

Pérdida de humedad durante el proceso de enfriado o congelado de productos

Uno de los factores importantes a tener en cuenta en el momento de evaluar los sistemas de enfriamiento y/o congelación es su capacidad para evitar la pérdida de humedad de los productos.

Es necesario tener en cuenta que resulta imposible enfriar o congelar productos alimentarios no empacados, sin que se produzca pérdida de humedad de los mismos. Este es un proceso que sucede naturalmente, en la medida que en los sistemas de refrigeración mecánica, el fluido que realiza la transferencia de calor entre el producto y el evaporador es el aire, el que absorbe humedad en distintas proporciones, dependiendo de las condiciones de temperatura y presión.

Por ejemplo si un producto se congela utilizando aire a una $t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el aire alcanza a saturarse de humedad, este absorbe 10 veces más humedad que si la temperatura del aire fuera de $t = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La masa de agua retirada de un producto no empacado durante el proceso de congelado está directamente relacionado con:

1. La diferencia de temperatura del aire que ingresa al evaporador y la temperatura de saturación del refrigerante en el evaporador y, la relación entre la presión de vapor del aire que ingresa al evaporador y del aire que circula sobre el producto.
2. El tiempo de proceso de congelación.
Este tiempo se controla en buena medida mediante el flujo de aire a través del producto.
Es un hecho constatado que cuanto mayor sea la velocidad de congelación de un producto menor será su desecación y mejor será la calidad del producto. Sin embargo este proceso tiene limitaciones físicas y prácticas con relación a la velocidad de congelación.
3. Las pérdidas de agua por goteo previo al inicio de la congelación pueden ser significativas, además de la humedad absorbida por el aire.
4. La presión de vapor de agua en el producto que se va a congelar y el coeficiente de difusión del agua a través de la estructura del producto.

En el fenómeno de transferencia de masa y energía en el que participa el aire dentro de una cámara, la humedad fluye directamente desde una región de alta presión de vapor (y alta temperatura) hacia una región de baja presión de vapor (y baja temperatura). Es así que el tránsito normal de la humedad es desde el producto a tratar hacia el aire frío.

Es por ello que una temperatura de aire baja implica una mayor posibilidad de pérdida de humedad del producto, básicamente durante la fase inicial del proceso de congelado, antes de que las porciones externas del producto se congelen o se sellen con hielo superficial.

CUADRO N° 1

Contenido de humedad del aire saturado en función de la temperatura

Temp °C	Kg. de agua / Kg. de aire seco
0	0,0038
- 5	0,0026
- 10	0,0016
- 15	0,0010
- 20	0,0007
- 30	0,0002

Fuente: carta psicrométrica del libro Industrial Refrigeration Handbook, STOECKER, W.

En este cuadro se visualiza el contenido de humedad del aire saturado según su temperatura.

Un factor determinante sobre la desecación de un producto sometido a procesos de enfriado y/o congelado sin empacar es el **DT del evaporador**.

Se define este valor como la diferencia entre la temperatura del aire que ingresa al evaporador, tomada generalmente como la temperatura de cámara t_c , y la temperatura de saturación del refrigerante que corresponde a la presión a la que se encuentra el mismo en la salida del evaporador.

CUADRO N° 2

Incidencia del DT del evaporador en la humedad relativa en una cámara

DT °C (convección forzada)	HR %
4,4 – 5,5	95 – 91
5,5 – 6,6	90 – 86
6,6 – 7,7	85 – 81
7,7 – 8,8	80 – 76
8,8 - 10	75 - 70

Fuente: Principios de Refrigeración, Roy Dossat

Como se observa en el cuadro precedente, un DT elevado produce una condición ambiental en la cámara con humedad relativa baja, lo que favorece una mayor transferencia de humedad desde el producto hacia el aire.

Por el contrario, cuanto más bajo es el DT del evaporador mayor es la humedad relativa del aire en la cámara y en consecuencia menor será la transferencia de humedad desde el producto hacia el aire.

Esta condición favorable en cuanto a una buena calidad del producto, implica disponer de un evaporador con una superficie de intercambio de mayores dimensiones.

La condición ideal sería que el DT tienda a cero, situación que en los hechos es imposible en la medida que el evaporador debería de tener una superficie de intercambio infinita.

A nivel general se adopta como un valor aceptable de DT del evaporador 5,5 °C, si bien en determinados casos y condiciones de funcionamiento puede alcanzar valores menores.

Otro de los factores que intervienen en la merma es la eficiencia del sistema de congelación en relación con el tiempo de proceso. Un sistema diseñado pobremente favorecerá el incremento de la merma de productos no empacados.

Para la mayoría de los productos, un tiempo de congelación corto implica la formación de cristales pequeños, y consecuentemente se reduce la ruptura de las células del producto.

Los cristales grandes se forman cuando el producto se somete a largos períodos de congelación.

Un aporte positivo con relación a esto viene dado a través del uso de sistemas continuos de congelación, que pueden funcionar sobre la base de congeladores criogénicos o mediante refrigeración mecánica.

En la mayoría de los sistemas continuos de congelación por refrigeración mecánica, los tiempos de congelación para una importante gama de productos se encuentran en el rango de los sistemas criogénicos.

Por ejemplo para hamburguesas, los tiempos para congelación criogénica oscilan entre 8 a 10 minutos, en tanto que para un sistema en espiral de congelación por refrigeración mecánica ronda en 12 a 15 minutos.

Las mermas por goteo dependen de cada producto, de su calidad, de la cantidad de humedad superficial y del tiempo que se demore en someter al producto a congelación.

Es deseable lograr la congelación superficial del producto en el menor tiempo posible, de manera de minimizar las mermas por goteo.

La difusión del agua a través de la estructura del producto y la posibilidad de que esa agua se transfiera al medio refrigerante varía con cada producto. Es muy difícil estimar y medir la incidencia de este aspecto en la merma, en razón de que existe una fuerte dependencia de la estructura molecular de cada producto.

En consecuencia, para lograr reducir al mínimo las mermas por desecación de los productos no empacados que se someten a proceso de enfriado y/o congelación es necesario contemplar las variables citadas, además de operar los sistemas de acuerdo a las condiciones de diseño de los mismos.

Gregorio Dassatti
A.S.H.R.A.E. Member
i.i.a.r. Member

Bibliografía

GEORGE BRILEY, Ashrae Journal, noviembre 2002
ROY DOSSAT, Principios de Refrigeración
STOECKER, W, Industrial Refrigeration Handbook