

PRINCIPIOS BASICOS DE LA CRIOCONCENTRACION Y LA LIOFILIZACION

EDUARDO POSADA FLOREZ
Investigador principal, LIQC

1. INTRODUCCION

En este trabajo se presentan los principios básicos que rigen los procesos de conservación de alimentos que utilizan la congelación total o parcial del agua presente en el producto.

La primera parte está dedicada al estudio de la congelación de soluciones binarias y de soluciones complejas, tales como extractos de café, jugos de fruta, fluidos inter e intra celulares, etc.

Esas consideraciones se aplican luego al estudio de la concentración por congelación y de la deshidratación por sublimación o liofilización.

Por último, se examinan algunas aplicaciones prácticas de esos métodos al caso del café, frutas, verduras, etc.

2. BASES DE LA CONGELACION (1, 2)

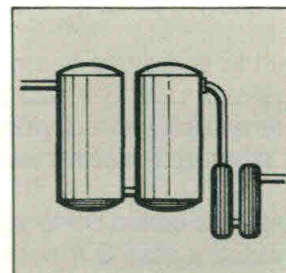
La congelación es uno de los métodos más antiguos para la preservación de alimentos. En el presente siglo, gracias al desarrollo de procesos de refrigeración mecánica, la industria de la congelación se ha convertido en una de las componentes más importantes de la tecnología de alimentos.

En el caso particular de la crioconcentración y la liofilización la manera como se lleve a cabo la congelación previa tiene una influencia decisiva sobre las características del producto final; por esta razón conviene examinar con algún detalle los principios que rigen la congelación tanto del agua pura como de las soluciones complejas.

2.1 Congelación en agua pura (1)

Consideremos el enfriamiento a presión constante entre las temperaturas T_2 y T_3 del diagrama de fases del agua (Figura 1), suponiendo que la rata a la cual se retira calor a la solución permanece constante durante todo el proceso. La variación de la temperatura de la muestra en función de la cantidad de calor retirada, aparece en la Figura 2.

Inicialmente, la temperatura decrece linealmente y el calor retirado es únicamente calor sensible de la muestra. El punto S corresponde al fenómeno de subenfriamiento, es decir, a un descenso de la temperatura por debajo del punto de congelación.



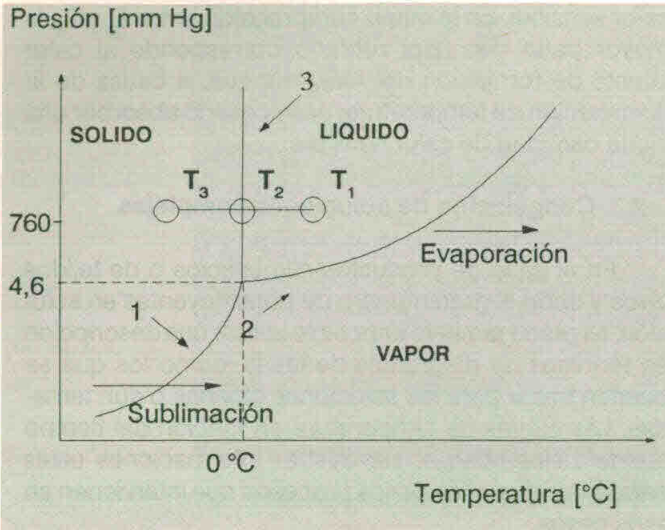


FIGURA 1. Diagrama de fases del agua

Una vez que la cristalización comienza, se observa un rápido aumento de la temperatura hasta T_2 (0°C). A partir de ese momento y durante todo el proceso, la temperatura permanece constante y el calor retirado corresponde al calor latente de congelación.

Una vez que toda el agua presente se ha convertido en hielo, se observa de nuevo un descenso lineal de la temperatura hasta el valor final T_3 . La pendiente de la recta es dos veces mayor que en la primera parte, ya que el valor del calor específico del hielo es la mitad que el del agua.

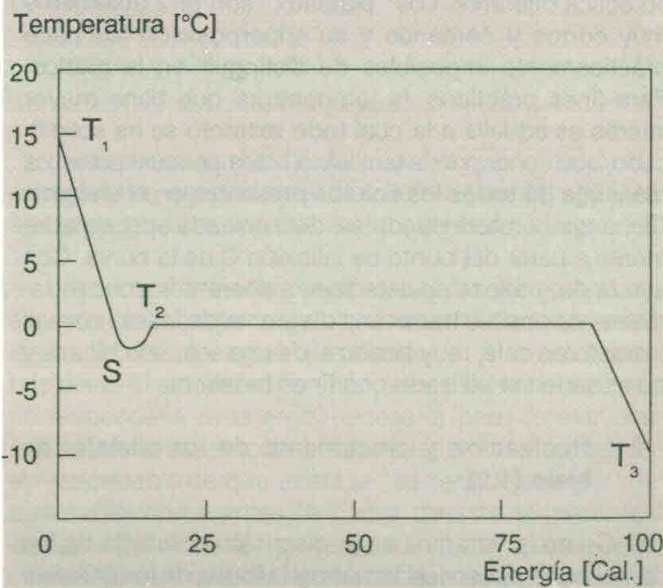


FIGURA 2. Calor retirado

2.2 Congelación de una solución binaria (2)

En la práctica, el estudio de sistemas tales como soluciones acuosas, jugos de frutas, tejidos naturales, etc., reviste un interés mucho mayor que el del agua pura. Las propiedades de dichos sistemas son en general de una gran complejidad, razón por la cual nos limitaremos aquí al estudio de soluciones binarias cuyo comportamiento es en muchos aspectos similar al de los productos naturales. La Figura 3 nos muestra el diagrama temperatura-composición de una solución acuosa-sucrosa.

El diagrama comprende cinco fases principales: Solución pura, hielo más solución, hidrato de sucrosa más solución y sucrosa más hielo. Las líneas de separación son las curvas de equilibrio entre las diferentes fases. Así por ejemplo, la línea AB, llamada curva de congelación, representa el equilibrio entre la solución y la fase sólida del componente presente en exceso (hielo). La línea BC corresponde al equilibrio entre la solución y el hidrato de sucrosa y se denomina la curva de super solubilidad. Estas dos curvas se cortan en el punto B, llamado punto eutéctico, que es la única combinación de concentración y temperatura a la cual la solución puede coexistir con formas sólidas del solvente y del soluto. La temperatura eutéctica (línea E, B, F) es la temperatura por debajo de la cual la totalidad de la solución se solidifica.

La curva AB tiene una pendiente negativa, lo cual indica una disminución de la temperatura de congelación cuando la concentración de soluto aumenta.

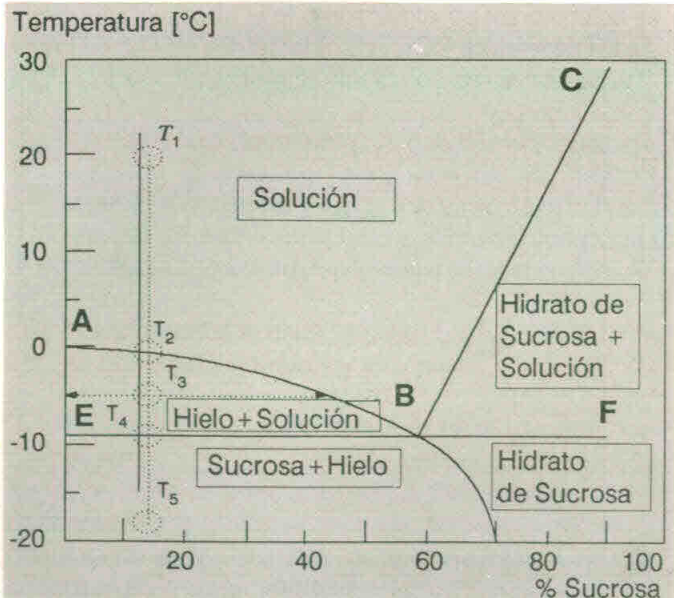


FIGURA 3. Diagrama de fases de una solución binaria.

Igualmente, la pendiente positiva de la curva BC indica un incremento de la solubilidad de la sucrosa al subir la temperatura.

Consideremos ahora el enfriamiento de la solución a partir de la temperatura T_1 hasta la temperatura T_5 de la Figura 3. Como en el caso del agua pura, supondremos que el calor es retirado a una rata constante. La curva de temperatura en función del tiempo aparece en la Figura 4.

Como en el caso del agua pura, la temperatura desciende linealmente en función del tiempo hasta alcanzar el punto de congelación. Se presenta entonces un cierto subenfriamiento que, como veremos más adelante, depende de la rata de enfriamiento. Cuando la cristalización comienza, la temperatura sube bruscamente hasta T_2 que corresponde al valor dado por la curva de congelación. La formación de cristales de hielo produce un aumento de la concentración de la solución restante cuyo punto de congelación disminuye. Por esta razón, al contrario de lo que ocurre con el agua pura, la temperatura no se mantiene constante.

Al llegar a la temperatura eutéctica (T_4) se observa un nuevo subenfriamiento y luego una zona de temperatura constante que corresponde a la formación del sólido eutéctico. Esta etapa no implica ningún aumento de la concentración de la solución ya que se produce la formación simultánea de cristales de hielo y de hidrato de sucrosa, en proporciones iguales.

Una vez terminada la solidificación, la temperatura vuelve a disminuir, pero el calor retirado es únicamente

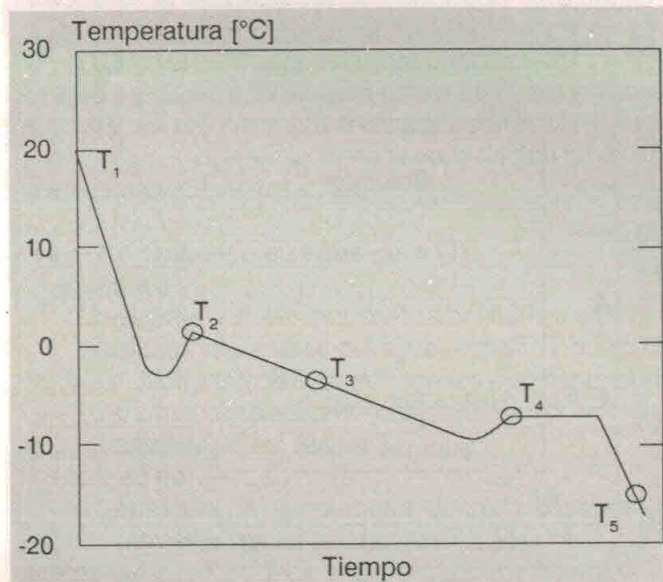


FIGURA 4. Curva de congelación de una solución binaria.

calor sensible. En la etapa comprendida entre T_2 y T_4 , la mayor parte del calor retirado corresponde al calor latente de formación del hielo aunque, a causa de la disminución de temperatura, es necesario absorber una cierta cantidad de calor sensible.

2.3 Congelación de soluciones complejas

En el caso de productos alimenticios o de tejidos vivos y dado el gran número de constituyentes en solución, es prácticamente imposible utilizar una descripción en términos de diagramas de fases, como los que se pueden trazar para las soluciones binarias o aún ternarias. Las curvas de temperatura en función del tiempo pueden, sin embargo, suministrar informaciones útiles para la comprensión de los procesos que intervienen en esos casos.

A título de ejemplo, la Figura 5 muestra la curva de congelación de un extracto de café, determinada experimentalmente. Como en las soluciones estudiadas anteriormente, se observa primero una variación lineal de la temperatura que prosigue hasta el comienzo de la cristalización en el punto S. Se ve luego un brusco aumento de la temperatura hasta el punto B que corresponde a la temperatura de congelación de equilibrio. Al igual que en las soluciones binarias, la temperatura desciende luego progresivamente, a medida que se forman los cristales de hielo y que la solución restante se concentra. En este caso, sin embargo, no se observa el "plateau" correspondiente a la temperatura eutéctica que aparece en las soluciones binarias. La explicación de este hecho reside en el gran número de sustancias presentes en el extracto, cada una de las cuales posee una temperatura eutéctica diferente. Los "plateaux" son probablemente muy cortos y cercanos y su superposición los hace prácticamente imposibles de distinguir en la gráfica. Para fines prácticos, la temperatura que tiene mayor interés es aquella a la cual todo extracto se ha solidificado, que corresponde también a la temperatura eutéctica más baja de todos los solutos presentes en el sistema. Dicha temperatura puede ser determinada aproximadamente a partir del punto de inflexión C de la curva. Con ayuda de gráficas de este tipo, a diferentes concentraciones es posible trazar un "diagrama de fases" para el extracto de café, muy similar al de una solución binaria y que puede ser utilizado con fines prácticos.

2.4 Nucleación y crecimiento de los cristales de hielo (1.2)

Como lo veremos en la discusión detallada de los diferentes procesos, el tamaño y la forma de los cristales de hielo juegan un papel esencial en el desenvolvimiento

