

# Determinación de la cantidad de calor que hay que aportar o extraer a un alimento cuando pasa de una temperatura T1 a una temperatura T2

<b>Apellidos, nombre</b>	Pau Talens Oliag (pautalens@tal.upv.es)
<b>Departamento</b>	Tecnología de Alimentos
<b>Centro</b>	Universitat Politècnica de València

## 1 Resumen de las ideas clave

En este artículo vamos a presentar una forma rápida y sencilla para el cálculo aproximado de la cantidad de energía, en forma de calor, que hay que aportar o extraer a un alimento cuando éste pasa de una temperatura inicial  $T_1$  a una temperatura final  $T_2$ . Hablaremos de aportar calor cuando el alimento es calentado por una fuente de energía externa y de extraer calor cuando el alimento es enfriado por la fuente de energía externa.

## 2 Introducción

La mayoría de los métodos de procesado y conservación de alimentos incluyen transferencia de energía en forma de calor desde el exterior hacia el alimento, como ocurre en los procesos de pasteurización y/o esterilización, o desde el alimento al exterior como ocurre en los procesos de refrigeración o congelación.

Desde un punto de vista industrial, conocer la carga térmica, o lo que es lo mismo, la cantidad de energía térmica que hay que suministrar o extraer para llevar un producto desde su temperatura inicial a una temperatura final deseada es muy importante ya que permite evaluar el coste energético del proceso. Si el proceso es en continuo, además tendrá una influencia directa sobre el tamaño del equipo donde se desarrolla el proceso.

Para el cálculo de la carga térmica es necesario conocer el calor específico o calor sensible y, en caso de que alguno de los macrocomponentes del alimento cambie de estado durante el proceso, el calor latente, o entalpía, implicado en el proceso. Se entiende como macrocomponente alimentario al agua, proteínas, grasas e hidratos de carbono.

El calor específico ( $c_p$ ) de un material es una medida de la cantidad de energía requerida para que una unidad de masa modifique un grado su temperatura [1,2]. La cantidad de calor que es necesario suministrar para llevar la temperatura de una masa de producto  $m$  desde una temperatura  $T_1$  a otra  $T_2$ , siempre y cuando no ocurra un cambio de estado de ningún macrocomponente en el intervalo de temperaturas de proceso, viene dada por la ecuación 1. Las unidades del calor específico son  $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$  o  $\text{kcal kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ . Para el agua  $c_p = 4.18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1} = 1.0 \text{ kcal kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ .

Como se observa en la ecuación 1, el valor del calor específico es dependiente de la temperatura, aunque para cálculos ingenieriles, esta variación puede considerarse pequeña y puede tomarse un valor promedio en el intervalo de temperaturas considerado. Si se realiza esta hipótesis, la ecuación 1 se convierte en la ecuación 2.

$$Q = m \int_{T_2}^{T_1} c_p dT \quad (1)$$

$$Q = mc_p dT \quad (2)$$

El conocimiento del calor latente ( $\Delta H$ ), que está asociado con un cambio de estado de primer orden, es fundamental para los cálculos de carga térmica en procesos de cristalización, evaporación y también, aunque en menor medida en los que implican

desnaturalización de proteínas o gelatinización del almidón. La cantidad de calor que es necesario suministrar para que tenga lugar el cambio de estado, viene dado por la ecuación 3, y dependerá de que macrocomponente está cambiando de estado y de la cantidad del mismo que cambie de estado.

$$Q = m\Delta H \quad (3)$$

La tabla 1 presenta los valores de calor latente, en kJ/kg, de los cambios de estado que tienen lugar en los macrocomponentes alimentarios. Puede observarse en la tabla 1 que los valores de  $\Delta H$  para el agua y los lípidos son altos, mientras que para los lípidos y proteínas son bajos. Para cálculos simplificados, generalmente la cantidad de energía requerida para el cambio de estado de las proteínas o los hidratos de carbono no suelen contabilizarse, aunque si se dispone de sus valores de entalpía no sería más que añadir su contribución al cálculo final.

**Tabla 1. Valores de calor latente, en kJ/kg, de los cambios de estado que tienen lugar en los macrocomponentes alimentarios [3]**

	Calor latente (kJ/kg)
Fusión/congelación agua	335
Vaporización/condensación	2257
Desnaturalización de Proteínas	20
Gelatinización almidón	15
Fusión/cristalización lípidos	250

Del mismo modo que habíamos dicho que el valor del calor específico es dependiente de la temperatura, y que, para cálculos ingenieriles, esta variación puede considerarse pequeña y puede tomarse un valor promedio en el intervalo de temperaturas considerado, lo mismo ocurre para el calor latente. El calor latente de cambio de estado es función de la temperatura y para cálculos ingenieriles, puede considerarse constante en el intervalo de temperaturas considerado. Por otro lado, en un alimento el cambio de estado ocurre en un intervalo de temperaturas, aunque para cálculos simplificados de carga térmica se puede asumir que la transición ocurre a una temperatura determinada  $T_r$  (la inicial o la de mayor predominio de la transición).

### 3 Objetivos

Con la redacción de este artículo docente se persigue que los alumnos adquieran la capacidad de:

- Determinar la cantidad de calor que es necesario aplicar, o sustraer, a un alimento para llevarlo de una temperatura  $T_1$  a una temperatura  $T_2$ .
- Comprender las hipótesis que deben realizarse para poder realizar el cálculo de forma sencilla.

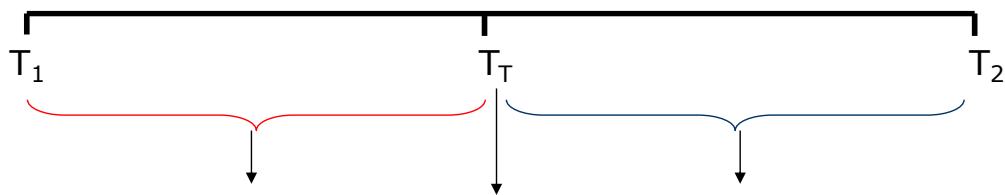
## 4 Desarrollo

Para comenzar, en el punto 4.1 se van a exponer los fundamentos de cómo puede realizarse el cálculo de carga térmica de un proceso.

Posteriormente, en el punto 4.2 se presentará un ejemplo real del cálculo de la carga térmica durante un proceso de enfriamiento/congelación de unas fresas.

### 4.1 Fundamentos para el cálculo de carga térmica de un alimento durante un proceso de calentamiento o enfriamiento.

La figura 1, esquematiza de forma gráfica cómo podemos calcular la cantidad de calor que hay que aportar o extraer a un alimento cuando este pasa de una temperatura 1 a una temperatura 2, suponiendo que durante el proceso tiene lugar un cambio de estado en el alimento.



$$Q = m_P c_{T_1-T_T} (T_T - T_1) + m_m \Delta H_T + m c_{T_T-T_2} (T_2 - T_T)$$

**Figura 1. Cálculo de carga térmica de un alimento durante un proceso de calentamiento o enfriamiento**

Para el cálculo dividimos el proceso en etapas, desde la temperatura que partimos ( $T_1$ ) hasta la temperatura que deseamos llegar ( $T_2$ ) pasando por la temperatura a la cual ocurre la transición ( $T_T$ ). En la etapa inicial y final el sistema presentará diferente calor específico, mientras que a  $T=T_T$ , la entalpía del sistema cambia debido al calor latente de cambio de estado asociado a la transición ( $\Delta H_T$ ). El cálculo de la carga térmica requiere conocer el calor específico del alimento en el intervalo  $T_1-T_T$  y en el intervalo  $T_T-T_2$ , el calor latente de cambio de estado ( $\Delta H_T$ ) y la cantidad de alimento con la que estamos trabajando ( $m_P$ ) y la cantidad de alimento o macrocomponente ( $m_m$ ) que cambia de estado.

En el cálculo anterior se ha supuesto que tanto  $c_P$  como  $\Delta H$  se mantienen constantes en el intervalo de temperaturas considerado. Si se requieren estimaciones más precisas de los cambios de entalpía de un producto entre dos temperaturas determinadas  $T_1$  y  $T_2$  en cuyo intervalo ocurren transiciones fase es preciso disponer de las curvas experimentales del calor aparente versus temperatura. El valor del calor aparente debe incluir calor sensible y calor latente a una determinada temperatura.

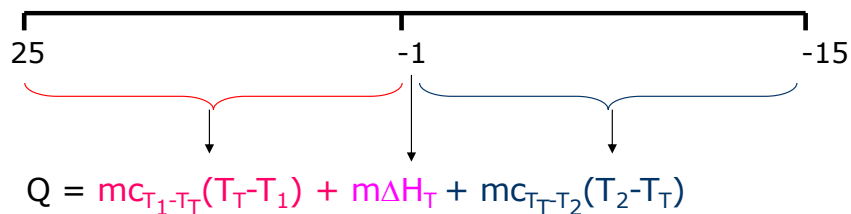
Es importante tener en cuenta cómo será el signo de la carga térmica del proceso. Si se está eliminando calor del alimento el signo será negativo, mientras que, si se está aportando calor al sistema, el signo será positivo.

## 4.2 Ejemplo real del cálculo de la carga térmica de un alimento durante un proceso de enfriamiento.

Imaginar que queremos calcular la cantidad de calor, en kcal, que hay que extraer de 200 kg de fresas que inicialmente se encuentran a 25°C y tienen un contenido en agua del 87.4%, para congelarlas a -15°C.

Se sabe que las fresas comienzan a congelar a -1.22°C, y que a esa temperatura congela el 84% de agua. El calor específico de las fresas en el intervalo  $T_1-T_T$  es de 0.90 kcal/(kg·K) y en el intervalo  $T_T-T_2$  es de 0.46 kcal/(kg·K). El calor latente de cambio de estado asociado a la transición es de 80.4 kcal/kg.

La figura 2 presenta de forma esquemática como debe realizarse el cálculo de carga térmica del ejemplo planteado.



$$Q = 200 \cdot 0.90(-1.22-25) + 200 \cdot 0.84 \cdot (-80.4) + 200 \cdot 0.46(-15+1.22)$$

$$Q = -4719.6 - 13507.2 - 1267.76 = -19495 \text{ kcal}$$

**Figura 2. Esquema del cálculo de carga térmica del ejemplo real**

Para el cálculo dividimos el proceso en 3 etapas, la etapa 1 desde la temperatura inicial a la que se encuentran las fresas (25°C) hasta la temperatura de transición o temperatura a la cual empieza a congelar las fresas, la etapa 2 la temperatura a la que tiene lugar la transición líquido-hielo (-1.22°C), y la tercera etapa, desde la temperatura de transición hasta la temperatura final (-15°C).

En la primera y tercera etapa se debe tener en cuenta que la cantidad de fresas que estamos congelando son 200kg y que el calor específico de la primera etapa es superior al de la segunda etapa, ya que en la primera etapa el agua se encuentra en estado líquido mientras que en la segunda etapa gran parte de esta agua se encuentra en estado sólido.

En el cálculo de la etapa 2, se debe tener en cuenta que hablamos de la masa del componente que cambia de estado, es decir el agua, y que el valor de la entalpía es negativo ya que se trata de un proceso de congelación y por tanto se desprende calor.

En base a los resultados se puede ver que, energéticamente hablando, la etapa que más cuesta es la etapa 2, debido al cambio de estado de líquido a hielo. De las otras dos etapas, cuesta más enfriar hasta la temperatura de congelación (etapa 1) que enfriar cuando ya está congelado (etapa 3). Esto es debido a que el calor específico de las fresas frescas es mayor que el valor del calor específico de las fresas

congeladas. El valor final es negativo lo que es coherente con la eliminación de calor del sistema.

¿Qué hipótesis se han realizado para hacer este cálculo?

1. Suponemos que toda la fresa congela a una temperatura constante ( $-1.22^{\circ}\text{C}$ ).
2. Suponemos que el valor de entalpía es constante entre  $-1.22^{\circ}\text{C}$  y  $-15^{\circ}\text{C}$
3. Suponemos que los valores de  $c_p$  entre  $25$  y  $-1.22^{\circ}\text{C}$  y entre  $-1.22$  y  $-15^{\circ}\text{C}$  son constantes.

## 5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto una forma de calcular la cantidad de calor que es necesario aplicar o sustraer para llevar un alimento de una temperatura  $T_1$  a una temperatura  $T_2$ , y las hipótesis necesarias que debemos realizar para llevar a cabo dicho cálculo de forma simplificada.

## 6 Bibliografía

- [1] Juan Antonio Rodríguez Renuncio, Juan José Ruiz Sánchez, José Santiago Urieta Navarro (2000). Termodinámica química. Editorial Síntesis, Madrid
- [2] Ira N. Levine (2004). Físicoquímica. Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España
- [3] Lewis, M. J. (1993). Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España.