

ABSORCION

El método más común de tratar residuos para reducir el nivel de contaminantes orgánicos es desorbiendo “agotando” el vapor, particularmente cuando el punto de ebullición del contaminante es más bajo que el punto de ebullición del agua (tales como el [cloruro de metileno](#), [acetona](#), [metanol](#), [benceno](#), y [tolueno](#)).

--Chemical Engineering Progress, April 1996, p.56

9.1 ABSORCIÓN DE GASES

Absorción es el proceso por el cual uno o mas componentes de una fase gas son removidos, siendo absorbidos en un liquido no volátil. La fase liquida es la masa del agente de separación, la cual consigue la separación mediante la absorción. La desorción (“stripping”) es lo contrario a la absorción; el contaminante es removido desde el liquido a la fase gas.

La absorción puede ser ya sea física o química. La absorción física usa la ventaja de la diferencia de solubilidades de los componentes gaseosos para removerlos entre las fases gas y liquido. La absorción química (la cual no es estudiada aquí) requiere que el gas a ser removido reaccione con un componente en el liquido y permanezca en el. La absorción química involucra reacciones químicas reversibles e irreversibles; las reacciones reversibles hacen posible reciclar el liquido solvente.

Algunas cosas para recordar de la absorción y desorción:

- La absorción y desorción, son en su mayoría PROCESOS FÍSICOS. Sin tener en cuenta que componentes químicos se están separando, los principios básicos de diseño para la absorción y desorción son siempre similares.
- La asunción de que las etapas en una columna de absorción o desorción están en equilibrio, permite el calculo de concentraciones y temperaturas sin el conocimiento detallado de patrones de flujo y velocidades de transferencia de masa y calor. Esta asunción es la principal simplificación.
- La absorción y la desorción son similares a la destilación debido a que estas involucran equilibrio entre una fase liquida y una fase vapor. Como la destilación, la absorción y la desorción pueden ser llevadas a cabo en columnas de platos o empacadas.

- Debido a que la alimentación esta ya en fase vapor, las columnas de absorción usualmente no requieren de rehervidores y condensadores.
- Puede usarse el método de análisis de McCabe-Thiele analysis para modelar los procesos de absorción física y desorción.
- El método de la HTU-NTU puede usarse para modelar columnas de absorción, desorción, o destilación las cuales contengan empaques continuos en lugar de platos discretos.

Ventajas

- Las columnas de absorción usualmente no requiere rehervidores o condensadores
- A veces puede reciclarse el solvente de absorción (a menudo a través de una columna de desorción)

Desventajas

- La absorción química usualmente tiene solo baja eficiencias de Murphree.

9.2 APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES

- Remoción de gases ácidos a partir de corrientes gaseosas
- Remoción de contaminantes de corrientes de gases (absorción) o corrientes liquidas (stripping)
- Remoción de VOC de corrientes de agua

9.3 ANÁLISIS DE McCABE-THIELE : ABSORCIÓN

9.3.1 Regla de las Fases

Recordar que la regla de las fases de Gibbs es:

$$\text{Grados de libertad} = \text{número de componentes} - \text{número de fases} + 2 \quad (9.1)$$

La absorción involucra una fase gas y una fase liquida, y usualmente involucra tres componentes: dos en la fase gas (uno de los cuales está siendo removido) y uno en la fase liquida. Entonces la regla de las fases da tres grados de libertad para un sistema de absorción. Temperatura y presión constantes, son usualmente buenas asunciones, así que solamente permanece solamente un grado de libertad. Cuando se especifica una composición de una de las fases, se fijan todas las demás variables.

Asunciones típicas para este análisis son:

1. El gas portador es insoluble.
2. El solvente es no volátil.
2. El sistema esta a temperatura y presión constantes.

9.3.2 Datos de Equilibrio

Los datos de equilibrio son usualmente representados graficando la composición del soluto en la fase vapor versus la composición del soluto en la fase liquida. Si la concentración del soluto es muy baja (sistema ideal), la ley de Henry puede ser un método muy útil para graficar los puntos de los datos de equilibrio.

$$\text{Ley de Henry:} \quad p_B = H_B \cdot x_B \quad (9.2)$$

Donde H_B es la constante de Henry del gas (atm/mol frac), x_B es la fracción molar del soluto (B) en el liquido, y p_B es la presión parcial de B en el vapor. Recordar que la presión parcial esta relacionada a la fracción molar:

$$y_B = \frac{P_B}{P_{total}} \quad (9.3)$$

Así ahora la ley de Henry puede escribirse como:

$$y_B = \frac{H_B}{P_{total}} x_B \quad (9.4)$$

lo cual dará una línea recta si H_B es una constante.

Muchos problemas de absorción de polución involucran monóxido de carbono, dióxido de carbono, y sulfuro de hidrógeno. Las constantes de la ley de Henry (atm/mol frac) para estos solutos en agua son listados en la [Tabla 1](#); notar que el más alto valor de la constante de la ley de Henry, lo da el soluto menos soluble.

Tabla 1: Constantes de la ley de Henry para pululantes seleccionados

T (°C)	CO ₂	CO	H ₂ S
0	728	35200	26800
5	876	39600	31500

20	1420	53600	48300
25	1640	58000	54500
100	-----	84600	148000

La dependencia de la temperatura de la constante de Henry del gas usualmente sigue la relación de Arrhenius:

$$H = H_0 \exp \left[\frac{-E}{RT} \right] \quad (9.5)$$

Típicamente, la solubilidad de un gas en una fase líquida disminuye a medida que la temperatura aumenta. Así, los absorbedores a menores temperaturas que las columnas de desorción “stripping”.

9.3.3 Líneas de Operación (balances de masa)

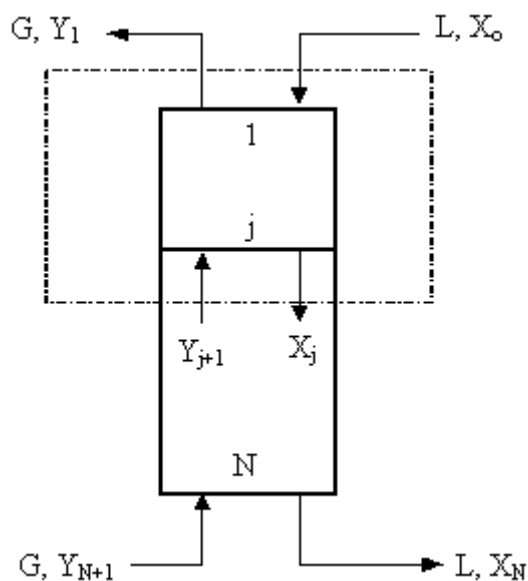


Fig. 9.1 Esquema de una columna de absorción

G = corriente de gas

L = corriente líquida

Y₁ = soluto en la corriente de gas tratado (razón molar)

X₀ = soluto en la corriente de líquido de entrada (razón molar)

Y_{N+1} = soluto en la corriente de entrada del gas (razón molar)

X_N = soluto en la corriente de salida de líquido (razón molar)

Subíndices corresponden al número de la etapa de corriente de salida

Usando las asunciones de que el liquido es no volátil y el gas portador es insoluble, los balances de masa son:

$$L_N = L_j = L_o = L = \text{constante} \quad (\text{balance de liquido})$$

$$G_{N+1} = G_j = G_1 = G = \text{constante} \quad (\text{balance de masa de gas portador})$$

También podemos decir que:

$$\frac{L}{G} = \frac{\text{moles de liquido no volátil/hr}}{\text{moles de gas portador insoluble/ hr}} = \text{constante} \quad (9.6)$$

No podemos aseverar que las velocidades totales de gas y liquido son constantes (excepto para soluciones muy diluidas) porque puede ser absorbido una significativa cantidad de soluto. Las composiciones del soluto pueden entonces ser expresadas en razones molares de tal manera que las bases (denominador) es constante. Las razones molares son relacionadas a fracciones molares mediante las ecuaciones:

$$Y = \frac{y}{1-y} = \frac{\text{moles soluto}}{\text{moles gas transportador insoluble}} \quad (9.7)$$

$$X = \frac{x}{1-x} = \frac{\text{moles soluto}}{\text{moles liquid puro}} \quad (9.8)$$

Así, el balance de soluto es:

$$Y_{j+1}G + X_oL = X_jL + Y_1G \quad (9.9)$$

Resolviendo para Y_{j+1} se tiene:

$$Y_{j+1} = \frac{L}{G} X_j + \left(Y_1 - \frac{L}{G} X_o \right) \quad (9.10)$$

Esta es la línea de operación para absorción.

Nota: dos asunciones adicionales son necesarias para omitir los balances de energía:

1. El calor de absorción es despreciable.
2. El proceso es isotérmico.

9.3.4 Procedimiento para la solución gráfica de problemas de absorción

1. Graficar los datos de equilibrio Y vs X (asegurarse de convertir las fracciones molares a razones molares)
2. Los valores de X_o , Y_{N+1} (concentraciones de entrada del soluto o valores similares), y L/G (razones de flujo) son usualmente dados. Un punto sobre la línea de operación está representado por las corrientes de paso: (X_o, Y_1) . Y_1 es el valor deseado de salida. Usando este punto y una pendiente de L/G , graficar la línea de operación.
3. Comenzar a trazar las etapas de la manera usual, comenzando en la etapa 1.

Esto parecerá ligeramente diferente del método de McCabe-Thiele para la destilación (la línea de operación está ahora antes de la línea de equilibrio), porque el soluto está transfiriéndose ahora del gas al líquido en lugar de el líquido al gas.

Ejemplo 9.1: Columna de Absorción

Una corriente de gas de respiradero en su planta química es 15.0 % peso de Z; Lo demás es aire. Las autoridades locales de contaminación del medio ambiente consideran que Z es un contaminante prioritario y requiere una concentración máxima de la salida de 4.0 % wt. Usted ha resuelto construir una torre de absorción usando agua como absorbente. El agua de la entrada es pura y a 30 ° C. La operación es esencialmente isotérmica. En 30 ° C, su laboratorio ha encontrado que los datos de equilibrio pueden ser aproximados por $y = 0.5x$ (donde la y y x son fracciones de peso de Z en vapor y el líquido, respectivamente).

- a) Encontrar la razón mínima de agua a aire $(L/G)_{\min}$ (sobre una base de Z-libre).
- b) Con una $L/G = 1.22(L/G)_{\min}$, encontrar el número total de etapas de equilibrio y la concentración de salida del líquido.

Solución

El primer paso es graficar la curva de equilibrio usando la relación dada (ver [Figura 9.3](#)).

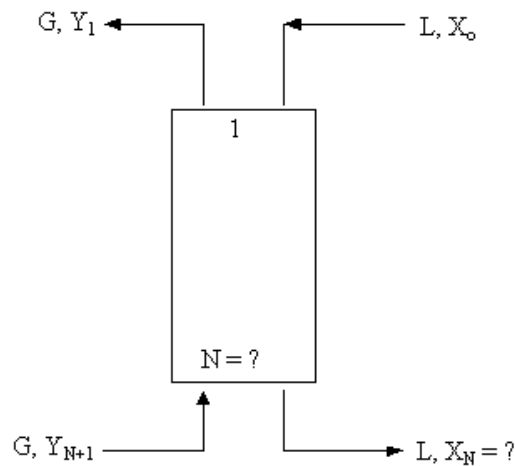


Fig. 9.2 Esquema de la columna de absorción para el ejemplo

Desde que las variables conocidas son dadas en fracciones de peso, los datos serán graficados como razones de peso en lugar de razones molares. El siguiente paso es encontrar $(L/G)_{\min}$. Esto es el caso donde la columna tendría etapas infinitas, y son propias de un punto extremo. Para sacar la línea operativa con pendiente mínima, conectar (X_0, Y_{N+1}) y el punto donde la línea de equilibrio cruza el valor Y_{N+1} . Este segundo punto fue fácil de encontrar de los datos de equilibrio (no se olvide de convertir las fracciones de peso a razones de peso !), y los dos puntos se usan para encontrar la cuesta: $(L/G)_{\min} = 0.315$. Esta línea es descrita como una línea verde en la gráfica. La actual línea de operación fue graficada con una pendiente de 1.22 $(L/G)_{\min} = 0.384$, también a partir del punto (X_0, Y_{N+1}) . Trazando los escalones hacia abajo da ligeramente más que 4 etapas, lo cual es redondeado a 5 etapas. La concentración de líquido de la conexión de salida para a 5 etapas es leída de la gráfica como $X_N = 0.352$, o 26 % en peso de Z.

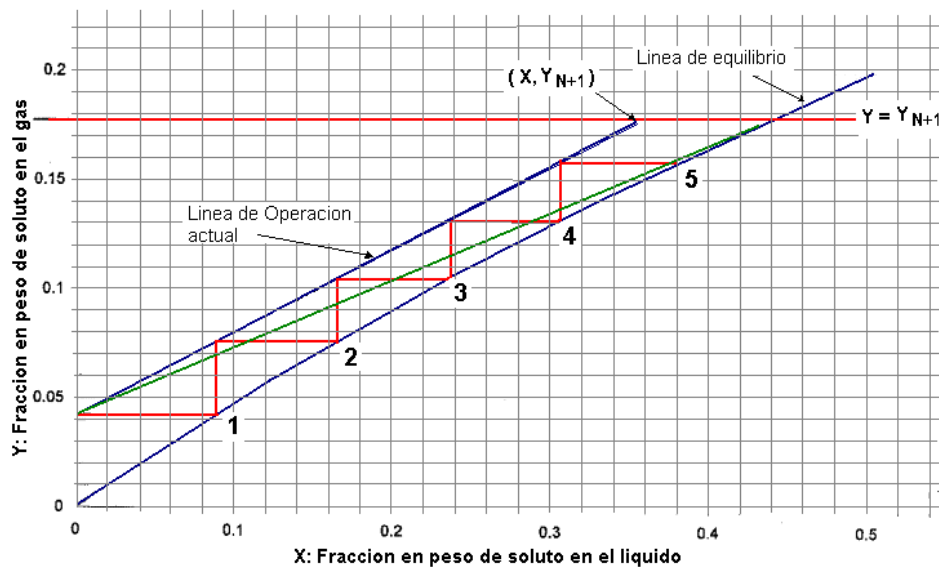


Fig. 9.3 Ejemplo de absorción