

DESCONGELACION DE BLOQUES DE CARNES POR ASPERSION CON AGUA. PREDICCION DE PERFILES DE TEMPERATURA Y TIEMPOS DE DESCONGELACION.

Ethel S. Flores

Rodolfo H. Mascheroni

Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología
de Alimentos. CIDCA. (U.N. La Plata - CIC - CONICET).
Facultad de Ciencias Exactas
La Plata - Argentina

RESUMEN

Se estudia teórica y experimentalmente la descongelación por aspersion con agua de bloques de congelados. Se trabaja sobre una sustancia de prueba y con carne deshuesada y picada.

Se resuelve el balance de energía para transmisión de calor tridimensional con propiedades termofísicas variables, por un método numérico explícito a diferencias finitas. Las determinaciones experimentales se realizan en un equipo prototipo especialmente diseñado, en el cual se prueban las distintas variables operativas.

Se obtienen perfiles de temperatura, tiempos de descongelación, así como regresiones para el cálculo de dichos tiempos.

ABSTRACT

Thawing of frozen blocks by water aspersion is studied theoretically and experimentally. Measures are done over a test substance and with minced boneless meat.

The heat balance for three-dimensional heat transfer with variable thermophysical properties is solved employing explicit finite differences. Experimental determinations are performed in a specially designed model equipment, in which different operating parameters are tested.

Temperature profiles, thawing times, as well as regressions to

INTRODUCCION

A nivel industrial es muy frecuente la congelación de bloques de productos alimenticios partiendo de carnes picadas o deshuesadas, menudencias, pescados enteros o en filetes, mariscos, verduras, frutas, etc.

En algunos casos, para su posterior empleo se las descongela totalmente, pero en otros sólo se los calienta hasta una temperatura suficiente para hacer posible su posterior procesamiento por medios mecánicos.

En ambos casos interesa conocer en cuanto tiempo se alcanzará la temperatura final deseada, tiempo que dependerá de las dimensiones del bloque, características del método de calentamiento, temperaturas inicial del bloque y del medio de calentamiento, etc.

La descongelación puede llevarse a cabo utilizando diversos métodos. En (1), (2), se han evaluado los mismos, clasificándolos según que el medio calefaccionante sea agua, aire o energía eléctrica.

La descongelación con agua puede realizarse ya sea por inmersión en baño de agua circulante o por aspersión de la misma sobre las caras mayores del bloque mantenido verticalmente mediante un armazón al efecto.

Varios autores han estudiado el primer caso (3), (4), (5), (6), (7) y han comprobado la existencia de bajos tiempos de proceso, aunque no se tiene uniformidad en la velocidad del agua y hay riesgo de crecimiento microbiano. Este último hace necesario renovar constantemente el agua, con la consecuente producción de efluentes. Se origina en el caso de alimentos agregados, derrumbe gradual que aunque sea ventajoso para algunos productos (pescado entero) es una limitación para otros (carnes picadas).

En el caso de aspersión con agua algunos autores (7), (8), (9), han obtenido datos experimentales para ciertos alimentos aunque en condiciones no estandarizadas o en un rango muy restringido de variables de diseño.

Por tanto en este trabajo se estudia, mediante la resolución numérica de la ecuación de transferencia de calor con simultáneo cambio de fase, la influencia del caudal de agua, temperaturas de trabajo y tamaño de los bloques sobre los tiempos de descongelación y perfiles de temperatura y se comparan los resultados calculados con tiempos de proceso obtenidos experimentalmente.

EQUIPO EXPERIMENTAL

El diseño del equipo se hizo teniendo en cuenta que la mayor parte de los productos que se descongelan por aspersión con agua han sido congelados en placas o en cajas o moldes en túneles con convección forzada de aire, lo que determina que tengan forma de bloques cuyo tamaño dependerá del alimento y equipo utilizado, existiendo grandes variaciones en las dimensiones de los mismos (2), (5), (9), (10), (11), (12). Todas estas posibilidades tienen que ser contempladas en el diseño del equipo, el cual debe poder adaptarse para trabajar con distintos tamaños y forma de bloques.

Por ello, el sistema de descongelación consiste en un tanque metálico descubierto, en el cual los bloques van apoyados por una de sus caras angostas sobre un enrejado colocado a 5 cm del fondo del recipiente, de forma de facilitar el escurrido del agua. Se mantienen verticales por medio de espaciadores (también verticales) de malla abierta de alambre. La distancia entre éstos puede regularse, de manera de poder acomodar bloques de espesores distintos (Fig.1).

El agua cae sobre el producto a descongelar desde caños que tienen una línea de perforaciones de diámetro y espaciado constante a lo largo de su parte inferior, en la zona que está sobre los bloques. Estos reciben la lluvia sobre la cara superior y las dos laterales de mayor superficie desde los caños que están colocados 10 cm sobre ellas y paralelos al eje mayor de los mismos. Los conductos están asentados sobre gufas que pueden desplazarse a lo ancho del tanque (Fig.1) de forma de poder variar el espacio entre ellos cuando se cambia el espesor de los bloques.

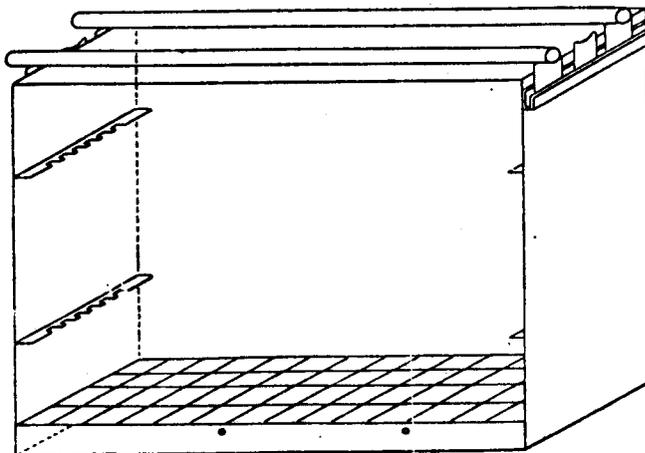


Fig.1 Esquema del recipiente de descongelación.

El agua escurre al fondo del tanque desde donde fluye a un baño termostático donde alcanza la temperatura deseada de trabajo y de allí es tomada por una bomba y devuelta al equipo según se muestra en el esquema de la Fig.2. El caudal puede regularse con válvulas colocadas a la salida de la bomba y a la entrada de los caños individuales.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

El material empleado en las congelaciones fue: en la etapa de diseño y puesta a punto, un gel de agar al 1% en una solución 0,28 M de ClNa y posteriormente carne deshuesada y picada. Siendo en ambos casos sus propiedades termofísicas conocidas y/o predecibles en términos del contenido de humedad (13), (14), (15), la cual se determina para cada experiencia según el método propuesto por la AOAC (16).

Las mencionadas propiedades son necesarias para posteriormente ali

mentarlas al programa numérico de predicción de tiempos de descongelación y para ser también empleadas en las regresiones desarrolladas.

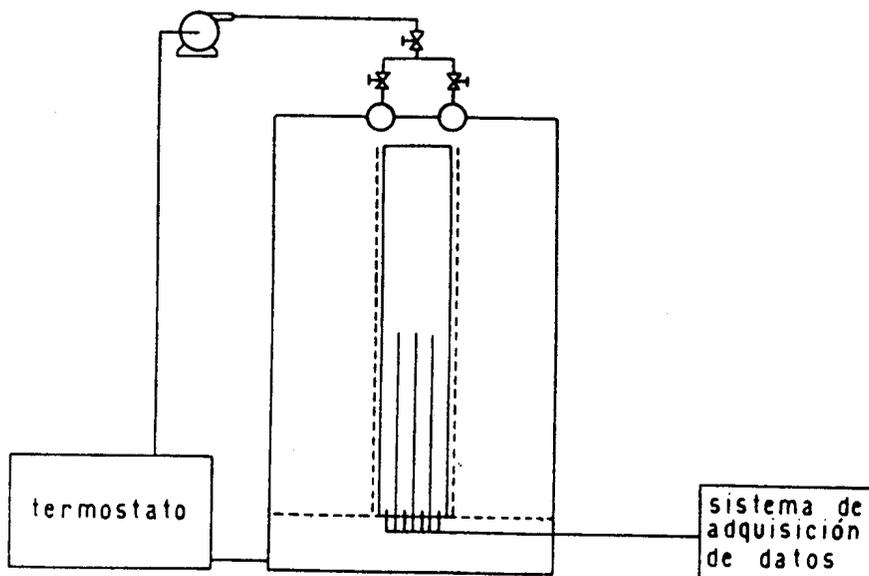
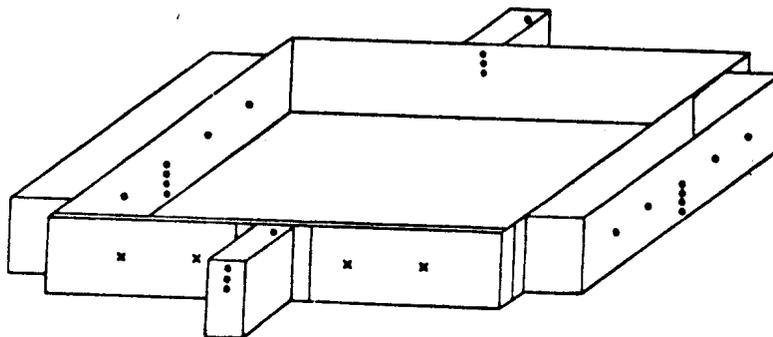


Fig.2 Esquema del sistema de descongelación.

Para la preparación de las muestras se utilizan armazones o marcos diseñados especialmente (Fig.3) con el fin de poder insertar en la carne las termocuplas y asegurar su posición a distintas distancias de las caras.



- perforaciones por las que se pasan las termocuplas
- × termocuplas ubicadas en la base

Fig.3 Molde donde se congelan los bloques de carne

Los marcos son de chapa de aluminio con una abertura de 40 x 27 cm y de 6 u 8 cm de altura. En dos de sus caras opuestas presentan una línea de orificios coincidentes de 0,2 cm de diámetro con una separación de 0,5 cm entre cada uno. Además ambas caras llevan clavadas en la parte externa, guías perforadas ubicadas a 4,5 cm de su superficie y cuyos orificios coinciden en altura y posición con los de dicha cara y simultáneamente en los de la opuesta y con las de su guía correspondiente (Fig.3).

Antes de llenar el marco se ubica en el fondo una lámina de polietileno que impide que la carne esté en contacto directo con las placas del congelador, se coloca luego una termocupla en el centro de la base y recién después se procede a llenar con la carne picada. Una vez cumplido esto se hace presión con una placa metálica de mayor superficie que el marco, con la intención de obtener un llenado y compactación uniforme.

Las termocuplas se colocan estando los marcos ya llenos, siguiendo un procedimiento normalizado ya descripto (17), en el que se utiliza un elemento auxiliar para pasar las termocuplas a través de las guías y orificios y dejarlas ubicadas en la posición deseada. La preparación de las muestras de agar fue presentada en un trabajo previo (15).

Una vez preparada la muestra se congela en un equipo experimental en placas refrigeradas por alcohol proveniente de un criostato. Una vez alcanzada la temperatura deseada, se la empaqueta en bolsas de polietileno de alta densidad de la medida exacta del bloque, de forma que se ajuste lo mejor posible a su contorno. Ello asegura buena transferencia de calor durante la descongelación y evita su desintegración y arrastre por parte del agua.

Para efectuar las descongelaciones se coloca el bloque en el equipo donde es sostenido verticalmente por medio de los espaciadores y apoyado en una de sus caras de 40 x 6 ó 40 x 8 cm sobre el enrejado metálico de manera que queden verticales sus caras de 40 x 27 cm, las que entrarán en contacto con el agua durante las experiencias. Las termocuplas van conectadas a un equipo de adquisición de datos Fluke Data Logger 2240, que registra temperaturas a intervalos de tiempo preestablecidos.

Se considera que el bloque está descongelado al alcanzar 0°C la termocupla que está en el centro de la base (punto que se calienta más lentamente).

El caudal que circula por el equipo se fija y mide previamente a cada corrida y queda constante durante la misma.

Se realizaron descongelaciones con distintas temperaturas de almacenamiento T_i , temperatura de agua T_1 , temperatura ambiente T_{ai} , semi-espesor del bloque E_l y velocidad de flujo volumétrico por unidad de longitud de cara mojada V .

En las figuras 4, 5 y 6 se presentan los perfiles de temperaturas experimentales correspondientes a una misma descongelación y en la tabla I los tiempos de descongelación y las condiciones en que se obtuvieron, tanto para el gel de agar como para bloques de carne picada.

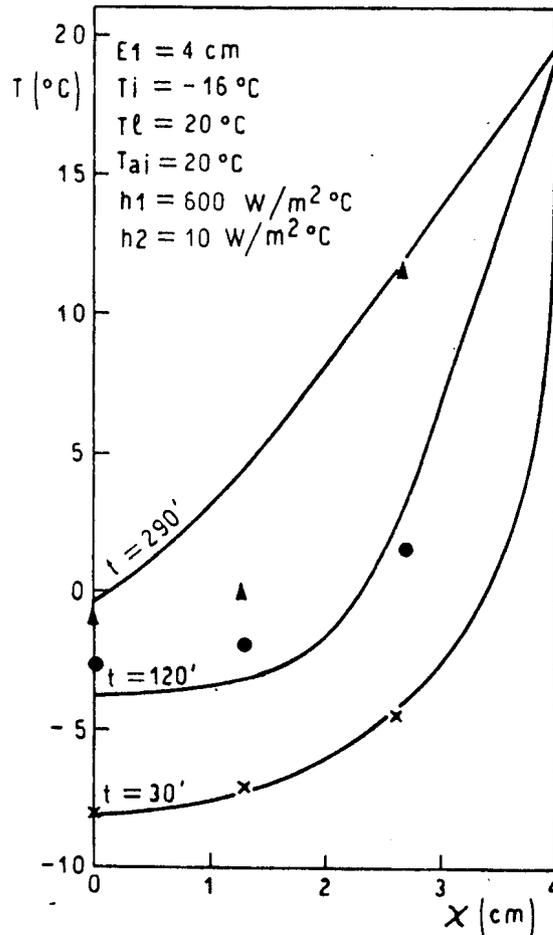


Fig.4 Variación de la temperatura del bloque con el tiempo para $y = 0$ y $z = 11 \text{ cm}$

METODO NUMERICO

Para poder predecir perfiles de temperatura y tiempos de descongelación para cualquier tamaño y forma de los bloques, temperatura inicial del bloque, del agua y ambiente y caudal de agua, es necesario resolver el balance microscópico de energía en el alimento que se descongela; éste es:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla k \nabla T = \frac{\partial k}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial k}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial k}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1)$$

donde T es la temperatura, t el tiempo, ρ la densidad, C_p la capacidad calorífica y k la conductividad térmica.

Se toman como coordenadas x e y las de la base (x es la longitud

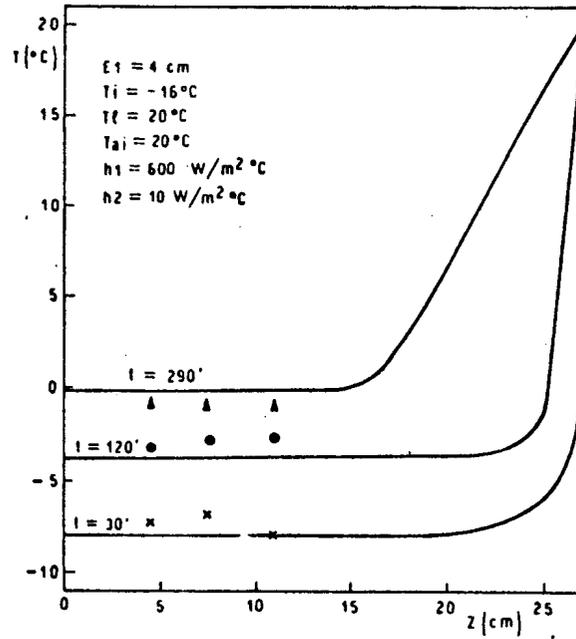


Fig.5 Variación de la temperatura del bloque con el tiempo para $x = 0$ e $y = 0$.

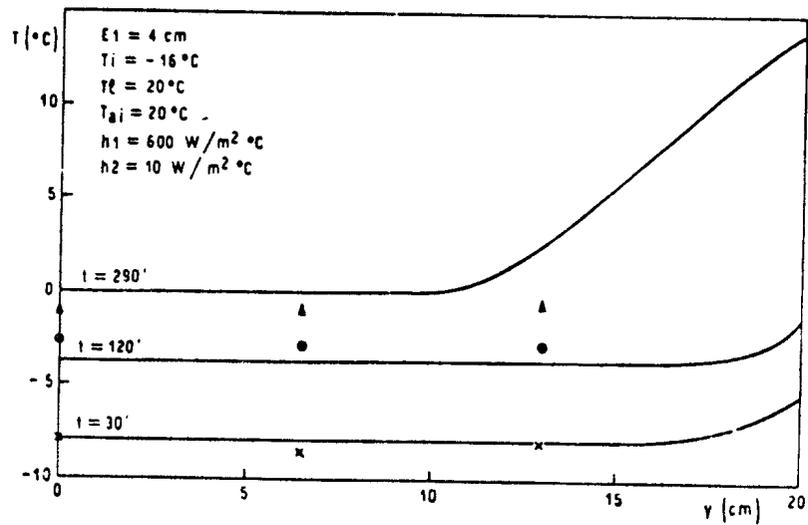


Fig.6 Variación de la temperatura del bloque con el tiempo para $x = 0$ y $z = 11$ cm

menor) y z la coordenada vertical. El origen de coordenadas es el centro de la base, con lo que x varía entre - E1 y + E1, y entre - E2 y +E2 y z entre 0 y E3.

Las suposiciones son que el sistema está inicialmente a una temperatura T_i ; en las caras colocadas a $x = \pm E1$ y $z = E3$ hay transferencia de calor convectiva desde el agua con un coeficiente de transferencia de calor $h1$ y en las situadas a $y = \pm E2$ hay transferencia del aire con coeficiente $h2$. Estas condiciones llevan a:

$$T = T_i \quad \text{para } t = 0 \text{ y todo } x, y, z \quad (2)$$

$$k \frac{\partial T}{\partial x} = h1 (T_1 - T) \quad \text{para } x = \pm E1 \text{ y todo } t, y, z \quad (3)$$

$$k \frac{\partial T}{\partial y} = h2 (T_{ai} - T) \quad \text{para } y = \pm E2 \text{ y todo } t, x, z \quad (4)$$

$$k \frac{\partial T}{\partial z} = h1 (T_1 - T_-) \quad \text{Para } z = E3 \text{ y todo } t, x, y \quad (5)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad \text{para } x = 0 \text{ y todo } t, y, z \quad (6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad \text{para } y = 0 \text{ y todo } t, x, z \quad (7)$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad \text{para } z = 0 \text{ y todo } t, x, y \quad (8)$$

Al haber planos de simetría para $x = 0$ e $y = 0$ puede trabajarse con sólo un cuarto del volumen del bloque, por lo tanto utilizaremos la zona situada en $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 0$.

Para resolver la ecuación (1) que es no lineal con coeficientes variables hay que utilizar necesariamente métodos numéricos. Para ello se divide el bloque en una grilla tridimensional ortogonal con espaciados Δx , Δy y Δz en las direcciones x, y, z respectivamente; valiéndose los índices i, j, k de las 3 variables espaciales, l en el origen de coordenadas e I, J, K en las superficies respectivas. El tiempo se divide en intervalos constantes Δt tal que $t = n \Delta t$.

Las temperaturas y propiedades ahora sólo estarán definidas en los puntos de cruce de la grilla y vienen expresados por k^{nijk} , C_p^{nijk} , ρ^{nijk} , T^{nijk} que significa que están evaluadas al tiempo $n \Delta t$ y en el punto de coordenadas $((i - 1) \Delta x, (j - 1) \Delta y, (k - 1) \Delta z)$.

Para la solución numérica se emplearon diferencias finitas, probándose métodos de tres niveles de tiempo (18), implícito de dirección alternante (19) y explícito de tres direcciones. Con los primeros se tuvieron problemas de estabilidad, por lo que se utilizó el método explícito. Además ya previamente se ha demostrado que los métodos explícitos tienen una precisión comparable a la de los implícitos y muchos menores complejidades de programación y de necesidad de memoria (13), (14), (20). Esto es particularmente válido en alimentos donde la principal fuente de error radica en los valores empleados para las variables termodinámicas (20).

Expresando la ec.(1) en diferencias finitas se obtiene:

$$\begin{aligned}
 \rho_{ijk}^n C_{pijk}^n \frac{T_{ijk}^{n+1} - T_{ijk}^n}{\Delta t} &= \frac{(k_{i+1jk}^n - k_{i-1jk}^n) (T_{i+1jk}^n - T_{i-1jk}^n)}{4 \Delta x^2} + \\
 &+ k_{ijk}^n \frac{(T_{i+1jk}^n - 2 T_{ijk}^n + T_{i-1jk}^n)}{\Delta x^2} + \frac{(k_{ij+1k}^n - k_{ij-1k}^n)}{4 \Delta y^2} \\
 &\frac{(T_{ij+1k}^n - T_{ij-1k}^n)}{\Delta y^2} + k_{ijk}^n \frac{(T_{ij+1k}^n - 2 T_{ijk}^n + T_{ij-1k}^n)}{\Delta y^2} + \\
 &+ \frac{(k_{ijk+1}^n - k_{ijk-1}^n) (T_{ijk+1}^n - T_{ijk-1}^n)}{4 \Delta z^2} + \\
 &+ k_{ijk}^n \frac{(T_{ijk+1}^n - 2 T_{ijk}^n + T_{ijk-1}^n)}{\Delta z^2} \quad (9)
 \end{aligned}$$

Reordenando esta ecuación para despejar la incógnita T_{ijk}^{n+1} se obtiene:

$$\begin{aligned}
 T_{ijk}^{n+1} &= T_{ijk}^n + \frac{\Delta t}{\rho_{ijk}^n C_{pijk}^n} \left\{ \frac{T_{i+1jk}^n - 2 T_{ijk}^n + T_{i-1jk}^n}{\Delta x^2} + \right. \\
 &+ \left. \frac{T_{ij+1k}^n - 2 T_{ijk}^n + T_{ij-1k}^n}{\Delta y^2} + \frac{T_{ijk+1}^n - 2 T_{ijk}^n + T_{ijk-1}^n}{\Delta z^2} \right\} + \\
 &+ \frac{\Delta t}{4 \rho_{ijk}^n C_{pijk}^n} \left\{ \frac{(k_{i+1jk}^n - k_{i-1jk}^n) (T_{i+1jk}^n - T_{i-1jk}^n)}{\Delta x^2} + \right. \\
 &+ \frac{(k_{ij+1k}^n - k_{ij-1k}^n) (T_{ij+1k}^n - T_{ij-1k}^n)}{\Delta y^2} + \frac{(k_{ijk+1}^n - k_{ijk-1}^n)}{\Delta z^2} \\
 &\left. \frac{(T_{ijk+1}^n - T_{ijk-1}^n)}{\Delta z^2} \right\} \quad (10)
 \end{aligned}$$

Relaciones similares se obtienen por la discretización de las condiciones de contorno (3) a (8) al ser aplicadas en (9).

La condición de estabilidad para este método es que el coeficiente en (10) de T_{ijk}^{n+1} sea siempre positivo, es decir, reordenando se obtiene:

$$\Delta t \leq \frac{\rho_{ijk}^n C_{pijk}^n}{2 k_{ijk}^n \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2} \right)} \quad (11)$$

Las condiciones de contorno (3) a (8) plantean limitaciones adicionales, quedando la situación más restrictiva (la de los vértices superiores del bloque) expresada por:

TABLA I

Tiempos experimentales y calculados de descongelación de bloques por aspersión con agua

Material	T _l (°C)	T _i (°C)	T _{ai} (°C)	El (cm)	hl ($\frac{w}{m^2K}$)	t _d exp. (h)	t _d calc (h)	ε (%)
Agar al 1% en solución 0,28 M de Cl Na	5,0	-16,7	15,0	3,0	600	6,75	6,54	- 3,11
	10,0	-14,0	20,0	3,0	600	5,00	4,38	-12,4
	15,0	-12,0	15,0	3,0	600	2,93	3,10	5,8
	18,0	-10,5	25,0	3,0	500	3,16	2,74	-13,2
	10,0	-12,8	25,0	4,0	600	8,67	7,79	-10,2
	15,0	-10,0	20,0	4,0	500	6,00	5,83	- 2,8
	15,0	-12,0	20,0	4,0	500	6,00	5,89	- 1,8
	15,0	-15,0	20,0	4,0	500	5,50	5,96	8,4
	20,0	-15,0	20,0	4,0	600	5,50	4,80	-12,7
	20,0	-16,0	20,0	4,0	600	4,83	4,84	0,2
Carne vacuna picada	10,0	-20,5	15,0	3,0	500		5,80	
	10,0	-18,5	18,0	3,0	500	6,91	5,77	-16,5
	15,0	-20,0	20,0	3,0	500	4,75	4,49	- 5,47
	15,0	-15,8	20,0	3,0	600	3,67	4,39	19,6
	5,0	-20,0	15,0	3,0	500		8,68	
	20,0	-20,0	15,0	3,0	500		3,72	
	30,0	- 5,0	30,0	3,0	500		2,41	
	25,0	-20,0	15,0	3,0	500		3,21	
	30,0	-20,0	5,0	3,0	500		2,85	
	30,0	-20,0	15,0	3,0	500		2,85	
	30,0	-20,0	25,0	3,0	500		2,85	
	30,0	-20,0	25,0	3,0	600		2,83	
	30,0	-20,0	25,0	3,0	400		2,88	
	30,0	-10,0	25,0	3,0	500		2,69	
	30,0	-15,0	25,0	3,0	500		2,79	
	30,0	-25,0	25,0	3,0	500		2,90	
	10,0	-19,6	20,0	4,0	600	8,50	10,11	18,9
	10,0	-19,4	16,0	4,0	600	8,25	10,10	22,4
	30,0	-20,0	20,0	4,0	500		5,02	
	30,0	-20,0	20,0	6,0	500		11,18	
30,0	-20,0	20,0	7,5	500		17,35		

$$\text{Den} = 2k_{ijk}^n \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2} \right) + \frac{hl}{\Delta x} \left(2 + \frac{k_{i+1jk}^n - k_{i-1jk}^n}{k_{ijk}^n} \right) + \frac{h2}{\Delta y} \left(2 + \frac{k_{ij+1}^n - k_{ij-1k}^n}{k_{ijk}^n} \right) + \frac{hl}{\Delta z} \left(2 + \frac{k_{ijk+1}^n - k_{ijk-1}^n}{k_{ijk}^n} \right)$$

$$\Delta t \leq \frac{\rho_{ijk}^n C_{pijk}^n}{\text{Den}} \quad (12)$$

Esta debe cumplirse durante todo el tiempo de cálculo y la situación más desfavorable es el momento inicial en que al ser la temperatura mínima son menores ρ y C_p y máxima k . Al avanzar el cálculo y aumentar la temperatura puede crecer el Δt , siendo ésto fácil de programar computacionalmente.

El programa de cálculo resultante instrumentado en lenguaje FORTRAN IV fue corrido en una computadora IBM Serie 1. Normalmente se empleó una grilla de $11 \times 11 \times 11$ puntos, que implicaba (por aplicación de (12)), valores iniciales de Δt de entre 0,5 y 2,5 s, dependiendo de los T_i , E_1 y h_1 utilizados. Para comprobar su convergencia a los valores reales dicho programa fue también probado usando propiedades constantes y los mismos valores de Δx , Δy , Δz y Δt utilizados en el de propiedades variables. Los tiempos de descongelación así calculados tienen un error máximo del 0,3%, con relación a la solución analítica calculada aplicando la regla de Newman a la fórmula exacta para placa plana con transferencia de calor unidireccional.

RESULTADOS

La Tabla I es un resumen de todas las corridas experimentales y cálculos teóricos realizados tanto para gel de agar como para carne picada.

En ella se presentan los valores de T_i , T_{ai} , T_1 , E_1 y h_1 utilizados, los t_d (tiempos de descongelación) obtenidos numéricamente y cuando existiesen los experimentales, sus valores y el error relativo ϵ del calculado numéricamente.

En todos los programas se empleó $E_2 = 20$ cm, $E_3 = 27$ cm, $h_2 = 10$ $W/m^2 \cdot K$. El valor de h_1 se obtuvo en las pruebas con gel a partir de los datos experimentales para distintos valores del caudal de agua V .

Se estudió teóricamente la influencia de T_i , T_{ai} , h_1 y E_1 sobre los valores de t_d , comprobándose que éste es independiente de T_{ai} (al ser transferencia en dirección y prácticamente despreciable por el bajo valor de h_2). Similarmente h_1 prácticamente no influye al ser altos sus valores para pared mojada (de 400 a 600 $W/m^2 \cdot K$) estando toda la resistencia centrada en la transmisión por conducción dentro del sólido. Por esa misma causa el t_d varía en forma prácticamente cuadrática con E_1 , tal como lo predicen todas las fórmulas teóricas simplificadas (21) de cálculo de tiempos de congelación y descongelación.

Similarmente en las Fig.4, 5 y 6 se presentan perfiles de temperatura calculados (línea llena) y la medida con termocuplas para un bloque que se descongela. La predicción de los perfiles es bastante buena, máxime teniendo en cuenta cierta imprecisión en la colocación de las termocuplas por la naturaleza de los materiales con que se trabaja (se pueden mover al cargar y solidificar). También hay cierto error por conducción al haber gradiente térmico en la dirección a través de los cables.

Los valores calculados para t_d de carne se regresionaron, teniendo en cuenta las consideraciones sobre no influencia de los valores de T_{ai} en t_d obteniéndose la siguiente ecuación:

$$t_d = 5.396 \cdot 10^{-5} (96059.2 - h_1) (9.3053 + \ln(-T_i)) e^{-0.041 T_1 E_1^2} \quad (13)$$

con t_d en minutos, E_l en cm y T_1 y T_i en °C,

Esta fórmula se obtuvo empleando un método de Marquardt.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Se desarrolla un equipo experimental para realizar descongelaciones de bloques de alimentos.

Se realizan experiencias para 2 tipos de bloques y distintas condiciones operativas.

Se desarrolla un modelo matemático y método numérico que permite predecir historias térmicas y tiempos de descongelación hasta cualquier temperatura final deseada.

Se comprueba la no influencia de la temperatura del aire y de la velocidad de circulación del agua sobre los valores calculados.

Se obtiene una regresión muy simple para predecir tiempos de descongelación de bloques de carne picada.

El equipo experimental y el método de cálculo son utilizables para estudiar la descongelación de cualquier otro tipo de bloques. En el caso del programa de cálculo sirve también para inmersión total en agua o para túnel de aire, con sólo dar a los coeficientes de transferencia calórica los valores adecuados.

REFERENCIAS

- [1] Bailey, C., "Thawing Methods for Meat". Food Engineering and Food Quality. Proceedings of the 6th European Symposium, 1975, pags, 175 - 189.
- [2] Jason, A.C. "Rapid Thawing of Foodstuffs". IFST Proceedings Vol. 7, 1974, pags. 146 - 157.
- [3] Vanichsenii, S., Haughey, D.P., Nottingham, P.M., "Water and Air - Thawing of Frozen Lamb Shoulders, J. Fd. Techn., Vol. 7, 1972; pags. 259 - 270.
- [4] Bailey, C. and James, S.J., "Air, Water and Vacuum Thawing of Frozen Pork and Meat Blocks", Meat Freezing Why and How?, Meat Research Institute Symposium N°3, 1973, pags. 42.1 - 42.13.
- [5] Scott, K.R., "Hot Water Thawing of Deboned Mullet Blocks", Cam. Inst. Fd. Sci. & Techn. J., Vol. 9, 1976,(B), pags. 160 - 166.
- [6] Stefanowski, V.M., "Inzhenerny Metod Raschete Prodolzhitelnosti Razmorazhivaniya ryby", Izvestiya Vuzov Pishchevaya Tekhnologiya, 1980 (2), pags. 109 - 112.
- [7] Ohmori, H., Nakamura, K., Hori, T., Yamamura, M., "A Study of the Thawing Process of Frozen Fish Blocks in Water", Int. J. Refrig., Vol.4, 1981, (1), pags. 27 -35

- [8] Malton, R., Cutting, C.L., "Evaporative Losses in the Commercial Freezing and Frozen Storage of Meat", Meat Freezing. Why and How?, Meat Research Institute Symposium N°3, 1973, pags. 36.1 - 36.7.
- [9] Stefanoski, V.M., "Iasledovanie raboty orositelnogo defrostera pri razmorazhivanii briketov melkoi ryby", Rybnoc Klozyaistvo, Vol. 5, 1978, pags. 67 - 70.
- [10] Herbert, L.S., "Meat Freezing Australian Practice", Meat Freezing. Why and How?. Meat Research Institute Symposium N°3, 1973, pags. 23.1 - 23.10.
- [11] Fleming, A.K., "The New Zealand Approach to Meat Freezing", Meat Freezing. Why and How?. Meat Research Institute Symposium n°3, 1973, pags. 24.1 - 24.13.
- [12] Cooper, T.J.R., "The Freezing of Porcine Liver", Meat Freezing. Why and How?., Meat Research Institute Symposium N°3, 1973, pags. 27.1 - 27.9.
- [13] Mascheroni, R.H., Calvelo, A., "Relationship between Heat Transfer Parameters and the Characteristic Damage Variables for the Freezing of Beef". Meat Sci., Vol. 4, 1980, pags. 267 - 285.
- [14] Mascheroni, R.H., "The Utilization of Numerical Methods for the Solution of the Heat Balance during the Thawing of Meat Blocks under Industrial Conditions", Lat. Am. J. Heat & Mass Transf., Vol. 6, 1982, (1/2), pags. 13 - 30.
- [15] Flores, E.S., Mascheroni, R.M., "Technical and Experimental Study of Thawing of Frozen Foods Blocks by Aspersión with Water", Lat. Am. J. Heat & Mass Transf., Vol 7, 1983, (3/4), pags. 263 - 279.
- [16] A.O.A.C., "Official Methods of Analysis". Thirteenth Edition (W. Horwitz Ed.), 1980.
- [17] Bazán, H.C., Mascheroni, R.H., "Heat Transfer with Simultaneous Change of Phase in Freezing Boned Mutton". Lat.Am. J. Heat & Mass Transf., Vol. 8, 1984, (1/2), pags. 55 - 76
- [18] Cleland, A.C. y Earle, R.L., "Prediction of Freezing Times for Foods in Rectangular Packages", J. Fd. Sci., Vol. 44, 1979, (4), pags. 964 - 970.
- [19] von Rosenberg, D.U., "Methods for the Numerical Solution of Partial Differential Equations", Elsevier, New York, 1971,
- [20] Cleland, A.C., Earle, R.L., Cleland, C.L., "The Effect of Freezing Rate on the Accuracy of Numerical Freezing Calculations", Int. J. Refrig., Vol. 5, 1982, (5), pags. 294 - 301.
- [21] Mascheroni, R.H., Calvelo, A., "A Simplified Model for Freezing Time Calculations in Foods", J. Fd. Sci., Vol. 47, 1982, (4), pags. 1201 - 1207.