

PREDICCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL PUNTO FRÍO EN ALIMENTOS ENLATADOS DURANTE PROCESAMIENTO TÉRMICO

S. Vera Datica y D. Romero Ferrer
División de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad del Zulia
Maracaibo, Venezuela

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad predecir el punto de calentamiento más bajo (punto frío) de alimentos que se calientan por conducción durante procesamiento térmico. La ecuación de conducción de calor se resolvió por dos variantes del método de diferencia finita: Explícito e Implícito. Para tal efecto, se desarrollaron dos programas mediante el uso de la computadora. Los resultados teóricos dados por el computador fueron comparados con los resultados experimentales obtenidos a través de las curvas de penetración de calor de carne de cangrejo y guisantes envasados en latas de estaño revestido N° 200. Los resultados mostraron que ambos métodos predicen con buena aproximación la temperatura del punto frío de ambos productos a lo largo del proceso de calentamiento, excepto en las etapas tempranas del mismo. Se concluye que ambos métodos predicen con muy buena exactitud el tiempo necesario para que la temperatura del punto frío alcance la temperatura de esterilización. Se recomienda estudiar la aplicabilidad de los métodos ensayados en este trabajo con productos que se calienten por convección y productos en los cuales haya un cambio en el modo de transferencia de calor durante el proceso de calentamiento.

ABSTRACT

The present research work has as goal to predict the lowest heating point (cold point) of foods by heat conduction during thermal processing. The equation of heat conduction was solved by two variants of the finite difference method: explicit and implicit. With this objective two computer programs were developed. The theoretical results given by the computer were compared with the experimental results given by heat penetration curves of crab meat and peas packaged in coated tin cans N° 200. The results showed that the two methods were able to predict with a very good approach the temperature of the cold point of both products along the heating process, except at the initial steps of the process. It is concluded that the two methods predict sharply the time necessary for the temperature of the cold point to reach the sterilization temperature. It is recommended to study the applicability

of the two methods assayed in this work to predict the temperature of the cold point during the thermal processing of convection heating products and products the show broken heating curves.

INTRODUCCION

Uno de los aspectos fundamentales para la independencia social y económica de un país es la producción de sus propios alimentos. En Venezuela, a raíz de la devaluación de la moneda nacional, el desarrollo de la industria de procesamiento de alimentos se ha constituido en un aspecto de carácter prioritario, siendo la producción de alimentos enlatados uno de los mayores renglones de esta industria nacional.

Con el advenimiento de las computadoras, la utilización de métodos numéricos para el diseño, dimensionamiento, y control de las operaciones unitarias de un proceso de transformación química ha estado a la orden del día, y ha sido de gran aplicación en la industria alimentaria. [1,5]

En este trabajo se presentan dos variantes del método de diferencias finitas, el de diferencias finitas explícito y el de diferencias finitas implícito, los cuales permiten determinar los perfiles de temperatura en un alimento enlatado durante su procesamiento térmico.

El objetivo de este trabajo es predecir mediante el uso de la computadora la temperatura del punto frío de un alimento enlatado durante el proceso de esterilización comercial.

PARTE EXPERIMENTAL

1.1 APARATOS

En el desarrollo para la determinación de los datos experimentales y calculados del presente trabajo se usaron los siguientes aparatos:

- Autoclave Eléctrico.

- Registrador de temperatura, modelo 7100A, Hewlet Packart.
- Taladro Black&Decker.
- Enlatadora.
- Balanza Granataria, Corning.
- Vernier, Mitutoyo.
- Vaso de Precipitado de 2 litros, pyrex.
- Micro-Computador Epon QX-10.

1.2 REACTIVOS Y MATERIALES

Los reactivos y materiales utilizados en este trabajo se describen a continuación:

- La solución de NaCl al 2% P/v, se preparó en el Laboratorio de Análisis Químico de la Facultad de Ingeniería.
- Las Latas de Tipo 200 con revestimiento apropiado para envasar alimentos, fueron suministrados por las empresas Bricomar y Proalmar.
- El cangrejo como producto a esterilizar fue también suministrado ya cocinado y refrigerado por las empresas antes mencionadas.
- El producto guisantes fue adquirido en los supermercados comerciales, bajo condiciones naturales.
- Termocuplas Tipo T Rígidas.
- Como medio de calentamiento se utilizó vapor a 250°F y 15 psi, para el estudio del producto cangrejo; y agua destilada a 212°F para el producto guisantes.

1.3 METODOS EXPERIMENTALES

1.3.1 Preparación de los productos enlatados

1. Mediante el uso del vernier se miden las dimensiones del envase (Radio, Altura), determinándose el centro del mismo por el lado lateral. (Ver Tabla N° 1).
2. Se perfora el centro ya determinado del envase, con el taladro con una mecha de 3/8 de pulgada.
3. Se inserta la termocupla en el envase hasta una profundidad igual al radio del envase, la cual se determina mediante el uso del vernier; se fija bien la termocupla al envase mediante las dos tuercas internas y externas de la termocupla.
4. Se coloca dentro del envase el producto a esterilizar; para el caso del cangrejo 340 gramos y para los guisantes 600 gramos; agregándole luego la solución de NaCl al 2% P/v hasta cerca del tope del envase.
5. Sellar los envases tanto los que tienen cangrejo como los que contienen guisantes más solución de NaCl al 2% P/v.

TABLA N°1

CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DE LOS PRODUCTOS A ESTERILIZAR

PRODUCTO	RT (°F)	T _i (°F)	R pulg.	H pulg.	f _i min	α pulg ² /min
GUISANTE	250	60	3.09	7.00	9.6	0.3654
CANGREJO	212	46.40	2.36	1.93	32	0.036

RT: TEMPERATURA DE LA RETORTA.

T_i: TEMPERATURA INICIAL DEL PRODUCTO.

R: RADIO DEL ENVASE.

H: ALTURA DEL ENVASE.

f_i: FACTOR DE CALENTAMIENTO.

α: DIFUSIVIDAD TERMICA DEL PRODUCTO

1.4 PROCEDIMIENTOS DE MEDICION

1.4.1 Para los guisantes

1. Llenar con agua el autoclave hasta que se cubra la resistencia del mismo.
2. Se introduce la canasta con la muestra a esterilizar en el autoclave.
3. Se colocan los cables de comunicación entre la muestra y el registrador.
4. Cerrar primero los pernos paralelos, y luego los siguientes pernos del auto clave.
5. Encender el auto clave, colocando el botón de encendido en la posición high.
6. Durante el proceso de calentamiento se espera a que todo el aire halla salido por la spita, es decir hasta que salga el vapor en forma uniforme.
7. Se coloca en start el Registrador y se cierra la válvula de purga del autoclave.
8. Se observa la temperatura en el termómetro del autoclave hasta que ésta alcance los 250°F, que corresponde a la temperatura de esterilización, controlando esta cambiando la posición del selector de high a Med según si la temperatura suba o baje.
9. En el momento en que el registrador indique que el punto frío ha alcanzado la temperatura de esterilización, se coloca el botón de encendido en la posición off.
10. Se alivia el autoclave por la purga, hasta que la presión halla bajado, luego se sacan las muestras.

1.4.2 Para el cangrejo

1. Llenar un vaso de precipitado de 2 litros hasta un volumen de 1.50 litros de agua destilada.
2. Calentar el agua hasta su punto de ebullición o sea 212°F. Controlada con el registrador.
3. Colocar los cables de comunicación entre la termocupla y el registrador.
4. Colocar la muestra del producto dentro del baño de María.
5. Desconectar la fuente de calor en el baño de María, cuando el registrador indique que el punto frío de la muestra alcance la temperatura del baño.
6. Una vez cerrada la fuente de calor, para ambas muestras, se corta el papel del registrador para construir luego las tablas de datos experimentales Tiempo-Temperatura.

1.5. PARA LA PARTE COMPUTARIZADA

1. La ecuación de conducción de calor bidimensional para un envase cilíndrico es: [2]

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

donde α se determina mediante la siguiente ecuación [3]:

$$\alpha = 0.398 \left[1/R^2 + 0.427/H^2 \right] / f_n \quad (2)$$

La ecuación (1) está sujeta a las siguientes condiciones de frontera:

Para $t = 0$; $T(r, h, 0) = T_0$

Para $t = t$; $r = R$ entonces $T(R, h, t) = T_{retor}$

Para $r = 0$ entonces $dT/dr = 0$, o sea hay simetría respecto al centro.

Para $t = t$; $h = H$ (Tope) entonces $T(r, H, t) = T_{retor}$

Para $t = t$; $h = 0$ entonces $T(r, 0, t) = T_{retor}$

2. Se utilizaron dos variantes del método de diferencias finitas, [4], el método de diferencias finita implícito de dirección alternante y el método de diferencias finita explícito los cuales se programaron en lenguaje interpretador MBASIC [7].
3. Con los datos experimentales Temperatura -Tiempo obtenidos, se construyen las curvas de penetración de calor, para así poder extraer de estas el valor de f_n , tal como lo muestran las figuras 1 y 2 para los productos cangrejo y guisantes, respectivamente, y obtener luego el valor de al-

fa mediante la ecuación (2).

4. Una vez obtenido el valor de alga experimental, este es utilizado en los programas para obtener datos calculados de Temperatura-Tiempo del punto frío para cada producto esterilizado.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla N°2 se muestran los resultados correspondientes a la curva de penetración de calor para el cangrejo. En la misma se muestran también los valores de la temperatura del punto frío del producto predicha por los métodos de diferencia finita explícito (M.D.F.E.) y de diferencia finita implícito (M.D.F.I). Estos mismos resultados aparecen graficados en la figura N° 1, en la cual se puede observar que el método de diferencia finita explícito predice con mayor precisión la temperatura del punto frío del producto a lo largo del proceso de calentamiento. Es bueno hacer notar que la diferencia aparentemente grande entre la temperatura del punto frío predicha por el método de diferencia implícito y el valor experimental es debida más que todo a la magnitud de la escala empleada, la cual es derivada a partir de una escala logarítmica. Esto se puede comprender mejor si se observa la figura N° 3, en la cual se representa la temperatura del punto frío en función del tiempo en escala lineal. A partir de esta figura se puede deducir que a pesar de las diferencias que se observan en las etapas tempranas de calentamiento, ambos métodos predicen con bastante exactitud el tiempo de calentamiento necesario para que la temperatura del punto frío alcance la temperatura de la retorta. Para el caso de la esterilización comercial de la carne de cangrejo, este tiempo es aproximadamente de 47 minutos.

En la Tabla N° 3 se presentan los resultados teóricos y experimentales correspondientes a la curva de penetración de calor para los guisantes. Estos resultados aparecen representados en la figura N° 2, en la cual se puede observar que la diferencia entre los valores experimentales y los teóricos predichos por ambos métodos es menor que para el caso de la carne de cangrejo. Estos resultados aparecen también en escala lineal en la figura N°4. En esta figura se puede observar que también para el caso de la esterilización comercial de guisantes ambos métodos predicen con bastante exactitud el tiempo necesario para que el punto frío alcance la temperatura de la retorta. Para este producto, este tiempo es de 18 minutos aproximadamente. En este punto es bueno señalar que los métodos numéricos ensayados pueden predecir la temperatura del producto en cualquier punto dentro del envase a lo largo del proceso de calentamiento, sin embargo, para cumplir con los objetivos trazados en este trabajo, estos métodos fueron utilizados solamente para predecir la temperatura del punto frío con muy buenos resultados.

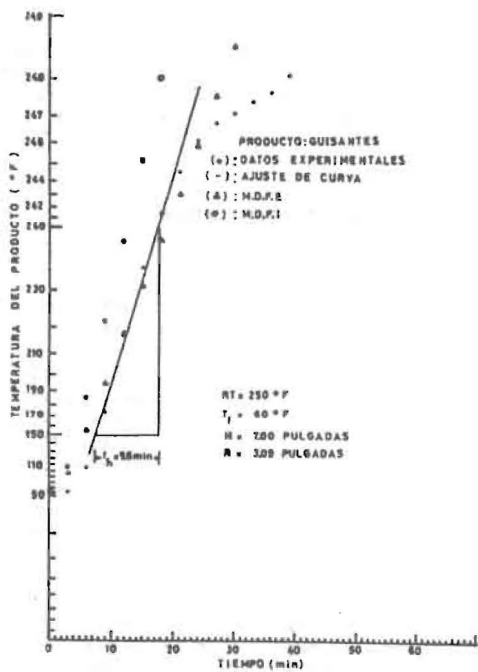


Fig. 1 TRAZADO DE DATOS DE PENETRACION DE CALOR PARA EL CANGREJO

TABLA N° 2

COMPARACION DE LOS DATOS EXPERIMENTALES Y LOS CALCULADOS POR LOS DIFERENTES METODOS PARA LA TEMPERATURA DEL PUNTO FRIO
 PRODUCTO: CANGREJO

TIEMPO (MINUTOS)	DATOS EXPERIMENTALES (°F)	CALCULADOS	
		M.D.F.E TEMPERATURA (°F)	M.D.F.I TEMPERATURA (°F)
0	46.40	46.40	46.40
3	90.50	51.48	51.58
6	100.40	72.84	76.70
9	112.00	97.11	108.14
12	116.00	118.57	135.87
15	123.50	136.44	157.43
18	136.40	151.05	173.31
21	150.80	162.88	184.73
24	164.00	172.45	192.83
27	172.00	180.16	198.54
30	179.60	186.38	202.56
33	186.50	191.38	205.38
36	190.20	195.45	207.36
39	198.50	198.65	208.74
42	198.80	201.26	209.72
45	201.00	203.36	210.40
48	203.10	205.05	210.88
51	205.10	206.41	211.21
54	206.20	207.50	211.45
57	207.40	208.38	211.61
60	208.40	209.20	211.73
63	209.00	209.66	211.81
66	209.45	210.11	211.85
70	210.40	210.48	211.86
73	210.60	210.78	211.88
80	211.00	211.35	211.89
83	211.50	211.49	211.75
90	211.80	211.67	212.00

(M.D.F.E) : METODO DE DIFERENCIA FINITA EXPLICITO.

(M.D.F.I) : METODO DE DIFERENCIA FINITA IMPLICITO.

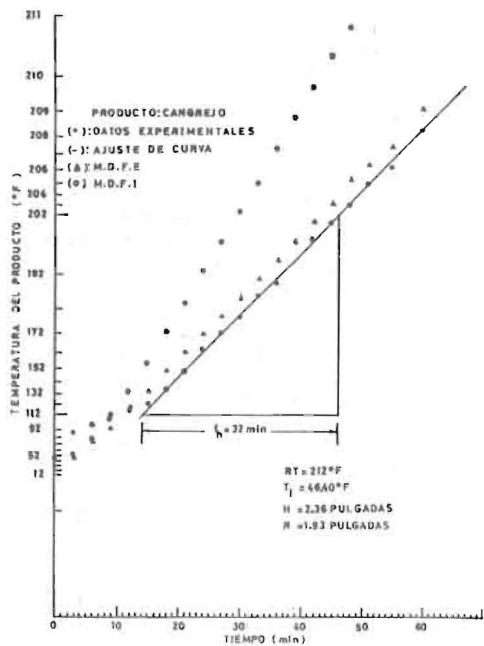


Fig. 2 TRAZADO DE DATOS DE PENETRACION DE CALOR PARA LOS GUISANTES

TABLA N° 3

COMPARACION DE LOS DATOS EXPERIMENTALES Y LOS CALCULADOS POR LOS DIFERENTES METODOS PARA LA TEMPERATURA DEL PUNTO FRIO
 PRODUCTO : GUISANTES

TIEMPO (MINUTOS)	DATOS EXPERIMENTALES (°F)	CALCULADOS	
		M.D.F.E TEMPERATURA (°F)	M.D.F.I TEMPERATURA (°F)
0	60.00	60.00	60.00
3	60.00	98.19	107.65
6	108.00	158.19	184.90
9	175.00	195.60	222.48
12	217.50	217.80	238.49
15	234.50	230.94	245.19
18	241.50	238.72	248.06
21	244.60	243.32	249.16
24	246.20	246.05	249.65
27	246.80	247.66	249.85
30	247.20	248.61	249.94
33	247.45	249.18	249.98
36	247.70	249.51	249.99
39	248.10	249.83	250.00
42	248.80	250.00	250.00

(M.D.F.E) : METODO DE DIFERENCIA FINITA EXPLICITO.

(M.D.F.I) : METODO DE DIFERENCIA FINITA IMPLICITO.

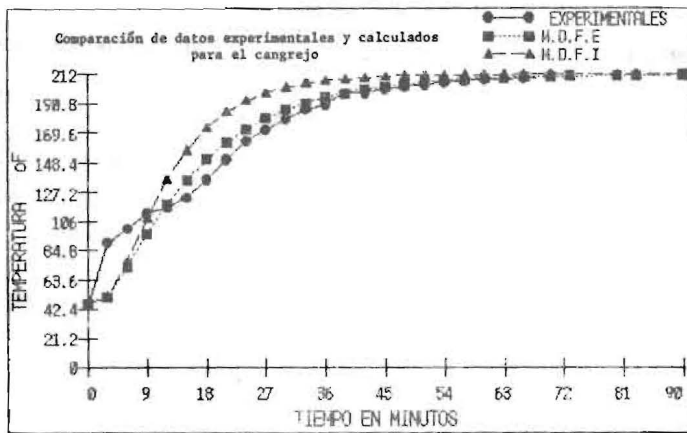


Fig. 3 TRAZADO DE DATOS DE PENETRACION DE CALOR EN ESCALA LINEAL PARA EL CANGREJO

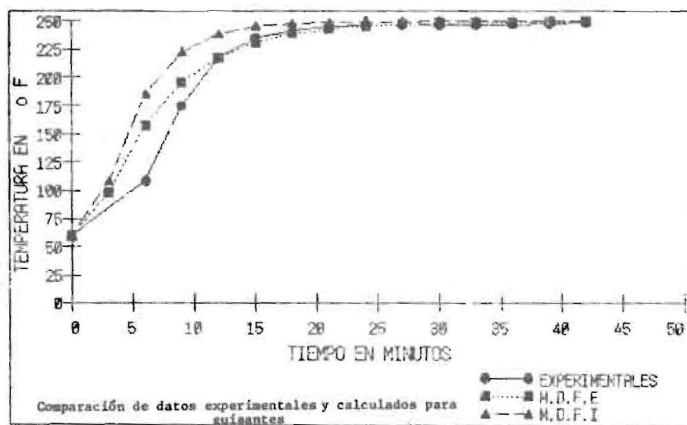


Fig. 4 TRAZADO DE DATOS DE PENETRACION DE CALOR EN ESCALA LINEAL PARA LOS GUISANTES

CONCLUSIONES

Se han ensayado dos formas alternas de un método numérico: el Método de Diferencias Finitas Explícito y el Método de Diferencias Finitas Implícito para predecir la temperatura del punto frío de alimentos enlatados durante procesamiento térmico.

El método ensayado no predice con buena exactitud la temperatura del punto frío en las etapas tempranas de calentamiento, dando el Método de Diferencias Finitas Explícito mejores resultados a lo largo de todo el proceso.

El método pudiera predecir con muy buena aproximación el tiempo necesario para que la temperatu-

ra del punto frío del producto alcanzará la temperatura de la retorta, lo cual es de interés comercial.

Se recomienda estudiar la aplicabilidad del método numérico ensayado en este estudio para predecir la temperatura del punto frío durante el procesamiento térmico de alimentos que se calientan por convección y de aquellos que presentan curvas de penetración de calor interrumpidas (el modo de transferencia de calor cambia de convección a conducción a causa de un cambio de estado físico en el producto durante el proceso de calentamiento).

LISTA DE SIMBOLOS

α : Difusividad Térmica (pulg²/min)
 f_n : Tiempo en minutos requerido para que la curva de penetración transverse un ciclo logarítmico.
H : Altura del envase en pulgadas
h : Posición vertical en el cilindro
R : Radio del envase en pulgadas
r : Posición radial en el cilindro
RT : Temperatura de la retorta (°F)
PT : Temperatura del producto en el punto frío (°F)
T : Temperatura (°F)
t : Tiempo en minutos
TO : Temperatura inicial del producto en °F

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) KAREL MARCUS, FENNEMA OWEN R., LUND DARYL: "*Physical Principles of Food Preservation*". Marcel Dekker, INC. New York. 1975.
- 2) CHARM STANLEY E.: "*Fundamentals of Food Engineering*". The Avi Publishing Company, INC. Westport, Connecticut. 1971.
- 3) TEXEIRA ARTHUR & MANSON JOHN: Food Technology. Vol. 36. N^o 4. Abril 1982.
- 4) CARNAHAN B., LUTHER H. and WILKES J.: "*Applied Numerical Methods*". John Wiley & Sons, 1972.
- 5) ROCKWELL, W.C. AND FARKAS, D.F.: Food Technology, 25, 1250. 1971.
- 6) RUSSELL, A.D.: "*Inhibition and Destruction of the Microbial Cell*". (W.B. Hugo, ed), Academic Press, New York, 1971.
- 7) ETTLIN, WALTER & SOLBERG, GREGORY: "*Manual de Mbasic*", McGraw-Hill, Inc., U.S.A. 1983.

Recibido el 11 de marzo de 1988