

Elección de sistemas de separación

Parámetros de Diseño de una separación

Eficiencia, cuan bien separa los compuestos

Capacidad, la velocidad a la cual puede procesar el material sin perder eficiencia

Tipos de mezclas:

- | | |
|----------------|--|
| - Heterogéneas | Gas-líquido
Sólido-líquido
Sólido-gas |
| -Homogéneas | Gas- Gas
Líquido-Líquido
Sólido-Sólido |

Mezclas Heterogéneas

1. Llevar a cabo una separación de fases, por ser lo más simple.
 - Gas-líquido
 - Sólido-líquido
 - Sólido-gas
 - Líquido-líquido (inmiscible)
 - Sólido-Sólido
2. Llevar a cabo las separaciones de las partes homogéneas

Operaciones

- Sedimentación
- Centrifugación
- Decantación
- Filtración
- Flotación

Mezclas Homogénea

La separación se puede llevar a cabo por:

- Adición (solventes)
- Formación de otra fase (evaporación, condensación).

Se aprovecha la partición de los solutos y el enriquecimiento de un soluto en una fase.

- Las primeras propiedades que se aprovechan:

- Densidad
- Tamaño

Claves

-Separación de compuestos de bajo peso molecular

Destilación a alta presión para aumentar la temperatura de condensación y realizar una condensación con agua de enfriamiento si es posible en el condensador de la columna.

De lo contrario, los compuestos de peso molecular pequeño requieren el uso de un refrigerante en el condensador => aumento en el costo.

Alternativas absorción, adsorción o membranas.

•Compuestos de alto peso molecular sensibles al calor

-Destilación al vacío

-Compuestos con baja concentración

-Adsorción y absorción, más efectivas que las destilaciones

•Separación de clases de compuestos

- Compuestos aromáticos de alifáticos
- Extracción líquido-líquido

-Mezclas con volatilidad baja o comportamiento azeótropo.

-Destilación extractiva, cristalización y extracción líquido-líquido

-Mezclas de compuestos volátiles de otros no volátiles (común)

-Evaporación o secado

-Compuestos condensables de otros no-condensables

-Realización de condensación parcial seguida de un separador de fases, destilación flash.

Ejemplos

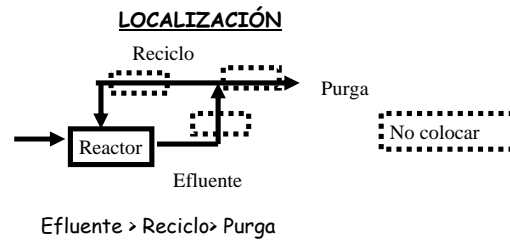
Operación	Agente Separador	Ejemplo
Absorción	Solvente	Remoción de CO ₂ y H ₂ S del gas natural con aminas
Cristalización	Remoción del calor	Producción de sales
Secado	Calor	Cerámicas, plásticos, alimentos, fármacos, madera
Destilación	Calor	Separación de propileno/propano, producción de gasolina a partir de petróleo
Membranas Electro diálisis	Membranas	Separación de H ₂ de HC, concentración de jugos Desalinización de agua
Cromatografía	Adsorbente	Separación de proteínas, azúcares y orgánicos

Separación Gas-Gas

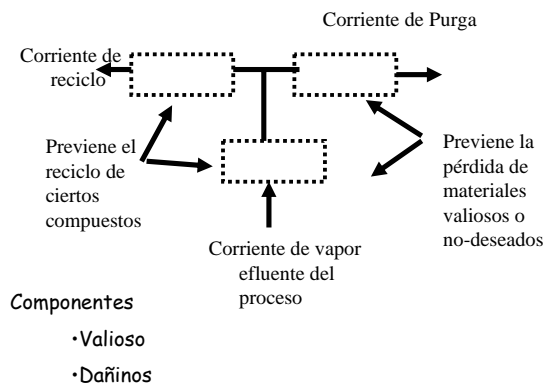
Para separar gases se debe tener en cuenta:

-¿Cuál es la mejor localización?

-¿Cuál es el sistema más barato?



Localización



Reglas

Colocar el sistema de recuperación de gases

1. En la corriente purga si hay una cantidad significativa de material valioso que se está perdiendo, dado la corriente de purga tiene menor volumen que la corriente de proceso, luego la carga de separación será menor.
2. En la corriente de reciclo si hay especies dañinas para la operación del reactor en esta corriente o si el reciclo de algunos componentes perjudica la distribución de productos. La corriente de gas recirculado generalmente contiene el segundo menor flujo dentro de las corrientes gaseosas del proceso.

3. En la corriente de vapor efluente si las opciones 1 y 2 son válidas en forma simultánea, dado que así se cumple con los dos objetivos en forma simultánea.
4. No usar separación si ninguna de las opciones 1 y 2 son válidas.

Operaciones más comunes:

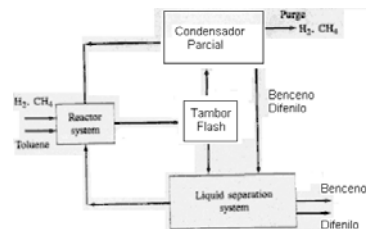
1. Condensación parcial, o con alta presión, con baja temperatura ó ambas,
2. Absorción
3. Adsorción
4. Separación por membrana
5. Separación por reacción

Estrategia

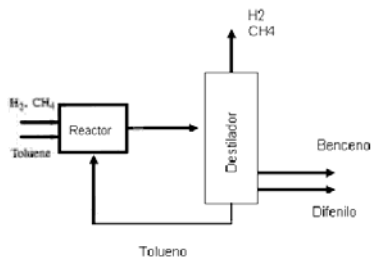
1. Diseñar primero el sistema de separación de gases antes que considerar el sistema de separación de líquidos.
 - Generalmente la separación de gases genera una corriente líquida, que deberá ser purificada.
2. Si se utilizan absorbedores de gas se deben introducir reciclos entre los sistemas de separación.
3. Se necesita estimar el tamaño y los costos de cada unidad para determinar cual será la opción más barata.

Combinación de Sistemas de Separación de Gases con el Sistema de Separación de Líquidos.

Se utilizan un condensador parcial y un tambor flash para separar el fluente del reactor, algunos de los componentes líquidos serán arrastrados por la corriente de vapor y no se podrán recuperar.



Si hay sólo una pequeña cantidad de vapor en la corriente que sale del condensador parcial y si se elige la destilación como la primera operación en el sistema de separación de líquidos es conveniente eliminar el tambor flash e introducir el efluente del reactor directamente en la columna de destilación.



El diámetro de la columna de destilación que se alimenta con una corriente bifásica será mayor puesto que es necesario trabajar con una mayor flujo de vapor, sin embargo, este aumento en los costos será menor que el costo asociado con el uso de un sistema de separación de gases que recupere los componentes líquidos arrastrados por la corriente de vapor que sale del separador flash.

Sistema de Separación de Líquidos

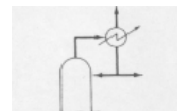
1. ¿Cómo deberían removerse los componentes livianos que pueden contaminar el producto?
2. ¿Cuál será el destino de los componentes livianos?
3. ¿Se debe reciclar o separar los componentes que forman azeótropos como reactantes?
4. ¿Cuales son las separaciones que se pueden realizar por destilación?
5. ¿Cuál es la secuencia de las columnas que se deben utilizar?
6. ¿Cómo se deben realizar las separaciones si la destilación no es factible?

Componentes livianos

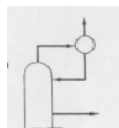
Algunos componentes livianos estarán disueltos en el líquido efluente del separador flash y normalmente algunos estarán disueltos en la corriente de líquido que salen del sistema de separación de gases. Si los componentes livianos pueden contaminar el producto deberán removerse.

Alternativas:

1. Caída de presión o aumento de la temperatura de la corriente y remoción de los componentes livianos en un separador de fases o tambor flash.
2. Colocar un **condensador parcial** en la columna que separa el producto principal.



3. Colocar una salida lateral del producto en la columna que separa el producto principal.



4. Colocar una columna de separación de los componentes livianos antes de la columna que separa el producto principal.

Las alternativas están ordenadas en orden creciente de costos

Si es posible la corriente de gases debe recircularse al sistema de separación de gases

Destino de los Componentes Livianos

Los componentes livianos se pueden:

- ventilar (purgar)
 - Si estos componentes tienen bajo valor, si no hay problemas de contaminación
- quemar
 - Si tienen problemas de contaminación
- usar como combustible
 - Si los componentes livianos son combustibles se debe tratar de recuperarlos y usarlos dentro de la planta en lo posible.

- recircular al sistema

• si estos componentes son valiosos y no contaminan el producto se debe tratar de recuperarlos y reciclarlos al proceso.

El método de remoción de los componentes livianos y su destino dependerá del tipo y cantidad de estos compuestos, es por ello que se recomienda manejarlos como variables de diseño antes de tomar la decisión.

Azeótropos con Reactantes

Si un componente forma un azeótropo con un reactante, se puede:

- Separar el azeótropo y recircular el reactante solamente.
 - Requiere dos columnas, lo cual es más caro
- Reciclar el azeótropo
 - Se deberá sobredimensionar todos los equipos involucrados en el ciclo de recirculación para poder manipular un flujo extra de componentes recirculados.

Se necesita evaluar ambas alternativas antes de tomar la decisión.

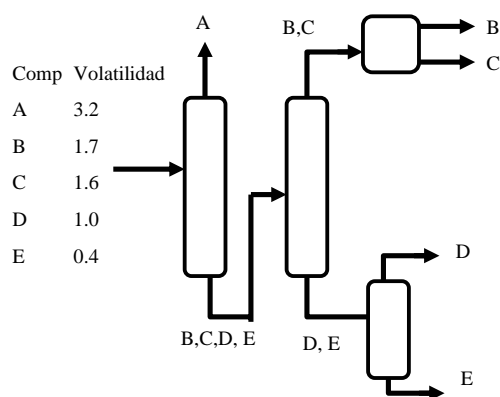
Destilación

- Método más barato para separar mezclas de líquidos.
- PERO, Si la volatilidad relativa de dos compuestos con temperaturas de ebullición similares es menor que 1.1, la destilación será un método caro de separación.
- Se requerirá una gran razón de reflujo, una gran cantidad de vapor para calentar, la columna deberá ser grande al igual que los condensadores y rehervidores; con lo cual los costos serán elevados.

¿ Qué hacer?

1. Se deben agrupar estos compuestos y ser tratados como si fueran un solo componente, ie, se debe diseñar la mejor secuencia de destilación para el grupo y los otros componentes de la mezcla
2. Se deberán separar las especies agrupadas usando otra tecnología de separación.

EJEMPLO

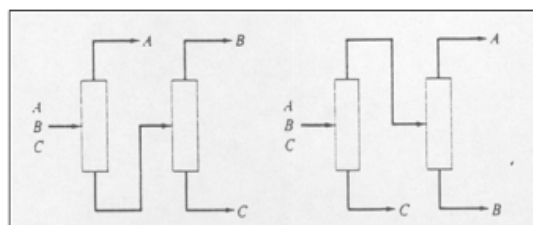


Secuenciamiento de Columnas de Destilación Simples

(columnas con una corriente de tope y una de fondo)

Separación de una mezcla de tres especies (sin azeótropos)

1. Se puede remover el componente más liviano ó el componente más pesado
2. Separan los otros dos componentes remanentes.



Secuenciamiento de Columnas de Destilación Simples

Cuando el número de especies en la mezcla aumenta, el número de alternativas de separación aumenta muy rápidamente

Número de componentes	2	3	4	5	6
Número de secuencias	1	2	15	14	42

Las separaciones posibles de realizar para una mezcla que contiene 5 especies son 14

	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4
1	A/BCDE	B/CDE	C/DE	D/E
2	A/BCDE	B/CDE	CD/E	C/D
3	A/BCDE	BC/DE	B/C	D/E
4	A/BCDE	BCD/E	B/CD	C/D
5	A/BCDE	BCD/E	BC/D	B/C
6	AB/CDE	A/B	C/DE	D/E
7	AB/CDE	A/B	CD/E	C/D
8	ABC/DE	D/E	A/BC	B/C
9	ABC/DE	D/E	AB/C	A/B
10	ABCD/E	A/BCD	B/CD	C/D
11	ABCD/E	A/BCD	BC/D	B/C
12	ABCD/E	AB/CD	A/B	C/D
13	ABCD/E	ABC/D	A/BC	B/C
14	ABCD/E	ABC/D	AB/C	A/B

Heurísticas Generales

1. Remover las especies corrosivas tan pronto como sea posible.

Las especies corrosivas el material de construcción de las columnas es más caro, que si estas no están presentes

2. Remover las especies reactivas o monómeros tan pronto como sea posible.

Las especies reactivas modifican el problema de separación

Los monómeros ensucian los rehervidores y se debe operar la columna en condiciones de vacío para disminuir los flujos en el tope y las temperaturas en el fondo, de tal forma que la velocidad de polimerización sea insignificante.

Las columnas que operan a vacío son más costosas que las que operan a presión y además se trata de evitar el aumento en los costos de limpieza de la columna.

3. Remover los productos como destilados

4. Remover las corrientes que se va a reciclar como destilados, en particular si las corrientes son recicladas a un reactor de lecho fijo.

Para evitar la contaminación o acumulación de impurezas en el reactor.

Si es necesario remover una especie o corriente como producto de cola, ésta generalmente se toma como fase vapor desde el hervidor y luego se condensa.

5. Las purgas se pueden tomar de la fase líquida de los rehervidores, con lo cual se evita la acumulación de contaminantes en el proceso

Otras heurísticas para el secuenciamiento de columnas simples:

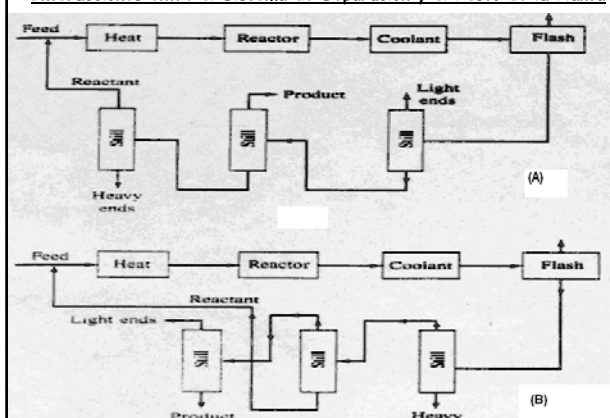
1. Los más abundantes primero (Composición de la corriente)
2. Los más livianos primero (Volatilidad)
3. Separaciones con alta recuperación al final
4. Separaciones difíciles al final (Volatilidad)
5. Prefiera las separaciones en partes iguales (Composición de la corriente)
6. La separación siguiente debería ser más barata

Posibles conflictos

1. Si la especie más abundante es la más pesada, se produce un conflicto entre las heurísticas 1 y 2.
2. Si se modifica la conversión de un proceso, con lo cual el reactivo no reaccionado podrá ser la especie más abundante (si la conversión es baja) o el menos abundante (si la conversión es alta), con lo cual las reglas heurísticas indican que el secuenciamiento de las columnas se deberá cambiar si se altera la conversión del proceso (u otra variable de diseño similar)

Las reglas heurísticas son recomendaciones para el caso de columnas simples que están aisladas del resto del proceso, de tal forma que se pueden obtener distintos resultados si se consideran las interacciones entre el tren de destilación y el resto de la planta.

Interacciones entre el Sistema de Separación y el Resto de la Planta



Interacciones Entre el Sistema de Separación y el Resto de la Planta

- Hay un número distinto de columnas involucradas en el ciclo de recirculación del líquido, con lo cual los costos de reciclo serán diferentes.
- La conversión óptima corresponde a un compromiso entre las pérdidas de selectividad y el costo del reciclo, esto será diferente para los dos casos.

La comparación deberá realizarse para las condiciones de procesamiento óptimas de cada alternativa de proceso

La selección de la secuencia óptima de separación no puede estar aislada del diseño de las otras partes del proceso, de tal forma que el diseño del sistema de separación se realice con el flujo y composiciones óptimos de operación del proceso completo.

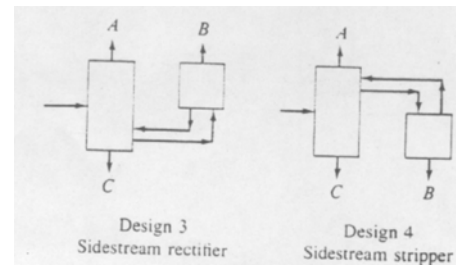
Aquí aparece la siguiente heurística:

“Seleccionar la secuencia que minimiza el número de columnas en un ciclo de recirculación”

Columnas Complejas

Las columnas complejas a menudo son más baratas que dos columnas simples

- se debe considerar su uso en el procedimiento de diseño teniendo en cuenta que se generará un mayor número de procesos alternativos.



Otros Tipos de Separaciones

Si la destilación no es aplicable, las alternativas son las siguientes:

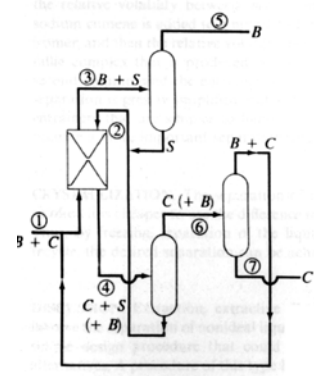
- Extracción
- Destilación azeotrópica
- Destilación reactiva
- Cristalización
- Adsorción
- Reacción, etc.

En la mayoría de los casos, estas tecnologías de separación requieren múltiples etapas para reemplazar a la destilación convencional, además de ser normalmente más caras.

Ejemplo Extracción

Con la extracción se puede realizar lo mismo que con la destilación de la mezcla B-C, aunque el grado de separación requerido debe ser menor.

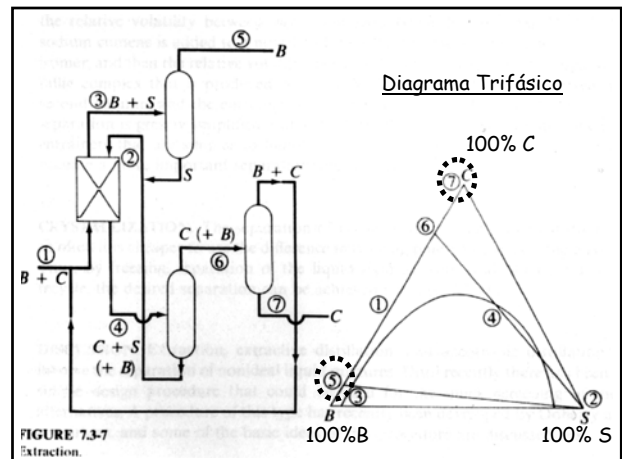
Este menor grado de separación requerido hace disminuir suficientemente los costos para pagar la columna de extracción y las otras dos o más columnas de destilación.



La alimentación (punto 1) se contacta en una columna de extracción que opera en contracorriente con un solvente S (Punto 2).

Normalmente se desea recuperar el 99% o más del componente B (punto 3).

El solvente se remueve usando una columna de destilación para obtener la corriente de producto para el componente B (punto 5)



La mezcla obtenida a la salida del destilador (punto 6) corresponde a una mezcla binaria de B y C, que era la separación original que se trató de realizar, excepto que es más concentrada que la alimentación original.

Cuando se requiere separar B y C por destilación normal, se puede fijar la especificación de la corriente de cola para obtener C lo más puro posible (punto 7) y la composición del destilado similar a la mezcla de alimentación original (punto 1)