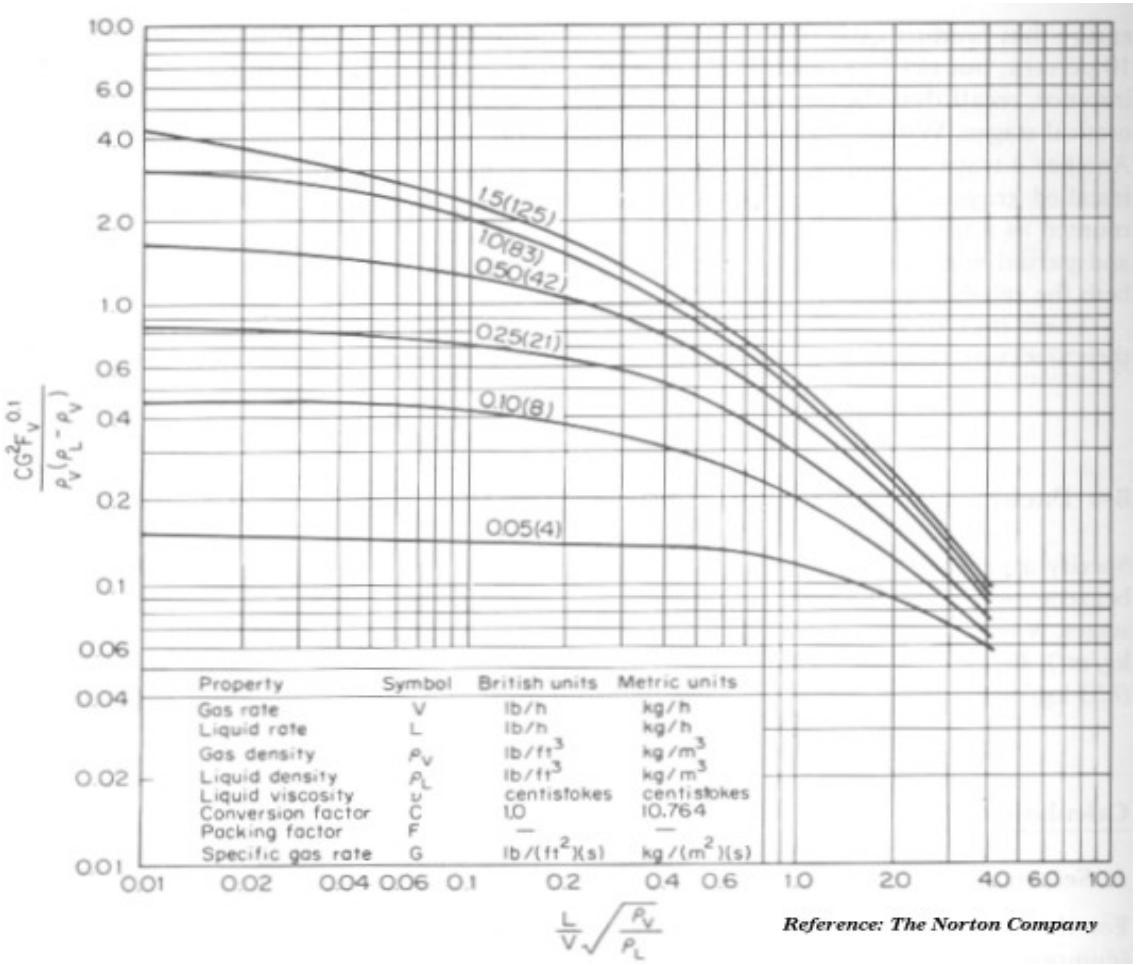
D / p > 30 para Anillos Raschig
D / p > 15 para monturas de cerámica,
D / p > 10 para anillos o monturas de plástico.

La geometría de su empaque típicamente será una función de la superficie necesaria y/o caída de presión permisible. Si encuentra los requerimientos de algunos empaques, escoja el menos caro y de mas larga vida de operación. Por ejemplo, escojemos el PALL RING (plastico). Para columnas de diámetro mayor de 24” (2 pies), examinamos relleno de 2”. De acuerdo a las velocidades de flujo, un diámetro de hasta 24 pulgadas es bueno, pero debemos verificar.

PASO 2: DETERMINAR EL DIAMETRO DE LA COLUMNA

Muchos métodos para determinar el tamaño de las torres empacadas al azahar son derivadas de la correlación de Sherwood. Para determinar la velocidad del gas G, podemos hacerlo con ayuda de la figura de abajo basada también en la ecuación de

Sherwood.



Cada línea del gráfico está marcada con una caída de presión aceptable en pulgadas de agua por pie de empaque. Los números entre paréntesis están en mm de agua por m de empaque. Las líneas guía son las siguientes:

- Destilación de presión moderada a alta = 0.4 a 0.75 pulg agua / pie empaque
  = 32 a 63 mm agua / m empaque
- Destilación al vacio = 0.1 a 0.2 pulg de agua/pie de empaque
  = 8 a 16 mm agua / m empaque.
- Absorbedores y Strippers = 0.2 a 0.6 pulg agua / pie de empaque
  = 16 a 48 mm agua / m empaque

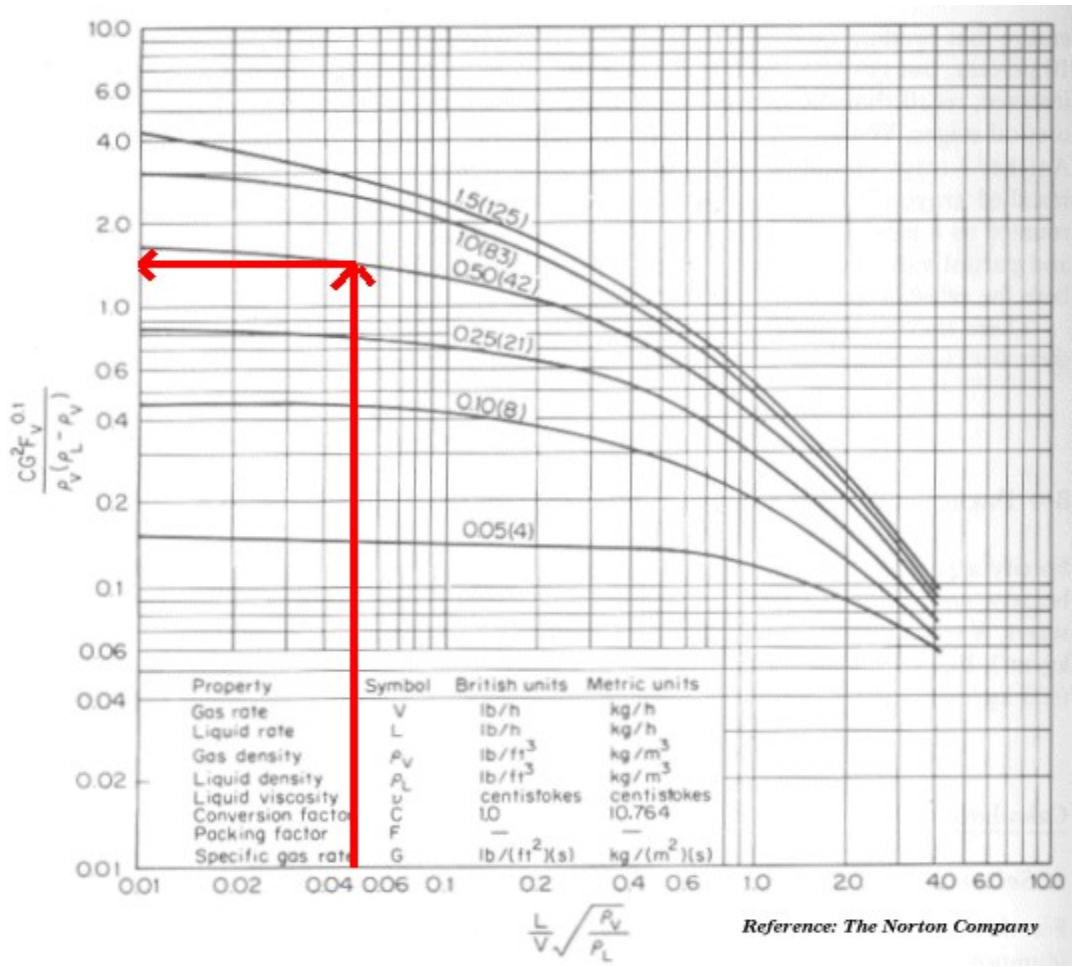
Estas guías son diseñadas en torno a “caídas de presión por inundaciones" documentados en la literatura. En otras palabras, en muchos casos, diseñando con esas caídas de presión ayudaría a evitar desbordarse.

Perry's Chemical Engineers' Handbook cubre muy bien este tópico. Ya que estamos diseñando un absorbedor, diseñaremos para 42 mm agua / m empaque (caida de presión, pero la columna aumentaría en diámetro y costaría mas). Primero evaluaremos el eje x en el grafico de arriba:

(L/V)(densidad de vapor/densidad de liquido)$^{0.5}$ = (5000/7000)(4.2/833)$^{0.5}$ = 0.0507

Note que la densidad del vapor es 4.2 kg/m^3. La densidad promedio del vapor fue dada como 4.8 kg/m^3. Sin embargo, en el tope de la columna, el vapor será menos denso a su mayor velocidad. Como una regla, yo reduje la densidad promedio del

vapor en 15% para efecto de diseño, sin embargo si usted puede obtener data real de una torre similar, en buena hora, hágalo. Leyendo la línea de intersección de 42 mm agua/m empaque y 0.05 sobre el eje x, encontramos un valor de 1.5 para el eje y:



De los charts previos, leemos un factor de empaque de 24 para anillos plásticos pall (plastic Pall rings) de 2". Toda la otra información es conocida tal que podemos calcular G como se muestra en el eje y del gráfico:

$G^2 = 1.5\ [\rho_v(\rho_L - \rho_v)] / (C.F.\mu^{0.1})$

$G = \{1.5\ [(4.2)(833\text{-}4.2)]/[(10.764)(24)(0.48)^{0.1}]\}^{0.5} = 4.66$ kg/m^2 s

Ahora, calculamos el área de sección transversal de la columna:

Ax = Flujo de vapor/ G = 7000 kg/h / [(4.66 kg/m^2 s)(3600 s/hora)] = 0.42 m^2

Y el diámetro de la columna es calculado por:

Diametro = $[4.A /3.1416)]^{0.5}$ = 0.73 m or 2.4 ft

Por lo tanto, el diámetro asumido de 24" de diámetro de la columna es correcto. Si no hubiera sido el estimado, se puede calcular G utilizando un empaque mas pequeño para el cual correspondería un factor de empaque mayor.

PASO 3: DETERMINAR ALTURA DE LA COLUMNA

Tal vez el paso mas interesante en el diseño de una columna empacada, es decidir cuan alta será la columna. Si el diseño es preliminar se trabaja con HETP (Height

Equivalent to a Theoretical Plate). Si el diseño requiere de un alto grado de precision, se recomienda consultar al fabricante de empaques o el libro Distillation Design by Henry Kister (McGraw-Hill, ISBN 0-07-034909-6). Distillation Design contiene una lista minuciosa de valores HETP basados en los componentes del sistema y el tipo de empaque usado (Chapters 10 and 11).

Para estimaciones preliminares, se usarán los siguientes valores HETP:

SETUP		HETP expresado en pies (metros)
Método	*Tamaño del empaque (in)*	
Destilación	1.0	1.5 (0.46)
	1.5	2.2 (0.67)
	2.0	3.0 (0.91)
Destilación al vacío	1.0	2.0 (0.67)
	1.5	2.7 (0.82)
	2.0	3.5 (1.06)
Absorción/Stripping	Todos los tamaños	6.0 (1.83)

Para determinar la altura de la torre de absorción en este ejemplo, multiplicamos las 20 etapas teóricas por 6 pies ó 1.83 m. Determinamos la altura de la torre en 120 ft o cerca de 37 meters.

OTHER NOTES: La torres empacadas son ampliamente usadas en destilación. Tal vez la mas popular es la destilación al vacío del etilbenceno y estireno en la Producción de Estireno.