

## **UNIDAD 2: LOS PROCESOS QUÍMICOS**

### **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

- *Materia prima*: Sustancia química de partida para una operación o proceso.
- *Producto*: Sustancia de salida de un reactor, proceso o planta química objeto de su fabricación.
- *Subproducto*: Producto secundario, a veces no deseado, obtenido en el mismo proc. que el prod. principal.
- *Alimentación*: Corriente(s) de entrada a un reactor, proceso o planta. Para procesos continuos sus unidades son las correspondientes a cantidad de materia por unidad de tiempo (kg/s, kg/h, L/s, L/h, m<sup>3</sup>/s, m<sup>3</sup>/h, moles/s... Para alimentaciones líquidas o gaseosas: caudal.
- *Recirculación*: Corriente que se devuelve a la alimentación como resultado de una separación efectuada en la corriente de salida de un proceso para aprovechar disolventes valiosos o aumentar la conversión de reacciones reversibles
- *Base seca*: Se refiere a una mezcla exenta de agua.
- *Balance de masa*: secuencia de cálculos para determinar cant. sustancias en un proceso.
- *Composición elemental*: Tanto por ciento en peso de cada elemento en un compuesto químico.
- *Base de cálculo*: Cantidad de referencia a partir de la cual se desarrolla el balance de materia.

### **INTRODUCCIÓN**

#### **¿Qué es la ingeniería química?**

La Ingeniería Química se encarga del diseño, manutención, evaluación, optimización, simulación, planificación, construcción y operación de plantas en la industria de procesos, es decir, la relacionada con la producción de compuestos y productos cuya elaboración requiere de transformaciones físicas y químicas de la materia.

La ingeniería química se ocupa de la fabricación de sustancias a escala industrial, a partir de materias primas que son sometidas a cambios químicos y físicos controlados. La contribución más grande que realiza el ingeniero químico consiste en elaborar los procesos para cambiar la escala desde las reacciones en el tubo de ensayo a la producción en masa, para que el trabajo del químico investigador rinda beneficios a todos.

Esta rama de la ingeniería está estrechamente asociada, e inclusive existe un cierto grado de superposición, con las ingenierías de materiales, en petróleo, metalúrgica, industrial y alimentos.

## ¿Qué hace un/a ingenierx químicox?

Lxs ingenierxs químicoxs son requeridxs en una gran variedad de industrias: productos químicos (ácidos, fármacos, cosméticos, perfumes, insecticidas, aditivos alimentarios, agroquímicos, etc.), petroquímica (combustibles, lubricantes, solventes, pinturas, esmaltes, plásticos, fibras sintéticas, etc.), alimentos, textil, papelería, minera y todo tipo de producción de distintos materiales.

El trabajo consiste en diseñar nuevos y mejores procesos y operar las plantas eficazmente para obtener nuevos productos. Entendemos como **proceso** a la secuencia de todas las *operaciones unitarias* realizadas sobre una *materia prima* para obtener el *producto final*. El ingeniero químico se preocupa por lograr la **máxima eficiencia de los procesos industriales, de la manera más económica y sustentable para el medio ambiente**.

Un proceso completo para obtener un producto final está compuesto en general de la combinación y secuenciación de varios pequeños procesos físicos y/o químicos, denominados **operaciones unitarias** en general, que pueden agruparse en cuatro tipos:

- Acción mecánica:** Incluye el manejo de materiales, el bombeo de fluidos, mezclado, trituración, molienda, clasificación según tamaño, filtración y sedimentación de sólidos.
- Separación física:** Para separar dos sustancias. Esto se hace por evaporación, absorción, adsorción, destilación, fraccionamiento y precipitación.
- Reacción química:** Procesos que involucran un cambio químico. Incluyen la oxidación, reducción, hidrogenación, cloración, polimerización, etc. Estas reacciones se realizan en tanques, hornos, torres y otras unidades especialmente diseñadas para producir el resultado deseado a un costo mínimo.
- Transferencia de calor:** Hay procesos que requieren temperaturas elevadas y para otros puede ser necesaria la refrigeración del sistema. Por ello, el ingeniero químico trabaja con intercambiadores de calor, hornos, evaporadores, condensadores, torres de enfriamiento y unidades de refrigeración.

Cuando en las operaciones unitarias hay **reacciones químicas** (transformaciones químicas de la materia) se las conoce como **procesos unitarios** (como la polimerización por ejemplo), mientras que si en una operación unitaria no hay reacción química pero sí hay cambio físico de algún material (por ejemplo un cambio de estado), se lo conoce como **operación unitaria** (como la filtración, molienda, etc.).

### **Algunos ejemplos de procesos unitarios son:**

**OXIDACION.** - Proceso por el cual una especie química pierde electrones mientras simultáneamente otra sustancia los gana.

**COMBUSTION.** - Reacción química entre una sustancia oxidante (comburente) y otra reductora (combustible) con desprendimiento de calor y eventualmente de luz.

**FERMENTACION.** - Conjunto de reacciones químicas por las que una sustancia orgánica se transforma en otra por medio de ciertos microorganismos y a veces va acompañada de la producción de gases.

**HIDROGENACION.** - Reacción química entre el hidrógeno molecular y otro compuesto o en presencia de catalizadores.

**ELECTRÓLISIS.** - Descomposición de sustancias que se encuentran disueltas o fundidas, por el paso de la corriente eléctrica. El proceso tiene lugar en una cuba electrolítica, de manera que sobre el electrodo positivo y negativo se depositan los iones negativos y positivos respectivamente.

**POLIMERIZACIÓN.** - Es el proceso en el cual se forman productos de alto peso molecular a partir de materias primas de bajo peso molecular.

**REDUCCIÓN.** - Proceso químico caracterizado por la aceptación de electrones por parte de una molécula, átomo-ion.

**Algunos ejemplos de operaciones unitarias son:**

**FILTRACION.** -Separación de las partículas sólidas en suspensión en un fluido, mediante el paso forzado a través de un medio filtrante o membrana sobre la cual depositan los sólidos.

**DESTILACIÓN.** - Separación de los componentes de una mezcla líquida por vaporización. Al calentar la mezcla se desprenden primero los componentes más volátiles y va quedando un residuo constituido por las sustancias de punto de ebullición más alto.

**CENTRIFUGACIÓN.** - Procedimiento de separación de líquidos mezclados o de partículas sólidas en suspensión en un líquido por efecto de una fuerza centrífuga.

**TRITURACIÓN.** - Se usa para reducir sólidos duros grandes a menor tamaño.

**SECADO.** - Operación de separar un líquido que acompaña a un sólido.

**EXTRACCIÓN.** - Operación básica de separación de sustancias que se encuentran disueltas una en otra.

**DISOLUCIÓN.** – Dispersión de dos o más sustancias donde una ocupa los espacios intermoleculares de la otra.

**DILUCIÓN.** – Es el agregado de más solvente a la disolución.

**AGITACIÓN.** -Operación que consiste en crear movimientos turbulentos en un fluido mediante dispositivos mecánicos (agitadores) que actúan sobre él. Se emplea industrialmente para acelerar otras operaciones.

**DECANTACIÓN.** - Es la separación de un líquido o de un sólido a partir de una mezcla, aprovechando la diferencia de densidades o peso.

### ***Etapas Genéricas de los Procesos de la industria Química***

Aunque cada proceso químico es único, la mayoría de ellos pueden desglosarse en una serie de etapas genéricas:

1. **Recepción y Almacenamiento de Materias Primas:** Las materias primas llegan a la planta (camión, tren, barco) y se almacenan en tanques o silos, listas para ser procesadas.

2. **Preparación de Materias Primas:** A menudo, las materias primas necesitan ser acondicionadas antes de la reacción. Esto puede incluir calentamiento, enfriamiento, purificación, mezcla, trituración o molienda.
3. **Transformación:** Esta es la etapa central donde ocurre la transformación química. Los reactivos se ponen en contacto en condiciones controladas (temperatura, presión, tiempo de residencia) dentro de un reactor para formar los productos deseados.
4. **Separación y Purificación:** Después de la reacción, la mezcla de productos suele contener reactivos no convertidos, subproductos e impurezas. Esta etapa utiliza operaciones unitarias (como destilación, filtración, cristalización, extracción) para separar el producto deseado de los demás componentes y purificarlo a la especificación requerida.
5. **Manejo del Producto Final:** El producto purificado se almacena en tanques o silos y luego se envasa, carga o envía al cliente.
6. **Tratamiento de Residuos:** Todo proceso genera residuos (líquidos, sólidos o gaseosos). Esta etapa implica el tratamiento adecuado de estos residuos para cumplir con las normativas ambientales y minimizar el impacto.
7. **Recuperación y Reciclaje:** A menudo, los reactivos no convertidos o los solventes se recuperan de las corrientes de salida y se reciclan al inicio del proceso para mejorar la eficiencia y reducir costos.

Cuando se realiza el proyecto de una planta industrial, el ingeniero químico selecciona procesos y los coloca en la sucesión y secuenciación apropiada. Es de gran importancia el **control y la instrumentación de cada proceso** que le permita al ingeniero el seguimiento de las operaciones y procesos unitarios para lograr el resultado deseado y la obtención del producto final.

Veamos un ejemplo de todo lo dicho hasta aquí en la producción de vinos:

### ***Producción de vino a partir de uvas***

La elaboración del vino es un proceso que ha existido por milenios y que combina una serie de **operaciones unitarias** y un **proceso unitario** central para transformar el jugo de uva en una bebida alcohólica compleja.

Vamos a desglosar el proceso de la uva (materia prima) al vino (producto final):

### **Recepción y Pre-procesamiento de la Materia Prima**

1. **Recepción y Control de Calidad:** Las uvas llegan a la bodega en camiones. Aquí se realiza un control de calidad inicial (muestreo, medición de azúcares, acidez, estado sanitario). Es una operación de muestreo y análisis.
2. **Pesado y Descarga:** Las uvas son pesadas y luego descargadas en tolvas de recepción. Son operaciones de manejo de sólidos.

## Operaciones Unitarias

3. **Despalillado:** Las uvas pasan por una máquina despalilladora que separa los raspones (tallos) de las bayas.
4. **Molienda/Estrujado:** Las uvas frescas son recibidas y luego estrujadas o molidas para romper la piel y liberar el mosto (jugo de uva). Esto se logra con equipos como las estrujadoras. Es una **operación mecánica de separación** (jugo de sólidos) y **reducción de tamaño**.
5. **Prensado:** Para vinos blancos, el mosto se separa de los hollejos (pieles y semillas) mediante **prensado**. Para vinos tintos, el prensado ocurre después de la fermentación para extraer el vino de los hollejos fermentados. Es una **operación de separación sólido-líquido**.
6. **Clarificación/Desfangado:** Antes o después de la fermentación, el mosto o el vino pueden ser clarificados para remover partículas sólidas en suspensión. Esto puede hacerse por **sedimentación** (por gravedad) o **filtración/centrifugación**. Son **operaciones de separación**.
7. **Envejecimiento/Maduración (Si aplica):** El vino puede ser almacenado en barricas de roble o tanques de acero inoxidable por un tiempo. Aquí ocurren **operaciones de transferencia de masa** lentas (como la micro-oxigenación a través de la madera) y reacciones químicas sutiles, pero la operación unitaria principal es el **almacenamiento** y la **transferencia de calor** si se controla la temperatura.

## Procesos Unitarios

1. **Fermentación Alcohólica:** Este es el corazón del proceso. Los azúcares presentes en el mosto (principalmente glucosa y fructosa) son convertidos en **etanol** y **dióxido de carbono** por la acción de levaduras (naturales o añadidas, como *Saccharomyces cerevisiae*). La reacción es la misma que la del etanol puro:  
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \text{ (Glucosa)} \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \text{ (Etanol)} + 2\text{CO}_2 \text{ (Dióxido de Carbono)}$$
  
Esta es una **transformación bioquímica catalizada**.

**Embotellado:** El vino final es envasado en botellas. Esto implica **operaciones de llenado y sellado**.

## Tratamiento de Residuos

**Tratamiento de Orujos y Raspones:** Los **orujos** (hollejos y semillas) y **raspones** generados en el despalillado y prensado son subproductos importantes. Pueden destinarse a:

- **Compostaje:** Para generar abono orgánico para los viñedos.
- **Destilación:** Para producir alcoholes vínicos (aguardientes) o tartratos.

- **Secado y Quema:** Para generar energía. Esto implica **operaciones de manejo de sólidos, secado y posibles procesos de transformación química** (como la destilación o la combustión).

**Tratamiento de Lías:** Las lías (sedimentos de levaduras y otros sólidos) que quedan tras los trasiegos. Pueden ser:

- **Compostadas.**
- **Destiladas.** Implica **operaciones de separación (sedimentación) y manejo de residuos líquidos/sólidos.**

**Tratamiento de Efluentes Líquidos:** Las aguas residuales de la limpieza de equipos y tanques deben ser tratadas antes de su descarga. Esto puede incluir **operaciones de neutralización, decantación, filtración y tratamiento biológico**. Son **operaciones de tratamiento de aguas residuales**.

Como puedes ver, la producción de vino es un excelente ejemplo de cómo la ingeniería química aborda procesos biológicos complejos, aplicando principios de **transferencia de masa, transferencia de calor y reacción química** para obtener un producto deseado, y participa desde la recepción de la materia prima hasta la salida del producto final de la bodega.

Los procesos de obtención de un producto final pueden ilustrarse generalmente como **diagramas de flujo en bloque BFD** (Fig. 1) o en más detalle como **diagramas de flujo de proceso PFD** (Fig. 2) con una simbología propia para las maquinarias que forman parte del proceso. Los diagramas de flujo o de bloques muestran las operaciones y procesos unitarios y los caminos de sustancias y/o material que fluyen entre ellos como líneas con puntas de flecha para mostrar la dirección del flujo de la materia para llegar al producto final. Para el ejemplo citado del vino:

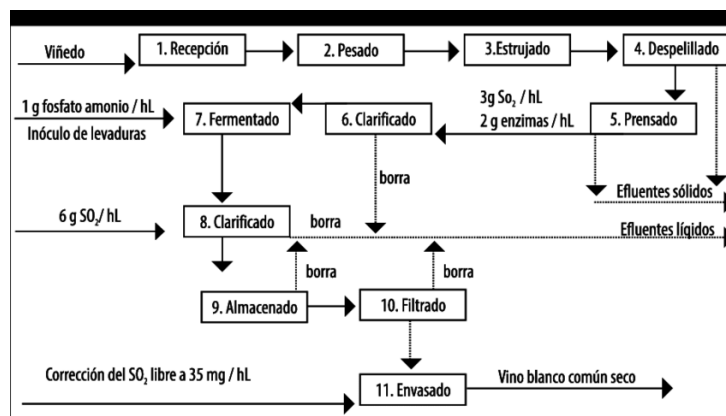


Fig. 1: BFD para producción de vinos



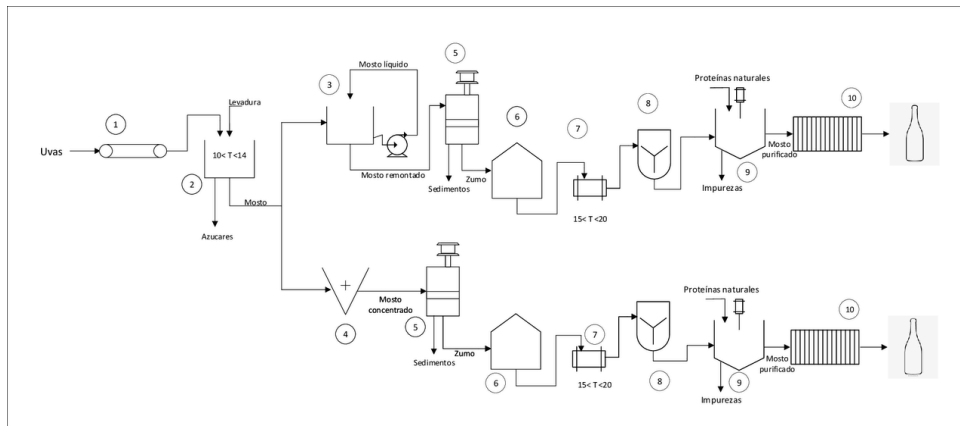


Fig. 2: PFD para producción de vinos

### Algunos Equipos Básicos de la Industria Química

Para llevar a cabo estas transformaciones de la materia prima al producto, la industria química utiliza una amplia gama de equipos especializados. Aquí hay algunos de los más fundamentales:

- **Reactores:** Recipientes donde ocurren las reacciones químicas. Pueden ser tanques agitados, columnas tubulares, etc., y varían enormemente en diseño y tamaño según la reacción. El que se observa en la imagen tiene también un agitador para homogeneizar el contenido del reactor.

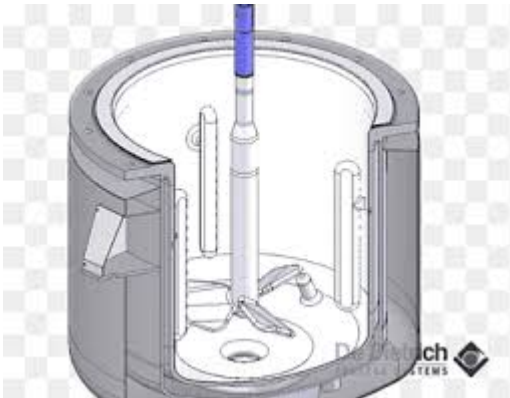


Fig. 3: Reactor

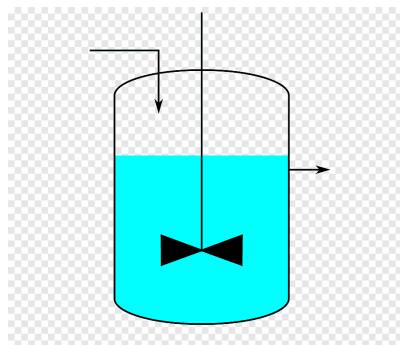


Fig. 4: Símbolo

- **Intercambiadores de Calor:** Permiten la transferencia de energía térmica entre dos fluidos a diferentes temperaturas sin mezclarlos. Son cruciales para calentar, enfriar, hervir o condensar corrientes de proceso. Un fluido ingresa y sale según indican las flechas rojas, circulando por las tuberías internas. El otro fluido ingresa y sale según las flechas azules refrigerando o calentando el que circula por las tuberías rojas.

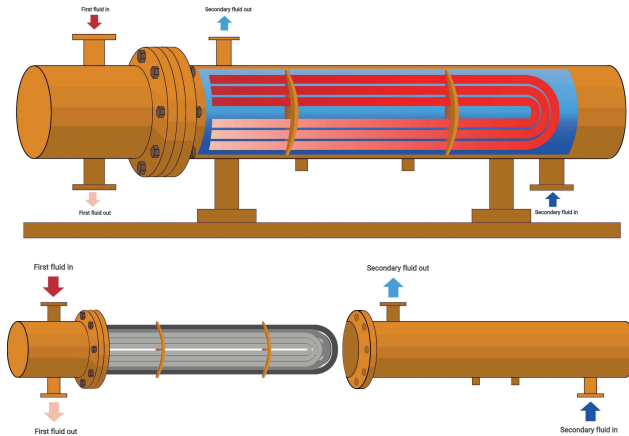


Fig. 3: intercambiador de calor

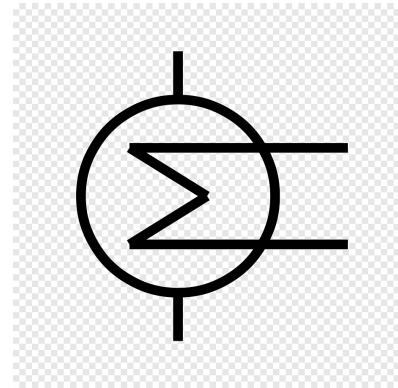


Fig. 4: Símbolo

- **Columnas de Destilación:** Equipos para separar distintas sustancias en una mezcla líquida, basándose en sus diferentes puntos de ebullición. Son esenciales en la industria petroquímica, por ejemplo.

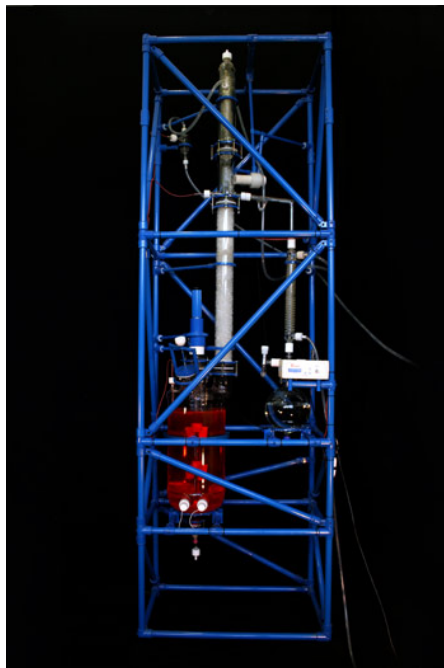


Fig. 5: Columna de destilación

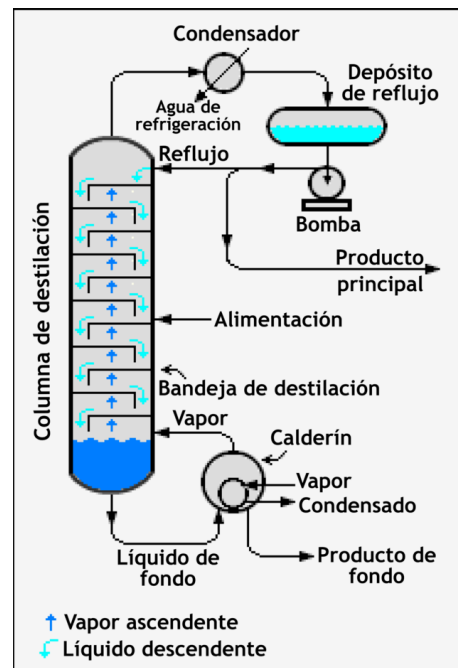


Fig. 6: Símbolo

- **Bombas:** Utilizadas para mover fluidos a través de tuberías y equipos, superando la fricción y la diferencia de altura.



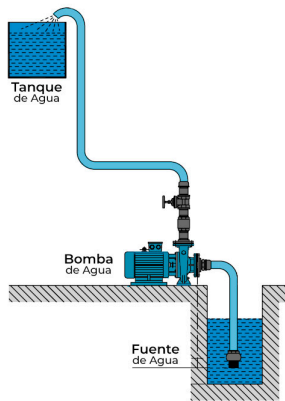


Fig. 7: Bomba centrífuga

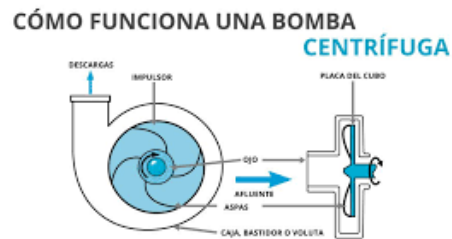


Fig. 8: Símbolo

- **Compresores:** Se usan para aumentar la presión de gases y vapores, lo que es vital en muchos procesos que requieren alta presión o para mover gases.



Fig. 9: Compresor

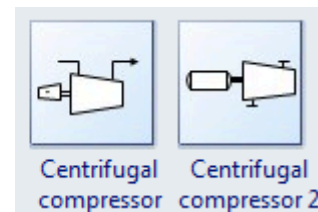


Fig. 10: símbolo

- **Filtros:** Separan partículas sólidas de líquidos o gases. Hay muchos tipos, como filtros de papel, filtros de arena, etc. dependiendo de lo que se pretenda filtrar.



Fig. 11: filtro de aire

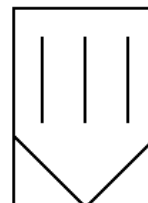


Fig. 12: símbolo

- **Prensa hidráulica:** Su función principal es **aplicar una gran fuerza de compresión** sobre un material utilizando un fluido incompresible (generalmente aceite) para generar la presión. Esta fuerza se traduce en diferentes procesos clave, entre ellos: compactación y densificación de polvos, extracción de líquidos de sólidos, moldeo y conformado de polímeros y plásticos, etc.



Fig. 13: Prensa hidráulica

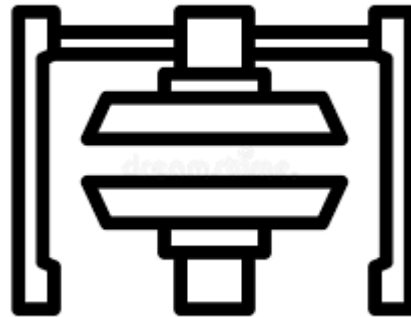


Fig. 14: Símbolo

- **Secadores:** Eliminan la humedad de los sólidos, gases o líquidos, utilizando aire caliente u otras técnicas.



Fig. 15: Secador

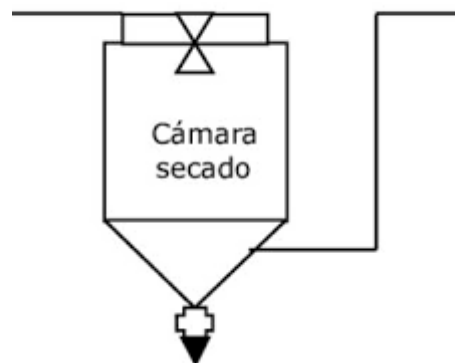


Fig. 16: Símbolo

- **Evaporadores:** Concentran una solución líquida eliminando el solvente por ebullición, dejando una solución más concentrada o un sólido.

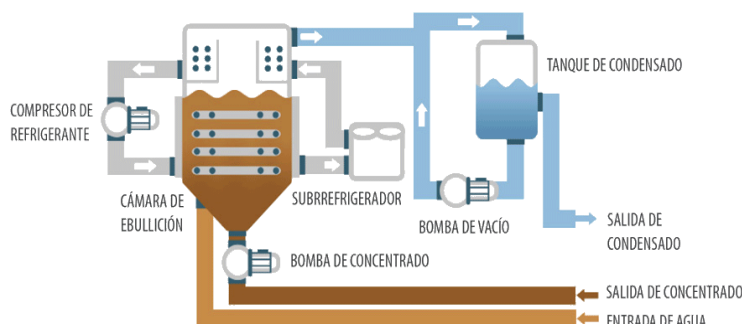


Fig. 17: Evaporador

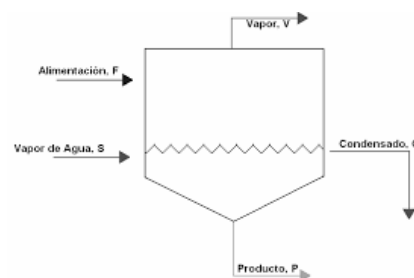


Fig. 18: Símbolo

Hemos enumerado sólo algunos de los aparatos más utilizados, aunque la variedad es enorme.

### ***Tipos de procesos en la industria química***

La forma en que se operan los procesos químicos se clasifica principalmente en dos categorías:

#### **Procesos por Lotes (Batch)**

En un proceso por lotes (o *batch*), la operación se realiza de forma intermitente. Los materiales se cargan en el equipo, el proceso se lleva a cabo durante un tiempo específico, y luego los productos se descargan. El equipo se limpia y prepara para el siguiente lote.

- **Características:**
  - Flexibilidad: Ideal para producir pequeñas cantidades de diferentes productos o cuando las especificaciones del producto cambian frecuentemente.
  - Control de calidad: Facilita el seguimiento y control de calidad de cada lote.
  - Costos iniciales: Generalmente menores para equipos.
  - Ejemplos: Producción de productos farmacéuticos, productos químicos finos, resinas especiales, tintes.

#### **Procesos Continuos**

En un proceso continuo, las materias primas se introducen constantemente en el sistema, y los productos se retiran continuamente. La operación es ininterrumpida una vez que se alcanza el estado estacionario.

- **Características:**

- Grandes volúmenes de producción: Ideales para productos de gran demanda y bajo costo.
- Eficiencia: Mayor eficiencia energética y de mano de obra una vez que el proceso está optimizado.
- Control: Más complejo de controlar debido a la necesidad de mantener el estado estacionario.
- Costos iniciales: Generalmente mayores debido a equipos más grandes y sistemas de control sofisticados.
- Ejemplos: Refinerías de petróleo, plantas petroquímicas, producción de fertilizantes, cemento, ácido sulfúrico.

La elección entre un proceso continuo y uno por lotes depende de factores como el volumen de producción, la flexibilidad requerida, los costos de inversión y operación, y la naturaleza de las reacciones.

### ***Tipos de flujos de materia en las industrias químicas***

#### ***Flujos en Contracorriente, Paralelos y Cruzados***

En la industria las corrientes de fluidos circulan por cañerías, hasta que es necesaria la aplicación de alguna operación unitaria o proceso unitario dentro de algún equipo, por ejemplo en un intercambiador de calor, o un evaporador, etc.

La forma en que dos o más corrientes de fluidos interactúan dentro de un equipo es fundamental, especialmente en la transferencia de calor y masa. Las configuraciones de flujo más comunes son:

#### **Flujo en Contracorriente (Counter-current Flow)**

Las dos corrientes de fluidos fluyen en direcciones opuestas a lo largo del equipo.

- **Ventajas:** Proporciona la mayor eficiencia de transferencia de calor o masa, ya que se mantiene una diferencia de temperatura (o concentración) más uniforme a lo largo de todo el intercambiador. Esto permite alcanzar los mayores cambios de temperatura posibles.
- **Aplicaciones:** Intercambiadores de calor (especialmente para enfriamiento o calentamiento significativos), columnas de destilación, absorbedores, torres de enfriamiento.

#### **Flujo en Paralelo (Co-current Flow o Parallel Flow)**

Las dos corrientes de fluidos fluyen en la misma dirección.

- **Ventajas:** Simplicidad en el diseño.
- **Desventajas:** La diferencia de temperatura (o concentración) entre los fluidos disminuye rápidamente a medida que avanzan, lo que resulta en una menor eficiencia de transferencia y un menor cambio de temperatura posible en comparación con el flujo a contracorriente.
- **Aplicaciones:** Poco común en el diseño de nuevos equipos donde se busca alta eficiencia de transferencia, aunque puede encontrarse en algunos procesos específicos o como configuración en partes de un equipo más complejo.

### Flujo Cruzado (Cross-flow)

Una corriente de fluido fluye perpendicularmente a la otra.

- **Ventajas:** Combina algunas ventajas de los flujos en contracorriente y paralelo, siendo un compromiso entre ambos en términos de eficiencia. Es una configuración compacta y práctica para ciertos diseños.
- **Aplicaciones:** Radiadores de automóviles, algunas configuraciones de intercambiadores de calor de aletas y tubos, torres de enfriamiento donde el aire fluye perpendicularmente al agua.

La elección de la configuración de flujo tiene un impacto significativo en el tamaño del equipo y la eficiencia del proceso.

### BIBLIOGRAFÍA

**Deiana, C., Granados, D., Sardella, M.** (2020) "Introducción a la Ingeniería", Cap. III, Universidad Nacional de San Juan, disponible en

<http://www.fi.unsj.edu.ar/assignaturas/introing/RamasDeLaIngenieria.pdf>

**McCabe y Smith**, (1977) "Operaciones básicas de Ingeniería Química", Editorial Reverté, Buenos Aires, Argentina.

**Littlejohn, C. y Meenaghan, G.** (1981) "Introducción a la Ingeniería Química", Editorial Continental, D.F., México.