

Flujos en Torre de Enfriamiento e Introducción de Cristalización

IIQ2023 - Operaciones Unitarias II

José Rebolledo Oyarce

17 de Junio de 2021



- Objetivos de la Clase
- Torre de Enfriamiento
 - Balances al interior de una torre de enfriamiento
 - Variaciones de Temperatura en la torre de enfriamiento
- Introducción a Cristalización
 - Propósito de la cristalización
 - Diagramas de fases en la cristalización

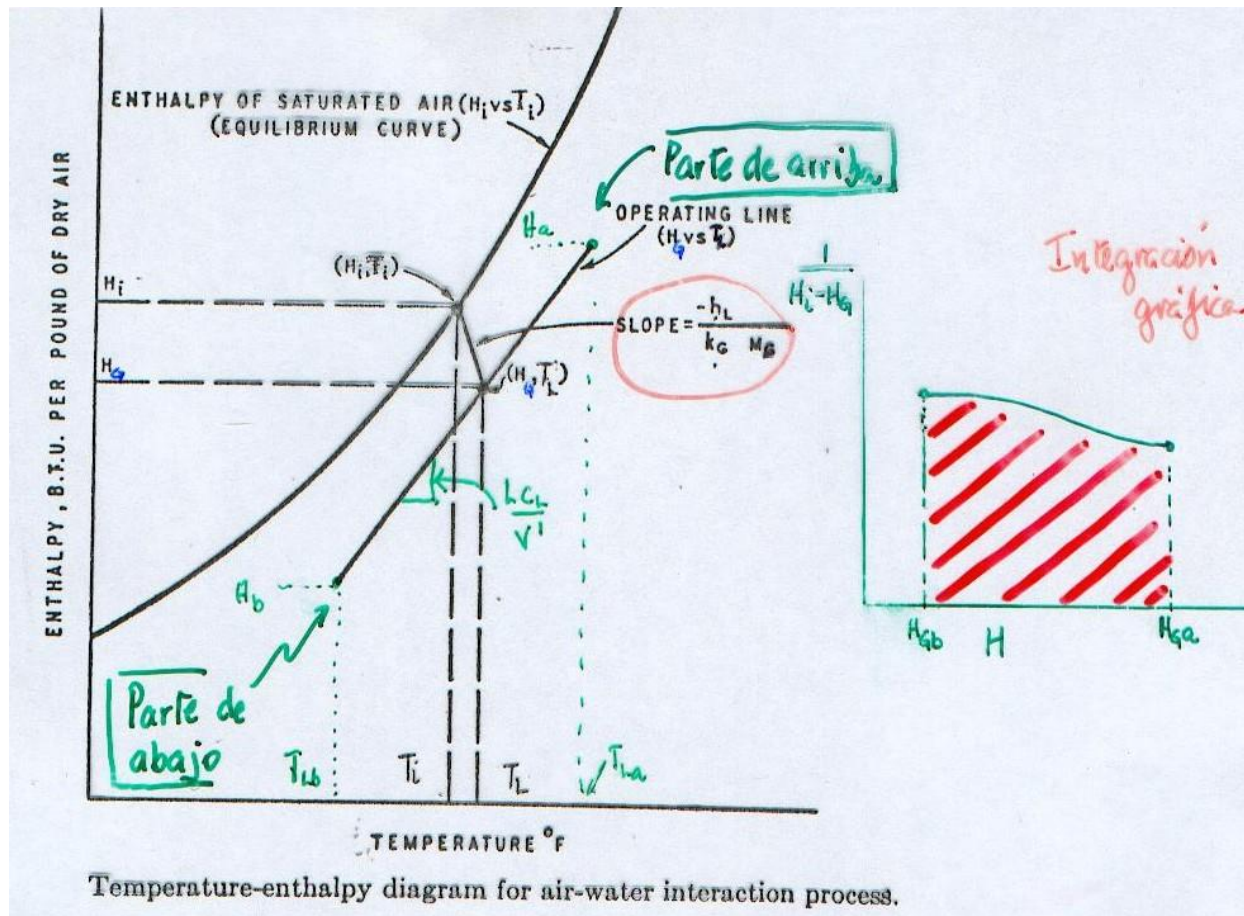
Objetivos de la Clase

- Estimar la variación de la temperatura del aire y de su humedad a lo largo de la torre.
- Aprender una metodología para estimar los coeficientes de transferencia en forma experimental.
- Conocer la importancia de la cristalización y los diagramas de fases en la cristalización

Obtención de Z_T a partir de L.O. y L.E.

$$-\frac{h_L}{k_G PM_{aire}} = \frac{H_i - H_G}{T_i - T_L}$$

$$\int_{H_b}^{H_a} \frac{dH_G}{(H_i - H_G)} = \frac{k_G PM_{aire} a}{V'} Z_T$$



Temperatura y humedad de la corriente de aire en la torre

El procedimiento anterior NO proporciona información sobre los cambios de T_G de la mezcla aire/agua a lo largo de la columna.

Si esta información es de interés se puede obtener a partir de la ecuación (3):

$$AV'dH_G = \lambda_0 k_G a P M_{aire} (W_i - W_G) Adz + h_G a (T_i - T_G) Adz$$

Pero:

$$dH_G = d[C_S(T_G - T_0) + w\lambda_0] = C_S dT_G + \lambda_0 dW$$

$$AV'[C_S dT_G + \lambda_0 dW] = \lambda_0 k_G a P M_{aire} (W_i - W_G) Adz + h_G a (T_i - T_G) Adz$$



Efecto $\uparrow T$



Efecto Evap



Efecto Evap



Efecto $\uparrow T$

$$AV'[C_S dT_G + \lambda_0 dW] = \lambda_0 k_G a P M_{aire} (W_i - W_G) Adz + h_G a (T_i - T_G) Adz$$



Efecto $\uparrow T$



Efecto Evap



Efecto Evap



Efecto $\uparrow T$

$$V' C_S dT_G = h_G a (T_i - T_G) dz \quad (6)$$

Además sabemos que:

$$V' dH_G = k_G a P M_{aire} [H_i - H_G] dz \quad (4)$$

Dividiendo (4) por (6) se obtiene:

$$\frac{dH_G}{dT_G} = \frac{k_G P M_{aire}}{h_G} C_S \left(\frac{H_i - H_G}{T_i - T_G} \right)$$

$$\frac{dH_G}{dT_G} = \left(\frac{H_i - H_G}{T_i - T_G} \right)$$

Esta ecuación establece que el cambio de entalpía de una mezcla aire/vapor de agua con su temperatura es la pendiente de una línea que une los puntos (H_G, T_G) y (H_i, T_i)

Definición Gráfica

Datos: puntos 1,3 y 8

Procedimiento:

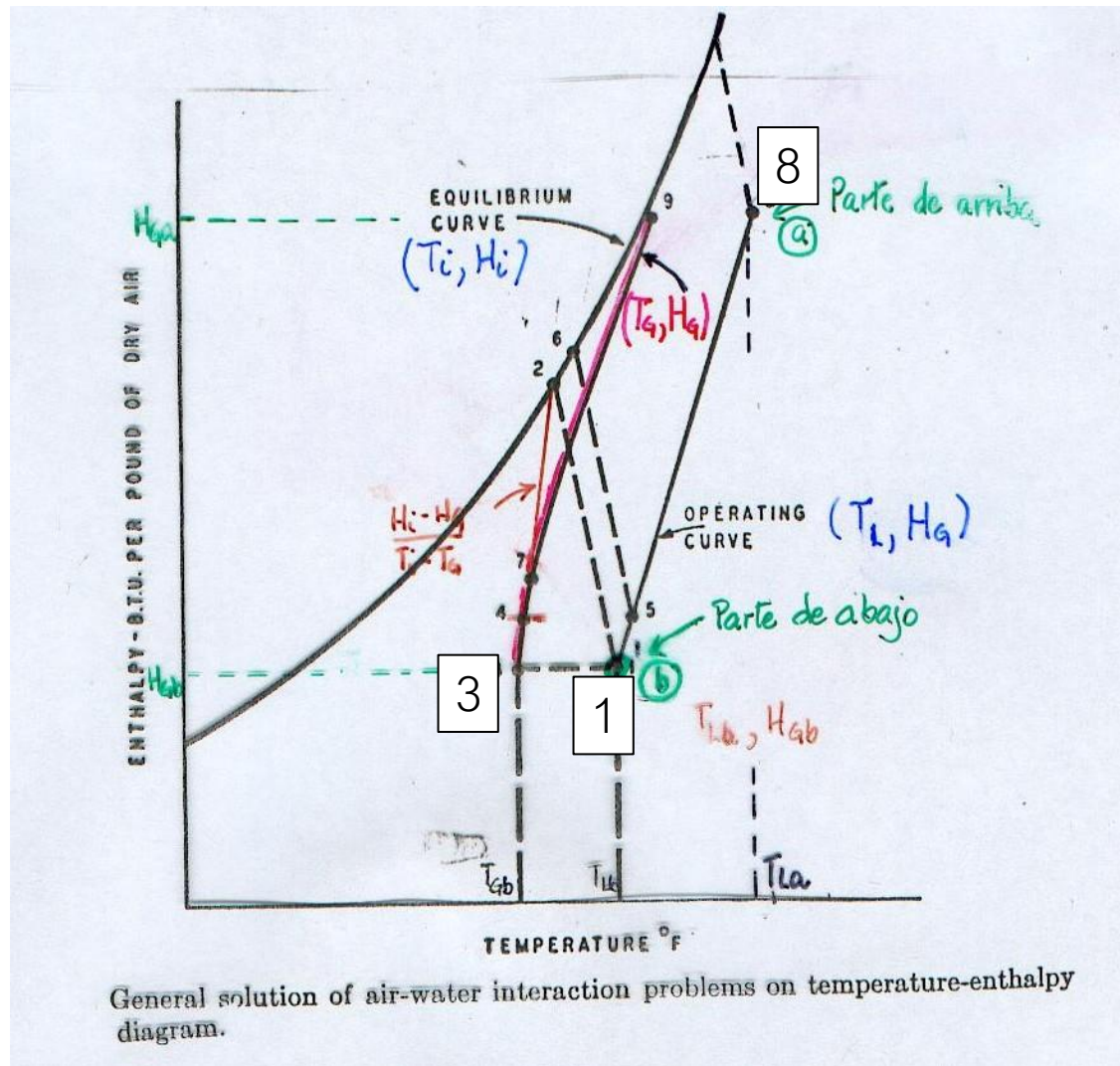
Pto. 1 con $-h_L/k_G PM_{aire}$ se obtiene el pto. H_i, T_i (pto. 2)

$$-\frac{h_L}{k_G PM_{aire}} = \frac{H_i - H_G}{T_i - T_L}$$

Se une con H_{Gb} (3 con 2)

$$\frac{dH_G}{dT_G} = \left(\frac{H_i - H_G}{T_i - T_G} \right)$$

Se define trazo 3-4 y se determina 5. Luego se repite el proceso.



Determinación de coeficientes de Transferencia (experimental)

Datos: $Z, T_{La}, T_{Lb}, T_{Ga}, T_{Gb}, W_a,$
 W_b, H_a, H_b

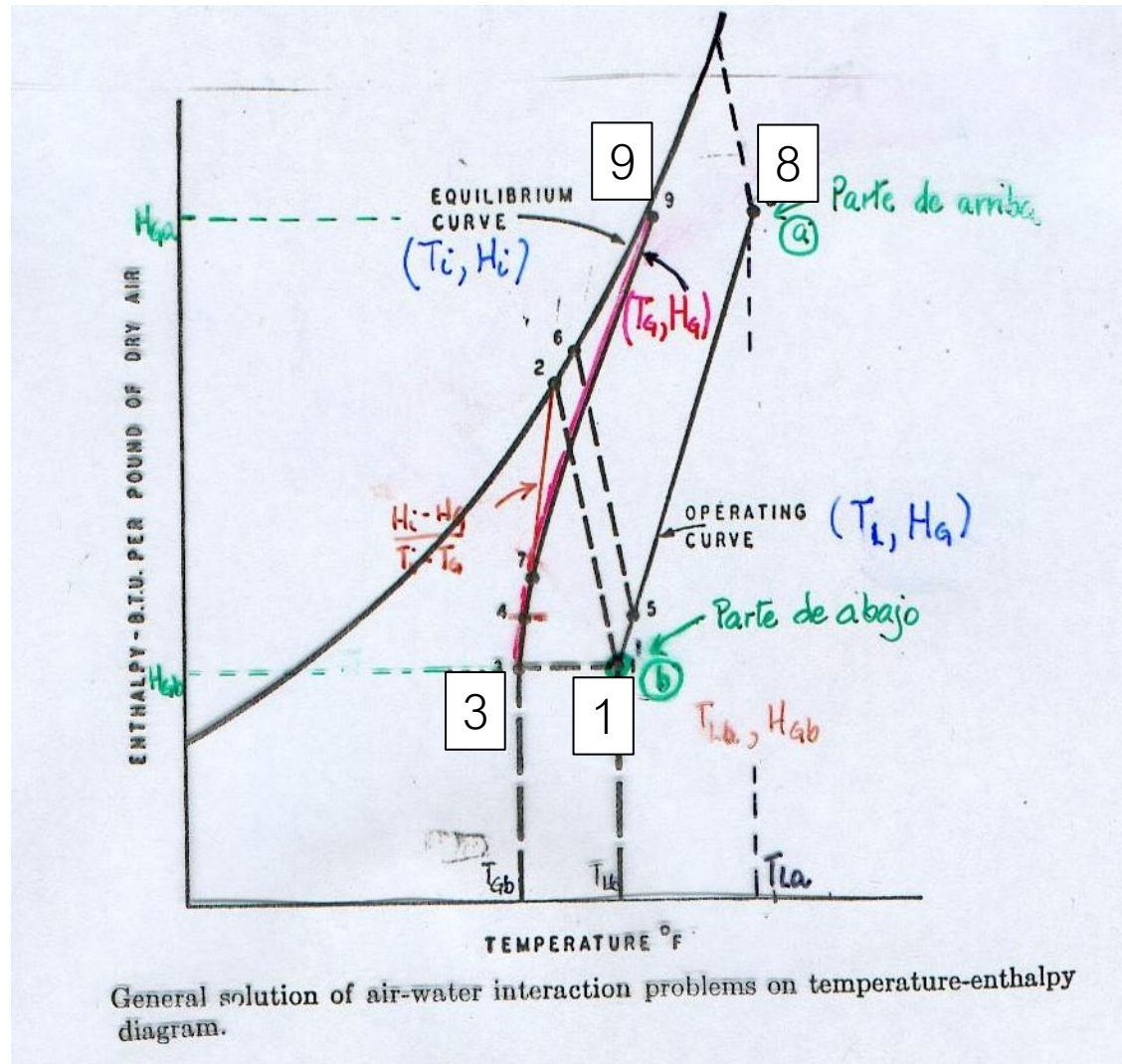
i.e., puntos 1,3, 8 y 9
conocidos

Procedimiento:

1. Pto. 1, se asume $-\frac{h_L}{k_G \cdot PM_{aire}}$
(1era iteración) \rightarrow Curva (T_G , H_G) pasa por 9?
2. Se repite procedimiento hasta que calce
3. Se determinan $H_i - H_G \rightarrow$ grafica $\int \rightarrow k_{Ga}$

$$\frac{dH_G}{dT_G} = \left(\frac{H_i - H_G}{T_i - T_G} \right)$$

4. De $C_s = h_G / PM_{\text{aire}} k_G \rightarrow h_{Ga}$



Operación de la Torre de Enfriamiento en Climas Fríos

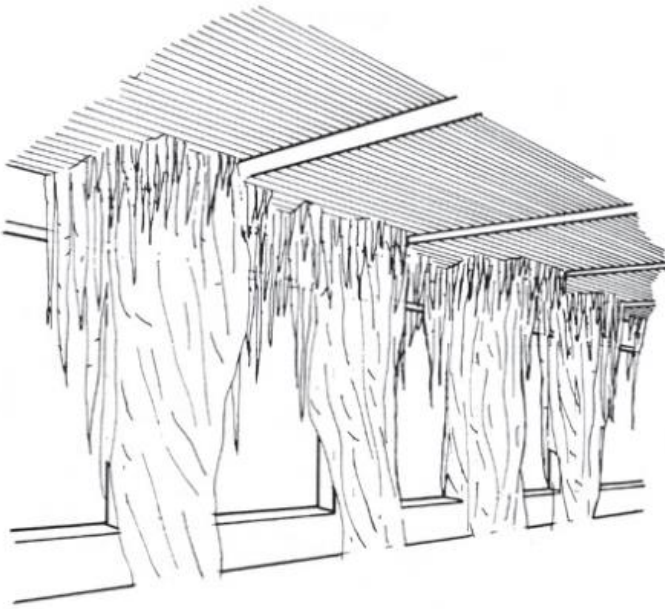


Figure 42a — “Unacceptable” counterflow ice.

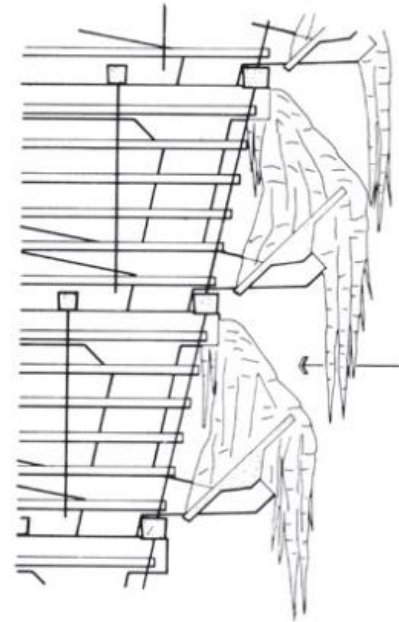


Figure 42b — “Unacceptable” crossflow ice.

Operación de la Torre de Enfriamiento en Climas Fríos

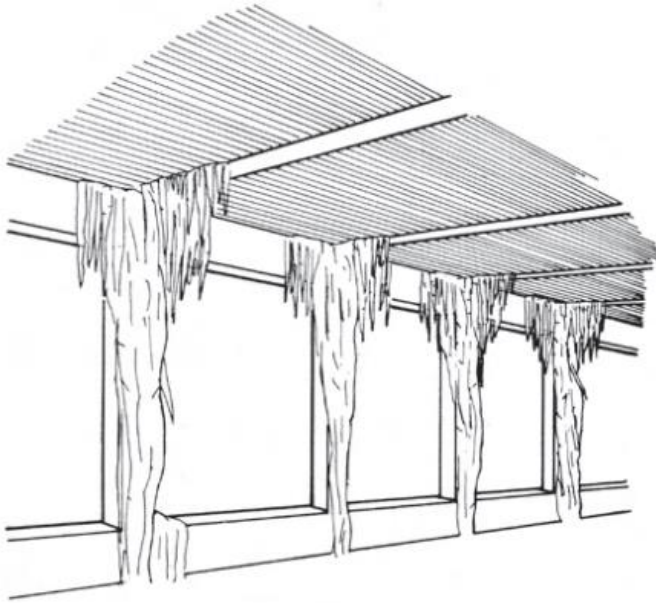


Figure 41a — “Acceptable” counterflow ice.

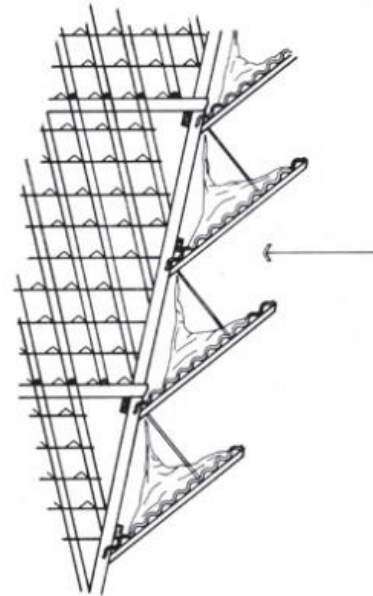
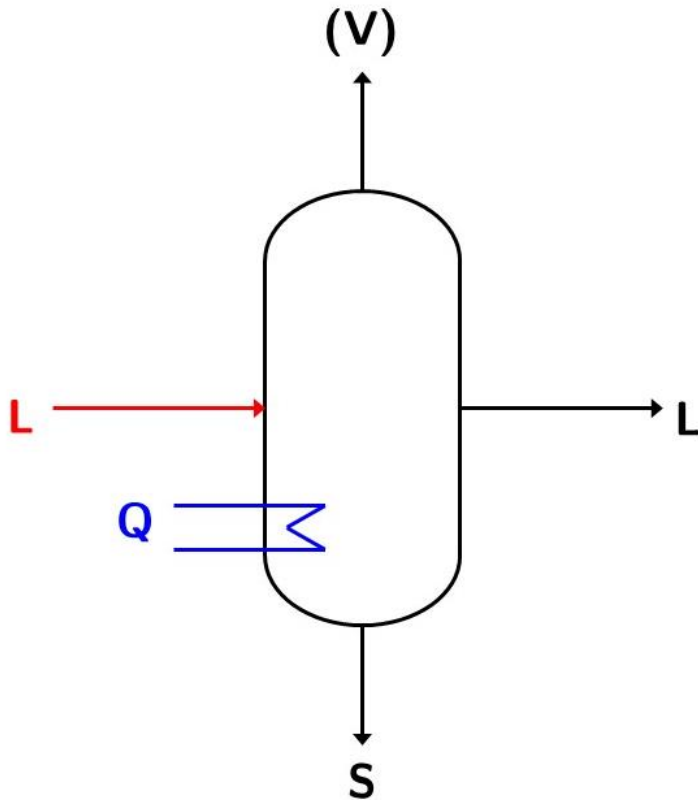


Figure 41b — “Acceptable” crossflow ice.

Cristalización: Operación de Interfase



Agente Separador:

- Energía (Calor)

La cristalización consiste en la separación de los solutos contenidos en una solución (alimentación en rojo) mediante su sobresaturación. La sobresaturación de la solución se puede lograr ajustando las condiciones de temperatura (enfriando) y/o concentración (evaporando).

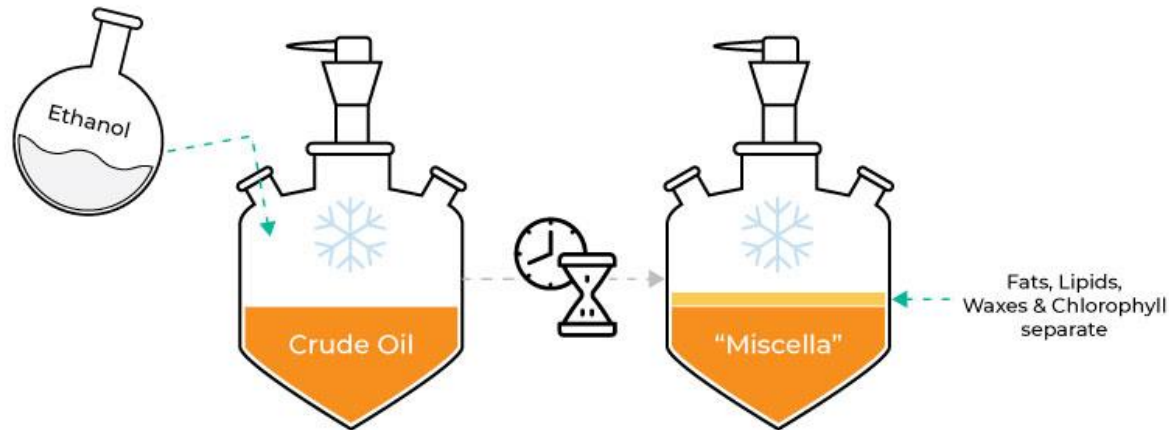
Importancia del Proceso de Cristalización

La cristalización se puede utilizar para diferentes propósitos:

Como un proceso de fraccionamiento (por ejemplo: *winterization of oils and fats*): Es una forma simplificada de fraccionamiento. Se le llama simplificada porque consiste en la eliminación de partes menores del aceite únicamente.

Estas partes que se remueven son triglicéridos y/o ceras de alto punto de fusión.

Entonces, como las grasas son una mezcla de triglicéridos. Cuando se enfría un aceite, los ácidos grasos de cadena larga y/o saturados, cristalizan y precipitan en la mezcla.

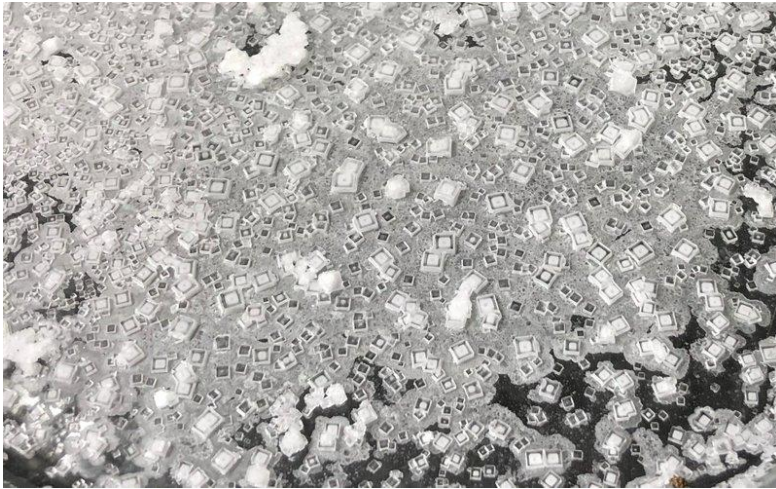


Importancia del Proceso de Cristalización

La cristalización se puede utilizar para diferentes propósitos:

Como un proceso de obtención de cristales: A la solución sobresaturada se le aplica un descenso de temperatura y a medida que la solución disminuye su temperatura se inicia la formación de cristales.

Esta formación depende de la solución, las condiciones ambientales y principalmente la “rampa” de temperatura



Cristales de sal



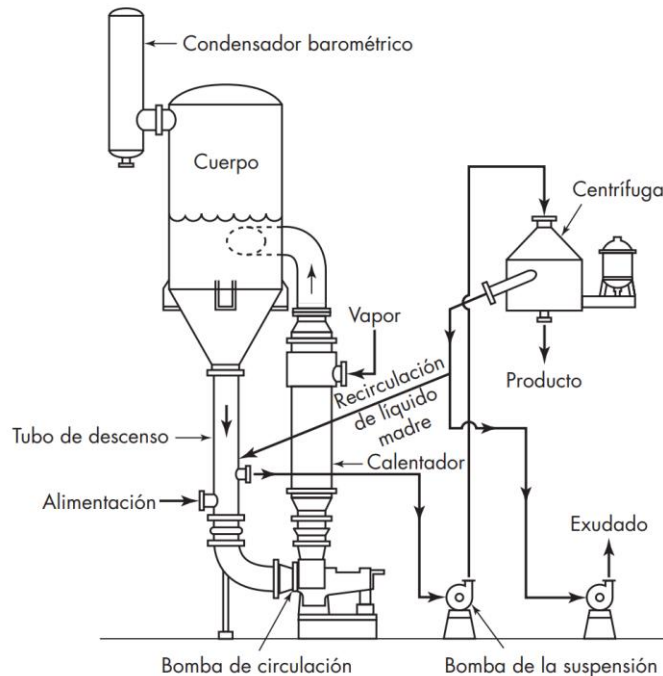
Cristales de azúcar

Importancia del Proceso de Cristalización

La cristalización se puede utilizar para diferentes propósitos:

Como un proceso de obtención de cristales: A la solución sobresaturada se le aplica un descenso de temperatura y a medida que la solución disminuye su temperatura se inicia la formación de cristales.

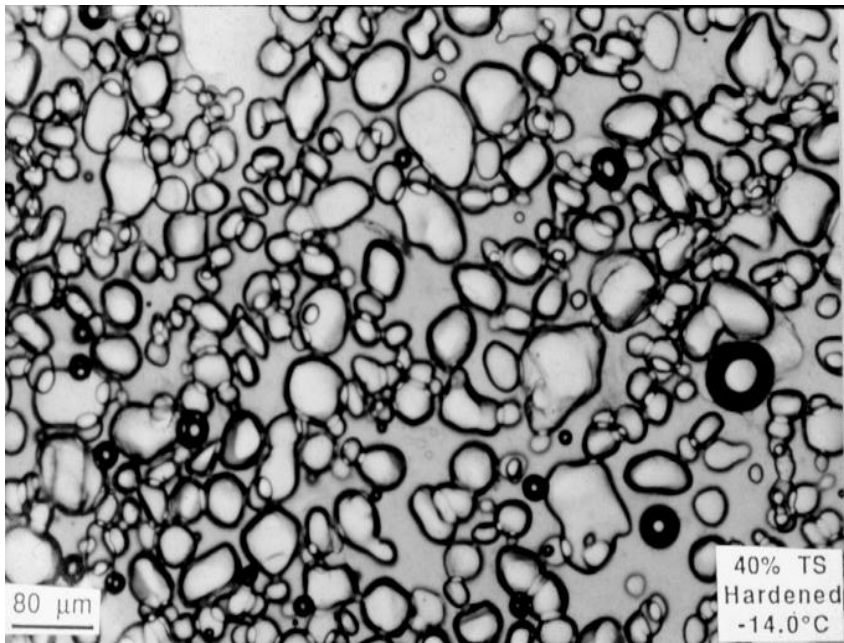
Esta formación depende de la solución, las condiciones ambientales y principalmente la “rampa” de temperatura



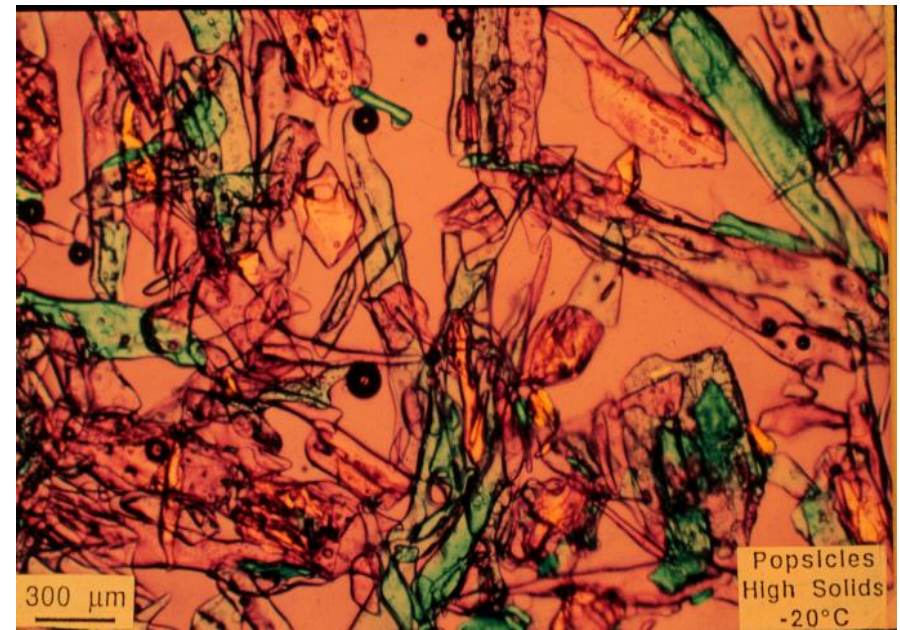
Importancia del Proceso de Cristalización

La cristalización se puede utilizar para diferentes propósitos:

Como un proceso para obtener características deseadas en ciertos productos: En el proceso de generación del cristal, estamos priorizando ciertas estructuras con el fin de mejorar ciertas propiedades organolépticas (por ejemplo, chocolate, alimentos congelados, helados).



A: Cristales en helados de leche



B: cristales en paletas heladas

Hartel, 2001

Importancia del Proceso de Cristalización

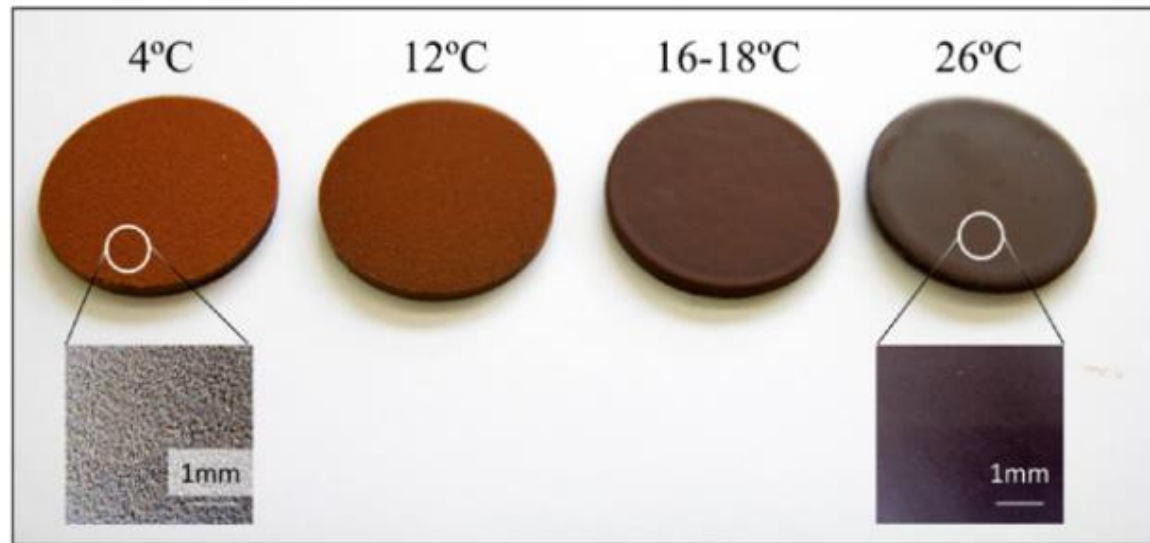
La cristalización se puede utilizar para diferentes propósitos:

Como un proceso para obtener características deseadas en ciertos productos: En el proceso de generación del cristal, estamos priorizando ciertas estructuras con el fin de mejorar ciertas propiedades organolépticas (por ejemplo, chocolate, alimentos congelados, helados).



En el caso de la mantequilla de cacao al momento de cristalizar dependiendo de como va ocurriendo el proceso de enfriamiento podemos obtener los siguientes cristales:

Forma del Cristal	Tipos de Cristales	Punto de Fusión (°C)
I	Sub- α o γ	16-18
II	α	21-22
III	β'_2	25.5
IV	β_1'	27-29
V	β_2	34-35
VI	β_1	36



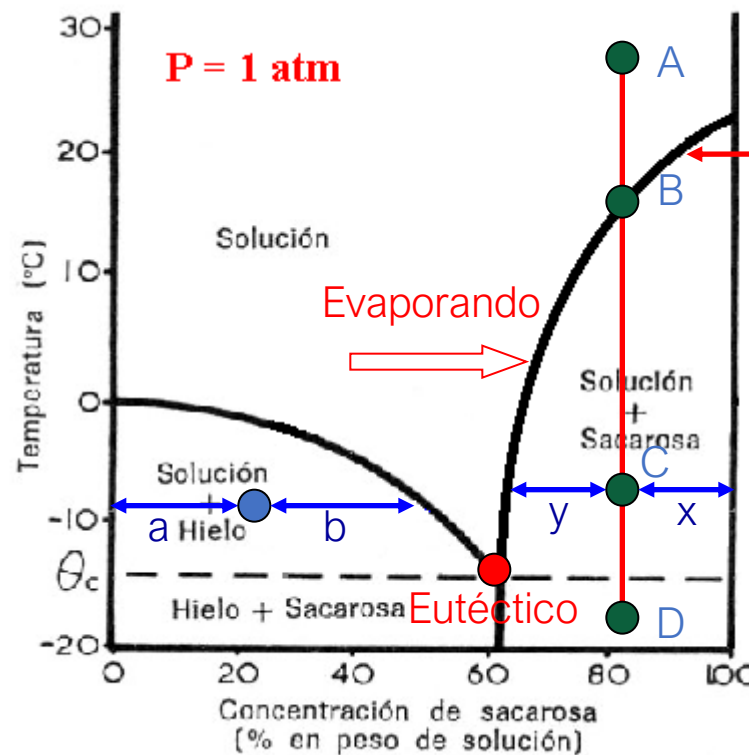
Formación de Cristales

Al ir disminuyendo la Temperatura o modificando la cantidad de agua produciremos la precipitación de los cristales.

Una propiedad básica de las soluciones acuosas es que al aumentar la concentración de sólidos disueltos disminuye el punto de congelación.

Proporción
Hielo/Solución
(regla de la palanca)

$$= b / a$$

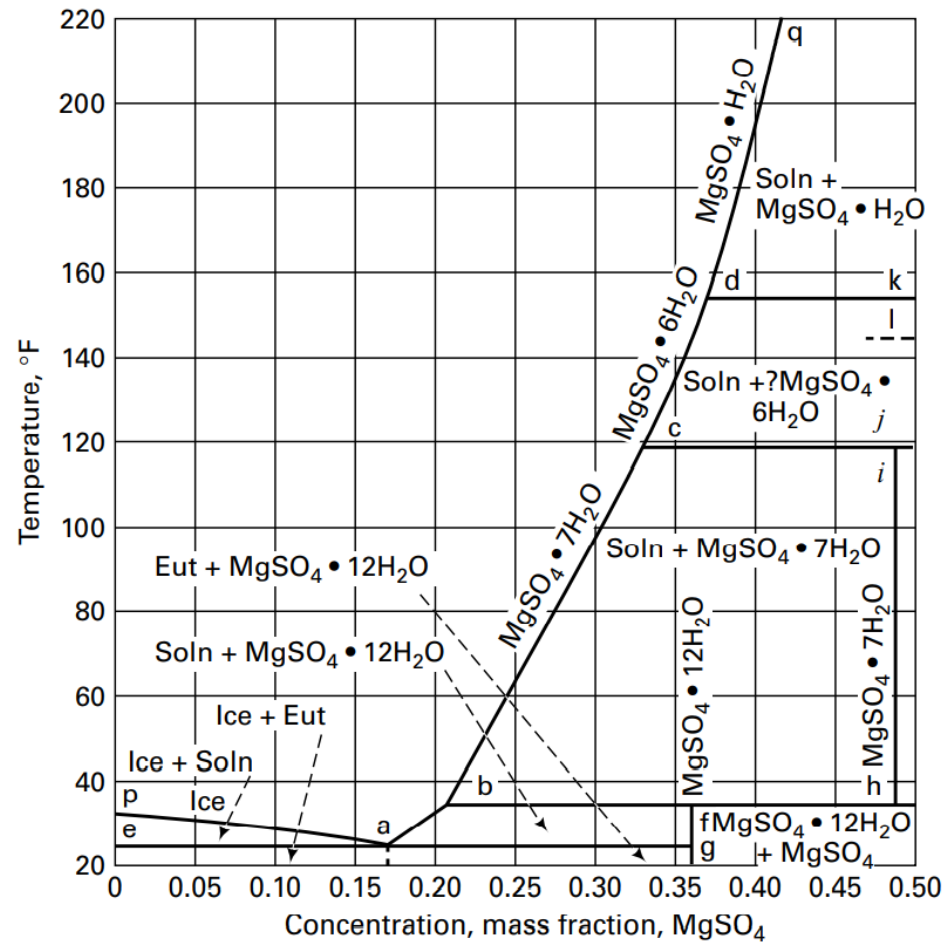


Curva de solubilidad
de sacarosa

Proporción Sacarosa/Solución
(regla de la palanca)

$$= y / x$$

Existen muchos sistemas más complejos, en los que se puede formar una serie de compuestos



- Estimar la variación de la temperatura del aire y de su humedad a lo largo de la torre.
- Aprender una metodología para estimar los coeficientes de transferencia en forma experimental.
- Conocer la importancia de la cristalización y los diagramas de fases en la cristalización

Flujos en Torre de Enfriamiento e Introducción de Cristalización

IIQ2023 - Operaciones Unitarias II

José Rebolledo Oyarce

17 de Junio de 2021

