

**EFFECTO DE LA POSICION DEL ENVASE  
EN LA RETENCION DE NUTRIENTES EN MODELOS  
ALIMENTARIOS CALENTADOS POR CONVECCION  
NATURAL**

*José A. Barreiro Méndez<sup>1</sup>, George R. Salas<sup>2</sup>, Emilio Saíz U.<sup>3</sup>  
y Carmen Irazábal de Guariguata<sup>4</sup>*

**Universidad Simón Bolívar e Instituto Venezolano de  
Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas, Venezuela.**

**RESUMEN**

Se estudió la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la retención de nutrientes en productos calentados por convección natural en envases cilíndricos de igual tamaño, cuando se someten a un proceso térmico dado, en posición horizontal y vertical. Se encontró que la retención de tiamina es significativamente mayor en las latas colocadas verticalmente.

De igual manera se desarrolló una modificación al modelo elaborado por Barreiro para predecir la retención de nutrientes en productos envasados

---

Manuscrito modificado recibido: 26-5-81.

- 1 Profesor Asociado de la Universidad Simón Bolívar, Apartado 80659, Caracas 1080, Venezuela.
- 2 Miembro del Centro de Ingeniería y Computación del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas, Venezuela.
- 3 Miembro del Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos, Universidad Simón Bolívar.
- 4 Profesor Agregado, Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos de la citada Universidad.

en latas calentadas por convección natural y colocadas verticalmente, de forma tal que éste pudiese ser adaptado a envases procesados en posición horizontal. Para ello, se encontró una longitud característica equivalente para las latas colocadas en posición horizontal y se realizaron las modificaciones pertinentes. El modelo modificado fue evaluado mediante diez experimentos caracterizados por diferentes parámetros de procesamiento térmico.

Luego, los valores teóricos de retención de tiamina predichos por el modelo fueron comparados con la retención experimental. Se constató que en todos los casos los valores teóricos se encuentran comprendidos en el intervalo de 99% de confianza de los valores experimentales, pudiendo así concluir que el modelo modificado es satisfactorio para predecir la retención de nutrientes en productos envasados en latas cilíndricas, procesadas térmicamente en posición horizontal.

## INTRODUCCION

La predicción de la pérdida de nutrientes durante el procesamiento térmico de alimentos que se calientan por convección, y de las relaciones tiempo-temperatura han sido poco estudiadas en la literatura.

Stevens (1), Bimbenet y Duquenoy (2), Hiddink, Bruin y Shenk (3), así como Barreiro (4), han presentado modelos para predecir la transferencia de calor por convección que podrían ser utilizados para los cálculos de letalidad y retención de nutrientes. Ninguno de ellos, con excepción del modelo de Barreiro (4), predice con precisión y en forma general la retención de nutrientes durante el procesamiento térmico. El modelo de Bimbenet y Duquenoy (2) ha dado buenos resultados para la predicción de las relaciones tiempo-temperatura en el caso particular de mezclas perfectas.

El modelo presentado por Barreiro (4) es de aplicación completamente general cuando las latas se procesan térmicamente en posición vertical. Además, permite la predicción de las relaciones tiempo-temperatura y la retención de nutrientes durante el procesamiento térmico de un alimento simulado que se caliente por convección natural.

Larsen y Hartnett (5) estudiaron la relación entre el ángulo de inclinación de un tubo cilíndrico y el coeficiente global de transferencia de calor en líquidos. Dichos autores encontraron que existe una considerable disminución en las fluctuaciones de la temperatura y un notable aumento en el coeficiente global de transfe-

rencia de calor, a medida que el ángulo de inclinación decrece.

Teniendo en cuenta estos resultados, es de esperar que las latas cilíndricas colocadas en posición horizontal se calienten más rápidamente —con la consiguiente disminución en la retención de nutrientes— que las latas colocadas en posición vertical, durante un procesamiento térmico dado. No existen modelos matemáticos para la predicción teórica de la retención de nutrientes en latas procesadas horizontalmente; por consiguiente, los objetivos de esta investigación fueron los siguientes:

1. Establecer si hay diferencias estadísticamente significativas en la retención de nutrientes en productos que se calientan por convección en envases cilíndricos de igual tamaño, cuando son procesados térmicamente en posición horizontal y vertical.

2. Desarrollar y evaluar experimentalmente una modificación del modelo matemático de Barreiro (4) para predecir la retención de nutrientes en productos calentados por convección natural, de forma que éste pueda ser adaptado a envases procesados en posición horizontal.

### DESARROLLO DEL MODELO MODIFICADO

El modelo de Barreiro (4) considera el centro geométrico del envase para la predicción de las relaciones tiempo-temperatura durante el proceso térmico, debido al hecho de que cualquier partícula dentro del fluido está en circulación. Por lo tanto, está sujeta a diferentes letalidades, dependiendo del tiempo, la temperatura local, la velocidad y su ubicación dentro del envase. Ya se ha demostrado (3, 6-8) que el denominado "punto frío" del envase no existe; hoy día se hace referencia a una "región fría". Las fronteras de esta región no están bien definidas, sin embargo, y cambian en relación al espacio y al tiempo durante el procesamiento térmico.

La temperatura promedio en el envase es siempre mayor que la medida en el centro geométrico, la que a su vez es mayor que la de la zona fría (9). Cuando los cálculos de esterilización se basan en la temperatura promedio se puede inducir un subprocesamiento, mientras que si se basan en la zona fría se puede obtener un sobreprocesamiento. Por consiguiente, las temperaturas promedio proporcionarán predicciones de la retención de nutrientes bajas para un tiempo de procesamiento dado, si se comparan con las basadas en la zona fría, las cuales arrojarían predicciones elevadas.

La temperatura en el centro geométrico da un valor interme-

dio que es una mejor representación de la historia de la temperatura de la partícula dentro de la lata (10). Prácticamente, la temperatura en el centro geométrico de la lata es igual a la que corresponde a la mayoría de la masa central (3, 8, 11). La fuerza impulsora para la transferencia de calor será, por lo tanto, la diferencia entre la temperatura de la pared del envase y la temperatura de la masa líquida central, la cual es representativa de toda la masa contenida en el envase, con excepción de la capa límite térmica.

Durante el período de calentamiento, el coeficiente global de transferencia de calor ( $U$ ) es prácticamente igual al coeficiente interno de transferencia de calor ( $h_c$ ). Ello se debe a que la resistencia externa y la correspondiente a la de la pared de la lata son despreciables en comparación con la resistencia interna (9).

Según se indicó, el modelo de Barreiro (4) fue desarrollado para envases colocados en posición vertical. La longitud característica de transferencia de calor ( $\bar{L}$ ) utilizada en el modelo era igual a la altura ( $h$ ) más el diámetro del envase ( $d$ ). Cuando las latas se colocan en posición horizontal, la longitud característica varía debido al cambio en la trayectoria de las partículas.

En la Figura 1 se aprecia la posible trayectoria de las corrientes de flujo en una sección circular del envase colocado en posición horizontal. Este patrón de flujo corresponde a la parte cilíndrica del envase; la longitud característica en esta zona se obtiene por la ecuación:

$$L_c = \pi r + 2r = r(\pi + 2) \quad (1)$$

En las tapas del cilindro, la longitud de la trayectoria de las partículas a lo largo de ellas dependerá de su posición con respecto al diámetro horizontal. En la Figura 2 se presentan las posibles trayectorias a lo largo de las tapas.

Según se observa, la trayectoria de las partículas es variable, siendo la mayor la que pasa por el centro geométrico del círculo. Por tal motivo, es necesario tomar un promedio matemático integrando la longitud de estas trayectorias sobre el diámetro de la lata, el cual viene representado por la relación:

$$L_t = \frac{\pi r}{2} \quad (2)$$

La longitud característica correspondiente a las tapas tendrá mayor peso que la correspondiente a la parte cilíndrica a medida

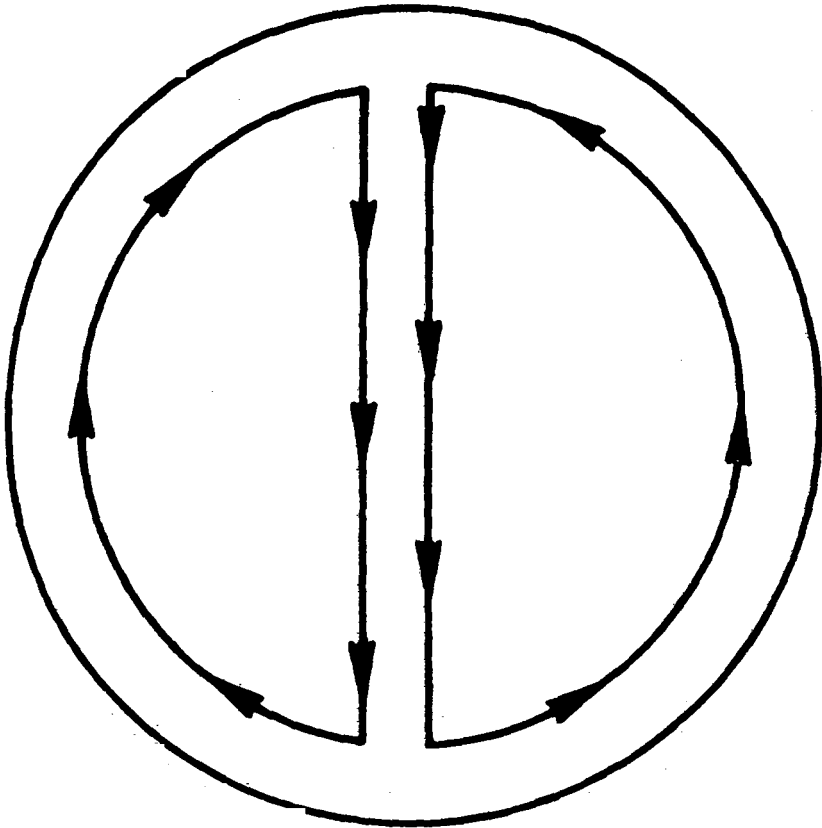


FIGURA 1

Sección circular indicando la trayectoria del fluido

que la lata adquiera mayor diámetro y disminuya en altura, y viceversa. Por este motivo, se tomó un promedio de la longitud característica, evaluando matemáticamente las fracciones del área de transferencia de calor correspondientes a la parte cilíndrica y a las tapas, obteniéndose la siguiente relación para la longitud característica equivalente:

$$\bar{L} = \left( \frac{2\pi rh}{2\pi rh + 2\pi r^2} \right) L_c + \left( \frac{2\pi r^2}{2\pi rh + 2\pi r^2} \right) L_t \quad (3)$$

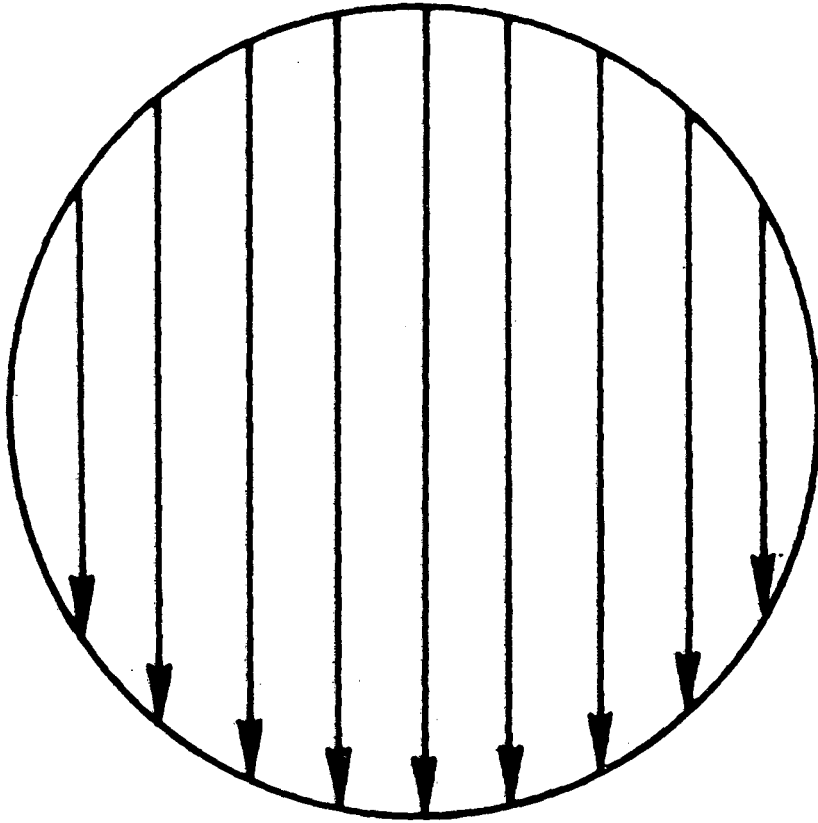


FIGURA 2

Esquema de una tapa mostrando las posibles trayectorias de una partícula del fluido

Esta longitud característica equivalente ( $\bar{L}$ ) representa el promedio de las trayectorias recorridas por las partículas, y ha sido introducida en las relaciones adimensionales presentadas por Barreiro (4) para calcular los coeficientes internos de transferencia de calor y la retención de nutrientes.

Según la hipótesis de este trabajo, se postula que estas relaciones adimensionales deben ser de tipo general. Por consiguiente, deben ser útiles no sólo para predecir los coeficientes de transfe-

rencia de calor en latas colocadas verticalmente, sino también en latas colocadas en posición horizontal, utilizando la longitud característica de transferencia de calor que corresponde a esta última posición.

### *Suposiciones y Consideraciones*

Para la obtención del modelo desarrollado en este trabajo se tuvieron en cuenta, con algunas excepciones, las mismas consideraciones descritas por Barreiro (4):

1. Las latas cilíndricas se colocan horizontalmente en un autoclave estacionario.
2. La transferencia interna de calor se debe a la convección natural.
3. El producto envasado es un fluido newtoniano no compresible.
4. El producto líquido colocado dentro de una lata de radio (r) y altura (h) recibe el calor a través de toda su superficie, incluyendo las tapas.
5. Las propiedades físicas y térmicas del producto cambian con la temperatura de acuerdo a las siguientes ecuaciones generales:

$$k = a_1 + b_1 T + c_1 T^2 \quad (4)$$

$$\rho = a_2 + b_2 T + c_2 T^2 \quad (5)$$

$$C_p = a_3 + b_3 T + c_3 T^2 \quad (6)$$

$$\mu = \text{EXP} (a_4/T + b_4) \quad (7)$$

$$\beta = -(1/\rho) (\partial\rho/\partial T) \quad (8)$$

Los coeficientes de cada ecuación deben ser evaluados a partir de datos experimentales o de datos generales notificados en la literatura.

6. La temperatura inicial ( $T_0$ ) del producto es uniforme en todo el envase; la concentración de nutrientes ( $C_0$ ) también es constante.

7. La resistencia externa a la transferencia de calor y la resistencia de la pared metálica son despreciables comparadas con la resistencia interna; por dicha razón, durante este período el coefi-

ciente global de transferencia de calor es prácticamente igual al coeficiente interno.

8. La cantidad de calor absorbido por el envase es despreciable comparada con la absorbida por el producto.

9. Durante el período de calentamiento la temperatura en la pared del envase es igual a la del medio de calentamiento.

10. Se supone que durante el período de enfriamiento la temperatura de la pared es igual a la del medio de enfriamiento; sin embargo, el coeficiente global de transferencia de calor podrá ser calculado como sigue:

$$(1/U) = (1/h_e) + (1/h_c) + (x/k_m) \quad (9)$$

11. La temperatura en el centro geométrico de la lata ( $T$ ) se considera como representativa de la temperatura de la masa líquida central, siendo la fuerza impulsora para la transferencia de calor, la diferencia entre las temperaturas de la pared de la lata y del centro del recipiente.

12. La temperatura de la capa límite térmica ( $T_f$ ), se estima como la media aritmética entre la temperatura de la pared ( $T_s$ ) y la temperatura del centro geométrico.

13. El espesor de la capa límite es despreciable con relación al radio de la lata.

14. La longitud equivalente ( $\bar{L}$ ) para estimar el coeficiente de transferencia de calor está dada por la ecuación (3).

15. El coeficiente de transferencia de calor se puede estimar a partir de la siguiente relación:

$$Nu = 1.523 (Gr Pr)^{0.23} \quad (10)$$

16. La cinética de destrucción térmica de nutrientes (o microorganismos), considerada en este modelo, es de primer orden. La constante de velocidad de reacción sigue la ecuación de Arrhenius.

17. Al comenzar el enfriamiento la temperatura dentro de la lata es igual a la del final de período de calentamiento.

18. La variación de temperatura dentro del autoclave es lineal durante los períodos de ajuste inicial en el calentamiento y en el enfriamiento, variando desde la temperatura inicial ( $T_a$ ) hasta la temperatura de procesamiento ( $T_v$ ) y entre ésta y la temperatura del agua de enfriamiento ( $T_w$ ). En ambos períodos, la temperatura del medio de calefacción ( $T_v$ ) y la del medio de enfriamiento

( $T_w$ ) permanecen constantes durante el procesamiento.

### *Predicción de la Retención de Nutrientes*

La ecuación desarrollada por Barreiro (4) para predecir las relaciones tiempo-temperatura es la siguiente:

$$\int_{T_0}^T C_p(T) dT/[U(T)(T_s - T)] = [2(r + h)/rh\rho(T_0)] t \quad (11)$$

Esta ecuación fue relacionada con las ecuaciones de cinética, obteniéndose la siguiente relación para la retención de nutrientes después de un tiempo  $\theta$  de procesamiento:

$$C/C_0 = \text{EXP}[-(1n10/D_{121.1})] \int_0^{\theta} \text{EXP}[(T-121.1)/(Z/1n10)] dt \quad (12)$$

La resolución simultánea de ambas ecuaciones, determinando el coeficiente global de transferencia de calor a partir de la relación adimensional:

$$\text{Nu} = a(\text{Gr Pr})^b \quad (13)$$

permite estimar la retención de nutrientes durante el procesamiento térmico.

El programa modelo calculado por Barreiro (4) para la resolución computacional de este modelo, fue modificado, de manera que considerara la longitud equivalente de transferencia de calor para latas colocadas en posición horizontal.

## PARTE EXPERIMENTAL

### *Verificación de la Hipótesis de Trabajo*

De acuerdo con el trabajo de Larsen y Hartnett (5) es factible esperar un mayor coeficiente global de transferencia de calor en tubos colocados horizontalmente que en aquéllos colocados en posición vertical durante su procesamiento térmico.

Como hipótesis de trabajo, se supuso que las latas colocadas

en posición horizontal durante el procesamiento térmico se deben calentar más rápidamente que cuando se hace en posición vertical. Como consecuencia, en este caso la retención de nutrientes para un procesamiento térmico dado debe ser mayor en latas procesadas verticalmente que en las colocadas horizontalmente. Para esa finalidad se realizó un experimento que consistió en colocar 10 latas tamaño 211 x 300 que contenían una solución tampón de fosfato (Sorensen) a un pH de 6,0 con una concentración de tiamina de 5 mg por 100 g, en posición vertical, y otras 10 con características análogas en posición horizontal, siendo procesadas térmicamente simultáneamente. Se llevó a cabo otro experimento similar con seis latas de tamaño 211 x 201 en posición vertical y otras seis en posición horizontal. Además, se reservaron muestras control sin procesar.

Ambos lotes fueron procesados térmicamente a 125.5°C por 26 minutos ( $t_{ajh}$ , 8 min;  $t_h$ , 26.0 min;  $t_{ajc}$ , 4 min, y  $t_c$ , 3.5 min). Las muestras así procesadas al igual que los controles, para ambos tamaños de lata, fueron luego analizadas para determinar la fracción residual de tiamina. Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente mediante la prueba de "t", con el fin de determinar si existen diferencias significativas en la retención de tiamina cuando las latas se procesan horizontal y verticalmente.

#### *Verificación Experimental del Modelo Modificado*

El modelo modificado en este trabajo utilizando una nueva longitud característica equivalente, para latas colocadas en posición horizontal, se evaluó experimentalmente.

Para dicho propósito se compararon los valores teóricos predichos por el modelo, con los resultados experimentales obtenidos para la retención de nutrientes.

La evaluación experimental se efectuó utilizando un sistema alimentario simulado consistente en una solución tampón de fosfato (Sorensen) a un pH de 5.5 y de 6.5, a la cual se le había agregado tiamina en forma de clorhidrato de tiamina (5 mg por 100 g). Se seleccionó la tiamina por ser termolábil a estos pH y por ser fácilmente soluble en solución acuosa.

Las soluciones tampón de fosfato fueron preparadas para cada pH utilizando los procedimientos indicados por Assumpção y Morita (12) y Weast (13). El pH se ajustó utilizando un pH-metro Corning.

Estas soluciones que contenían tiamina fueron enlatadas con

un espacio libre de tope de aproximadamente 6 mm. Antes de ser procesadas las muestras se estabilizaron térmicamente en un refrigerador a  $5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Luego, las soluciones enlatadas fueron procesadas en un autoclave vertical por diferentes períodos y condiciones de procesamiento. Antes de introducirse en el autoclave, las muestras se agitaron bien con el fin de homogeneizar la temperatura interna. Al final del período de calentamiento las latas fueron enfriadas con agua a presión atmosférica dentro del autoclave hasta que la temperatura central llegase aproximadamente a  $37.7^{\circ}\text{C}$ . Las latas así procesadas se colocaron en el refrigerador a  $5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  y se sometieron a análisis antes de transcurrir 24 horas.

El equipo para el procesamiento térmico consistió en un autoclave vertical (Dixie, modelo RDSW-3), con control de temperatura ( $\pm 1^{\circ}\text{F}$ ) y un sistema de enfriamiento a presión atmosférica; un registrador de tiempo-temperatura (Leeds & Northrup modelo Speedomax W) ( $\pm 1^{\circ}\text{F}$ ); termopares de aguja de cobre-constantán especialmente protegidos y adaptados para estudios de transferencia de calor por convección en enlatados (4). En todos los procesamientos se utilizó una lata adicional para los estudios de penetración de calor en el centro geométrico del envase.

Las propiedades físicas y térmicas de las soluciones buffer de fosfato fueron supuestas análogas a las del agua (4).

Los valores de la cinética de destrucción térmica de tiamina se obtuvieron de los datos presentados por Feliciotti y Esselen (14) para soluciones tampón de pH 5.5 y 6.5. Los valores de  $D_{121.1^{\circ}\text{C}}$  a estos pH fueron de 249.8 y 57.2 min, respectivamente, con valores de Z de  $45^{\circ}\text{F}$ .

### *Diseño Experimental*

La retención experimental de tiamina se determinó por medio de 10 experimentos con diferentes condiciones de procesamiento térmico. En cada experimento la fracción de vitamina retenida se obtuvo de la siguiente manera: el modelo alimentario fue envasado en cinco latas; una de ellas (control) —que no se procesó— fue analizada por triplicado para determinar la cantidad de tiamina inicial que contenía antes del procesamiento. Otra lata, como ya se mencionó, se utilizó como testigo de la temperatura. Las tres latas restantes fueron procesadas térmicamente y analizadas para determinar su contenido residual de tiamina.

En cada análisis se preparó suficiente cantidad de solución para llevar a cabo cuatro réplicas de cada muestra. Se obtuvieron así

12 resultados de las muestras procesadas e igual número de aquellas sin procesar (controles).

Los datos así obtenidos fueron analizados estadísticamente, empleando la prueba de "t". Se determinaron los valores promedio, la desviación estándar y los intervalos de 99% de confianza para la fracción de tiamina retenida. Luego, los intervalos de confianza para los valores experimentales se compararon con los valores teóricos predichos por el modelo.

### *Análisis Químico de la Tiamina*

Para este propósito, tanto en las latas procesadas como en las no procesadas, se utilizó el método del tiocromo, descrito en detalle en la literatura (15). Previo a cada análisis se tuvo especial cuidado de mezclar perfectamente las muestras enlatadas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### *Verificación Experimental de la Hipótesis*

En el primer experimento se procesaron 10 latas en posición horizontal e igual número en posición vertical. Se realizó un segundo experimento de la misma manera, con seis latas en posición vertical y otras seis en posición horizontal. En ambos casos se determinó el contenido residual de tiamina y se calculó la fracción retenida de esta vitamina. Los resultados se analizaron estadísticamente empleando la prueba de "t" (16). Se comprobó la existencia de diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en cuanto a la retención de tiamina entre las latas procesadas vertical y horizontalmente, siendo mayor la retención en las latas verticales. Esto implica una mayor tasa de transferencia de calor en las latas horizontales, lo cual conduce a una mayor destrucción de tiamina en los envases procesados en dicha posición.

Estos resultados permiten comprobar la hipótesis de trabajo, concluyéndose que —para un proceso térmico dado— existe una mayor retención de nutrientes cuando las latas se procesan en posición vertical, que cuando se hace en posición horizontal.

### *Verificación Experimental del Modelo Modificado*

Los resultados obtenidos experimentalmente para la retención de tiamina en 10 procesos térmicos diferentes, descritos en la

Tabla 1, se presentan en la Tabla 2. En esta última también se dan a conocer los valores teóricos predichos por el modelo modificado, y los intervalos de 99% de confianza correspondientes a los valores experimentales. Según se observa, en todos los casos los valores teóricos predichos por el modelo modificado están comprendidos en los intervalos de confianza de los valores experimentales.

Con base en estos resultados puede, pues, concluirse que el modelo modificado proporcionó resultados satisfactorios en todos los casos estudiados. Ello atañe específicamente a la predicción de la retención del nutriente analizado (tiamina), durante el procesamiento térmico de productos enlatados que se calientan por convección natural en latas cilíndricas procesadas en posición horizontal.

### CONCLUSIONES

Se determinó la existencia de diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), desde el punto de vista estadístico, en cuanto a la retención de nutrientes en productos calentados por convección —en envases cilíndricos de igual tamaño— cuando se procesan térmicamente en posición horizontal y vertical. Se encontró que para un proceso térmico dado existe mayor retención de nutrientes cuando las latas se procesan en posición vertical. Ello es indicativo de una mayor transferencia de calor en las latas procesadas horizontalmente.

De igual manera, se desarrolló una modificación al modelo matemático de Barreiro (4) para la predicción de la pérdida de nutrientes en productos calentados por convección natural. La modificación consistió en presentar una ecuación (3) por cuyo medio es factible estimar una longitud característica equivalente de transferencia de calor en el proceso. Así, el modelo desarrollado por Barreiro (4) para latas procesadas en posición vertical, puede adaptarse al procesamiento de latas colocadas en posición horizontal. Se desarrolló un programa de computadora para realizar la simulación del procesamiento térmico y predecir, en forma teórica, la retención de nutrientes durante el procesamiento.

El modelo fue comprobado experimentalmente, mediante 10 pruebas diferentes, caracterizadas por distintos parámetros de procesamiento térmico. En cada prueba se determinó la retención experimental de tiamina; los datos así obtenidos fueron analizados estadísticamente empleando la prueba de "t", comparándose luego

TABLA 1

PARAMETROS EXPERIMENTALES UTILIZADOS EN LA VERIFICACION DEL MODELO MATEMATICO MODIFICADO, PARA PREDECIR LA RETENCION DE NUTRIENTES, DURANTE EL PROCESAMIENTO TERMICO DE PRODUCTOS ENLATADOS QUE SE CALIENTAN POR CONVECCION

Experi- mento	pH	Tamaño lata	T <sub>0</sub> (°C)	T <sub>a</sub> (°C)	T <sub>v</sub> (°C)	T <sub>w</sub> (°C)	t <sub>iajh</sub> (min)	t <sub>h</sub> (min)	t <sub>iajc</sub> (min)	t <sub>c</sub> (min)
1	6.5	211x300	13.9	23.3	108.3	30.6	3.0	22.3	4.0	4.3
2	6.5	211x300	18.9	28.9	97.8	35.6	3.7	33.6	4.0	4.0
3	6.5	211x300	17.8	26.7	123.3	29.4	5.5	34.0	3.5	3.0
4	6.5	211x300	23.3	27.8	103.3	29.4	3.2	29.0	2.5	3.7
5	6.5	211x201	24.4	35.6	128.3	32.2	6.9	26.8	4.5	3.1
6	6.5	211x300	24.4	24.4	115.0	30.6	4.4	25.5	3.0	3.0
7	5.5	211x300	23.3	27.8	103.3	29.4	3.2	29.0	2.5	3.7
8	5.5	211x300	24.4	24.4	115.0	30.6	4.4	25.5	3.0	3.0
9	5.5	211x201	22.2	27.8	117.8	31.7	5.2	25.4	3.0	3.0
10	5.5	211x201	24.4	35.6	128.3	32.2	6.9	26.8	4.5	3.1

TABLA 2

COMPARACION ENTRE LOS VALORES DE RETENCION  
DE TIAMINA, PREDICHOS POR EL MODELO MODIFICADO,  
Y LOS VALORES EXPERIMENTALES CON SUS LIMITES  
DE CONFIANZA DEL 99%

Experi- mento	pH	Retención de tiamina			
		Valores predichos %	Valores experimentales		
			Lím. Sup. %	Prom. %	Lím. Inf. %
1	6.5	74.59	96.05	83.41	70.77
2	6.5	84.63	96.94	87.94	78.93
3	6.5	16.46	19.47	16.60	13.72
4	6.5	78.98	82.88	71.85	60.82
5	6.5	9.16	11.36	8.76	6.15
6	6.5	53.40	53.88	47.72	41.57
7	5.5	94.74	115.64	92.41	69.19
8	5.5	86.62	109.83	86.70	63.57
9	5.5	82.76	98.25	80.85	63.45
10	5.5	57.84	62.25	54.29	39.34

con los valores teóricos predichos por el modelo. Con base en este análisis se puede concluir que el modelo modificado fue satisfactorio para predecir la retención del nutriente estudiado (tiamina), en productos envasados en latas cilíndricas procesadas térmicamente en posición horizontal y que se calienten por convección natural.

#### SUMMARY

#### EFFECT OF THE CONTAINER'S POSITION ON THE RETENTION OF NUTRIENTS IN FOOD PROCESSING MODELS USING NATURAL HEAT CONVECTION

The existence of statistically significant differences in the nutrient retention of products heated by natural convection in cylindrical containers of equal size when thermally processed in vertical and horizontal position was studied. The thiamine retention was found to be significantly greater for

containers placed in vertical position.

A modification to the model proposed by Barreiro (4) for the prediction of nutrient retention during thermal processing of vertically placed canned model systems heated by natural convection was also developed to adapt it to containers processed in a horizontal position. To achieve this goal, an equivalent characteristic length was found for the vertically placed containers, and several changes were introduced. The modified model was then evaluated through ten experiments with different thermal processing parameters.

The theoretical thiamine retention values predicted by the model were compared with the experimental retention. In all cases they were within the 99% confidence interval of the experimental values. This demonstrated that the modified model can accurately predict nutrient retention during thermal processing of products packed in cylindrical containers, and placed in horizontal position.

#### LISTA DE SIMBOLOS

##### *Caracteres Latinos:*

<b>a</b>	<b>Constante (adimensional)</b>
<b>a<sub>j</sub></b>	<b>Constante en las ecuaciones 4, 5, 6 y 7 (adimens.)</b>
<b>b</b>	<b>Constante (adimensional)</b>
<b>b<sub>j</sub></b>	<b>Constante en las ecuaciones 4, 5, 6 y 7 (adimens.)</b>
<b>C</b>	<b>Concentración del nutriente (mg/100g)</b>
<b>C<sub>0</sub></b>	<b>Concentración inicial del nutriente (mg/100g)</b>
<b>C<sub>p</sub></b>	<b>Capacidad calorífica (Kcal/kg °C)</b>
<b>c<sub>i</sub></b>	<b>Constante en las ecuaciones 4, 5, 6 y 7 (adimens.)</b>
<b>d</b>	<b>Diámetro (m)</b>
<b>D<sub>121.1°C</sub></b>	<b>Tiempo de reducción decimal, para la destrucción térmica del 90% de los nutrientes a 121.1°C.</b>
<b>g</b>	<b>Aceleración de gravedad (m /hr<sup>2</sup>)</b>
<b>Gr</b>	<b>Número de Grashof= <math>\frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2}</math> (adimensional)</b>
<b>h</b>	<b>Altura de las latas (m)</b>
<b>h<sub>c</sub></b>	<b>Coefficiente de transmisión de calor interno (Kcal/m<sup>2</sup> hr °C)</b>
<b>h<sub>e</sub></b>	<b>Coefficiente de transmisión de calor externo (Kcal/m<sup>2</sup> hr °C)</b>
<b>k</b>	<b>Conductividad térmica (Kcal/m hr °C)</b>

$k_m$	Conductividad térmica de la pared metálica de la lata (Kcal/m hr °C)
$L$	Longitud característica para la transferencia de calor (m)
$L_c$ $L_t$	Longitudes características correspondientes al cuerpo y a las tapas de la lata (m)
$Nu$	Número de Nusselt = $h_c L / k$ (adimensional)
$Pr$	Número de Prandtl = $C_p \mu / k$ (adimensional)
$r$	Radio de la lata (m)
$T$	Temperatura (°C)
$T_a$	Temperatura inicial del autoclave antes de comenzar el procesamiento térmico (°C)
$T_f$	Temperatura en la capa límite térmica (°C)
$T_0$	Temperatura inicial (°C)
$T_s$	Temperatura superficial (°C)
$T_v$	Temperatura del medio de calentamiento (°C)
$T_w$	Temperatura del medio de enfriamiento (°C)
$t$	Tiempo (hr)
$t_c$	Tiempo de enfriamiento (hr)
$t_h$	Tiempo de calentamiento (hr)
$t_{iajc}$	Tiempo inicial de ajuste del enfriamiento (hr)
$t_{iajh}$	Tiempo inicial de ajuste del calentamiento (hr)
$U$	Coefficiente global de transferencia de calor (Kcal/m <sup>2</sup> hr °C)
$x$	Espesor de la pared de la lata (m)
$Z$	Recíproco de la pendiente de la curva de tiempo de reducción térmica (°C)

*Caracteres Griegos:*

$\beta$	Coefficiente de expansión volumétrico (1/°C)
$\mu$	Viscosidad (kg/m seg)
$\rho$	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )

*Subíndices:*

$c$	Se refiere al enfriamiento
$f$	Se refiere a la capa límite térmica
$h$	Se refiere al calentamiento

## BIBLIOGRAFIA

1. Stevens, P.M. **Lethality Calculations, Including Effects of Product Movement, for Convection Heating and Broken Heating Foods in Still Cook Retorts.** Disertación Doctoral, Amherst, Mass., University of Massachusetts, 1972.
2. Bimbenet, J.J. & A. Duquenoy. Simulation mathématique de phénomènes intéressant les industries alimentaires. I. Transferts de chaleur au cours de la stérilisation. **Ind. Alim. et Agric.**, 4: 359-365, 1974.
3. Hiddink, J., S. Bruin & J. Shenk. Influence of heating on product quality in cans. **6th European Symp. Food Engineering and Food Quality**, Cambridge, 1975, p. 94-113.
4. Barreiro, J.A. **Prediction of Time-Temperature Relationships and Thiamine Retention during Thermal Processing of Canned Model Systems Heated by Natural Convection.** Disertación Doctoral, Baton Rouge, Louisiana, Louisiana State University, 1979.
5. Larsen, F.W. & H.P. Hartnett. Effect of aspect ratio and tube orientation on free convection heat transfer to water and mercury in closed circular tubes. **Trans. Am. Soc. Mech. Eng. J. Heat Transfer**, 83: 87-93, 1961.
6. Schwind, R.G. & G.C. Vliet. Observation and interpretation of natural convection and stratification in vessels. **Proc. 1964 Heat Transfer and Fluid Mech. Inst.**: 51-68, 1964.
7. Vliet, G.C. Stratification with bottom heating. **J. Spacecraft**, 3: 1142-1144, 1966.
8. Hiddink, J. Natural convection heating of liquids, with reference to sterilization of canned foods. **Agric. Res. Rep. 839**. Pudoc, Wageningen, Netherlands, 1975.
9. Jowitt, R. & A.R. Mynott. Some factors affecting natural convective heat transfer to canned foods. **Dechema Monographien**, 77: 153-164, 1974.
10. Stumbo, C.R. Mathematical methods (Chapter 12). En: **Thermobacteriology in Food Processing**. 2nd. ed. New York, N.Y., Academic Press, 1973, p. 157-158.
11. Charm, S.E. Methods for thermal process evaluation (Chapter 5). En: **Fundamentals of Food Engineering**. 2nd ed. Westport, Conn., The AVI Pub. Co., 1971, p. 219-223.
12. Assumpção, R.M.V. & T. Morita. **Manual de Solucoes, Reagentes & Solventes**. São Paulo, Ed. Edgard-Blucher Ltd., 1968, p. 276.
13. Weast, R.C. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 55th ed. West Palm Beach, Florida, Chemical Rubber Corp. Press, Inc., 1974, p. D-112.

14. Feliciotti, E.H. & W.B. Esselen. Thermal destruction rates of thiamine in pureed meats and vegetables. **Food Technol.**, **11**: 77-84. 1957.
15. Association of Official Agricultural Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC**. 12th ed. Washington, D.C.. The Association, 1975, p. 823-825.
16. Miller, I. & J.E. Freund. **Probability and Statistics for Engineers**. New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1965, p. 165.