

# OPTIMIZACIÓN DE UN PROCESO DE REFRIGERACIÓN POR ASPERSIÓN DE AGUA DE PRODUCTOS EN ENVASADOS.

*Nieto Gorostidi, C.; Abril Requena, J y Casp Vanaclocha, A.*  
Tecnología de Alimentos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.  
Universidad Pública de Navarra

## NOMENCLATURA

A: área de transferencia de calor ( $m^2$ )	L: espesor (m)
$\alpha$ : difusividad térmica ( $m^2/s$ )	m: masa del producto (Kg)
$c_p$ : calor específico del producto (J/KgK)	r: posición radial en el cilindro
$f_h$ : factor de pendiente de la curva de penetración de calor (s)	R: radio del cilindro (m)
h: posición vertical en el cilindro	T: temperatura del producto ( $^{\circ}K$ )
H: semialtura del cilindro (m)	t: tiempo de proceso (s)
k: conductividad térmica del producto ( $W/m^{\circ}K$ )	$T_e$ : temperatura del fluido ( $^{\circ}K$ )
$\rho$ : densidad del producto ( $Kg/m^3$ )	U: coeficiente global de transmisión de calor ( $W/m^2K$ )

## 1. INTRODUCCIÓN

El consumo de agua en la industria agroalimentaria depende muchos factores y los gastos ocasionados por su uso son cada vez más elevados, debido principalmente por un lado al coste de su suministro y por otro a las medidas necesarias para su depuración, todo hace que en este aspecto las industrias agroalimentarias deban hacer esfuerzos para obtener el máximo redimiendo de este recurso cada vez más escaso, degradado y muy valioso, con lo que se hace necesario una correcta planificación de cara al futuro que permita la utilización óptima de nuestros recursos hídricos.

Con lo que la industria tiene que afrontar el hecho de intentar minimizar los costes de producción y los costes de depuración. Así pues, la gestión industrial del agua tiene tres ejes diferenciados: ahorro, reciclado y depuración, que se traducen en dos tipos de soluciones correctoras de utilización del agua en la industria: disminuir el consumo y reutilización del agua.

Dentro de estos dos aspectos las actuaciones en el proceso de fabricación, constituyen por si mismas uno de los métodos más efectivos, aunque sean las de más difícil aplicación, dadas las reticencias que a veces se encuentran, para cambiar algo que se ha hecho de una forma determinada; a esto hay que añadir que muchas veces cambiar un proceso de producción supone unos costes de inversión elevados.

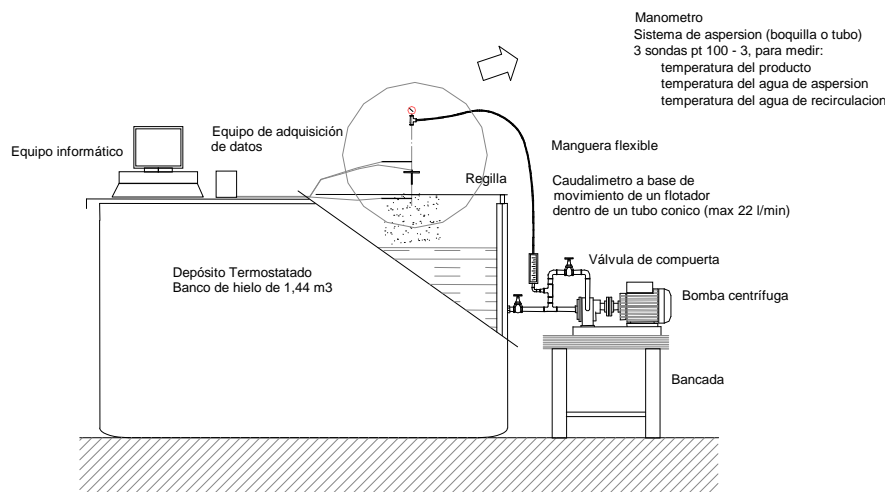
Una buena parte del agua consumida en la industria se destina a la refrigeración,

puesta en contacto del agua fría con el producto como medio encargado de realizar la disipación calor, la cual representa entre el 40 y 50% del consumo total. De todos los factores o parámetros que intervienen en el proceso de transferencia de calor en el presente estudio utilizaremos la difusividad térmica, no existen muchas referencias bibliográficas al respecto y de las publicaciones [1] al respecto nos encontramos por un lado [2][3] con ecuaciones predictivas y por otro lado con el calculo por medio de pruebas experimentales [4].

Así pues el presente trabajo se sitúa en el campo de la refrigeración por aspersión de agua sobre productos alimentarios envasados, concretamente de envases dodecagonales, y con la finalidad de estudiar el objetivo marcado de estudiar el consumo de agua sin perjuicio de la finalidad del proceso la disipación de calor.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

Para la realización de los distintos ensayos se utilizaron tarros de vidrio dodecagonales (7.3 cm de diámetro, 10 cm de altura, con una capacidad de 350 gr.), y con una sonda RDT Pt100-3 (longitud 10 y diámetro 0,3 cm) con conector Pt100-3 (memoria interna, rango de T de  $-200$  a  $400^{\circ}\text{C}$  y resolución 0,01 K) para medir la temperatura en el centro, los cuales previamente calentados, una vez alcanzada la temperatura inicial seleccionada,  $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , y se introducían en un montaje experimental, representado en la figura 1, hasta alcanzar una T de  $45^{\circ}\text{C}$ .



El cual simulaba una porción de un refrigerador por aspersión de agua, formado por un deposito termostatado (1.2x1.5x0.8 m) con control termostatado electrónico, el agua acumulada en dicho tanque era bombeado hasta los sistemas de distribución; juego de boquillas Spraying Systems Co. sistema QuickJet, con un rango de caudales de 2 – 15 l/min, a una temperatura  $5^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , medida por medio de dos sondas RDT Pt100-3 (longitud 10 y diámetro 0,3 cm) con conector Pt100-3 (memoria interna, rango de T de  $-200$  a  $400^{\circ}\text{C}$  y resolución 0,01 K) se media la

temperatura del agua de aspersión, una para medir la T antes del producto y otra para medirla después. Los datos de las sondas eran recogidos por un equipo ALMEMO 5590-1. Con el fin de minimizar al máximo los posibles efectos de factores externos y conseguir datos lo más comparable posibles se realizó un calibrado de todas las sondas  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ , se redactó un procedimiento de trabajo. Se realizaron tres repeticiones por cada caudal y los caudales ensayados fueron 2, 3, 4, 6, 9, 12 y 15 l/min

En lo que respecta al método experimental, debemos considerar que cuando un cuerpo, a una temperatura inicial  $T_0$ , se coloca inmerso en un fluido a una temperatura  $T_e$  distinta a la del objeto, existe una transmisión de calor desde o hacia el mismo a través del fluido externo.

Al realizar un balance energético o térmico, aceptando que no existe pérdidas de calor, el calor transmitido a través del fluido será igual al acumulado por el objeto, de tal forma que se obtiene la siguiente expresión:

$$m \cdot c_p \cdot dT = A \cdot U \cdot (T - T_e) \cdot dt \quad (1)$$

La resolución de esta ecuación (1) puede llevarse a cabo en función del tipo de mecanismo dominante de transmisión de calor cuando este es la conducción, tenemos:

$$\rho \cdot L \cdot A \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} = \frac{k}{L} \cdot A \cdot (T - T_e) \quad (2)$$

Si admitimos que la difusividad térmica  $\alpha$  representa la combinación de las propiedades térmicas y físicas del producto:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \quad (4)$$

La resolución de la ecuación diferencial (2) será:

$$\frac{T_e - T_0}{T_e - T} = \exp\left(\frac{\alpha}{L^2} \cdot t\right) \quad (5)$$

Por otro lado tenemos que la ecuación que describe la transmisión de calor unidireccional en estado no estacionario, expresada en coordenadas cilíndricas, es:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial h^2} \right] \quad (6)$$

Como puede verse, la única característica que se debe conocer del producto para resolver esta ecuación es la su difusividad térmica.

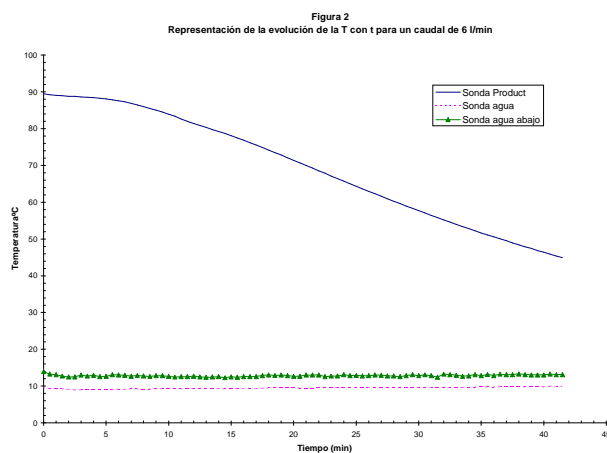
La cual se puede calcular conociendo las propiedades termofísicas, cosa que no es muy frecuente o aplicando la ecuación de Ball, C.O. y Olson, F.C.W. [5]:

$$\alpha = \frac{0.398}{\left( \frac{1}{R^2} + \frac{0.427}{H^2} \right) \cdot f_h} \quad (7)$$

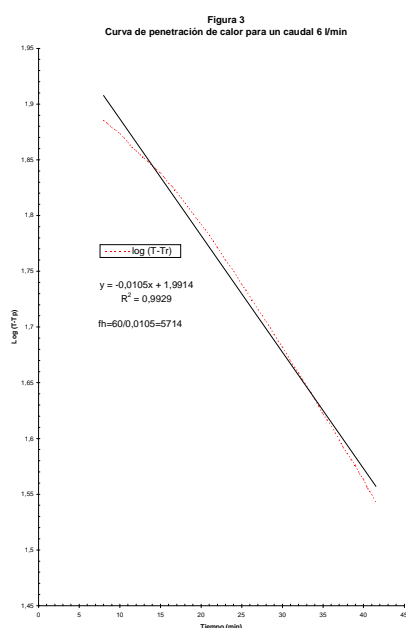
El factor de pendiente  $f_h$  es el tiempo que la porción recta de la curva de penetración de calor tarda en atravesar un ciclo logarítmico. Con lo que para calcularla se representa el logaritmo de la diferencia de temperatura entre el fluido y el producto contra el tiempo en el proceso, la rama descendente de esta curva se ajusta a una recta y el inverso de la pendiente de dicha recta será el factor  $f_h$ . Al igual que en los ensayos para minimizar los errores y obtener datos más comparables se estableció un protocolo de trabajo.

Al calcular la  $\alpha$  difusividad térmica, además de lo expuesto en los párrafos anteriores se tiene también en cuenta las características termofísicas del envase en el que se encuentra el producto y la efectividad del sistema de enfriamiento empleado. Es decir el valor calculado será válido para un determinado producto, en un determinado tipo de envase y un determinado proceso.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

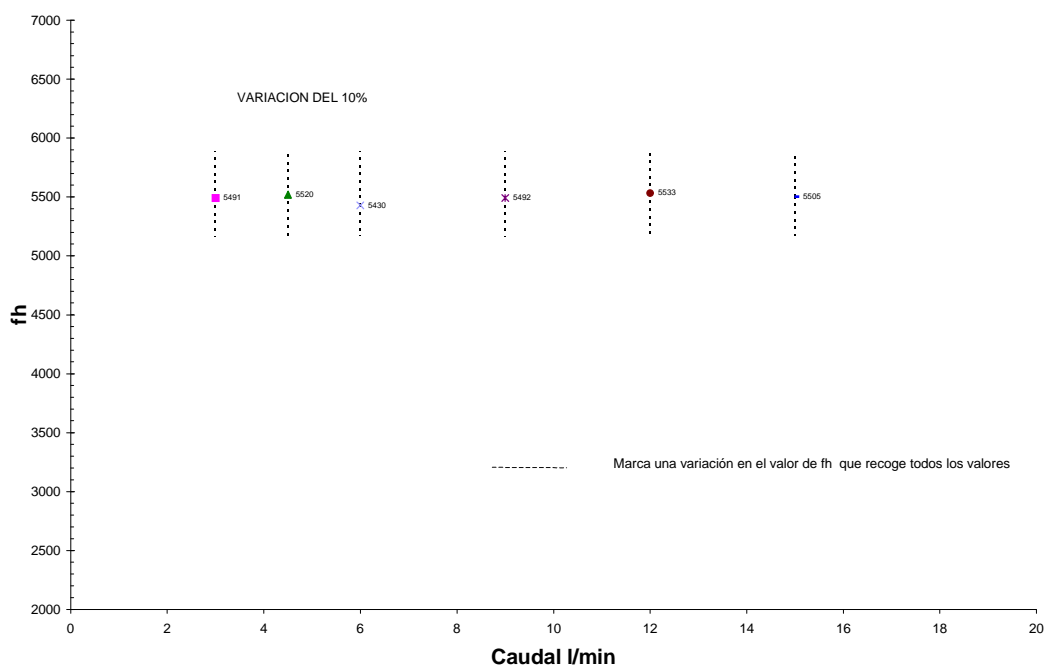


En la figura 2 se representa la evolución de la temperatura del producto así como la del agua de refrigeración, antes y después del contacto con el producto, para un caudal de 6 l/min, se observa la ausencia de variación en la temperatura del agua de refrigeración.



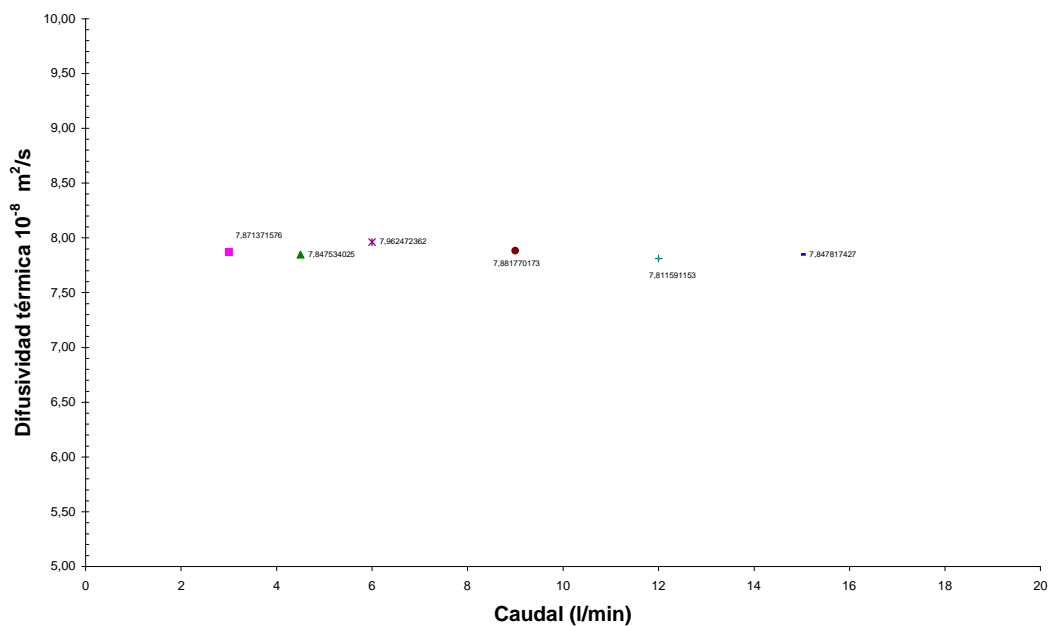
En la figura 3 se presenta la recta ajustada a la rama descendente de la curva de penetración, para el caso de caudal de 6l/min, de calor y de la cual se han obtenido el valor de  $f_h$ . En dicha gráfica puede verse el buen ajuste obtenido así como el valor de  $f_h$  calculado.

**Figura 4**  
**Representación de las medias de  $f_h$  en función del caudal**



En la figura 4 se representa variación de los valores de  $f_h$  en función de los distintos caudales ensayados, en la cual se observa como los valores no se encuentran escalonados sino de dentro de una agrupación mas o menos definida con una oscilación máxima entre todos los valores del 10 %.

**Figura 5**  
**Representación de las medias de la Difusividad Térmica en función del caudal**



En la figura 5 se representa la variación de  $\alpha$  en función del caudal, que sigue, como es lógico lo descrito en el párrafo anterior.

Con lo cual para los casos ensayados el valor de la difusividad térmica aparte en un sistema de refrigeración por aspersion de agua por medio de boquillas a presión sobre tarros de producto no presenta oscilaciones significativas en la variación de caudales de 2 a 15 l/min.

#### **4. REFERENCIAS**

- [1] Dincer, I. Heat transfer food cooling applications. Taylor&Francis (1997).
- [2] Hermans, F. The thermal diffusivity of foods. Thesis. The University of Leven, The Netherlands (1979).
- [3] Riedel, L. Temperaturleitfähigkeitsmessungen an wasserreichen lebensmitteln. Käktechnik 21 315-16 (1969)
- [4] Singh, R. P. Thermal Diffusivity in Food Processing. Food Technology. February p. 87-91 (1982).
- [5] Ball, C. O. y Olson, F. C. W. Sterilization in food technology. Theory, practice and calculations. Mac Graw-Hill (1957).