



Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química
Dpto. de Operaciones Unitarias y Proyectos

CRISTALIZACIÓN

Prof. Yoana Castillo
yoanacastillo@ula.ve



CONTENIDO

- Cristalización.
- Aplicaciones, ventajas y desventajas.
- Definiciones: Cristales, geometría, hábito, modificadores.
- Solubilidad de equilibrio.
- Nucleación primaria y secundaria.
- Clasificación de los cristalizadores.

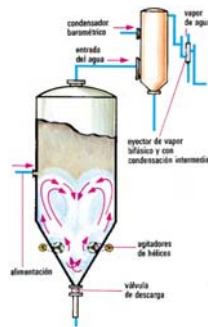
Cristalización: Generalidades.

Definición

Operación unitaria donde hay transferencia de masa de un soluto desde una solución líquida a una fase cristalina sólida pura. [1].

Permite separar un componente o fase sólida de una solución multicomponente.

Agente:
Transferencia de CALOR.

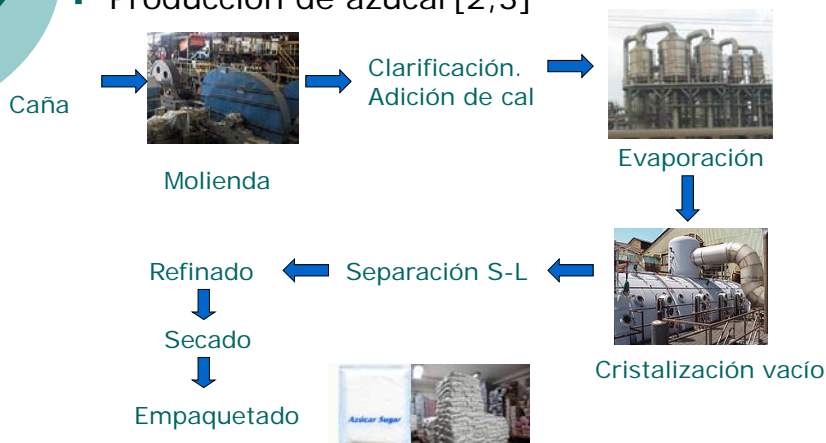


Fase sólida formada por cristales simples o policristales aglomerados, relativamente libre de impurezas.

Magma: licor madre + cristales

Cristalización: Aplicaciones Industriales

- Producción de cristales puros y polvos de diferentes compuestos, industria química general.
- Producción de azúcar [2,3]



Cristalización: Aplicaciones Industriales

Ventajas:

- Productos alta pureza.
- Controlando condiciones del proceso se pueden obtener de sólidos de tamaños específicos (uniformes). Fácil empaquetamiento.
- Evita riesgo de descomposición por trabajar a bajas T.
- Menos energía en comparación con la destilación. Se recomienda cuando se tiene una mezcla con volatilidades y/o solubilidades semejantes donde no aplica Dest. o Ext L-L.

Cristalización de p-xileno a partir de una mezcla con m-xileno. [2].

Desventajas:

- Requiere manejo de sólidos.
- Incluyen equipos de cristalización junto con la separación sólido-líquido y de secado. [3]

Cristalización: Generalidades.

Definiciones: [1]

- Cristal: sólido formado por átomos, iones o moléculas que guardan una distribución ordenada y repetitiva.
- Tipos de geometría: Función de la distribución de los ejes a los que se refieren los ángulos:
 - Cúbico.
 - Tetragonal.
 - Ortorrómbico.
 - Hexagonal.
 - Monoclínico.
 - Triclínico.
 - Trigonal.

$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

$$z = 120^\circ$$



$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$$



$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha \neq \beta \neq \gamma$$



$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



Cristalización: Generalidades.

Definiciones: [1]

- Habito cristalino: Desarrollo relativo de los diferentes tipos de caras

Cada sustancia tiene una única forma cristalina correspondiente a alguno de los 7 sistemas cristalográficos. Los ángulos no cambian, lo que puede cambiar es el tamaño de las caras. Hábitos diferentes.

Modificaciones del hábito de un cristal perteneciente al sistema hexagonal.



- Modificación del hábito: Depende de muchos factores ligados a las condiciones de crecimiento del cristal:
 - Sobresaturación, enfriamiento brusco, siembra, agitación, adición de impureza, pH, tipo de disolvente

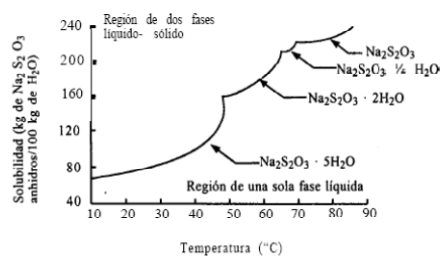
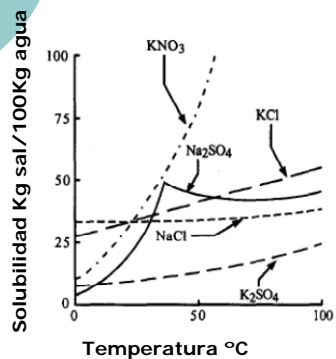
Solubilidad de equilibrio [1]

Equilibrio?



Se alcanza cuando la solución o licor madre está saturado. Esto se representa mediante la curva de solubilidad.

- Solubilidad es función de T.
- Presión efecto despreciable.
- Tablas, graficas en manuales químicos.



¿Sobresaturación?

Nucleación: Mecanismo [1]

Cristalización se da en una solución SOBRESATURADA, se dan etapas básicas:

- Formación de núcleos: Nucleación.
- Crecimiento de los cristales.

Teoría de la Nucleación:

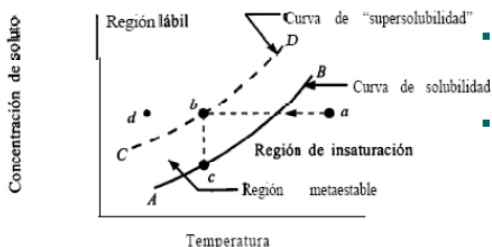
1. Nucleación primaria:

- Las partículas o moléculas del soluto entran en contacto y forman aglomeraciones.
- El crecimiento de las aglomeraciones las transforma en cristales.
- El efecto del tamaño de las partículas es un factor importante en la nucleación.



Nucleación primaria [1]

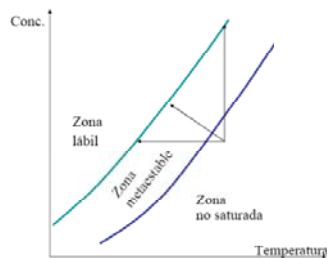
Explicación cualitativa:
Teoría de Miers



- Línea AB: Curva de solubilidad normal.
- Si se enfría una solución "a" cruza la curva de solubilidad, la muestra no cristalizará hasta enfriarse en un punto "b" (inicia la cristalización)
- La concentración disminuye hasta el punto "c" si no continúa el enfriamiento.
- La línea CD es llamada Curva de supersolubilidad. Representa el límite en el que la formación de los núcleos empieza de manera espontánea y se inicia la cristalización.
- Cualquier cristal en la zona metaestable tendrá crecimiento.

Métodos para crear sobresaturación [1]

- Si la solubilidad aumenta con el aumento de temperatura. ENFRIAMIENTO.
- Si la solubilidad es prácticamente independiente de la temperatura. EVAPORACIÓN.
- Si los 2 casos anteriores no son deseables se puede agregar un 3er componente que compita con la solubilidad del soluto haciéndolo cristalizar.



Clasificación de los Cristalizadores [1, 3,4,5]

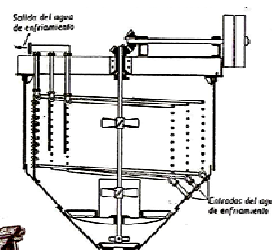
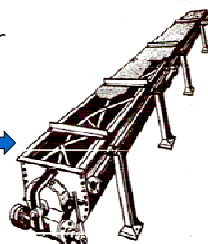
Clasificación → Método en que se lleva a cabo la SOBRESATURACION.

1. Sobresaturación por enfriamiento.

Discontinuos { Depósitos de cristalización.
Cristalizadores con agitación.

Continuos { Swenson-Walker
Otros tipos

Alimentación continua de la solución concentrada caliente →



- Chaqueta de enfriamiento
- Mezclador de listones que giran.
- Raspar los cristales de las paredes frías y desplazarlos en cascada.

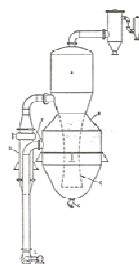
2. Sobresaturación por evaporación del solvente.

Evaporadores de sales

Evaporadores y en parte inferior existe un sedimentador clasificador: los cristales gruesos se sedimentan y los finos se bombean al evaporador para continuar creciendo.

Evaporadores de Oslo, Krystal

- Evaporador de circulación forzada con calentamiento externo.
- Parte inferior: filtro y clasificador de tamaño partículas.



3. Sobresaturación por evaporación adiabática. (Enfriamiento + Evaporación).

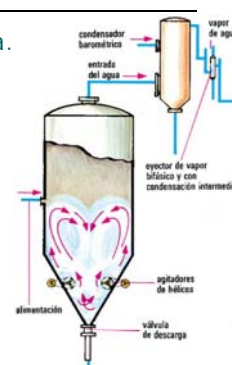
Cristalizadores al vacío.

Si una solución saturada y caliente se introduce en el interior de un depósito en el que existe vacío que corresponde a un punto de ebullición más bajo que a la T que entra la alimentación, la solución a medida que entra se evaporará rápidamente y se enfriará como resultado de la evaporación adiabática.

Pueden tener recirculación.

4. Por adición de una sustancia que reduce la solubilidad de la que se trata de cristalizar.

TAREA: Revisar otros equipos en PERRY



Cálculos en curso OPE IV

- Balance de materia y energía.
- Velocidad de crecimiento.
- Distribución de tamaños de partícula en los cristales.



Referencias

- [1] GEANKOPLIS. "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias". Capítulo 12. CECSA.
- [2] KING J. "Procesos de Separación". Capítulo 1. Ediciones Repla.
- [3] PERRY. "Manual del Ingeniero Químico". Capítulo 19. Mc Graw Hill.
- [4] FOUST, A. "Principios de Operaciones Unitarias". Capítulo 19. Continental S.A. México. 1997.
- [5] BADGER; BANCHERO. " Introducción a la Ingeniería Química". Capítulo 11. Ediciones del Castillo.