

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

FACULTAD DE QUIMICA



PROCESAMIENTO TERMICO EN ALIMENTOS :

PENETRACION DE CALOR

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO EN ALIMENTOS PRESEN-
TA: **JESUS GUERRA BECERRA.**

FACULTAD DE
QUIMICA



BIBLIOTECA

QUERETARO, 1983

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO.

FACULTAD DE QUIMICA.

PROCESAMIENTO TERMICO EN ALIMENTOS

PENETRACION DE CALOR

T E S I S
Que para obtener el título de
QUIMICO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A
JESUS GUERRA BECERRA.

Querétaro 1983.

I N D I C E

Caps.	Págs.
Introducción	I
1. Fundamento del tratamiento térmico de los alimentos enlatados.....	1
1.1 Orden de muerte térmica.....	1
2. Valores F y Z	6
2.1 Determinación del valor F	7
2.2 Factores de seguridad adicionales para la salud pública.....	8
2.3 Valor Z	8
2.4 Determinación del valor Z	9
3. Mecanismos e interpretación de penetración de calor en productos enlatados	10
3.1 Mecanismos de prueba de penetración de calor..	10
4. Equipo utilizado para el estudio de penetra- ción de calor.....	14
4.1 Termopares	14
4.1.1 Termopares tipo Ecklund.....	14
4.1.2 Otros tipos de termopares.....	16
4.2 Cable alimentador	17
4.3 Potenciómetros	18
4.4 Conmutadores	19
4.5 Procedimientos generales.....	19

<u>Caps.</u>	<u>Págs.</u>	
5.	Factores de corrección para penetración de calor en termopares	24
5.1	Factor de corrección re-determinados.....	24
5.2	Utilización de datos obtenidos de las prue- bas de penetración de calor.....	26
5.3	Causas de datos no confiables	28
5.4	Factores que influyen en la penetración térmica.....	29
6.	Métodos clásicos de cálculo	33
6.1	Método general.....	33
6.1.1	Método general mejorado	34
6.2	Método matemático.....	35
6.3	Métodos integrados de letalidad	35
7.	Evaluación del tratamiento térmico.....	36
7.1	Método de inoculación y prueba.....	37
7.2	Conceptos de valores integrados.....	40
7.3	Relación entre el valor de esterilización integrado y F_0	41
	Conclusiones.....	44
	Bibliografía.....	47

I N T R O D U C C I O N .

La ciencia de la termodinámica trata de las transiciones cuantitativas y reacomodos de energía como calor en los cuerpos de materia. La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. (- Kern, D. Q. 1974)

El estudio de la transferencia de calor se facilitará grandemente mediante una cabal comprensión de la naturaleza del calor. Sin embargo, ésta es una ventaja que no está fácilmente disponible, ya que se han descubierto muchas manifestaciones del calor, lo que ha impedido que una teoría simple las cubra a todas ellas, por lo cual se empezará a explicar que la transferencia de calor es el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuente de calor y receptores tratados de manera independiente. Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico, como ocurre en los procesos químicos. (Kern, D. Q. 1974) Este enfoque realza la importancia de las diferencias de temperatura entre la fuente y el receptor, lo que es, después de todo, el potencial por el cual la transferencia de calor se lleva a efecto. Un problema típico de procesos de transferencia de calor involucra las cantidades de calor que deben transferirse, las razones a las cuales pueden transferirse debido a la naturaleza de los cuerpos, la diferencia de potencial, la extensión y arreglo de las superficies que separan la fuente y el receptor, y la cantidad de energía mecánica que deben disiparse para facilitar la transferencia del calor. Puesto que la transferencia del calor considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema. (Kern, D. Q. 1974)

Se ha observado que existen tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor, aun cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de dos o tres. Estas son, conducción, convección y radiación. (Kern, D. Q. 1974)

La conducción es la transmisión del calor por contacto molecular. La conducción de calor es una consecuencia de las colisiones moleculares durante las cuales, las moléculas con más energía cinética transmiten calor a las que tienen menos energía. (Kern, D. Q. 1974)

No hay dos materiales que tengan la misma estructura molecular o atómica; por tanto su comportamiento difiere -- respecto de la capacidad para conducir el calor. (Kern, D. Q. 1974).

La convección es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla. Supóngase que un recipiente con un líquido se coloca sobre una llama caliente. El líquido que se encuentra en el fondo del recipiente se calienta y se vuelve menos denso que antes, debido a su expansión térmica. El líquido adyacente al fondo también es menos denso que la porción superior fría y asciende a través de ella, transmitiendo su calor por medio de mezcla conforme asciende. La transferencia de calor del líquido caliente del fondo del recipiente al resto, es convección natural o convección libre. Si se produce cualquier tipo de movimiento, tal como la provocada por un agitador, el proceso es de convección forzada. (Kern, D. Q. 1974)

La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él. La radiación del calor se produce por vibraciones de átomos y moléculas; cuando vibran sus electrones cambian de

lugar y envían ondas. Cuanto más rápido se mueven las partículas, más juntas entre sí aparecen las ondas, esto significa que a temperaturas altas la longitud de onda es más corta. Estas ondas avanzan a través del espacio y de las sustancias transparentes, pero sin calentarlas, cuando llegan a un cuerpo no transparente, la energía de las ondas es absorbida, que a diferencia de los cuerpos negros absorben toda la energía que chocan en él. (Kern, D. Q. 1974)

Toda esta explicación se ha expuesto con el fin de comprender los mecanismos y formas de medición de la penetración del calor, en alimentos envasados, así como el uso práctico de estos conceptos en la esterilización comercial. De aquí desprenderemos una serie de datos combinados de tiempo - temperatura en el centro térmico del alimento envasado, con los cuales se procederá a evaluar, lo que llamaremos "el calor letal" recibido en la zona más fría del alimento, para así conocer la efectividad del calor en lo que se refiere a provocar la muerte de los microorganismos patógenos y sus formas resistentes al calor.

Cabe hacer notar que en el caso de los alimentos, la función del calor no es únicamente la destrucción de microorganismos (aunque podría entenderse como una de las principales), mejor aún, va a ser responsable también de ciertos cambios fisicomecánicos en la estructura del alimento, en el desarrollo del aroma, sabor y también será responsable de cambios en algunas propiedades funcionales (tal como por ejemplo, viscosidad, capacidad de gelificación y la capacidad de retención de agua entre otras).

El objetivo del presente trabajo es ver cómo el estudio del proceso térmico para alimentos enlatados involucra la medición de la penetración del calor en el alimento contenido durante el proceso. Esta determinación está basada en la medición de la temperatura en la porción más fría del contenido en varios intervalos de tiempo.

Alstrand y Ecklund (1952) describieron las técnicas -- fundamentales de prueba de penetración de calor y equipo esencial necesario para efectuar la prueba. Los autores también ayudaron a las bases históricas hacia el avance de los termopares en los años de 1950. Ball y Olson (1957) y los laboratorios de Investigación de la Asociación Nacional de Enlatadores (NCA, 1965), ahora la asociación de alimentos enlatados (NFPA), tienen también recopilada información en el enfoque básico para la determinación de penetración de calor.

1.- Fundamento del tratamiento térmico de los alimentos enlatados.

El objetivo primordial del tratamiento térmico de los alimentos enlatados es asegurar la destrucción de todos los organismos vivos capaces de deteriorar o perjudicar la salud del consumidor, además conservar las cualidades organolépticas y nutritivas en cuanto extensión sea posible y hay que ajustar científicamente la intensidad del tratamiento térmico porque un proceso perfecto desde el punto de vista culinario puede no bastar para la eliminación de los organismos productores de alteraciones alimenticias. Por lo tanto es importante conocer y definir la intensidad o grado de calentamiento a que pueden someterse los alimentos enlatados para cumplir las necesidades antes citadas, es decir, hay que conocer y definir los procesos o tratamientos estándar. Tal conocimiento junto con el de la termorresistencia de los microorganismos contaminantes, la naturaleza química y física de los alimentos y la velocidad de penetración del calor hasta el punto de calentamiento más tardío, forman la base de la evaluación del tratamiento térmico. (Hersom, A.-C. y Hulland, E. D. 1974).

1.1. Orden de Muerte.

En forma práctica el bacteriólogo define la muerte bacteriana, como la pérdida de la habilidad de la célula para reproducirse. (Stumbo, C. R. 1973).

Cuando una bacteria está sujeta a calor húmedo, su muerte expresada en términos de reducción es usualmente ordenada. Generalmente el número de células viables se reduce exponencialmente con el tiempo de exposición a una temperatura letal. Consecuentemente si se grafica el logaritmo del número de supervivientes contra exposición de tiempo dará una línea recta. Esta es comunmente referida como orden logarítmico de muerte. (Stumbo, C. R. 1973)

Se ha observado, que la muerte de las células vegetativas como la muerte de las esporas, tienen un comportamiento logarítmico. (Stumbo, C. R. 1973)

Una opinión explica que la muerte bacteriana por sí misma es esencialmente logarítmica, lo cual es más comfortable cuando se toma el problema de evaluación de procesos de esterilización. (Stumbo, C. R. 1973)

Muchas explicaciones han sido dadas al orden logarítmico de muerte de bacterias; una de las explicaciones más plausible fue dada por Rahn (1929); (1945) y dice que la pérdida de poder de reproducción de la bacteria sujeta a calor húmedo, es debido a la desnaturalización de un gene esencial de reproducción, dicha muerte bacteriana tiene parecido a una reacción de primer orden, Fricke y Demerec (1973) dicen que el gene destruido por el calor está constituido por una o dos moléculas de proteína, y los presentes conocimientos informan que la reproducción es debido al DNA. Más aún el trabajo de Yoshikawa (1968), dice que cada célula microbiológica contiene dos moléculas de DNA. (Stumbo, C. R. 1973)

Todo esto se toma como un acuerdo ya que se cree que el calor húmedo puede dañar otras funciones vegetativas de la célula, ejemplo de esto es la actividad enzimática.

Generalmente la muerte bacteriana logarítmica debe ser concluida en un tiempo en el cual la muerte bacteriana llega a ser constante. (Stumbo, C. R. 1973)

En la muerte bacteriana logarítmica, es conveniente -- considerar las desviaciones que pueden suceder en el proceso. (Stumbo, C. R. 1973)

Tomando en cuenta que la muerte bacteriana tiene parecido a una reacción de primer orden se comparará en este caso con el compuesto de pentóxido de fósforo, en el cual la descomposición va ser directamente proporcional a la concentración la cual es una reacción unimolecular. (Stumbo, C. R.

1973)

Todo esto expresándolo matemáticamente tenemos:

$$-\frac{dC}{dt} = KC \quad \text{donde} \quad -\frac{dC}{C} = Kdt \dots\dots 1$$

en donde: C = Composición del reactivo.

K = Factor de proporcionalidad.

$-dC/dt$ = Velocidad a la cual decrece la concentración del reactivo.

Integrando la ecuación anterior entre límites, concentración C_1 a tiempo t_1 , y concentración C_2 como t_2 , tenemos:

$$\int_{C_1}^{C_2} -\frac{dC}{C} = K \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$-\ln C_2 - (-\ln C_1) = K(t_2 - t_1)$$

$$K = \frac{\ln C_1 - \ln C_2}{t_2 - t_1}$$

$$K = \frac{2.303}{t_2 - t_1} \log C_1/C_2 \dots\dots 2$$

Esta última ecuación puede ser modificada a dar:

$$K = \frac{2.303}{t} \log C_0/C \dots\dots 3$$

Que también puede quedar:

$$t = \frac{2.303}{K} \log C_0/C \dots\dots 4$$

en donde: C_0 = Concentración del reactante.

C = Concentración a un tiempo t.

Aplicando esta ecuación a una curva de supervivencia, "a" representa el número inicial de células (comparable en la ecuación No 4 a C_0) y "b" representa el número de células supervivientes (comparable a C en la ecuación No 4) después del calentamiento a tiempo t. (Stumbo, C. R. 1973)

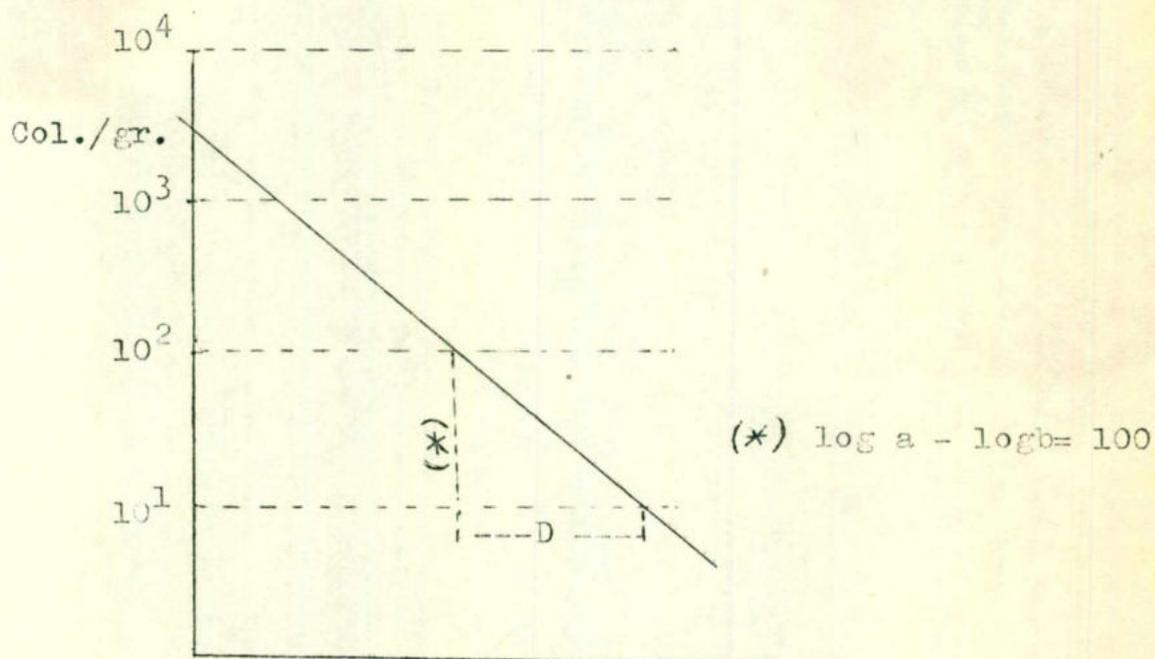
Entonces:

$$t = \frac{2.303}{K} \log a/b \dots\dots 5$$

De la figura siguiente (Fig. 1) se nota que el tiempo-requerido para destruir el 90% de las células es el tiempo requerido en atravesar un ciclo logarítmico; este tiempo es representado por D (tiempo de reducción decimal), que es la pendiente de la curva y es expresado como:

$$\frac{\log a - \log b}{D} = 1/D$$

supervivencia



tiempo a temperatura etc.

Figura 1. Curva de supervivencia logarítmica.

(Stumbo, C. R. 1973).

Sustituyendo en la ecuación general de una recta:

$$y = mx$$

se obtiene:

$$\log a - \log b = t/D$$

que también puede ser:

$$t = D (\log a - \log b) = D \log a/b \dots\dots 6$$

en donde: t = tiempo de calentamiento.

D = tiempo requerido en destruir 90% de células.

a = No. inicial de células.

b = No de células después del calentamiento, donde
b es 10 veces menor que a.

Comparando la ecuación 4 y 5; se obtiene:

$$D = \frac{2.303}{K} \dots\dots 6$$

y que D y K representan la pendiente de la curva de supervi-
vencia. (Stumbo, C. R. 1973)

2. Valores F y Z

Para determinar la resistencia de las bacterias a la destrucción por calor, se siembra un número conocido de bacterias conocidas en el alimento, luego se calienta a la temperatura deseada. A intervalos medidos de tiempo se detiene el calentamiento y se enfría el producto alimenticio. Si se lleva a cabo el calentamiento en latas (tiempo de destrucción térmica), se colocan los recipientes en un cuarto tibio, a la temperatura que permita el mejor crecimiento de las bacterias. Al escoger los límites adecuados de tiempo, las bacterias en las latas calentadas durante el período más corto permanecerán vivas, creciendo en el producto. (NCA, 1973).

En la mayoría de los casos, las bacterias escogidas para la prueba producirán gases e hincharán la lata. Aquellas bacterias que se sometieron a calentamiento en latas por un tiempo prolongado no crecerán, según se ha evidenciado por la falta de producción de gas, ya que han sido destruidas por el calor. Al observar el crecimiento de las bacterias después del calentamiento se puede obtener una idea bastante precisa del tiempo necesario para destruir un número dado de bacterias a una temperatura dada. (NCA, 1973).

La información así obtenida se puede expresar con el símbolo D, el tiempo de reducción decimal. Este es el tiempo a una temperatura constante, requerido para destruir un 90% de los organismos presentes. Si se realizan pruebas similares de calentamiento a varias temperaturas, se puede trazar una curva que representa una relación de tiempo y temperatura requerida para destruir esa bacteria en particular. Esta es la llamada curva de tiempo de destrucción térmica. La curva de tiempo de destrucción térmica nos provee con otro valor útil, el "Z" que es el número de grados Fahrenheit requeridos para que la curva de tiempo de destrucción térmi

ca pueda atravesar un ciclo logarítmico. Es una medición del cambio en la tasa de mortalidad en relación al cambio de temperatura. El tercer símbolo que se hace referencia frecuentemente en termobacteriología es el valor "F". El valor "F" es la cantidad de tiempo requerido para destruir un número dado de microorganismos a una temperatura dada. (NCA - 1973)

2.1 Determinación del valor F

La importancia de la determinación de F es la designación del nivel de supervivencia microbiana.

El objetivo del proceso de esterilización térmica es reducir a un mínimo el número de microorganismos supervivientes. (Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978) Una manera práctica de expresar esto es dando el número relativo de botes no esterilizados. Para decir que un producto es estéril, al menos un bote en un millón de ellos puede contener organismos no patógenos después de procesado. (Pflug, I. J. et al 1978)

Stumbo (1973), (1950), ha sugerido un nivel de 10^{-4} para organismos no patógenos comercialmente esterilizados. Quizá 10^{-5} ó 10^{-6} sea una cifra aceptable, pero como quiera que sea, si se habla acerca de un producto estéril, tendríamos que 10^{-6} podría ser una cifra más real y un valor defensivo.

Para Cl. Botulinum un nivel de 10^{-9} es razonable, esto es en general compatible con el valor de 12 D terminológicamente, si el número inicial de esporas en el producto es 10^3 por unidad y la probabilidad de unidades no estériles es 10^{-9} el logaritmo de reducción de esporas sería, 12 éste es un valor de 12 D en el proceso sería requerido. (Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978). La sugerencia de un valor de 10^{-9} es considerablemente más bajo que el valor de 10^{-12} sugerido por Stumbo (1975). Usando una probabilidad de 10^{-12} no es compatible con el 12 D terminológicamente y en general significaría un 13 a un 15 D dependiendo de la carga inicial de esporas de Cl. Botulinum.

La esterilización no puede ser probada en muchos productos. Una vez que los productos son almacenados, la esterilización puede checar en todo su contenido (Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978)

2.2. Factores de seguridad adicionales para la salud pública.

No existe un lugar específico en el procedimiento del proceso calculado para añadir algún factor de seguridad.

Siendo ese el caso, dónde y cómo compensar para lo desconocido? La industria de los alimentos enlatados debe guiarse con un producto biológico el cual contiene microorganismos. Debe haber tolerancia para condiciones desconocidas y éstas deben ser de manera que compensen los extremos reales. (Pflug, I. J. et al 1978)

Sólo hay dos lugares para incluir un factor de seguridad en el diseño de un proceso de esterilización por el calor, el valor de F_0 o las condiciones de calentamiento representadas por la temperatura. (Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978) Creemos que en el pasado, un factor de seguridad ha sido incorporado en el valor F_0 . Cuando evaluamos nuestra prueba de penetración de calor, la ingeniería del proceso de esterilización podría adicionarles factores de seguridad por el uso de un calentamiento más prolongado, o realizar otras manipulaciones para compensar lo desconocido. Por ejemplo, se sabe que Perkins (1969) incorporó un factor de seguridad similar en recomendaciones para la esterilización de suministros a hospitales basados en su experiencia con esterilizados.

Lenz y Lund 1977 sugirieron que los factores de seguridad para productos enlatados sería evaluando el método estadístico, aunque no hay suficientes antecedentes para emplear esos métodos. (Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978)

2.3. Valor Z

El valor Z es un parámetro básico en la evaluación de un plan de proceso térmico, que se originó de los trabajos -

ducto frío y sujeto a cambios térmicos, para disminuir tales errores, la industria ha aceptado la definición de temperatura inicial como la temperatura promedio del producto al principio del proceso. (Alstrand, D. V. y Ecklund, O. F. 1952)

En productos con calentamiento por convección natural - se prevendrá cualquier diferencia apreciable en la temperatura inicial, midiéndolo en diferentes puntos de la lata. En productos semifluidos la distribución de la temperatura uniforme generalmente puede obtenerse mediante la agitación de las latas justo antes de comenzar el proceso. (Alstrand, D. V. y Ecklund, O. F. 1952)

4. Equipo utilizado para el estudio de penetración del calor

4.1 Termopares

Usualmente para este tipo de prueba se utilizan los -- termopares el cual convierte el calor percibido a impulsos -- eléctricos, que a su vez son relacionados con la temperatura.

4.1.1 Termopares tipo Ecklund

Históricamente, el sistema termopar de Ecklund tipo "P" sin salientes, con enchufe, o cerrado ha sido el primer tipo de mecanismo para la medición termoeléctrica de la temperatura usado en alimentos enlatados en pruebas de penetración de calor (Figura 3). (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978)

Este ha sido probado para ser adaptable no únicamente -- para procesos inmóviles, sino también para uso en una variedad de sistemas de procesamiento rotatorios en bandejas, botellas de vidrio y bolsas flexibles. (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978). Dicho termopar puede ser sellado a la lata usando equipo comercial. Se colocan los termopares en la lata por -- el agujero hecho con un punzón avellanador y se fijan mediante un conector hembra de rosca que entra en el agujero desde afuera y que está asegurado por una tuerca y empaque desde -- dentro de la lata. (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978)

de Bigelow en 1920-1921.

La cual parece tener su primera aparición en Ball (-1923) quien usó para definir la curva tiempo-temperatura térmica en el desarrollo del método matemático de evaluación—del proceso. Ball instituyó que Z representa la pendiente de la curva que está siendo valorada por el número de grados pasados sobre la curva en un trayecto cíclico logarítmico.

El papel del valor de Z en cálculo para procesos térmicos es relativamente simple y amplio, por consiguiente, cuando el proceso calculado involucra dos valores de Z, el problema está dividido en dos partes o en dos áreas:

1.- P_1 evaluando el efecto del valor Z sobre el valor de esterilización, U, del producto en el contenido y calculando — la temperatura de calentamiento medio; 2.- P_2 trasladando de un punto a otro en cualquiera de la curva del valor Z.

(Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978)

Es importante considerar el proceso como dos áreas por separado porque pueden tener diferentes efectos sobre el resultado del proceso calculado. Por ejemplo cuando en el proceso de esterilización se especifican las bases de referencia tales como temperatura de 250°F , un valor Z más grande que el verdadero, asegura temperaturas por encima de la temperatura de referencia, mientras que otros más pequeños dan seguridad a temperaturas bajas. (Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978)

2.4 Determinación del valor Z.

Los exámenes experimentales de la determinación de valores D y Z para esporas de Cl. Botulinum sugiere que estas esporas podrían conducirse de alguna manera respecto a su destrucción a valores de 212°F comparadas con otras temperaturas. Ahí parece haber una relación, donde las destrucciones grandes están asociados con valores grandes de Z a 250°F , y pequeñas destrucciones a 250°F con valores pequeños de Z.

Una gráfica de valores F_{250} contra valores de Z realiza da por Townsed 1938 demuestra que existe una fuerte tenden —

cia para el valor de Z que aumenta en proporción directa a valores F . (Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978)

3. Mecanismos e interpretación de penetración de calor en productos enlatados.

Se conoce como prueba de penetración de calor a las medidas de las temperaturas en el punto más frío cuando un alimento enlatado es procesado.

Dicha prueba fue realizada mediante el uso de termopares para la medición de penetración de calor, ésta se realizó en el año 1907 y el estudio de variaciones de temperatura fue reportado por Betting y Betting en 1914. Extensivas pruebas usando termopares fueron descritas por Thompson (1919), quien es acreditado en el desarrollo de algunas ecuaciones básicas en la penetración del calor. Varios autores describieron el uso y diseño de termopares y los factores relacionados con la determinación del proceso. Benjamín (1920), mejoró los termopares pues desarrolló un termopar tipo conector, el cual podía ser desconectado del lado del alambre. Se reportó posteriormente una mejora al termopar hecho por Ecklund (1949), y también se ha descrito un equipo especializado de calor penetrante basado en este tipo de termopar. (Alstrand, D. V. y Ecklund, O. F. 1952).

3.2 Mecanismos de prueba de penetración de calor.

El equipo necesario para prueba de penetración de calor debe incluir:

a.- Termopares capaces de ser movibles en una lata de tal manera que el calor se proyecte sobre el eje de la lata.

b.- Alambres conductores compensadores, dentro de un cable de varias caras dobles dependiendo del número de latas que vayan a ser probadas simultáneamente, (no menos de 6 son recomendables).

c.- Una caja de material de relleno que permita que el cable conductor pase a través de la retorta.

d.- Un conductor selector.

e.- Un potenciómetro para indicar la temperatura de la lata. (Alstrand, D. V. y Ecklund, O. F. 1952)

La lectura directa medida por el milivoltímetro está sujeta a errores resultado de la variación de resistencia de los alambres conductores. Tal equipo fue descrito más completo por Ecklund, (1949).

El primer paso para la medición del calor consiste en colocar los termopares en las latas de prueba generalmente se colocan a los lados, salvo en envases de vidrio que se colocan en las tapas. Para productos en los que se necesita calor por conducción, tales como cremas, sopas espesas, concentrados y la mayoría de carnes enlatadas, los termopares deben colocarse en el centro de la lata, para productos en donde el calor se transmite por convección, tales como sopas claras y la mayoría de las verduras, los termopares deben colocarse a punto cercano al fondo de su contenido sobre el eje de la lata. (Alstrand, D. V. y Ecklund, O. F. 1952)

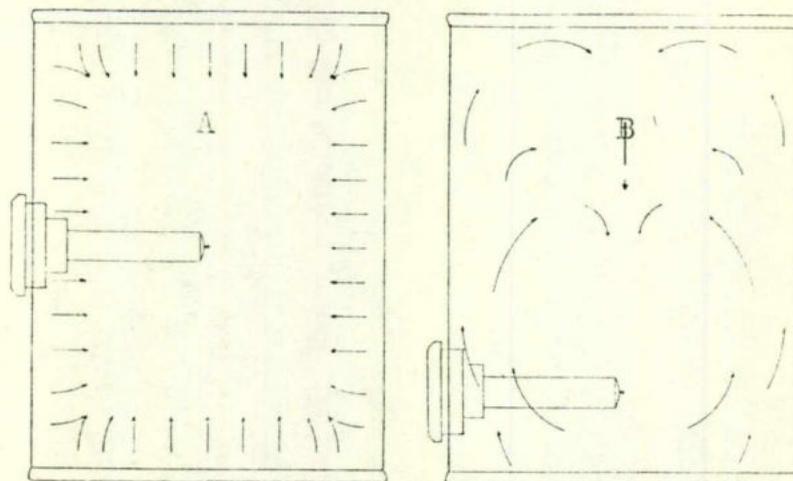


Figura 2. Mecanismos de penetración de calor.
(A.- Conducción, B.- Convección) (Alstrand, D.
V. y Ecklund, O. F. 1952)

Para latas del No. 2 (307 x 409) el termopar es colocado a 19 mm arriba del fondo y para los del No. 10 (603 x 700) a 38 mm sobre el fondo de la lata. Estos puntos los demuestran -

tran Jackson y Olson (1940) como los puntos más fríos para estos dos tipos de productos.

Las latas de prueba en su fase inicial de calentamiento podrían tener termopares localizados en ambas posiciones para determinar el punto al cual es más bajo el calentamiento. (Alstrand, D. V. y Ecklund, O. F. 1952)

Para latas redondas los termopares son montados en el cuerpo en un lado. Con algunos productos envasados en latas rectangulares como por ejemplo un almuerzo de carne de 6 lbs los termopares se colocan al fondo de las latas, con latas pequeñas rectangulares los termopares se colocan al final o al lado angosto de la lata. En cualquier caso si el producto se calienta por conducción el calor de unión se encuentra en el centro geométrico de la lata. (Alstrand, D. V. y Ecklund, O. F. 1952)

Los cables generalmente se han hecho de 7 a 10 alambres y se usan así mismo de 6 a 9 latas para cada prueba de penetración de calor, la conducción permanente se usa como medida del calor medio. Para considerar el número de pruebas necesarias, se continuará probando hasta que el tecnólogo esté satisfecho de que obtuvo datos suficientes que pudieran ser aproximados a los obtenidos en la operación de esterilización comercial. Para productos cuyo calentamiento sea extremadamente rápido (convección) y extremadamente lento (conducción), solamente se requieren unas cuantas latas de prueba porque por lo general tiende a ser poco el rango de variación de temperatura de prueba a prueba y de lata a lata. Debe tenerse especial cuidado con los productos que exhiben curva quebrada de calentamiento porque un cambio ligero en el procedimiento de empaque podría resultar una amplia variación en la velocidad de calentamiento. (Alstrand, D. V. et al 1952)

La velocidad de calentamiento sobre productos empacados al vacío pueden variar con el llenado, por lo cual en el estudio de penetración de calor se recomienda incluir con frecuencia

latas con llenado normal y sobrellenado e inducir cualquiera de las otras variables que puedan influir sobre el rango de calentamiento. (Alstrand, D. V. y Ecklund, O. F. 1952)

El llenado de las latas se puede llevar a cabo con equipo comercial con los termopares montados sobre las latas. Si el producto está hecho de grandes piezas es mejor que su llenado sea normal y las terminales de los termopares podrían introducirse en las piezas grandes del producto y también para prevenir que se rompa el termopar. Para verduras tales como papas en salmuera, no se consideró necesario que el centro de dicha partícula reciba por completo una esterilización ya que esta área es esencialmente estéril. Consecuentemente, las terminales de los termopares son introducidos sobre los alimentos sólidos a una profundidad de solamente 1/4 a 1/2 de pulgada. (Alstrand, D. V. y Ecklund, O. F. 1952)

Las variaciones en las latas en cuanto al vacío, técnica de cerrado, y posición de las latas durante el proceso, que son diferentes de lo normal, se podrían estudiar como causas especiales que varían el rango de calentamiento.

Todas las latas probadas podrían ser manejadas de tal manera que al inicio del proceso la temperatura esté en el rango para obtener una esterilización comercial. Alstrand y Benjamin (1950) mostraron que un cuadro distorcionado se obtendrá si las temperaturas dentro de las latas probadas no son uniformes, esto puede ocurrir cuando las latas de calentamiento lento contienen espacios ocupados por vapor y al pasar por algún tiempo antes de ser procesado. Bajo esos factores el producto cercano a la superficie podría ser más frío que en el centro de la lata. Los datos obtenidos sobre pruebas en latas de penetración de calor con una temperatura inicial más grande en el centro de la lata que la temperatura promedio, el factor de retraso obtenido será más alto que el valor verdadero. La conversión de esto puede ser real para un producto de calentamiento lento ocupado por pro---

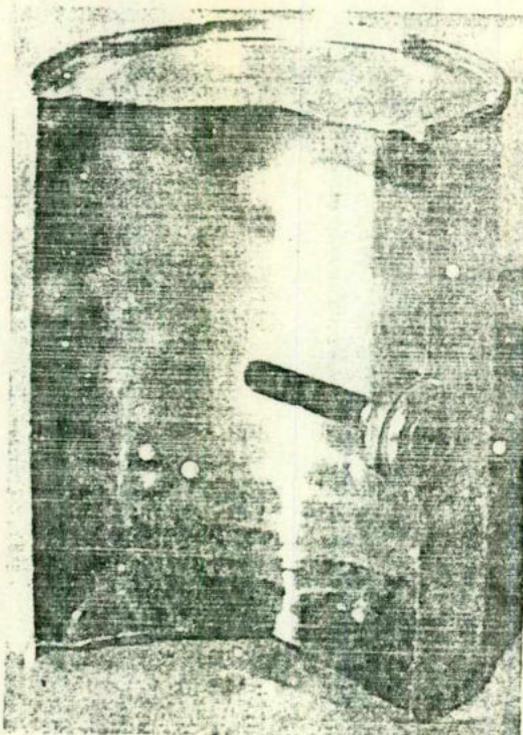


Figura 3. Termopar Ecklund tipo "T" sin salientes instalado en lata.

(Bee, G. R. y Park, D. R. 1978)

Los termopares de Ecklund incluyen:

A.- Termopares flexibles, para usarse con empotramiento en componentes particulares para permitir el acanalamiento.

B.- Termopares de aguja de acero inoxidable, tienen poco contorno y son rígidos y de longitud constante.

C.- Termopares moldeados, hechos de bakelita fenólica, rígida y aislada, disponible únicamente en tamaños específicos.

D.- Termopares de varilla entubada rígidos. (Bee, G. R. y Park, D. R. 1978)

Herramienta especial está disponible para adaptar esos termopares a una variedad de empaques. Son asegurados los conectores de contacto durante una prueba cuando ocurren movimientos continuos, como en sistemas de procesos rotatorios.

(Bee, G. R. y Park, D. K. 1978)

Dichos aparatos están basados en el hecho de que cuando dos varillas de metales distintos, tales como cobre y constantán, o chromel y eureka, se ponen en contacto por sus dos extremos, formando un circuito cerrado, y se mantiene una de las uniones a una temperatura más elevada que la otra, se origina entre ellas, una corriente eléctrica cuya magnitud depende de la diferencia de temperaturas entre ambas uniones. En la práctica una de las uniones, la caliente se introduce en un bote, en el punto de calentamiento más tardío, y la otra más fría se mantiene a una temperatura constante, generalmente a 0°C , la del hielo fundente. Se coloca un potenciómetro en el circuito y va observándose la diferencia de potencial a medida que va subiendo la temperatura del autoclave. (Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974)

4.1.2 Otros tipos de termopares.

Diversas firmas comerciales en la actualidad producen termopares para seguir la velocidad de penetración del calor en botes de alimentos. Uno de los más corrientes es el que se describió con anterioridad realizado por Ecklund, de muelle a presión, cuyo vástago se fija a la pared del cuerpo del bote. Una vez fijo el vástago, la lata puede cerrarse fácilmente en todos los tipos de máquinas cerradoras. Otro sistema de termopares, fabricado por Foster Instrument, Ltd., permite cerrar los botes de la forma habitual utilizando una tapa previamente perforada con un orificio cubierto por una membrana. El vástago del termopar penetra por dicho orificio y las arandelas de que va provisto se fijan herméticamente a la tapa con ayuda de una palomilla roscada externa. Son pocos los partidarios de termopares cuyos vástagos van protegidos por fundas metálicas, por lo que se prefieren los que poseen fundas o cubiertas de material no conductor, lo que evita el riesgo de conducción por calor desde el centro

del bote a lo largo de la cubierta del termopar. (Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974)

4.2 Cable alimentador

En la preparación y uso de un cable alimentador para las latas de prueba en potenciómetros, deben ejercerse cuidados y seguir las siguientes disposiciones:

a.- El cable alimentador deberá tener bastantes alambres para proporcionar un número adecuado de latas repetidas para las condiciones de prueba. Al menos uno de los cables deberá ser usado como referencia para registrar la temperatura dentro del autoclave. (Bee, G. R. y Park D. K. 1978)

b.- El cable debe ser de suficiente longitud para permitir la conexión entre el potenciómetro y latas de prueba.

c.- Para evitar la fuga de vapor se deben insertar casquillos de empaque que acomoden el número apropiado de alambres.

d.- El cable no debe ser introducido a través de la tapa del autoclave, sino que deben entrar por un costado, válvula de seguridad u otra apertura adecuada.

e.- Los alambres que salen del autoclave deben separarse y colocarse de manera adecuada, para formar una línea de goteo y que el condensado no llegue a la conexión en el potenciómetro. (Bee, G. R. y Park D. K. 1978)

f.- El cable enrollado o cubierto deberá ser resistente al calor para evitar el agrietamiento y quebraduras por el uso continuo. Alambres cubiertos con kaptón y teflón son los más satisfactorios a la fecha. Alambres de PVC y nylon, han demostrado ser menos convenientes; el primero ocupa mucho espacio y se decolora, y el segundo se vuelve quebradizo con el tiempo y se daña fácilmente. Alambres cubiertos de asbesto han sido desechados en muchas operaciones debido a problemas de salud y características de manejo.

j.- Previo a cualquier uso el alambre debe ser inspeccionado si hay desgaste o agrietamiento, lo cual puede -

resultar en lecturas erróneas, o no dar lecturas. También deben chequearse todas las conexiones y que no existan alambres-torcidos.

h.- Los cables no deben ser empalmados o soldados entre el potenciómetro y la unión del termobar. En el caso extremo de que se requiera conexiones soldadas éstas deben minimizarse y mantenerse en igual número en cada cable. (Bee, G. R. y Park D. K. 1978)

4.3 Potenciómetros

Ecklund (1949) y Alstrand (1959) sugirieron que única--mente potenciómetros con puente de Wheatstone sean usados ya que compensan la resistencia de los cables. Los milivoltímetros no hacen esta compensación y pueden introducir error en el voltaje, causando lecturas erróneas en los termopares.

Los avances en potenciómetros están entre las más notables modernizaciones de equipo disponible en penetración de calor. En el pasado, únicamente potenciómetros electrónicos de equilibrio manual y de equilibrio automático fueron dis--ponibles, potenciómetros de equilibrio manual normalmente em--plearán un switch rotatorio para selección de canal, mientras que la mayoría de los tipos de equilibrio automático vienen con botón para selección de canal, éstos llegan a indicar y grabar la temperatura, mientras que los manuales únicamente indican la temperatura, no la graban.

En la actualidad, los potenciómetros contienen componen--tes en estado sólido, completamente transistorizado, son dis--ponibles a precios razonables; vienen provistos de ta--bleros de circuitos impresos, exposición digital o impresa, in--crementan la capacidad de selección de canal, reducen los in--tervalos de exposición, registran en papel, su diseño es compacto y son portátiles, con reloj automático y tiempo de grabado. (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978)

Estas unidades también eliminan la necesidad de tener -

datos de temperatura por lecturas manuales, también la necesidad de un switch rotatorio, tienen suficientes enchufes para conectar los termopares, y pueden ser conectados con otras opciones tales como grabadoras, perforadoras, teletipos, etc, para análisis de datos por computadora.

En Europa, un potenciómetro transistorizado ha sido desarrollado para ser usado en conjunción con las pruebas de penetración de calor, (Eisner 1972) este es un diseño discontinuado, que lee en °C. Esta unidad incluye un acumulador de valor de esterilización (F_0), para cálculos automáticos de valor F_0 durante la prueba de penetración. (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978)

4.4 Conmutadores.

El conmutador más comúnmente usado utiliza el dispositivo de anillo de deslizamiento que va unido a la flecha que entra en la coraza del autoclave rotatoria. Existen receptáculos hembra del tipo Ecklund que acomodan los conectores machos que vienen de la lata de prueba.

En adición al dispositivo del anillo deslizante, un sistema de contacto de mercurio puede usarse, el cual puede reducir el problema con películas de grasa y arena colectada en los alambres del anillo deslizante de constantán-cobre. Atomizaciones de silicón han sido usados para minimizar la oxidación de los alambres y la acumulación de mugre. Es esencial que la tensión propia del cable sea checada para prevenir disminución de las lecturas. (Bee, G. R. y Park, D. K. - 1978)

4.5 Procedimientos generales.

El procedimiento para conducir pruebas de penetración de calor incorpora un número de factores, los cuales dependen del sistema de procesamiento involucrado, tipo de recipiente y estilo del producto. Sin embargo procedimientos generales son aplicables a todas las pruebas.

Los datos deben ser colectados de una manera que dupliquen las condiciones de la práctica comercial. Para complementar esto, es necesario familiarizarse completamente con los procedimientos de producción para el producto a ser estudiado y las variaciones necesarias que podrían influir en el grado de calentamiento. Una familiarización con el sistema de procesamiento en uso proporcionará la información necesaria para simular las temperaturas y condiciones del proceso, y para determinar si el equipo ha sido instalado y si está siendo operado de la manera apropiada. Esta información también servirá como una guía para la localización de los termopares en los recipientes y la determinación de factores críticos para ser incorporados en el estudio. (Bee, G. R. y Park D. K. 1978)

El equipo que será usado para efectuar la prueba de penetración de calor deberá ser checado para una operación propia y precisa. Dependiendo del equipo que se use, puede ser necesario hacer esos chequeos en el laboratorio y nuevamente en el sitio de pruebas. Deberá haber buena concordancia entre todos los termopares alrededor de la temperatura de procesamiento que será controlada en las pruebas.

Para sistemas de procesamiento que usen termómetros de mercurio en vidrio como una referencia de la temperatura del proceso, un termómetro estándar de presión conocida deberá ser instalado en el equipo para pruebas de penetración de calor, las lecturas de este termómetro deberán ser tomadas frecuentemente durante las pruebas de penetración de calor sirviendo como un chequeo para la lectura del termopar de referencia. (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978)

Para todas las pruebas de penetración de calor, al menos un termopar de referencia localizado fuera de las latas de prueba, deberá ser usado para proporcionar una medida de la temperatura en el desarrollo del proceso. Este termopar puede ser del mismo tipo usado en latas de prueba o puede ser-

empalmado o soldado en el extremo de uno de los alambres. -
(Bee, G. R. y Park, D. K. 1973)

Si los termopares tipo Ecklund están siendo usados en latas de prueba, los conectores machos de dos dientes serán colocados en los extremos de los cables en la retorta. Los dientes de esos conectores deberán estar limpios y las hendiduras de las clavijas cubiertas, para proporcionar una -- buena conexión dentro del conector hembra del termopar. (Fig 4)

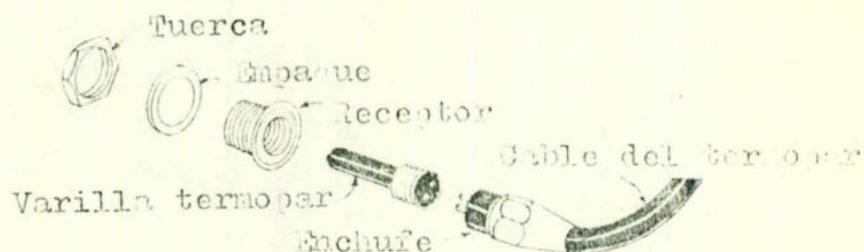


Figura 4. Termopar tipo Ecklund no proyectante.
(NCA 1973).

Esto puede ser complementado con el uso de papel lija para limpiar, y una navaja para raspar un poco cada diente. Haciendo rutina este procedimiento de limpiado y raspado antes de cada corrida de penetración de calor será de considerable ayuda en prevenir pérdidas de lecturas de uno o más termopares como un resultado de conexiones malas. Para cualquier tipo de conectores de alambre usados, deberán tomarse cuidados para asegurar conexiones completamente limpias, como también en la operación de conexión al asegurar que el diente de cobre del conector es insertado al termopar. (Bee,

G. R. y Park, D. K. 1978)

Otra parte muy importante en las pruebas de penetración de calor es el tiempo. Un mínimo de dos cronómetros deberán ser usados para cada prueba, antes de empezar la prueba, deberá hacerse un chequeo de la concordancia y precisión de ese dispositivo, ambos cronómetros deberán de comenzar a funcionar simultáneamente al ser introducidas las latas al medio de calentamiento y deberán operarse hasta que la corrida sea terminada. (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978). El registro que contiene las lecturas de los termopares deberá contener suficientes anotaciones de tiempo o registros para identificar los intervalos de lecturas. Las anotaciones de tiempo deberán también hacerse al principio y al finalizar la corrida, así como cualquier cambio en las condiciones del sistema de procesamiento tales como término del tiempo de descarga, tiempo en que la temperatura del proceso es alcanzada, principio del enfriamiento y toda la información pertinente. (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978)

El registro de penetración de calor deberá contener todos los factores significativos asociados con el principio de la corrida de prueba. Tales factores variarán con el propósito de la prueba, pero usualmente incluirán nombre del producto y estilo, fecha, número de corrida, tamaño de la lata, posición del termopar y número de alambres, identificación del sistema del procesamiento, temperatura inicial de las latas de prueba, intervalos de tiempo en que alcanzó la temperatura de procesamiento, lectura de los cables de referencia, tiempo que las latas son sujetas al medio de enfriamiento, y lectura de los termómetros de mercurio.

La temperatura inicial de las latas de prueba deberá ser determinada justo antes de que la corrida de penetración de calor sea iniciada. (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978) Esas latas deberán ser manejadas de manera que su temperatura inicial sea cercana a la esperada en la práctica comer

cial.

Alstrand y Ecklund (1952) describieron errores en rangos de calentamiento que ocurren si las temperaturas dentro de las latas no son uniformes. Ellos establecieron que para minimizar estos errores, la industria tiene que aceptar la definición de temperatura inicial como la temperatura media del producto al principio del proceso. Las latas de prueba deben ser sacudidas en el caso de convección o productos se mi fl uid os y la lectura tomada leyendo el termopar. En el caso de consistencia pesada o productos sólidos, deberán hacerse esfuerzos para iniciar la prueba con un mínimo de retraso después del sellado y cerrado, la medida de esas temperaturas servirá como un chequeo final de que el equipo de penetración de calor es operativo. (Bee, G. R. y Park, D. K 1978)

Detalles de la operación del potenciómetro a ser usado pueden obtenerse mejor de quien los manufactura.

Dicho aparato se calibrará exponiendo ambas uniones, o sólo la caliente en el caso de instrumentos con un par de referencia compensado, a temperaturas conocidas y preparando una gráfica a partir de la cual sea posible relacionar cualquier lectura del galvanómetro con la temperatura de la u ni ón cal iente. En los instrumentos calibrados por las fá br ic as debe comprobarse regularmente su escala de temperatura mediante este método. Para estandarizar el instrumento y g o ra h ac er l as l e c t ur as durante el período de penetración de calor, debe operarse con gran exactitud, ya que el valor l e t al d e u n g r a d o d e t e m p e r a t u r a a u m e n t a q u e l a t e m p e r a t u r a d e l a u t o c l a v e s e a p r o x i m a a l c e n t r o d e l b o t e. (Her s o m, A. C. y H u l l a n d, E. D. 1974)

En general los potenciómetros deberán ser localizados de manera que no estén expuestos a humedad excesiva o vapor. Antes de empezar la prueba, el instrumento deberá ser en c e n d i d o con un tiempo suficiente para permitir un calentamiento

adecuado, para que de esta manera dé una medida de la temperatura precisa. (Bee, G. R. y Park, D. L. 1978)

5. Factores de corrección para penetración de calor en termopares.

En el calentamiento por conducción de los botes pueden originarse errores al transmitirse el calor por los alambres del propio termopar. Para evitar esto, Ecklund (1956) ha elaborado una tabla de factores de corrección que deben aplicarse a los valores de "j". Cowell (1959) comprobó esto y dice también que para trabajar con precisión se necesitan termopares contruidos con alambres finos, aplicando cuando sea conveniente factores de corrección. (Herson, A. C. y Hulland, F. D. 1974)

Dichos factores de corrección son debido a pequeños cambios en la construcción de termopares, la cual es compensada por el calor conducido dentro del producto por termopares metálicos y adaptadores. Las correcciones descritas se aplican a datos de penetración de calor obtenidos por medio de termopares no-proyectantes "Ecklund" cuando son usados en latas de pequeño tamaño con productos conductores de calor. (Ecklund, O. F. 1956)

Un reporte reciente sugirió la adición de un minuto a la pendiente de la curva de calentamiento, fh, para productos conductores de calor en latas pequeñas y con diámetro de 2 11/16 pulgadas. Pruebas recientes indicaron que esta corrección debería ser extendida inclusive para latas de diámetro 300 o sea 3 pulgadas, y que la corrección para latas de diámetro 202 (2 1/8 pulg.) debería ser cerca de 1.7 minutos. Sin embargo, aplicando la corrección al valor "j" como se describirá debería ser más satisfactorio. (Ecklund, O. F. 1956)

5.1 Factores de corrección re-determinados.

Las pruebas de penetración de calor fueron hechas comparando termopares no proyectantes estándar, montados en receptáculos de acero inoxidable, con termopares especiales de referencia hechos de metal muy fino e insertados y montados a través de las latas de prueba con empaques especiales. (Ecklund, O. F. 1956)

Los análisis de los datos de calentamiento obtenidos en cada prueba indicaron que líneas que tienen pendientes idénticas pueden ser trazadas en papel semilogarítmico, lo cual se ajusta para los datos de calentamiento obtenidos con termopares de referencia y los regulares.

Así, la diferencia en el rango de calentamiento fue reflejada enteramente en el antiguo valor "j". Multiplicando el valor "j" obtenido con termopares no-proyectantes por el propio factor de corrección, la curva resultante podría ser superpuesta en la obtenida con los termopares de referencia. (Ecklund, O. F. 1956)

Los factores de corrección encontrados para varios tamaños de latas, con productos conductores de calor son mostrados en la tabla siguiente.

Tabla 1. Factores de corrección "j" para algunos tipos de latas.

Tamaño de lata	Factor "j"
202x214	1.36
211x400	1.16
300x407	1.10
307x409	1.06
303x -	1.08

(Ecklund, O. F. 1956)

El factor de corrección para latas de diámetro 307 es bastante pequeño para ser considerado en la mayoría de los casos. Los factores para las latas de diámetro 202 y 211 son importantes y no deben de ser olvidados. (Ecklund, O. F. --

1956).

Trabajos realizados por Alstrand (1944) mostraron que - el tamaño del alambre de los termopares dentro del rango de calibre 24 y 30 (área circular de 404 y 101 milésimas respectivamente) e incluso alambres de calibre 30 en espiral enrollados sobre un núcleo de plástico de 5/32 de pulgada tenían poco efecto sobre el índice indicado de calentamiento de latas pequeñas de productos conductores de calor. Se comprobó que un termopar receptáculo o tuerca extendida dentro de la lata tiene un aumento significativo del índice de calentamiento. Se concluye entonces que, alambres calibres 30 y 38 usados en pruebas corrientes no contribuyen apreciablemente al error y que el error se debe casi totalmente al receptáculo proyectado dentro de la lata. (Ecklund, O. F. 1956)

Jackson y Olson (1940) mostraron que la localización de la parte sensible al calor del termopar dentro de la lata -- con productos conductores de calor, influyó en el antiguo -- factor "j" pero no en la pendiente fh de la curva de calentamiento. La pendiente es influida únicamente por el tamaño de la lata para un producto conductor de calor. (Ecklund, O.F. 1956)

Recientes investigaciones en los laboratorios de la NCA encontraron una nueva técnica para sellar alambres de termopares en recipientes metálicos, los cuales pueden ser usados para otros estudios en la corrección de ese antiguo factor. Esta técnica involucra el uso de silicón sellador, para sellar los alambres de los termopares en los recipientes. Este sellador es relativamente no conductor de calor, comparado - con los receptáculos de metal, y ha sido encontrado satisfactoriamente para resistir las condiciones de presión de vapor en el receptáculo. (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978).

5.2 Utilización de datos obtenidos de las pruebas de penetración de calor.

Los datos obtenidos de las pruebas de velocidad de - -

calentamiento muestra cuán rápida o lentamente un producto — se calienta. Para usar los datos obtenidos en el cálculo de procesos de esterilización, se dibujan los datos como puntos en papel semilogarítmico. El tiempo se representa en la esca la lineal y la temperatura en la escala logarítmica. Se colo can las temperaturas a los tiempos correspondientes. El tra z o representará una curva de tipo lineal recta o una quebra da. (NCA 1973)

Con algunos de los alimentos de formulación más recien te, el quiebre en la curva puede dirigirse hacia la direcció n opuesta, o sea que la velocidad de calentamiento puede aumen tar. (NCA 1973)

Algunos alimentos como se dijo anteriormente exhiben lo que se llama una curva de calentamiento quebrada, debido a — una acusada modificació n o quebradura de la velocidad de pe netración de la temperatura, al cesar más o menos bruscamen te un período inicial de transferencia relativamente rápida, al que sigue otro mucho más lento, es el primer estadio de — calentamiento el factor más importante de transmisión térmica es la convección, que pudiera ser debido a que el alimen to está en estado líquido; cuando la suspensión pasa al esta do dé gel el calor se transmite principalmente por conducción (Herson, A. C. y Hlland, E. D. 1974)

Ball (1947), ha sugerido que las curvas quebradas se de ben a la presencia de pequeñas cantidades de aire en el auto clave durante el tratamiento térmico. La capa de vapor aire en torno al bote evita la condensación del vapor sobre la su perficie de aquél, durante los últimos estadios del proceso, con lo que el vapor no desarrolla así calor latente alguno. La temperatura a que el calor latente deja ser un factor que interviene en el tratamiento térmico de los botes correspon de a la inflexión o rotura de la curva de calentamiento.

Los productos que exhiben curvas de transmisión quebra das, tienen el punto de calentamiento más tardío, o en el —

centro geométrico del envase o cerca del extremo inferior de su eje lateral, por lo que en la determinación inicial de la penetración del calor, la punta de los pares termoelectricos se sitúa en ambas posiciones para establecer cuál es la del calentamiento más tardío. (Herson, A. C. y Hulland, R. D. - 1974).

5.3 Causas de datos no confiables.

La siguiente es una lista parcial de algunos factores -- que han sido asociados con datos de penetración no confiables.

A.- Las lecturas de los termopares no continuadas por una longitud de tiempo suficiente para definir adecuadamente rangos de calentamiento. (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978)

B.- Pruebas de penetración de calor conducidas en una retorta cargada de producción comercial y parada al final -- del proceso registrado para determinaciones de calidad, más bien que continuar hasta obtener datos suficientes.

C.- Frecuencia de lecturas no suficientes para obtener rangos de calentamientos precisos.

D.- Temperaturas erróneas recibidas como un resultado -- de descarga eléctrica inadecuada del potenciómetro.

E.- No tomar temperaturas iniciales en las latas de -- prueba, (Bee, G. R. y Park, D. K. 1978).

F.- No anotar tiempo de salida de la retorta, o un tiempo de salida significativo que el usado en la práctica comercial.

G.- Termopares múltiples en pequeñas latas de producto.

H.- No estudiar el punto frío, o insuficientes números de réplicas en termopares localizando el punto frío.

I.- Pobre, confusa, o tralapada impresión de lecturas -- registradas en las cartas, como un resultado de mover lentamente una carta o impresión difícil.

J.- No anotar tiempo del potenciómetro en las cartas.

- K.- No hacer anotaciones de vapor para la prueba.
- L.- No soltar el alambre de referencia.
- M.- No leer los termómetros de mercurio.
- N.- Control erróneo de la temperatura de procesamiento durante la prueba. (Bee, G. R. y Park, D. F. 1978)
- O.- Factores críticos asociados con el producto y sistema de procesamiento no recordado y controlado.
- P.- Gran discrepancia de temperatura entre el termopar de referencia y el termómetro de mercurio.
- Q.- Temperatura inicial de las latas de prueba significativamente diferentes que las usadas en producción comercial.
- R.- Estudio incompleto dependiendo de la posición de las latas en retortas de canastas rotatorias.
- S.- Retraso excesivo en correr pruebas después de que los recipientes son sellados.
- T.- Productos para pruebas no preparados de acuerdo a procedimientos empleados comercialmente.
- U.- Gran diferencia de temperaturas de procesamiento entre pruebas de penetración de calor y prácticas comerciales.
- V.- Una inexplicable anomalía de calentamiento lento de latas y en ciertas latas.
- W.- Erróneas e ilógicas lecturas de termopares.
- X.- No tomar lecturas hasta que la temperatura de procesamiento es alcanzado. (Bee, G. R. y Park, D. F. 1978)

5.4 Factores que influyen en la penetración térmica.

En cualquier alimento enlatado, la velocidad de penetración del calor se ve afectado por el gradiente de temperatura entre el bote y el autoclave; la velocidad disminuye al hacerlo la diferencia de temperatura, de modo que se va acercando asintóticamente a la temperatura del autoclave. De ahí se deduce que el aumento de la temperatura del autoclave determina una penetración más rápida del calor, con el conse -

pero si se agitan las latas, la transmisión es muy rápida.

Uno de los métodos más efectivos para mejorar la velocidad de penetración del calor es la agitación de tapa a tapa, (figura 5)

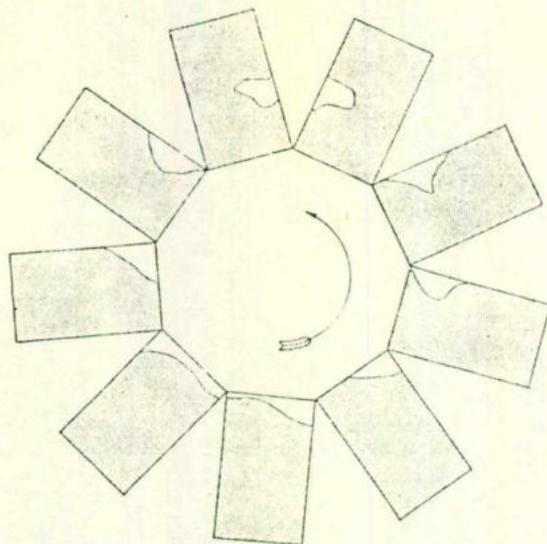


Figura 5. Esquema de agitación tapa a tapa.

(Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974)

Los botes se disponen con sus ejes longitudinales alineados como los radios de una rueda, de modo tal que al moverse se agitan de tapa a tapa describiendo una circunferencia. Según Clifcorn (1950) si se ajusta la velocidad de manera que la fuerza centrífuga iguale al peso del contenido líquido, el espacio de cabeza se desplaza hasta, aproximadamente, el centro del bote y produce una agitación máxima. Los factores que afectan el proceso son la velocidad y el radio de la circunferencia descrita, la viscosidad del producto y el espacio de cabeza. (Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974)

Un inconveniente obvio de las autoclaves estacionarias es que el número de botes que pueden ser acomodadas es menor que el método convencional, lo que queda en parte compensado por la disminución del tiempo de esterilización y por los procedimientos mecánicos tales como la carga automática, que -

disminuye considerablemente el intervalo entre dos hornadas consecutivas; la agitación de tapa a tapa promete ser un buen método industrial para ciertos productos, en especial para los botes de gran tamaño. (Herson, A. C. y Hulland, E. D. - 1974)

Para favorecer la penetración del calor se usa otro método conocido con el nombre de Strata-Cook, útil para los productos de pequeñas partículas de alimento de un compuesto finamente dividido, en el líquido espeso. La penetración del calor es rápida, en virtud de las corrientes de convección establecidas en líquido. La conducción en la capa superior se acelera tanto por contacto con los componentes del fondo, cuanto por hacerlo con las paredes del bote. (Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974)

En un producto dado, tanto la forma como el tamaño del bote influyen mucho en la penetración del calor que depende, en gran parte, de la relación entre superficie y volumen del recipiente. Los botes pequeños se calientan rápidamente porque la superficie expuesta al calentamiento es grande en relación con su volumen. Las investigaciones de Evans y Board (1954) sobre la transmisión térmica a través del espacio de cabeza indican que este puede ser un factor de gran interés en los botes cortos y anchos, y deben tener en cuenta los efectos del espacio de cabeza al trasladar los datos obtenidos para un tipo de botes a otros de forma diferente. (Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974).

6. Métodos clásicos de cálculo.

En los métodos clásicos se calcula el valor del tratamiento integrando los efectos letales de las temperaturas medidas en el punto de mayor temperatura durante el calentamiento y enfriamiento.

6.1 Método general.

Fue descrito por Bigelow (1920); es de los de integración gráfica y se basa en el hecho de que cada punto de la curva de calentamiento y enfriamiento, de un bote de alimentos representa un valor letal para los organismos estudiados, con los que se construye la curva de letalidad. Se determinaron primero los tiempos de exposición necesarios para la muerte del organismo (tiempo de muerte térmica) con el que se efectúa la prueba, a varias temperaturas dentro del margen del proceso. Con los datos obtenidos se construye una curva en papel semilogarítmico, utilizando la escala logarítmica para el tiempo y la lineal para la temperatura. A partir de esta curva puede hallarse el tiempo de exposición necesario para la muerte de los microorganismos por calor a cualquier temperatura dentro de los límites del tratamiento.

El coeficiente letal para una temperatura dada es el recíproco del número de minutos precisos para la muerte del organismo a dicha temperatura. Si se conoce la velocidad de penetración del calor y de enfriamiento, puede obtenerse el valor del coeficiente letal de cualquier temperatura alcanzada durante el proceso; si se construye una curva, como la de calentamiento-enfriamiento, en la que sustituyen los coeficientes letales por las temperaturas, se obtiene una curva de letalidad. (Hersom, A. C. y Hulland, E. D. 1974)

6.1.1 Métodos generales mejorados.

El método general para calcular los valores del tratamiento térmico ha sido criticado basándose en que es laborioso y en que solamente puede aplicarse cuando las condiciones relativas al tamaño del bote, temperatura del autoclave y temperatura inicial del producto a tratar, son idénticas a aquéllas bajo las que se obtuvieron los datos de la curva de calentamiento-enfriamiento.

Patashnik (1953) utiliza un método sencillo para calcu-

lar el valor del tratamiento, basándose en el método general, y emplea la regla trapezoidal para calcular las áreas de figuras curvilíneas. (Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974)

Con esta regla se determina el área dividiendo la base en un número adecuado de partes iguales, mediante el trazo de perpendiculares a la curva, y añadiendo entonces la mitad de la suma de la primera y de la última a la de todas las intermedias y multiplicando el resultado por la distancia común se obtiene el área buscada. (Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974)

6.2 Métodos matemáticos.

Ball (1923) y (1928) desarrolló un método para calcular el tratamiento que permita la aplicación de todos los datos del tiempo de muerte térmica y de penetración de calor a botes de cualquier tamaño y a cualquier temperatura del autoclave, siempre que los tiempos de muerte térmica y coeficientes de penetración de calor, al representarlos en papel semilogarítmico den líneas que se aproximen a la recta. (Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974)

6.3 Métodos integrados de letalidad.

Los métodos clásicos de valoración se basan en la destrucción de las esporas en el punto del bote en el que el calentamiento es más lento. Según hizo notar Stumbo (1948), no tienen en cuenta la influencia que el número de bacterias, presentes en los alimentos, ejerce en el tratamiento preciso para la total esterilización del contenido del recipiente. Stumbo considera el contenido del bote como dividido en una serie de cilindros concéntricos. Distribuidas las bacterias uniformemente por el contenido del bote, el área de cada uno de estos cilindros supone que representan el número de bacterias existentes en su superficie, que va aumentando progresivamente desde el centro a la periferia. El número inicial de bacterias influye en el tratamiento térmico requerido para -

reducir las supervivientes a un nivel determinado, ya que la destrucción térmica microbiana sigue un curso logarítmico;-- consecuentemente y de acuerdo con Stumbo, el valor de F requerido en la superficie de cada uno de estos cilindros aumenta con su área, que depende directamente de la distancia axial del bote. Aunque la superficie que soporta la menor temperatura es la más próxima al eje, según Stumbo, cuando se tratan alimentos en los que el calor se transmite por convección, el tratamiento puede ser, en algunas de las otras superficies, insuficiente para compensar el incremento del valor F , por lo que el lugar que ofrece mayores probabilidades de supervivencia esporular no es el centro del bote, y hasta puede hallarse sumamente próximo a la pared del recipiente. (Hersom A. C. y Hulland, E. D. 1974)

Sin embargo, se ha considerado que para la valoración del tratamiento térmico es preciso tener en cuenta otras regiones del bote, además del punto de menor calentamiento. -- Stumbo (1949), Gillespy y Hicks (1951) han ido más lejos, sugiriendo diversos métodos, en los que suman o integran las posibilidades de supervivencia en el volumen total del bote. Cada uno de ellos efectúa el cálculo en dos etapas; determinar primero los coeficientes de supervivencia en puntos dados de pequeñas regiones del bote e integrando entonces los del volumen total del mismo.

Es importante recalcar que dichos métodos explican teóricamente la práctica industrial de utilizar valores de F más altos para los botes grandes que para los pequeños, siempre que la calidad del producto lo permita. (Hersom, A. C. y Hulland, E. D. 1974)

7. Evaluación del tratamiento térmico.

El problema más difícil, al intentar establecer un tratamiento térmico en la industria conservera, consiste en evaluar el efecto letal del período durante el cual la tempera

tura del producto enlatado sube hasta alcanzar su valor máxi-
mo; especialmente, cuando la penetración del calor es lenta,
la temperatura continúa subiendo durante la mayor parte del-
proceso. Puesto que para cualquier organismo pueden conside-
rarse como letales todas las temperaturas por encima de la -
máxima de crecimiento, los efectos de esterilización comien-
zan tan pronto como el alimento envasado alcanza la citada -
temperatura. Prácticamente puede considerarse que los efec-
tos letales en los organismos esporulados de los alimentos
de mediana y ligeramente ácidos, alcanzan a los 93.3°C Sin -
embargo para establecer definitivamente la curva de penetra-
ción térmica, las lecturas de los termopares ya deben iniciar-
se al comienzo del tratamiento. Hicks (1961) ha señalado la-
naturaleza e importancia de algunos imponderables en el cál-
culo de los tratamientos de enlatado, manifestando que deben
tomarse en cuenta para establecer un factor de seguridad a -
decuado. Es conveniente recordar que la calidad de ciertos -
alimentos exige un tratamiento cuyo factor o margen de segu-
ridad es muy pequeño; es estos casos, un cambio en la tem-
peratura inicial del contenido de los botes o en la velo --
cidad de refrigeración puede convertir el tratamiento en in-
suficiente. (Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974)

7.1 Métodos de inoculación y prueba.

El alimento enlatado se inocula con esporas de un ger-
men termorresistente y se somete al tratamiento normal. La -
capacidad de supervivencia del germen se determina con prue-
bas de incubación o cultivo y de sus resultados se deduce la
eficiencia del tratamiento térmico. Generalmente, estas prue-
bas complementan los procedimientos de evaluación de los pro-
cesos normales antes expuestos, pero en ciertas circunstan-
cias, como cuando no pueden obtenerse fácilmente los datos -
de penetración térmica, constituyen el método más convenien-
te para estimar la letalidad de un proceso. (Herson, A. C. y

Hulland, E. D. 1974)

Generalmente estas pruebas son de dos tipos en uso:

a.- Inoculación del alimento con un número conocido de esporas de un microbio fácil de identificar y contar. Después del proceso el alimento se estima, mediante cultivo, el número de gérmenes sobrevivientes y reducción del número inicial de esporas, sirve para evaluar el efecto letal del tratamiento.

b.- Inoculación con esporas de un germen productor de abombamiento; de esta forma, el número de botes hinchados o abombados después de sometido a incubación, sirve para evaluar la letalidad del proceso. Con este fin se emplean frecuentemente las esporas de algún anaerobio putridógeno.

(Yawger, E. S. 1977)

El primer método sirve para calcular el valor F del proceso aplicado a los envases calentados por convección o bien a aquellos cuya mezcla tiene lugar por agitación. En tales casos, a consecuencia del movimiento del producto, todas las bacterias reciben aproximadamente la misma cantidad de calor letal. El valor de F en el centro geométrico del bote es, aproximadamente, el mismo que en las demás regiones de la lata. Se deduce, por lo tanto, que:

$$F = D_{250} (\log a - \log b);$$

en donde: D_{250} = tiempo de reducción decimal a 250°F , estimado en el alimento.

a = No. inicial de esporas en el bote.

b = No. de esporas que sobreviven al tratamiento térmico. (Herson, A. C. y Hulland, E. D. - 1974)

La concentración y cantidad de inóculo deben ajustarse de forma tal que después del tratamiento térmico la carga microbiana sobreviviente se calcule convenientemente mediante los métodos de recuento en placas. En consecuencia, el número de esporas a inocular en el alimento depende del valor -

obtenido para el tiempo de reducción decimal de las esporas y de la intensidad del tratamiento aplicado. El inóculo generalmente es muy abundante, unas 50000 esporas por gramo o -- más, permitirá un número suficiente de sobrevivientes para -- establecer el recuento en placas. (Hersom, A. C. y Hulland, -- E. D. 1974)

Este método fue desarrollado en los laboratorios FMC -- en 1952 y ha sido usado exclusivamente desde entonces para -- la evaluación bacteriológica del proceso. (Yawger, E. S. 1977) El procedimiento empleado es el siguiente:

A.- Cada lata de prueba se inocula con 30 - 50 millones de esporas de un organismo resistente al calor, usualmente -- un organismo que produzca acidez plana (Flat Sour).

Se inoculan generalmente 10 o más latas.

B.- Se emplean una serie de procesos de prueba, varian- do tiempo o temperatura.

C.- La cuenta inicial se determina de una lata inocula- da no procesada.

D.- La cuenta de sobrevivientes se determina en cada la- ta procesada.

E.- El el conten se emplean técnicas bacteriológicas es- tándar.

F.- El valor de D del organismo se determina en el pro- ducto que está siendo probado. El valor de D se determina empleando una curva de sobrevivientes a una serie de tiem- po de exposición. (Yawger, E. S. 1977)

El segundo método, es decir, la incubación de la lata -- previa a la inoculación, es más laborioso y exige un mayor -- gasto de alimento. Sin embargo, constituye una buena indica- ción de la cantidad de alteración que pueda esperarse en pro- ductos susceptibles al desarrollo de bacterias anaeróbicas -- de este tipo. Debe comprobarse siempre el tiempo de destruc- ción térmica de la suspensión de esporas en buffer neutro de fosfato que generalmente oscila entre 12 y 16 minutos a 240° F

Por lo que se refiere a la forma de introducir y situar el inóculo a la lata, depende del alimento que se trate. Los productos fluidos, generalmente se inoculan por tandas dispersando la suspensión de esporas con ayuda de un agitador magnético. Los sólidos enlatados con salmuera o jarabes se inoculan generalmente con ayuda de pipetas. Aquellos alimentos en los que no es posible una mezcla uniforme, el inóculo se inyecta lo más próximo posible al centro geométrico del bote con ayuda de una jeringa hipodérmica.

Las latas inoculadas se tratan a diferentes temperaturas de tal forma que, después de incubadas, en las esterilizadas a temperaturas más bajas aparezca un 100% de alteración y en las sometidas a las temperaturas de esterilización más altas no aparezca alteración alguna. (Herson, A. C. y Hulland E. D. 1974)

Este método fue descrito en detalle por la NCA (1968), consiste en un sistema para el control de la población inicial de esporas y conteo del número de sobrevivientes. Un paquete de inoculación consta de una serie de recipientes, generalmente 100, inoculado con un número definido de esporas, generalmente 10000 por lata. El requerimiento es que sea conocido el número de esporas resistentes. Las latas son procesadas en condiciones estándar de procesamiento e incubadas para permitir deterioros por esporas sobrevivientes.

La ventaja de un paquete de inoculación es que por la inoculación de las latas con un gran número de organismos deteriorantes de los alimentos, la población total de 100 latas puede volverse equivalente a la de 10000 latas en niveles de contaminación normales. Algunas desventajas son; el costo, trabajo y tiempo de incubación. (Yawger, E. S. 1977)

7.2 Conceptos de valores integrados.

La evaluación de la letalidad del proceso por sistemas bacteriológicos, se basa en una simple ecuación:

$$I. S. = D (\log I - \log S)$$

donde: I. S. = valor de esterilización integrado.

D. = Tiempo de destrucción del 90% de las esporas.

I = Cuenta inicial de esporas.

S = Cuenta de sobrevivientes.

Varios aspectos de esta ecuación deben ser examinados:

a.- I. S., es la equivalencia en minutos a 250°F para el volumen completo del producto, mientras que Fo es la equivalencia en minutos a 250°F para un punto simple en el recipiente. (Yawger, E. S. 1967)

b.- La ecuación demuestra que I. S. y D constantes, el número de sobrevivientes es directamente proporcional a la contaminación inicial.

c.- Los niveles de contaminación del producto influyen en el I. S. requerido para la esterilidad comercial. Una segunda es también el volumen del recipiente.

d.- La letalidad requerida para un nivel constante de sobrevivientes está influenciada por la resistencia del organismo y el I. S. es directamente proporcional al valor D del organismo.

e.- Una de las más grandes deficiencias en la selección del proceso de letalidad es la falta de exactitud en la estimación de la contaminación inicial por organismos termodúricos en las operaciones de enlatado comercial. Mientras que esta información está disponible, el I. S. requerido para la esterilidad comercial con una probabilidad realista de deterioro, debe estar basado en una estimación de la contaminación inicial y la resistencia de los organismos.

f.- Valores exactos de I. S. requieren un conteo exacto de la población inicial y sobrevivientes. (Yawger, E. S. -- 1967)

7.3 Relación entre I.S. y Fo

Por definición Fo es la equivalencia en minutos a 250°F

en el punto de calentamiento más bajo del recipiente. Además F_0 presenta la letalidad mínima en el recipiente, mientras - que el contenido restante está sujeto a una letalidad más alta pero indefinida, en contraste el I. S. se refiere a la letalidad del contenido del recipiente completo. (Yawger, E. S. 1967)

Los productos calentados por convección o por convección inducida son el más simple ejemplo porque el producto calentado está frecuentemente cercano a la isoterma. Además, los resultados del proceso en valores de I. S. son prácticamente idénticos a valores de F_0 porque el volumen del producto entero es calentado en la misma proporción.

Los productos calentados por conducción presentan diferentes panoramas; como se ilustra en la figura 6.

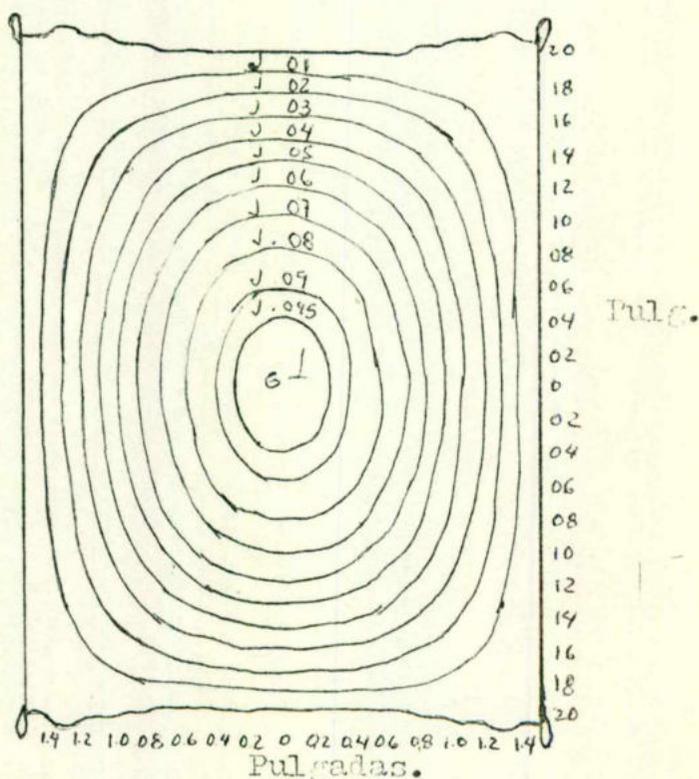


Figura 6. Distribución de zonas iso-j para latas de 303x406. (Yawger, E. S. 1967).

La cual presenta la isoterma de calentamiento lag (zonas iso-j) en una lata de 303x406. Cuando una zona de iso-j es isoterma, todos los puntos en la curva tienen la misma temperatura a un tiempo dado. La letalidad del proceso de cualquier zona iso-j puede determinarse, cuando puede calcularse la temperatura en la zona a cualquier tiempo. Las zonas iso-j son planos de rotación y la rotación alrededor del eje vertical de las latas produce una serie de capas concéntricas. Estas capas encierran volúmenes definidos de producto y además un porcentaje predecible del total de la población microbiana en la lata; obviamente el más alto porcentaje de organismos está en las afueras, zonas de calentamiento más alto, con más pequeños porcentajes en las zonas de calentamiento más lentas, según nos acerquemos al centro geométrico. Una aproximación al cálculo de la letalidad del proceso involucra el cálculo del número de sobrevivientes contra el tiempo en las diversas zonas. La suma de los sobrevivientes en todas las zonas permite calcular el valor I. S. del recipiente. (Yawger, E. S. 1967)

C O N C L U S I O N E S

Tomando en cuenta el curso realizado, podemos concluir que la destrucción de los organismos se debe principalmente a la coagulación de sus proteínas y especialmente a la inactivación de las enzimas necesarias para su metabolismo.

Para todo esto, el tiempo y la temperatura de tratamiento realizado a un alimento dependerá del efecto que el calor ejerza sobre el alimento y de otros métodos de conservación que vayan a emplearse conjuntamente. Cuanto mayor sea el tratamiento térmico, tanto mayor número de gérmenes se destruirán hasta llegar al calentamiento que ocasiona la esterilidad del producto. Si no llegan a destruirse todos los microorganismos en el tratamiento, el alimento deberá manipularse en forma tal, que se retrase o prevenga el crecimiento de los supervivientes.

En el tratamiento de algún alimento será necesario destruir los microor-

ganismos o sus esporas, dependiendo de la clase que se trate.

Para dicho tratamiento será necesario conocer la velocidad de penetración del calor, ya que todas las porciones de un alimento enlatado o conservado en otro tipo de recipiente deben de recibir un tratamiento adecuado, por lo que es necesario conocer la velocidad de los cambios de temperatura en la parte más crítica, generalmente este punto es el centro geométrico de la lata cuando se calienta por conducción y más abajo cuando se calienta por convección.

Ahora tomando en cuenta el tipo de propagación del calor como lo es por conducción, convección o radiación, o mezcla de algunos de ellos, se puede decir que la transferencia del calor será muy diferente en cada uno de éstos.

También van a interferir en la propagación del calor el material del envase, forma del envase, temperatura inicial del alimento, temperatura del autoclave, consistencia del contenido, si el

envase está en agitación o estable, como también el espacio de cabeza.

Al realizar una prueba de penetración de calor también se debe tomar en cuenta, que los termopares, cables alimentadores, potenciómetros, graficador, estén trabajando de lo más confiable y limpios.

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- Alstrand, D. V. y Benjamín 1949; citado en: Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia. Segunda edición. Pags. 174 a 204.
- 2.- Alstrand, D. V. y Ecklund, O. F. 1952. The mechanics - and interpretation of heat penetration test in canned-foods. Food technology. Volumen VI, No. 5 Pag. 185 a - 189.
- 3.- Alstrand y Ecklund 1952; citado en: Bee, G. R. y Park, D. K. 1978. Heat penetration measurement of thermal - process design. Food technology. Volumen XXXII No 6 - Pags. 56 a 58.
- 4.- Alstrand 1959; citado en: Bee, G. R. y Park, D. K. -- 1978. Heat penetration measurement of thermal process design. Food technology. Volumen XXXII No. 6. Pags. - 56 a 58.
- 5.- Ball 1923; citado en: Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. -- 1978. A review of Z y F values used to ensure the -- safet of low-acid canned food. Food technology. Volu- men XXXII No. 6. Pags. 63 a 70.
- 6.- Ball 1923 y 1928; citado en: Herson, A. C. y Hulland, - E. D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia Segunda edición. Pags 174 a 204.
- 7.- Ball 1944; citado en: Herson, A. C. y Hulland, E. D. - 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia. Segun- da edición. Pag. 174 a 204.
- 8.- Bee, G. R. y Park, D. K. 1978. Heat penetration measu- rement for thermal process design. Food technology. - Volumen XXXII No. 6. Pags. 56 a 58
- 9.- Betting y Betting 1914; citado en: Alstrand, D. V. y - Ecklund, O. F. 1952. The mechanics and interpretation of heat penetration test in canned foods. Food techno- logy. Volumen VI, No. 5. Pags. 185 a 189.

- 10.- Bigelow 1920; citado en: Herson, A. C. y Hulland, E.-
D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia. -
Segunda edición. Pags 174 a 204.
- 11.- Cowell, 1959; citado en: Herson, A. C. y Hulland, E.-
D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia. -
Segunda edición. Pags. 174 a 204
- 12.- Clifcorn 1950; citado en: Herson, A. C. y Hulland, E.
D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia. -
Segunda Edición. Pag. 174 a 204.
- 13.- Ecklund 1949; citado en: Bee, G. R. y Park, D. K. -
1978. Heat penetration measurement for thermal process
design. Food Technology. Volumen XXXIII, No 6. Pags. -
56 a 58.
- 14.- Ecklund, O. F. 1956; citado en: Herson, A. C. y Hulland
E. D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia
Segunda Edición. Pags. 174 a 204.
- 15.- Ecklund, O. F. 1956. Correction factors for heat pe-
netration thermocouples. Food technology. Volumen X,-
No 1. Pags. 43-44.
- 16.- Eisner, 1972; citado en: Bee, G. R. y Park, D. K. 1978
Heat penetration measurement for thermal process de -
sign. Food Technology. Volumen XXVI, No. 6 Pags. 56 -
58.
- 17.- Evans y Board 1954; citado en: Herson, A. C. y Hulland
E. D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia
Segunda Edición. Pags. 174 a 204.
- 18.- Frazier, W. C. 1976. Microbiología de los alimentos.-
Editorial Acribia. Segunda Edición. Pags, 89, 96 a -
104.
- 19.- Fricke y Demerec 1973; citado en: Herson, A. C. y Hu-
lland, E. D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial-
Acribia. Segunda Edición. Pags, 174 a 204.
- 20.- Gillespy, 1953; citado en: Herson, A. C. y Hulland, E.

- D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia. - Segunda edición. Pags. 174 a 204.
- 21.- Gillespy y Hicks, E. W., 1951; citado en: Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia. Segunda edición. Pags. 174 a 204.
- 22.- Hicks, E. W., 1961; citado en: Herson, A. C. y Hulland E. D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia Segunda Edición. Pags. 174 a 204.
- 23.- Herson, A. C. y Hulland, E. D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia. Segunda edición. Pags. 174 a 204.
- 24.- Hickman, A. y Robinson, D. J. 1973. Batch sterilising cans. Process Biochemistry. Food technology. Volumen-XXVII, No. 7. Pags 21, 22.
- 25.- Jackson, J. M. y Olson, F. C. 1940, citado en: Ecklund O. F. 1956. Correction factors for heat penetration - thermocouples. Food technology. Volumen X , No. 1 Pag 43 a 44
- 26.- Jackson, J. M. y Shim, B. E. 1979. Fundamentals of - food canning technology. AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut. Pags. 172 a 173, 180 a 181.
- 27.- Kern, Donald G. 1974. Procesos de transferencia de calor. Editorial Continental. C E C S A. Pags. 14 a 18
- 28.- Lenz, M. K. y Lund, D. B., 1977, citado en: Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978. A review of Z and F values - used to ensure the safety of low-acid canned food. Food technology. Volumen XXXII No. 6. Pags. 63 a 70.
- 29.- Nacional Canners Association. 1973. Alimentos enlatados, principios de control de procesamiento térmico, - y evaluación de cierres de envases. Natl. Canners, Assoc. Berkeley - Calif. Pags. 1 a 3.
- 30.- Norman, W. Desrosier 1980. Conservación de alimentos. Segunda edición. Editorial Continental. Pags. 197 a - 254.

- 31.- Perkins, J. J. 1969; citado en: Pflug, I. J. y Odlaug T. E. 1978. A review of Z and F values used to ensure the safety of low - acid canned food. Food technology Volumen XXXII, No 6. Pags. 63 a 70
- 32.- Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978. A review of Z and F values used to ensure the safety of low-acid canned food. Food technology. Volumen XXXII, No 6. Pags 63 a 70.
- 33.- Potter N. 1968. La ciencia de los alimentos. Editorial Edutex, S. A. Pags. 169, 170, 180.
- 35.- Patashnik, M. 1953; citado en: Herson, A. C. y Hulland E. D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia Segunda edición. Pags. 174 a 204.
- 36.- Perkins, J. J. 1969; citado en: Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978. A review of Z and F values used to ensure the safety of low-acid canned food. Food technology, Volumen XXXII, No 6. Pags. 63 a 70.
- 37.- Rahn 1929; 1945; citado en: Stumbo, C. R. 1973. Termo bacteriology in food processing. Segunda edición. New York y London. Pags. 70 a 91.
- 38.- Stumbo, C. R. 1973. Termobacteriology in food processing. Segunda edición. New York y London, Pags. 70 - a 91.
- 39.- Stumbo, C. R. 1948; citado en: Herson, A. C. y Hulland E. D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia Segunda edición. Pags. 174 a 204.
- 40.- Stumbo, C. R. 1949; citado en: Herson, A. C. y Hulland E. D. 1974. Conservas alimenticias. Editorial Acribia Segunda edición. Pags. 174 a 204.
- 41.- Stumbo, C. R. 1950 y 1973; citado en: Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978. A review of Z and F values used - to ensure the safety of low-acid canned food. Food - technology. Volumen XXXII, No 6 Pags. 63 a 70.

- 42.- Stumbo, C. R. 1975; citado en: Pflug, I. J. y Odlaug, T. E. 1978. A review of Z and F values used to ensure the safety of low-acid canned food. Food technology, - Volumen XXXII, No 6. Pags. 63 a 70.
- 43.- Towsed, C. T., 1938; citado en: Pflug, I. J. y Odlaug T. E. 1978. A review of Z and F values used to ensure the safety of low-acid canned food. Food technology- Volumen XXXII, No 6. Pags. 63 a 70
- 44.- Yawger, E. S. 1978. Bacteriological evaluation for - thermal process design. Food technology. Volumen XXXII No. 6. Pags 59 a 62.
- 45.- Yoshikawa, 1968; citado en: Stumbo, C. R. 1973. Terma bacteriology in food processing. Segunda edición. New York y London. Pags. 70 a 91

