

Carpeta de Procesos Industriales.
Universidad Tecnológica Nacional.
Facultad Regional San Rafael.
2017.

Ferreyra, Gustavo David.

16 de agosto de 2018

Índice general

Capítulo 1

Extracción

1.1. Introducción

Se denomina **extracción** a la eliminación de un compuesto soluble, presente bien en forma sólida o líquida, de un sólido o un líquido por medio de un disolvente. Se utiliza en gran variedad de industrias, que van desde la extracción de oro de sus minerales, hasta la extracción de los productos farmacéuticos a partir de las plantas. El disolvente no está limitado únicamente al agua, se pueden definir cuatro grupos.

1. *Extracción de un cuerpo soluble de sólidos gruesos.* Incluye materiales que son suficientemente gruesos como para permitir la percolación del solvente a través de ellos. La velocidad de disolución del constituyente deseado es relativamente rápida.
2. *El sólido se presenta más o menos dividido.* El líquido puede fluir a través de ellos fácilmente o puede ofrecer una resistencia considerable al flujo de líquido. Se diferencia del primer grupo en que en estos es necesaria una gran cantidad de tiempo para llevar al material que se desea extraer a la superficie de las partículas y ponerlos en solución.
3. *Sólidos que pueden dividirse finamente.* Pueden quedar en suspensión permanentemente en el disolvente. Aquí en el tiempo necesario para la solución es indiferente, puesto que con tal que el sólido pueda ser puesto en suspensión el proceso continuará.
4. *Extracción de un constituyente disuelto en el líquido que lo contiene por medio de otro líquido Inmiscible con el primero.*

En algunos casos la velocidad de disolución es lo suficientemente grande, como para que en un solo paso del disolvente a través del material produzca una extracción satisfactoria. Después de un lavado con disolvente nuevo que elimina la solución que queda adherida, se descarga el sólido. Pueden descargarse manualmente, pero también se puede automatizar la descarga. Según éste método la solución que se obtiene es relativamente diluída. Para obtener una solución más concentrada se puede usar la operación en contracorriente.

Se trabaja con una batería de extracción, ingresando el agua pura en el depósito con sólido más agotado, fluye por los diferentes depósitos conectados en serie y descarga en el que tiene una carga nueva.

El sólido en cada depósito permanece estacionario hasta que está totalmente extraído. Se puede ingresar agua pura en cualquiera de los tanques y extraer la solución concentrada también en cualquiera de ellos. Un ejemplo en la actualidad es la extracción utilizada en los campos de nitrato de Chile, (extractos de taninos y lixiviado de minerales de cobre).

Para el lixiviado de sólidos granulares puede utilizarse un clasificador Dorr, se puede extraer soluto por un lavado superficial. Se pueden usar varios equipos colocados en contracorriente.

1.2. Equipos para el lixiviado de sólidos gruesos

1.2.1. Depósitos Abiertos

El depósito abierto es la forma más primitiva y contiene un falso fondo o filtro de alguna clase. Se carga al material sólido, y el disolvente se introduce por la parte superior y se hace percolar y descender a través de la carga, y se descarga por debajo del falso fondo. Aquí el disolvente llena completamente el depósito. El filtro inferior puede tener variedad de formas.

1. Tablas perforadas sobre tirantes con muescas.
2. Piezas triangulares sobre tirantes con muescas, relleno el espacio con grava que actúa como medio filtrante.
3. Tirantes finos soportados por otros transversales.
4. Filtros de tela colocado sobre tirantes.

1.3. Lixiviado de sólidos intermedios

Estos sólidos pueden ser sustancias vegetales. la sustancia a extraer está contenida en la estructura de la planta y para ponerla en solución se debe:

1. Moler el sólido para romper las células.
2. Dar tiempo para que el soluto pueda difundir hasta la superficie, donde se podrá poner en contacto el soluto con el disolvente. Las operaciones de este tipo pueden comprender a la extracción de azúcar de la remolacha, y el aceite de las semillas oleaginosas.

1.4. Lecho fijo o batería de difusión

Fue desarrollado para la industria de azúcar, también en la obtención de taninos de las cortezas que los contienen. Consiste en una serie de depósitos llenos de material que ha de extraerse. Las tuberías están dispuestas de forma tal que el agua pura se pone en contacto con el material más agotado y la solución concentrada se extrae en contacto con el material acabado de cargar.

cada célula de la batería se llena y descarga completamente en cada operación a su debido tiempo, por ello las células cambian de posición en el ciclo; las tuberías debe estar dispuestas para que el agua entre en cualquiera de las celdas, y el líquido concentrado pueda descargarse en cualquiera de ellas. En la figura en cada célula o vaso hay un calentador, ya que el proceso se efectúa más rápidamente a alta temperatura. Se usan dos tuberías principales, una para el agua y otra para la solución. En la figura 7.2.a, la célula uno está casi agotada y la tres acaba de cargarse. En la célula uno fluye hacia abajo a través de ella y hacia arriba en el calentador, en la célula dos hacia abajo y hacia arriba en su calentador. En las tres se hace fluir hacia arriba el agua para eliminar el aire entre las cosetas, en cual escapa por una válvula (no se representa en la figura), hasta que tomando la posición indicada en la figura 7.2.b.

Se continúa así hasta que la célula uno este completamente agotada. Estas baterías pueden tener de 10 a 15 células. Cuando la batería se dispone en línea recta debe existir una tercera tubería, llamada tubería de retorno, que lleva la solución de un extremo a otro de la batería.

1.5. Baterías de difusión continuas

Se ha ido reemplazando la batería anterior por otra que necesite menor número de obreros y produzca más concentración en el jugo y extraiga más a las cosetas. Aquí se propone un movimiento continuo de las cosetas por medios mecánicos a través de la batería.

1.6. Lixivado continuo de sólidos finos

El proceso de extracción comprende dos casos, que pueden efectuarse en el mismo equipo.

1. *Disolución de un compuesto* soluble de una mezcla, más o menos íntima con otra constituyente. (Ejemplo: disolución de oro de sus minerales, de cobre de sus minerales oxidados, disolución de azúcar contenido en células de la remolacha, disolución de aceite de las células de las semillas oleaginosas, etc...). En estos casos el material a obtener no sólo ha de ser disuelto, sino que la solución hay que separarla del sólido.
2. *Cuando no hay que efectuar disolución alguna*, sinó que se trata de un sólido suspendido en una solución de la que debe separarse. [(A veces puede efectuarse por filtración).

En muchos casos una reacción química produce un precipitado que debe dejarse libre de solución por lavado. Esto puede efectuarse agitando energéticamente el precipitado con el disolvente, dejar sedimentar y decantar la solución que sobrenada, la operación se repite las veces que sea necesario.

Puede hacerse cada vez con una carga de disolvente nuevo, o puede hacerse en contracorriente con el disolvente, o sea el disolvente nuevo se puede usar únicamente para lavar el precipitado situado en la etapa anterior, que está próximo a ser descargado.

En las operaciones en gran escala es deseable operar en forma continua, y el sistema resultante recibe el nombre de decantación en contracorriente.

1.7. Espesador de Dorr

Es el aparato de sedimentación más utilizado. Consiste en un depósito de fondo plano de diámetro relativamente grande comparado con su profundidad y que lleva un eje central sobre el que van colocados unos brazos que giran a pequeña velocidad. la alimentación se hace en el centro con la menor perturbación posible. El diámetro del depósito se hace de la dimensión adecuada para que el tiempo de permanencia de líquido sea suficiente para que el sólido sedimente. El líquido claro sale por la parte superior a un canal que rodea al depósito, mientras que los brazos móviles llevan el sólido sedimentado al centro del depósito por donde se descarga.

El espesador de Dorr es un dispositivo para separar sólidos de líquidos, pero es útil en procesos de lavado que estamos viendo en la figura 7.11

1.8. Extracción líquido-líquido.

Aunque la extracción líquido-líquido no se emplea con tanta amplitud como la destilación, tiene importantes aplicaciones. En la industria de petróleo, para la refinación de aceite para mejorar sus características de viscosidad. También en la recuperación de hidrocarburos aromáticos de parafinas y de hidrocarburos nafténicos. Para eliminar los compuestos azufrados de las gasolinas. Refinación de aceites vegetales, productos farmacéuticos, etc. Los equipos para la extracción líquido-líquido más sencillos constan de aparatos mezcladores, que consisten en tanques con dispositivos apropiados de agitación. Deben proporcionar suficiente superficie de contacto durante un tiempo adecuado para que tenga lugar la transferencia de soluto. La superficie debe ser conseguida por medio de la dispersión de una fase en la otra, y su magnitud depende del número de gotas formadas por unidad de volumen. No se debe sobrepasar un tamaño mínimo de gotas para evitar dificultades en la posterior sedimentación. También puede separarse por centrifugación.

1.8.1. Torres de extracción

Las torres de extracción operan con las dos fases en forma líquida, moviéndose en contracorriente. La fase pesada se introduce por la cabeza de la torre y la fase ligera por la base de la misma. La primera fluye hacia abajo y la segunda hacia arriba. Las torres de extracción pueden dividirse en:

Torres de platos

Los tipos más corrientes de torres de platos que se utilizan son los de platos perforados y los de platos pantallas. La construcción de los platos es muy similar a las columnas del mismo tipo utilizados en la destilación. Los platos pantallas se caracterizan por el uso de pantallas horizontales para dirigir el flujo de líquido en zig-zag, tanto en el camino hacia arriba como hacia abajo de la torre.

Torres rellenas

Las torres rellenas se utilizan igual que para la destilación. El uso del relleno tiene a aumentar la superficie de contacto entre las fases.

Torres de rociado

Este tipo de torres de extracción es más sencilla. Son torres vacías sin relleno ni platos o pantallas. Uno de los líquidos llena completamente la torre como una fase continua, mientras se dispersa la otra fase a través de ella por rociado. La efectividad del contacto entre las fases es relativamente baja, porque tiene lugar la recirculación de la fase continua y la coalescencia de las burbujas de la fase dispersa, necesitando grandes alturas para asegurar la equivalencia a la etapa teórica. Todo el equipo de extracción descrito utiliza la fuerza de la gravedad para efectuar el movimiento y la separación de las dos fases.

1.8.2. Extractores centrífugos

Los extractores centrífugos aumentan la turbulencia y el grado de contacto por el empleo de elevadas velocidades de rotación. Es particularmente apropiado para fases que tienen una diferencia de densidad muy pequeña o presentan tendencia a la emulsificación. Ver el extractor de Podbielniak. Consiste fundamentalmente en un cilindro de acero A, que contiene un cierto

número de anillos concentricos de chapa de acero perforado B. Este miembro giratorio está unido a unos muñones colocados en cojinetes de bolas C. En uno de los muñones va montada una polea motora D. El líquido pesado se introduce por E, pasa a través del canal F y entra en un plato rotativo por G. Como el elemento giratorio está girando de 2000 a 5000 RPM, la fuerza centrífuga obliga al líquido pesado a pasar por las perforaciones de los platos y a llenar el espacio H, de donde sale al exterior por los canales J y finalmente por las conexiones k. El líquido ligero se introduce por L, pasa por los canales M y descarga cerca de la parte exterior de la sección giratoria en el espacio h. Puesto que el líquido pesado es conducido al exterior por la fuerza centrífuga, desplaza al líquido ligero, que fluye hacia el interior a través de los platos perforados, se recoge en el espacio N y sale al exterior a través de los canales O y conexión P. La posición de la superficie de contacto principal entre el líquido ligero y pesado, se controla por la presión de descarga de líquido más ligero. Si los dos líquidos contienen sólidos en suspensión hay que disminuir la cantidad de los mismos por una corriente de agua que se introduce por Q, y después de pasar a través de los platos, sale por los mismos canales J por donde sale el líquido más ligero. hay una serie de agujeros de limpieza R, pero normalmente están cerrados por tapones roscados herméticos.

Capítulo 2

Extracción sólido-líquido.

La separación de un constituyente soluble del sólido que lo contiene , por extracción con un disolvente, puede considerarse en dos etapas.

1. *Contacto* del sólido con la fase líquida.
2. *Separación* de la fase líquida del sólido.

Estas dos etapas pueden realizarse en aparatos distintos o en el mismo. En una operación real es completamente imposible separar la fase líquida del sólido. Como consecuencia de ellos las corrientes resultantes que proceden de la segunda etapa serán.: Una fase líquida (solución.) que en una operación normal no debe contener ningún sólido y un lodo constituido por el sólido y la solución que lleva adherida. Para designar esas dos corrientes, se utilizarán los términos *flujo superior* y *flujo inferior* Como en el caso del fraccionamiento se ha encontrado que es conveniente utilizar el concepto de *etapa* en la ejecución de los calculos. Una etapa consta de dos pasos indicados antes: contacto del sólido con la fase líquida y separación de flujo superior e inferior. En el caso de la extracción solido-líquido se define la etapa ideal como una etapa en la que la solución que sale con el flujo superior, tiene la misma composición que la solución que queda retenida por el sólido en el flujo inferior. El uso del concepto de etapa ideal precisa utilizar la eficacia de etapa, con el objeto de obtener la relación entre las etapas ideales y las etapas reales. Por necesidades de cálculo puede considerarse formados por tres componentes.

1. El soluto - componente A.
2. El sólido inerte - componente B.
3. El disolvente - componente S.

2.1. Cálculo para la extracción sólido-líquido

Los cálculos para un sistema sólido-líquido sometido a extracción pueden basarse en la utilización de los balances de materia y energía y en el concepto de etapa ideal, tal como se hizo en destilación. La menor importancia de los cambios de

energía en el proceso de extracción industrial, conduce normalmente a la omisión de las ecuaciones de balance de energía. Como resultado de ello los cálculo se basan en balance de materia y el concepto de etapa ideal. Pueden utilizarse métodos de solución algebraicos y gráficos, puesto que son procedimientos equivalentes para resolver las relaciones de balances de materia y de etapa ideal. La solución gráfica presenta la ventaja de permitir un tratamiento generalizado de los casos más complicados y permitir una mejor vizualización de

cuando va ocurriendo en el proceso, aunque puede ser inconveniente su uso si se precisa un gran número de etapas. Puesto que la mayor parte de los casos de extracción sólido-líquido el número de etapas utilizadas no es muy grande la solución gráfica es el método que consideraremos.

2.2. Diagrama triangular.

El sistema de tres componentes formado por el soluto, el sólido inerte y el disolvente, a temperatura constante, puede representarse en un diagrama triangular. (más convenientemente rectángulo). Este es un sistema triangular de sistema ABS a temperatura constante.

Eje horizontal: Fracción en peso de disolvente (componente S) nula. Lugar geométrico de todas las mezclas posibles del soluto(componente A) y el sólido inerte (componente B). Las composiciones de componente A se designan por X_A y se sitúan sobre este eje.

Eje vertical: Lugar geométrico de todas las mezclas posibles de disolvente (componente S) con el sólido inerte (componente B).

Hipotenusa: Lugar de todas las mezclas posibles de disolvente(componente S) y de soluto (componente A). Las concentraciones de componente S se representan por X_S y se sitúan sobre el eje S. Cualquier punto interior del diagrama, punto 1 representa una mezcla de tres componentes. Si las concentraciones se representan por X_A, X_B y X_S respectivamente, y son fracciones en peso de cada uno se tiene.

$$X_A + X_B + X_S = 1 \quad X_B = 1 - X_A - X_S$$

Se deduce que la composición de X_B no es independiente, sino que está determinada si se conocen X_A y X_S .

Cualquier punto puede situarse en el diagrama trazando las coordenadas X_A y X_S únicamente. El origen $X_A = 0$ y $X_S = 0$ representan el sólido inerte. Las líneas paralelas a la hipotenusa del triángulo son líneas de composición constante en sólido inerte ($X_B = C$); puesto que estas líneas tienen una ecuación de la forma:

$X_S = -X_A + D$; $X_S + X_A = D$; $D = \text{constante}$ De arriba : $X_B = 1 - X_A - X_S = 1 - D = C$ La solución saturada del componente A en el disolvente, a la temperatura considerada, está representada por el punto 2 del diagrama. La región por encima de la línea que une el origen con el punto 2, representa la sección del diagrama en el que no hay componente de A no disuelto y es la región en la que se efectúan la mayor parte de las extracciones. La región por debajo de la línea antes citada representa la sección del diagrama en la que los sólidos presentes contienen los dos componentes B y el A no disuelto y la solución presente es solución saturada con la composición representada por el punto 2. Si el soluto estuviera presente como líquido y no es completamente miscible con el disolvente, en este caso pueden presentarse dos soluciones saturadas; una formada por el componente S saturado con A y otra el componente A saturado con S.

2.3. Solución Gráfica

Consideremos un sistema de una sola etapa en condiciones de régimen permanente (figura).

V_2 : Velocidad de alimentación de disolvente Kg/h. V_1 : Caudal de la corriente de flujo superior Kg/h. L_0 : Velocidad de alimentación de la etapa. L_1 : Caudal del flujo inferior que sale de la etapa.

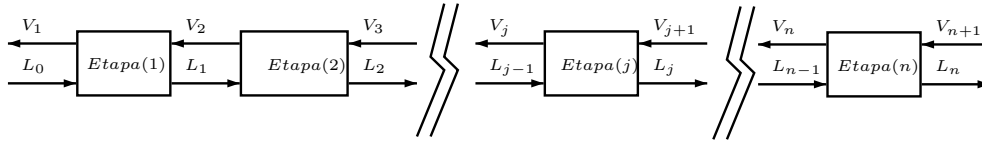


Figura 2.1: Esquema de etapa múltiple de concentradores

2.4. Cálculo de extracción en contracorriente con etapas múltiples.

Este es un sistema esquemático de un sistema de extracción en contracorriente con etapas múltiples que contiene n etapas ideales. La velocidad de alimentación se representa por L_0 y la del disolvente suministrado por V_{n+1} . Por la etapa 1 representa el extremo del sistema por el que se introduce la alimentación y desde el cual sale el flujo superior de concentración más elevada del soluto. la etapa n representa el extremo del sistema por el que se efectúa la alimentación del disolvente puro y del que sale el flujo inferior con la concentración más baja en soluto.

Vemos que el sistema es análogo al de una columna de destilación en platos debajo de la alimentación (sección de agotamiento).

Consideraremos que conocemos L_0 y su composición X_0 , V_{n+1} y su composición Y_{n+1} y el contenido de soluto del flujo inferior que sale del sistema $X_{(A)n}$. Consideraremos también que disponemos de información para determinar el lugar geométrico de las composiciones de flujo inferior. Veamos la solución gráfica para obtener el números de etapas teóricas.

2.5. Balance de materia y componentes.

Balance de materia sobre el total del sistema es:

$$L_0 + V_{n+1} = L_n + V_1 \quad (2.1)$$

$$L_0 X_0 + V_{n+1} Y_{n+1} = L_n X_n + V_1 Y_1 \quad (2.2)$$

Si llamamos M a la suma de las corrientes L_0 y V_{n+1} , el punto X_M que representa la composición de M , puede situarse sobre el diagrama, a partir del hecho de que debe estar situado sobre la línea recta que une los puntos X_0 y Y_{n+1} , y que su posición sobre la línea se determina por la relación V_{n+1}/L_0 .

De las ecuaciones (1) y (2), M también es la suma de las corrientes L_n y V_1 . Por consiguientes los puntos M_n y M_m Y_1 deben estar situados sobre la misma recta. Puesto que se conoce el lugar geométrico de las composiciones de flujo inferior, el punto X_n se sitúa en el lugar geométrico con el valor $X_{(A)n}$.

El punto Y_1 se contruye la recta que une X_n y X_M y determinando su intersección con el lugar geométrico de las composiciones de flujo superior. En este momento se conoce las composiciones de todas las corrientes terminales. Si escribimos las ecuaciones de balance de materia para la parte del sistema desde la etapa 1 hasta la $j + 1$, y se simplifica:

$$L_0 - V_1 = L_j - V_{j+1} \quad (2.3)$$

$$L_0 X_0 - V_1 Y_1 = L_j X_j - V_{j+1} Y_{j+1} \quad (2.4)$$

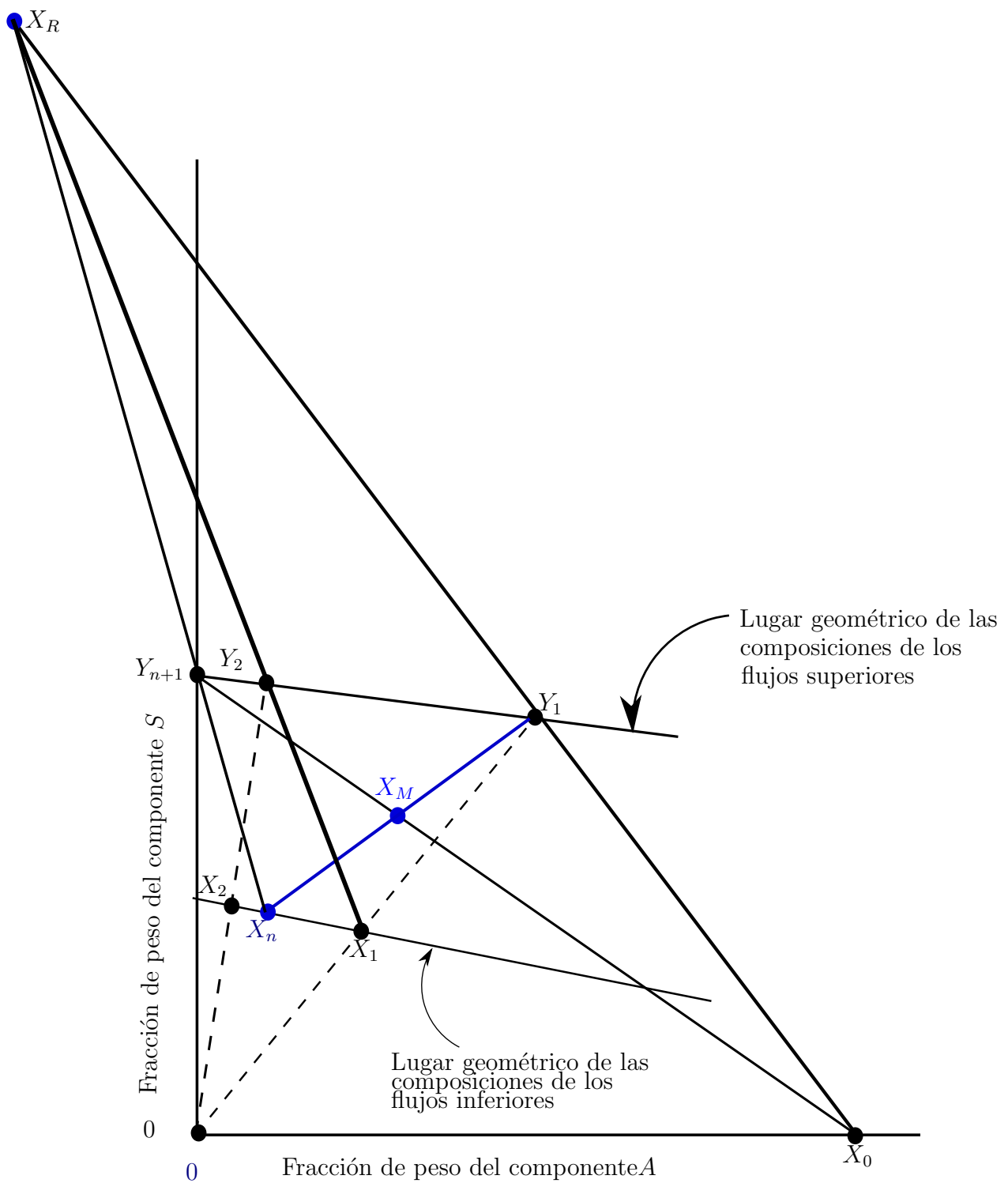


Figura 2.2: Solución gráfica para la extracción con múltiples etapas.

En las que la etapa j puede ser una etapa cualquiera del sistema ($j = 1, 2, 3, \dots, n$). Hagamos que R quede definida por:

$$R = L_0 - V_1 \quad RX_R = L_0X_0 - V_1Y_1$$

Entonces las ecuaciones (3) y (4):

$$R = L_0 - V_1 = L_1 - V_2 = \dots = L_n - V_{n+1} \quad (2.5)$$

$$RX_R = L_0X_0 - V_1X_1 = L_1X_1 - V_2Y_2 = \dots = L_nX_n - V_{n+1}Y_{n+1} \quad (2.6)$$

El punto X_R se localiza por la intersección de las rectas que pasan por los puntos X_0, Y_1 y X_n, Y_{n+1} , puesto que según las ecuaciones 5 y 6 ha de pertenecer a ambas. La solución gráfica puede comenzarse en cualquiera de los extremos del sistema. Si empezamos por la etapa 1, como el punto Y_1 es conocido, el X_1 se determina usando la relación de etapa ideal, es decir construyendo la línea que pasa por el origen (si todo el soluto está disuelto) y el punto Y_1 determinando su intersección con la línea de composición de flujo inferior. Como X_1 y X_R son conocidos puede determinarse Y_2 por la intersección de la línea que pasa por X_1 y X_R y la línea de composiciones de flujo superior, ya que

$$R = L_1 - V_2$$

$$RX_R = L_1X_1 - V_2Y_2.$$

El procedimiento puede repetirse hasta que el valor obtenido de X_A sea menor o igual que $X_{(A)n}$. El número de etapas ideales necesarias es igual al número de rectas de reparto, líneas que pasan por el origen y los puntos Y_1, Y_2 , etc. Para este gráfico es 2.

Ejemplo: Se va a extraer aceite de una harina por medio de benceno, usando un extractor continuo en contracorriente. La unidad va a tratar 2000Kg de harina por hora (basado en sólido completamente agotado). La harina no tratada contiene 800Kg de aceite y 50kg de benceno. la solución extractora nueva está formada por 1310kg de benceno y 20kg de aceite. los sólidos agotados contienen 120kg de aceite no extraído. Experimentos realizados en condiciones idénticas a aquellas para las que se proyecta la batería, indican que la solución retenida por el sólido depende de la concentración de la solución.

Encontrar:

- La composición de la solución concentrada.
- La composición de la solución que queda adherida al sólido extraído.
- El peso de la solución que sale de la harina extraída.
- El peso de la solución concentrada.
- El número de unidades necesarias.

Solución.

Base del cálculo 1 hora

$$L_0 = 2000 + 800 + 50 = 2850kg$$

$$X_{A0} = 800/2850 = 0,281$$

$$X_{S0} = 50/2850 = 0,01754$$

$$V_{n+1} = 20 + 1310 = 1330kg$$

$$Y_{An+1} = 20/1330 = 0,0150$$

$$Y_{Bn+1} = 20/1330 = 0$$

$$Y_{Sn+1} = 0,985$$

$$\text{Sea } M = L_0 + V_{n+1} = 2850 + 1330 = 4180$$

$$\frac{L_0}{M} = \frac{2850}{4180}$$