

DIEGO BETHANCOURTH
ID UB3566SCH8528

INTRODUCTION TO SEPARATION PROCESS

ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY
Honolulu, Hawai
SUMMER 2007

DIEGO BETHANCOURTH

INDICE

1. OBJETIVOS.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. EQUILIBRIO DE SOLUBILIDAD DE GASES EN LÍQUIDOS.....	4
3.1 SOLUCIONES LÍQUIDAS IDEALES.....	4
3.2 SOLUCIONES LÍQUIDAS NO IDEALES.....	5
4. SELECCIÓN DEL DISOLVENTE PARA ABSORCIÓN.....	5
5. MECANISMO DE ABSORCIÓN. TEORÍA DE DOS PELÍCULAS.....	6
5.1. DIFUSIÓN DE UN GAS A TRAVÉS DE UN GAS ESTACIONARIO.....	7
5.2. DIFUSIÓN A TRAVÉS DE LA PELÍCULA LÍQUIDA.....	9
6. VELOCIDAD DE ABSORCIÓN.....	9
6.1. COEFICIENTES GLOBALES.....	10
6.2. RELACIÓN ENTRE LOS COEFICIENTES GLOBALES E INDIVIDUALES.....	11
7. VALORES DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE MATERIA.....	11
8. ABSORCIÓN ASOCIADA CON REACCIÓN QUÍMICA.....	12
9. ECUACIONES DE DISEÑO.....	13
9.1. CÁLCULO DE LA ALTURA.....	13
9.1.1. MÉTODO DE PETERS.....	13
10. VENTAJAS.....	16
11. CONCLUSIONES.....	16
12. OPINIÓN PERSONAL.....	16
13. BIBLIOGRAFÍA.....	16

Operaciones de separación por contacto continuo. Absorción

1. Objetivos

Este tema está dedicado al estudio de los procesos de absorción. En él se aborda de forma detallada el problema del diseño del equipo necesario para llevar a cabo dicha operación, considerando un contacto continuo entre las fases (gas-líquido). Se introducen los conceptos básicos necesarios para el cálculo de la altura de la columna en el caso de absorción con reacción química y de absorción no isoterma.

2. Introducción

Este tema está dedicado a la absorción, aunque realmente todas las ecuaciones y consideraciones son aplicables a sistemas fluido-fluido donde se pongan en contacto dos disolventes inmiscibles. Será por tanto aplicable a la extracción líquido-líquido de mezclas inmiscibles.

La eliminación de una o más sustancias de una mezcla de gases por absorción en un líquido adecuado es la segunda operación en cuanto a frecuencia en la industria química, sólo por detrás de la rectificación. Se trata de una operación de transferencia de materia controlada por la difusión de materia. Por ejemplo, la acetona puede ser eliminada de una mezcla de acetona-aire haciendo pasar la mezcla gaseosa a través de agua, donde se disuelve la acetona, mientras que el aire prácticamente pasa inalterado. Del mismo modo, los gases de un horno de producción de coque pueden ser tratados con agua para eliminar el amoníaco, y posteriormente un aceite mineral para eliminar o recuperar los vapores de benceno o tolueno. En estos casos, el proceso se puede tratar como un proceso físico, ya que posibles reacciones químicas tendrían un efecto despreciable.

Por otra parte, el SH_2 puede eliminarse del gas natural por tratamiento con soluciones alcalinas. El dióxido de carbono puede retenerse por tratamientos similares, los óxidos de nitrógeno se pueden absorber en agua para dar ácido nítrico, los óxidos de azufre para dar sulfúrico, etc. En estos casos la reacción química desempeña un papel muy importante en el proceso modificando la velocidad de absorción. Así pues, se pueden dividir los procesos de absorción en dos grupos: con reacción química y sin reacción química. En relación al equipo para absorción, el principal requisito es conseguir un contacto íntimo del gas y el líquido. La forma general de los equipos es la habitual, y se utilizan tanto torres de pisos como de relleno, del tipo de las utilizadas en rectificación.

En absorción el alimento es un gas que se introduce en parte inferior de la columna y el disolvente se alimenta por la cabeza como líquido. La diferencia esencial con la rectificación estriba en que en esta operación el vapor se produce en cada etapa por vaporización parcial del líquido, que por tanto está a su temperatura de burbuja, mientras que en absorción el líquido está muy por debajo de esta temperatura. En destilación hay difusión de moléculas en ambas direcciones de forma que en un sistema ideal existe contradifusión equimolecular, pero en absorción las moléculas de gas se difunden hacia el líquido, siendo despreciable el movimiento en la dirección contraria. En general, la relación de caudales líquido a gas es considerablemente mayor en absorción que en rectificación, con dos consecuencias lógicas:

- la disposición de los pisos debe ser diferente en ambos casos, cuando la operación se realiza por etapas.
- al ser mayor el caudal de líquido se utilizan más frecuentemente columnas de relleno.

3. Equilibrio de solubilidad de gases en líquidos

La velocidad a la que un componente de una mezcla gaseosa se disuelve en un absorbente (o se desorbe de un líquido) depende de la diferencia de concentración con respecto a la de equilibrio. Así pues es necesario considerar las características del equilibrio líquido-gas. La solubilidad de un gas en un líquido, a una temperatura dada, aumenta con la presión.

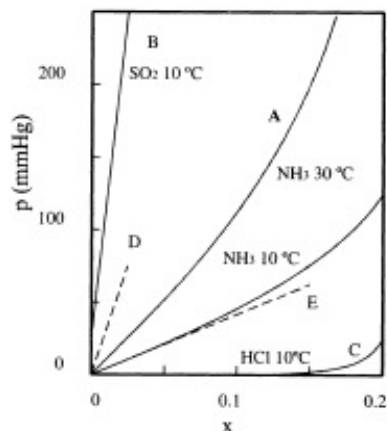


Figura 1

En la figura 1, donde se representa la solubilidad de distintos gases en agua a distintas temperaturas. Si la presión de equilibrio de un gas a una determinada concentración en la fase líquida es alta (curva B de la figura 1), se dice que el gas es relativamente insoluble en el líquido (es el caso del dióxido de azufre), mientras que si es baja (curva C), se dice que es muy soluble (como ocurre con el cloruro de hidrógeno). Aunque estos son siempre términos relativos; ya que, en principio, resultaría posible alcanzar cualquier concentración del gas en el líquido aumentando lo suficiente la presión, y siempre que el gas licuado fuera totalmente miscible con el absorbente. La solubilidad de cualquier gas está influenciada por la temperatura de acuerdo con la ley de Van't Hoff: si la temperatura de un sistema en equilibrio se aumenta, el sistema debe evolucionar de forma que absorba calor. Normalmente, aunque no siempre, la disolución de gases es un proceso exotérmico y por tanto, la solubilidad de los gases decrece al aumentar la temperatura. Las curvas de equilibrio a mayores temperaturas aparecerán por encima de las correspondientes a temperaturas más bajas. A la temperatura de ebullición del disolvente, y siempre que su presión de vapor sea menor que la del soluto (gas o vapor), la solubilidad será cero.

3.1 Soluciones líquidas ideales

Cuando una fase líquida puede considerarse ideal se pueden calcular las presiones y composiciones de equilibrio sin necesidad de experimentación. Hay cuatro aspectos destacables de las soluciones ideales:

1. Las fuerzas intermoleculares medias de atracción o repulsión no se alteran por la mezcla de los constituyentes.
2. El volumen de la disolución varía linealmente con la composición.

3. No hay ni absorción ni desprendimiento de calor en la mezcla. En el caso de gases que se disuelven en líquidos este criterio no debe incluir el calor de condensación del gas al estado líquido.

4. La presión de vapor total de la disolución varía linealmente con la composición del líquido expresada en fracciones molares. En realidad no hay disoluciones ideales, y la mezclas reales sólo se aproximan en mayor o menor medida a la idealidad.

3.2. Soluciones líquidas no ideales

Para soluciones líquidas no ideales la siguiente ecuación

$$p = P^{\circ}x$$

proporciona resultados muy incorrectos. La línea D de la figura 1 representa la presión parcial del amoníaco en equilibrio con disoluciones de agua a 10 °C, suponiendo que se cumple la ley de Raoult.. Por otra parte, la curva real puede representarse adecuadamente, hasta determinadas presiones relativas por la recta E de la figura 1, de ecuación:

$$p = Hx$$

que representa la ley de Henry. Esta ecuación es aplicable a todos los sistemas, por lo menos hasta unas determinadas condiciones. Las desviaciones de la ley de Henry en amplios intervalos de concentración pueden ser debidos a la interacción química con el disolvente, a la disociación electrolítica, o a no idealidades de la fase gas. Los gases poco solubles en agua del tipo del nitrógeno o el oxígeno debe esperarse que sigan este comportamiento hasta presiones parciales de equilibrio del orden de 1 atm. Los gases del tipo vapor (que están por debajo de su temperatura crítica) lo harán, generalmente, hasta presiones del orden del 50 % del valor de saturación a cada temperatura, siempre que no haya reacción química.

En general, para determinar el equilibrio en la mayoría de los sistemas reales se podrá utilizar la siguiente ecuación:

$$p = H \frac{\gamma x}{\gamma_{inf}}$$

donde γ y γ_{inf} son los coeficientes de actividad de la disolución y de una disolución a dilución infinita, respectivamente. Esta ecuación, ya implica una serie de aproximaciones (entre otras la de vapor ideal). Caso de no poder considerar como ideal la fase vapor se deberá sustituir la presión parcial por la fugacidad.

4. Selección del disolvente para absorción

Si el principal objetivo de la operación de absorción es producir una disolución específica, como en la producción de ácido clorhídrico, evidentemente el disolvente está especificado por la naturaleza del producto. Si el propósito principal es eliminar un determinado constituyente de un gas, normalmente, habrá diversas opciones. El agua es, desde luego, el más barato y mejor disolvente, pero en muchas ocasiones no resulta adecuado. En general hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Solubilidad del gas

La solubilidad del gas debe ser elevada, lo que se traduce en aumentos de la velocidad de absorción y disminución de la cantidad de disolvente. Normalmente los disolventes de la misma naturaleza que el soluto a ser tratado proporcionan buenas solubilidades. Así por ejemplo, se utilizan hidrocarburos líquidos, y no agua, para eliminar benceno del gas de coquería. En los casos de disoluciones ideales, la solubilidad es igual en términos de fracciones molares, para todos los disolventes. Pero es mayor en términos de fracciones másicas para los disolventes de menor peso molecular y, por tanto, son necesarias menores cantidades de esos disolventes. La reacción química con el disolvente normalmente se traduce en aumentos de la solubilidad. Ahora bien, si el disolvente ha de ser reutilizado, dicha reacción debe ser reversible. Por ejemplo, el sulfuro de hidrógeno se absorbe fácilmente a bajas temperaturas sobre etanolamina y también se desorbe fácilmente de sus disoluciones a altas temperaturas. La sosa absorbe mucho mejor este compuesto, pero no lo desorbe en la operación de desorción.

- Volatilidad

El disolvente debe tener una baja presión de vapor, ya que el gas que abandona una torre de absorción está normalmente saturado con el vapor del disolvente, y por tanto, la mayoría de este disolvente se perderá. En ocasiones es necesario utilizar un segundo líquido menos volátil para recuperar el disolvente arrastrado por el gas, como es el caso de la absorción de hidrocarburos por aceites relativamente volátiles, pero que proporcionan una elevada solubilidad de los gases. Estos aceites volátiles se recuperan posteriormente absorbiéndolos sobre aceites más pesados. Análogamente, el sulfuro de hidrógeno puede absorberse sobre disoluciones acuosas de fenolato sódico, pero el gas tratado se lava de nuevo con agua para recuperar el fenol evaporado.

- Corrosividad

La corrosividad del disolvente debe ser tal que no implique materiales de construcción especiales o muy caros.

- Coste

El coste debe ser bajo, de forma que se puedan aceptar las posibles pérdidas del mismo. Debe tratarse de disolventes comerciales de fácil disponibilidad.

- Viscosidad

Se prefieren bajas viscosidades ya que proporcionan rápidas velocidades de absorción, mejor comportamiento fluidodinámico, permiten intervalos más amplios de operación antes del anegamiento en torres de absorción, bajas pérdidas de presión en el bombeo y buenas características de transmisión de calor.

- Toxicidad, reactividad, punto de congelación.

El disolvente, siempre que sea posible, no debe ser tóxico o inflamable, debe ser estable químicamente y debe tener un bajo punto de congelación.

5. Mecanismo de absorción. Teoría de dos películas

La descripción más útil del proceso de absorción, desde el punto de vista conceptual, es probablemente la teoría de dos películas debida a Whitman. De acuerdo con esta teoría, la materia se transfiere en el seno de las fases de un sistema bifásico, como el mostrado en la figura 2, por convección. Las diferencias de concentraciones se consideran despreciables excepto en la proximidad de la interfase. Se supone que a cada

lado de esta interfase las corrientes de convección se interrumpen y existen sendas películas de fluido en las que la materia se transfiere por difusión molecular. Estas películas deben tener un espesor ligeramente superior que el de la capa sublaminar, ya que ofrecen una resistencia equivalente al total de la capa límite. De acuerdo con la ley de Fick, la velocidad de transferencia por difusión es proporcional al gradiente de concentración y al área de la interfase en la que está ocurriendo la difusión.

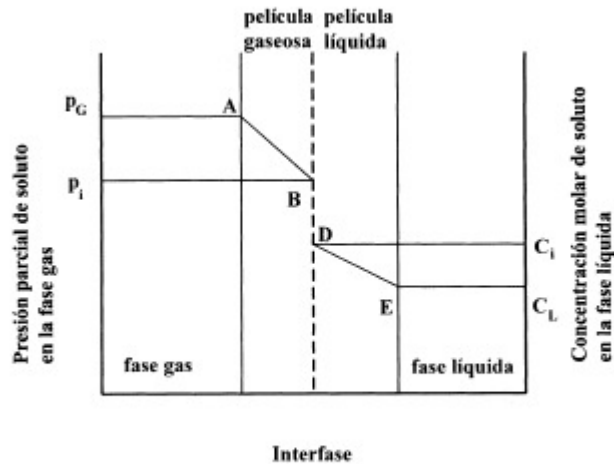


Figura 2

La dirección de la transferencia de materia a través de la interfase no depende en sí de la diferencia de concentraciones entre las fases, sino de las relaciones de equilibrio y de la diferencia de concentraciones de las fases respecto a las de equilibrio. Para una mezcla de aire y amoníaco o cloruro de hidrógeno en equilibrio con una disolución acuosa, la concentración en el agua es muchísimo mayor que en el aire. Hay por tanto una diferencia de concentraciones muy grande de una fase a otra, pero esta no es la responsable de la transferencia de materia. Se supone que en la interfase no hay resistencia a la transferencia de materia y el equilibrio se alcanza instantáneamente. El factor controlante será la resistencia opuesta por las dos películas, tanto la líquida como la gaseosa. El cambio de concentración de un componente se muestra de forma esquemática en la figura 2 en función de la distancia a la interfase. p_G representa la presión parcial del componente en la fase gas y p_i la presión parcial en la interfase, en equilibrio con C_i , concentración del componente en cuestión en la fase líquida, donde la concentración es C_L . Evidentemente, si se trabajase con actividades no habría discontinuidad en la interfase, ahora bien, es más frecuente trabajar con concentraciones y por tanto, todo el tratamiento se desarrollará en concentraciones.

5.1. Difusión de un gas a través de un gas estacionario

El proceso de absorción puede contemplarse como la difusión de un gas soluble en un líquido. Las moléculas de A deben difundirse a través de una película de gas estacionario y posteriormente a través de una película estacionaria de líquido, antes de entrar en el seno de la fase líquida. La absorción de un gas consistente en un componente soluble A y un componente insoluble B (la simplificación más frecuente en los

problemas de absorción) es un problema de transferencia a través de un gas estacionario, para el que se puede aplicar la ley de Stefan:

$$N'_A = -D_V \frac{C_T}{C_B} \frac{dC_A}{dz}$$

donde:

- N'_A representa la velocidad global de transferencia de materia (mol o kg/ unidad de área y unidad de tiempo)
- D_V es la difusividad en la fase gas
- C_A , C_B Y C_T , son las concentraciones molares de A, B y gas total, respectivamente.

Considerando que $C_T = C_A + C_B$ (C_T es constante) e integrando para todo el espesor de la película, z_G , y representando las concentraciones a ambos lados de la película por los subíndices 1 y 2, se obtiene:

$$N'_A = D_V C_T \frac{\ln\left(\frac{C_{B_1}}{C_{B_2}}\right)}{z_G} = D_V P \frac{\ln\left(\frac{P_{B_1}}{P_{B_2}}\right)}{RT z_G} \quad (\text{para gas ideal})$$

ya que $C_T = P/RT$. Llamando P_{B_m} , a la media logarítmica de las presiones P_{B_1} y P_{B_2} :

$$P_{B_m} = \frac{P_{B_2} - P_{B_1}}{\ln \frac{P_{B_2}}{P_{B_1}}}$$

se puede escribir:

$$N'_A = D_V P \frac{P_{B_2} - P_{B_1}}{P_{B_m} RT z_G} = D_V P \frac{P_{A_1} - P_{A_2}}{P_{B_m} RT z_G}$$

Así pues, la velocidad de absorción de A por unidad de área y tiempo se puede expresar como:

$$N'_A = k_G P \frac{p_{A_1} - p_{A_2}}{P_{B_2}}$$

o

$$N'_A = k_G (p_{A_1} - p_{A_2})$$

donde

$$k_G = \frac{D_V}{RTz_G} = \frac{P_{B_2}}{P} k_G$$

5.2. Difusión a través de la película líquida

La velocidad de difusión en líquidos es mucho menor que en gases, y las mezclas de líquidos pueden necesitar tiempos muy largos para alcanzar el equilibrio, a menos que se agiten. Esto es parcialmente debido al espaciado más estrecho entre sus moléculas, que resulta en atracciones moleculares mucho más grandes. Aunque hasta el momento no existe una base teórica para la velocidad de difusión en líquidos comparable a la teoría cinética de los gases, la ecuación básica se considera similar a la de los gases:

$$N'_A = -D_L \frac{dC_A}{dz}$$

que integrada, para N'_A y D_L constantes, resulta:

$$N'_A = -\frac{D_L(C_{A_1} - C_{A_2})}{z_L}$$

donde:

- C_A es la concentración molar de A
- z_L espesor de la película líquida en la que tiene lugar la difusión
- D_L es la difusividad en la fase líquida.

6. Velocidad de absorción

En un proceso de absorción en estado estacionario, la velocidad de transferencia de materia a través de la película de gas será igual que la correspondiente a través de la película de líquido, ya que no hay acumulación en la interfase. Así pues, se puede escribir:

$$N'_A = k_G (p_G - p_i) = k_L (C_i - C_L)$$

donde los subíndices i, G y L hacen referencia a la interfase, la fase gas y la fase líquida, respectivamente.

6.1. Coeficientes globales

El conocer los valores de k_L , o k_G requiere la medida directa de las concentraciones en la interfase. Estos valores sólo se pueden obtener en circunstancias muy especiales, y por ello se tiende a la utilización de coeficientes globales K_L , o K_G , definidos por la siguiente ecuación:

$$N'_A = K_G(p_G - p_e) = K_L(C_e - C_L)$$

La fuerza impulsora es ahora la diferencia de presiones entre el seno de la fase gas y la que estaría en equilibrio con la concentración en el seno de la fase líquida, o bien entre la concentración que estaría en equilibrio con la presión en el seno de la fase gas y la concentración en el seno de la fase líquida.

Por ello, estos coeficientes K_G y K_L , se conocen como coeficientes globales referidos a la fase gas o líquido, respectivamente, ya que se utilizan en combinación con las respectivas fuerzas impulsores globales.

Si se utiliza una fuerza impulsora media logarítmica y un coeficiente medio, se puede escribir:

$$(K_G)_{med} = \frac{N'_A}{(p_G - p_e)_{ml}}$$
$$(K_L)_{med} = \frac{N'_A}{(C_e - C_L)_{ml}}$$

Las concentraciones o presiones a la entrada y a la salida se pueden determinar experimentalmente, y con los datos de equilibrio se puede determinar:

$$(p_G - p_e)_{ml} = \frac{(p_G - p_e)_1 - (p_G - p_e)_2}{\ln \frac{(p_G - p_e)_1}{(p_G - p_e)_2}}$$
$$(C_e - C_L)_{ml} = \frac{(C_e - C_L)_1 - (C_e - C_L)_2}{\ln \frac{(C_e - C_L)_1}{(C_e - C_L)_2}}$$

Por otra parte, N'_A puede conocerse a partir del caudal de entrada y superficie interfacial de transferencia de materia (A):

donde G es el caudal de inerte a la entrada y Y_1 e Y_2 son las razones molares de soluto. Así pues, se puede determinar tanto $(K_G)_{med}$ como $(K_L)_{med}$

$$N'_A = \frac{G(Y_1 - Y_2)}{A}$$

6.2. Relación entre los coeficientes globales e individuales

De las ecuaciones de definición de los coeficientes individuales y globales se puede escribir:

$$N'_A = k_G(p_G - p_i) = k_L(C_i - C_L) = K_G(p_G - p_e) = K_L(C_e - C_L)$$

del segundo y cuarto miembro de se obtiene:

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} \frac{(p_G - p_e)}{(p_G - p_i)} = \frac{1}{k_G} \frac{(p_G - p_i)}{(p_G - p_i)} + \frac{1}{k_G} \frac{(p_i - p_e)}{(p_G - p_i)} = \frac{1}{k_G} + \frac{1}{k_G} \frac{(p_i - p_e)}{(p_G - p_i)}$$

del segundo y tercero:

$$\frac{1}{k_G} = \frac{1}{k_L} \frac{(p_G - p_i)}{(C_i - C_L)}$$

Combinando ambos:

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{1}{k_L} \frac{(p_G - p_i)}{(C_i - C_L)} \frac{(p_i - p_e)}{(p_G - p_i)} = \frac{1}{k_G} + \frac{1}{k_L} \frac{(p_i - p_e)}{(C_i - C_L)}$$

7. Valores de los coeficientes de transferencia de materia

El valor del coeficiente de transferencia o la altura de la unidad de transferencia es el parámetro más importante a la hora de diseñar una torre de absorción. Mientras que los caudales de gas y líquido están determinados por la recuperación deseada, es necesario determinar el flujo por unidad de área más adecuado. El flujo de gas está limitado, ya que no debe exceder el de anegamiento. Por otra parte, hay una importante disminución del rendimiento a bajos caudales de líquido. Así pues es necesario evaluar la influencia de los caudales de gas y líquido, así como de otras variables, tales como la temperatura, presión y difusividad, en los coeficientes de transferencia de materia. Las columnas de paredes mojadas han sido utilizadas por gran número de investigadores para estudiar estos fenómenos, y han servido de base para el desarrollo de las columnas de relleno. La representación de d/z_G frente al número de Reynolds en escala doble logarítmica para una serie de sistemas es lineal, con pendiente 0.83:

$$\frac{d}{z_G} = B Re^{0.83}$$

donde d es diámetro del tubo, z_G es el espesor de la película de gas, Re =número de Reynolds, B es una constante.

8. Absorción asociada con reacción química

Los procesos considerados hasta ahora implican procesos físicos de absorción. Sin embargo, hay un gran número de ocasiones en los que el gas reacciona químicamente con un componente de la fase líquida. Por ejemplo, en la absorción de dióxido de carbono por sosa cáustica ambos compuestos reaccionan en la fase líquida haciendo más complejo el proceso de absorción. Otro ejemplo podría ser la absorción de CO_2 por etanolaminas. En estos casos la película en la fase gas es del tipo de las ya comentadas, pero en la fase líquida hay una película líquida seguida de una zona de reacción. Este proceso de difusión y reacción puede representarse todavía por la teoría de la película de Hatta. En el caso considerado, la reacción es irreversible y del tipo en el que un componente A se absorbe de una mezcla por una sustancia B en la fase líquida, que se combina con A, de acuerdo con la reacción:



Conforme el gas se acerca a la interfase líquida, se disuelve y reacciona a la vez con B. El nuevo producto AB formado (si no es volátil), se difunde hacia el seno de la fase líquida. La concentración de B en la interfase disminuye. Esto se traduce en la difusión de B desde el seno de la fase hacia la interfase.

Si la reacción química es rápida, B se elimina muy rápidamente, de forma que el gas A debe difundirse a través de parte de la película líquida antes de encontrarse con B. Por lo tanto hay una zona de reacción entre A y B que se separa de la interfase gas-líquido, situándose en algún lugar hacia el seno de la fase líquida. La posición final debe ser tal que la velocidad de difusión de A desde la interfase gas-líquido iguale la velocidad de difusión de B desde el seno de la fase líquida.

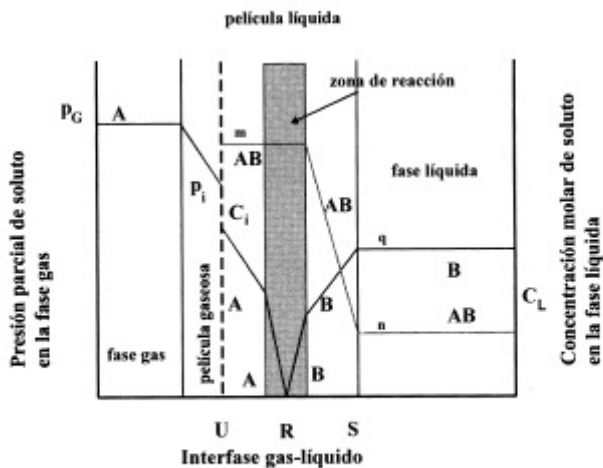


Figura 4

Cuando se alcanza el régimen estacionario, la situación se puede representar como en la figura 4. La interfase gas-líquido corresponde a la línea U, la zona de reacción a la zona R y la línea S representa el límite de la película líquida. El gas se difunde a través de la película gaseosa por acción de la fuerza impulsora $pG-pi$, y se difunde hacia la zona de reacción por la fuerza impulsora Ci en la fase líquida. El componente B se difunde desde el seno de la fase líquida a la zona de reacción por la fuerza impulsora q , y el componente AB se difunde hacia el seno del líquido por la fuerza impulsora $m-n$. Evidentemente, en el seno de la fase líquida no hay componente A.

9. Ecuaciones de diseño

El diseño de los aparatos de contacto continuo supone la determinación del diámetro y la altura de relleno. El cálculo del diámetro se basa en consideraciones hidrodinámicas. Para determinar el diámetro se calcula el caudal óptimo a partir de las velocidades de carga y anegamiento tal como se indicó en el tema correspondiente a operación de columnas de relleno.

9.1. Cálculo de la altura

Existen básicamente dos procedimientos:

9.1.1. Método de Peters

Se basa en el concepto de altura equivalente de piso teórico (AETP), y propone la siguiente expresión para el cálculo de la altura:

$$h = (AETP)(NET)$$

donde NET es el número de pisos teóricos, que se determina considerando el contacto como discontinuo, como se ha indicado en el tema de extracción líquido-líquido de mezclas inmiscibles.

La AETP se define como la longitud de columna que a todos los efectos equivale a piso teórico. Es decir la longitud de relleno tal que las corrientes que lo abandonan por su parte inferior y por su parte superior están en equilibrio. Evidentemente, si se conoce el valor de la AETP, el cálculo de la altura es muy sencillo, basta con aplicar la ecuación anterior. Sin embargo este método presenta serios inconvenientes:

- No se tiene en cuenta la diferencia entre el contacto continuo y discontinuo, lo que hace que las extrapolaciones sean arriesgadas.

- El cálculo de la AETP es difícil, porque depende muchos factores, entre ellos: el tipo, tamaño y naturaleza del relleno, el caudal de las fases, el intervalo de concentraciones de ambas fases, la temperatura de operación, la presión, etc. En general, se puede decir que este método puede ser válido si se ha obtenido la AETP experimentalmente en sistemas similares a los que se pretende diseñar, resultando, como ya se ha indicado, peligrosas las extrapolaciones.

El valor de la AETP se puede obtener por varios procedimientos:

- Estimación. Como ya se ha indicado, la determinación experimental en condiciones similares a las de la columna a diseñar, es posiblemente el método más seguro de determinarlo.

- Correlaciones. Se han hecho muchos intentos de correlacionar la AETP con las variables del sistema. Por ejemplo, Hand y White proponen la siguiente ecuación para rellenos de anillos Raschig y operaciones gas-líquido.

$$AETP = \frac{70}{\frac{L/S}{D_p \mu_L}} \quad \text{en el sistema inglés de unidades}$$

equivalente a:

$$AETP = \frac{70}{\frac{L/S}{D_p \mu_L}} \quad \text{en el sistema inglés de unidades}$$

donde L = caudal de líquido (lb/h o kg/s)

S = sección de la columna (pies² o m²)

D_p = diámetro de relleno (pies o m)

μ_L = viscosidad del líquido (lb/(pie.h) o kg/(m.s))

En cualquier caso los valores de la AETP deben ser utilizados con prudencia y concederles márgenes del orden del 30-40%.

10. VENTAJAS

- El conocimiento más bien teórico de los principios de diseño de las columnas de absorción es indispensable y ventajoso para el químico industrial, ya que representa el conocimiento necesario para diseñar columnas en las plantas químicas.

11. CONCLUSIONES

- Las columnas de absorción son una herramienta útil para la fabricación de plantas químicas, principalmente en las de petróleo y separación, donde se obtienen productos de procesos de absorción en distintas etapas.
- El conocimiento de la altura de los platos teóricos es necesario para poder fabricar columnas de absorción.

12. OPINIÓN PERSONAL

El conocimiento de las operaciones de separación en química industrial es necesario para la implementación de fabricas químicas necesarias para la separación de productos. Gracias a esto la formación en el currículo de químicos industriales es necesaria.

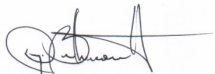
13. BIBLIOGRAFÍA

- **McCabe, W.L., Smith, J.C., Harriott, P.**
Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 4ta edición, McGraw-Hill, 1991.
- **Martínez, Eloísa Rus; Martínez de la Cuesta, Pedro J.**
OPERACIONES DE SEPARACIÓN EN INGENIERÍA QUIMICA, Pearson Educación, 2004.

6. LISTA PARA REVISAR POR SU PROPIA CUENTA EL VALOR DEL DOCUMENTO

Antes de presentar su documento, por favor utilice esta página para determinar si su trabajo cumple con lo establecido por AIU. Si hay más que 2 elementos que no puede verificar adentro de su documento, entonces, por favor, haga las correcciones necesarias para ganar los créditos correspondientes.

- Yo tengo una página de cobertura similar al ejemplo de la página 89 o 90 del Suplemento.
- Yo incluí una tabla de contenidos con la página correspondiente para cada componente.
- Yo incluí un abstracto del documento (exclusivamente para la Tesis).
- Yo seguí el contorno propuesto en la página 91 o 97 del Suplemento con todos los títulos o casi.
- Yo usé referencias a través de todo el documento según el requisito de la página 92 del Suplemento.
- Mis referencias están en orden alfabético al final según el requisito de la página 92 del Suplemento.
- Cada referencia que mencioné en el texto se encuentra en mi lista o viceversa.
- Yo utilicé una ilustración clara y con detalles para defender mi punto de vista.
- Yo utilicé al final apéndices con gráficas y otros tipos de documentos de soporte.
- Yo utilicé varias tablas y estadísticas para aclarar mis ideas más científicamente.
- Yo tengo por lo menos 50 páginas de texto (15 en ciertos casos) salvo si me pidieron lo contrario.
- Cada sección de mi documento sigue una cierta lógica (1, 2, 3...)
- Yo no utilicé caracteres extravagantes, dibujos o decoraciones.
- Yo utilicé un lenguaje sencillo, claro y accesible para todos.
- Yo utilicé Microsoft Word (u otro programa similar) para chequear y eliminar errores de ortografía.
- Yo utilicé Microsoft Word / u otro programa similar) para chequear y eliminar errores de gramática.
- Yo no violé ninguna ley de propiedad literaria al copiar materiales que pertenecen a otra gente.
- Yo afirmo por este medio que lo que estoy sometiendo es totalmente mi obra propia.



Firma del Estudiante

April 18, 2007

Fecha