

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño y optimización del tratamiento térmico para sopa de
fréjoles enlatada en envases de formato A6”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE ALIMENTOS

Presentada por:

Juan José Tamayo Cabezas

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año : 2008

AGRADECIMIENTO

Al personal técnico de la empresa FADESA, quienes con su desinteresado apoyo, conocimiento y consejos hicieron posible la ejecución de este trabajo. A mis compañeros de proyecto, su aporte, denodado esfuerzo y sincera amistad son invaluable. A los docentes de la carrera por sus oportunos comentarios

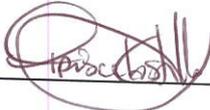
DEDICATORIA

A mis padres y su ejemplo, sea este un pequeño e insuficiente homenaje al esfuerzo, amor y apoyo brindado a lo largo de mi carrera académica.

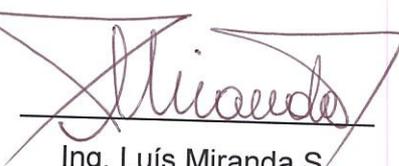
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Marcelo Espinosa L.
DELEGADO DEL DECANO
DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Priscila Castillo S.
DIRECTORA



Ing. Luis Miranda S.
VOCAL



CIB-ESPOL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la Espol)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'JTC', is written over a horizontal line.

Juan José Tamayo Cabezas

RESUMEN

El trabajo experimental de esta tesis inició con una breve descripción de la metodología que se utilizó para obtener la formulación de una sopa de fréjoles con las características requeridas para los productos desarrollados en el proyecto semilla "Tecnología para el desarrollo de productos dirigidos a la alimentación colectiva en el Ecuador". Posteriormente se realizó un estudio de penetración de calor donde se registraron los datos necesarios para obtener el perfil de calentamiento del producto y los parámetros que lo caracterizan; mediante el método general para la evaluación de los procesos térmicos se verificó que el tratamiento aplicado alcance la letalidad objetivo de proceso (F_0) de 6 minutos y empleando el método predictivo de Stumbo se estableció una hoja de procesamiento térmico con combinaciones análogas de tiempo y temperatura que aseguren la esterilización comercial del producto, donde se define que, en condiciones normales de procesamiento, se necesitan 161 minutos de calentamiento a 250 °F para obtener un producto inocuo.

En la segunda etapa del trabajo experimental se determinó el valor de cocción en diferentes puntos del envase aplicando la ecuación de Mansfield,

se desarrolló la metodología de optimización del proceso térmico basados en el modelo propuesto por Jen et al; este método numérico permitió evaluar la degradación causada por el tratamiento térmico sobre el componente de calidad seleccionado - el contenido de lisina del fréjol - e inclusive se predijo el nivel de degradación que causarán sobre este componente las combinaciones análogas de tiempo y temperatura determinadas por el método de Stumbo en la sección anterior. Se concluye que si se aplica sobre el producto una temperatura de 237 °F durante 220 minutos se retiene el 50% de lisina contenida en el fréjol al iniciar el tratamiento térmico.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	II
SIMBOLOGÍA.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
INDICE DE FIGURAS.....	V
INDICE DE TABLAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	3
1.1. Materias primas.....	3
1.2. Proceso general para la elaboración de enlatados de baja acidez.....	7
1.3. Tratamiento térmico en alimentos de baja acidez.....	9
1.3.1. Resistencia térmica de los microorganismos.....	11
1.3.2. Concepto de letalidad.....	15
1.4. Descripción de los parámetros de penetración de calor.....	17
1.4.1. Estudio de distribución de calor.....	20
1.4.2. Estudio de penetración de calor.....	22
1.4.3. Análisis de los datos del estudio de penetración de calor.....	26

1.5.	Enfoque del proyecto de Tesis.....	27
1.5.1.	Objetivo general.....	27
1.5.2.	Objetivos específicos.....	28

CAPÍTULO 2

2.	PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	30
2.1.	Formulación del producto.....	31
2.1.1.	Materiales y equipos.....	31
2.1.2.	Procedimiento.....	32
2.2.	Pruebas a nivel de Planta piloto.....	32
2.2.1.	Materiales y equipos.....	32
2.2.2.	Procedimiento.....	33
2.2.3.	Método para la determinación del punto crítico de calentamiento en el producto.....	35
2.2.4.	Método de derivación de los parámetros de penetración de calor.....	46
2.3.	Letalidad del proceso térmico.....	53
2.3.1.	Método general mejorado.....	53
2.3.2.	Método de Stumbo.....	55
2.4.	Optimización del tratamiento térmico.....	61
2.4.1.	Valor de cocción.....	62
2.4.2.	Método simple de Jen et al. para la optimización del tratamiento térmico.....	63

CAPÍTULO 3

3.	CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	68
3.1.	Formulación del producto.....	68
3.2.	Estudio de penetración de calor.....	73

3.2.1	Elaboración de curvas: perfil tiempo-temperatura obtenido en diferentes puntos del envase.....	74
3.2.2	Determinación del punto crítico de calentamiento.....	76
3.2.3	Determinación de los parámetros de penetración de calor.....	79
3.3.	Letalidad del procesamiento térmico.....	87
3.3.1.	Evaluación del proceso térmico en el punto crítico por el método general.....	87
3.3.2.	Evaluación del proceso térmico en el punto crítico por el método de Stumbo.....	88
3.3.3.	Cálculo de los parámetros de procesamiento térmico..	90
3.3.4.	Elaboración de hoja de procesos térmicos análogos....	93
3.4.	Optimización del tratamiento térmico.....	95
3.4.1.	Determinación del valor de cocción en diferentes puntos del envase.....	95
3.4.2.	Evaluación de valor de cocción promedio por el método de Jen.....	98
3.4.3.	Optimización del tratamiento térmico.....	101
3.5.	Diseño del proceso de elaboración de sopa de fréjoles en envases de hojalata A6.....	108
3.5.1.	Diagrama de flujo del proceso de elaboración.....	108
3.5.2.	Breve descripción del proceso de elaboración.....	108

CAPÍTULO 4

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
----	-------------------------------------	-----

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

CUT	Come-up time, tiempo de venteo o levante
ec	Ecuación
T	Temperatura del producto
Ti	Temperatura inicial del producto
Tic	Temperatura inicial del producto, al inicio de la etapa de enfriamiento
Tpi	Temperatura pseudoinicial de calentamiento del producto
Tpic	Temperatura pseudoinicial de enfriamiento del producto
Tr	Temperatura de la retorta/medio de calentamiento
Tref	Temperatura de referencia
Tw	Temperatura del agua de enfriamiento
t	Tiempo
t _b	Inicio efectivo del proceso térmico según C.O. Ball

SIMBOLOGÍA

A	Constante geométrica del envase
B	Tiempo de Ball, comprendido entre el inicio efectivo del proceso de esterilización según Ball y el cierre de la válvula de ingreso de vapor al autoclave.
C	Concentración del atributo de calidad seleccionado
C _c	Valor de cocción en el punto crítico del producto
C _o	Valor de cocción del proceso
C _s	Valor de cocción promedio o integral
CUT	Tiempo de levante
D	Tiempo de reducción decimal del microorganismo o atributo de calidad seleccionado
F _o	Letalidad acumulada del proceso
F _i	Tiempo - expresado en minutos de calentamiento a la temperatura de la retorta (T _r) - equivalente a un minuto de calentamiento a la temperatura referencial de esterilización (121 °C, 250 °F).
f _h	Índice de la velocidad de calentamiento del proceso
f _c	Índice de la velocidad de enfriamiento del proceso
g	Diferencia entre la temperatura del producto y la temperatura del medio de calentamiento al momento de cerrar la válvula de ingreso de vapor al autoclave.
I _h	Diferencia entre la temperatura del medio de calentamiento y la temperatura del producto al inicio del tratamiento térmico
J _h	Factor de retraso para la etapa de calentamiento
J _c	Factor de retraso para la etapa de enfriamiento
L	Letalidad del proceso, determinada por el método general
min	minutos
s	segundos
N	Concentración del microorganismo seleccionado
P	Tiempo de proceso térmico o tiempo de retención
U	Tiempo equivalente - a la temperatura del medio de calentamiento - del valor de letalidad requerido para el proceso (F _o)
Z	Constante de muerte térmica del microorganismo o atributo de calidad seleccionado

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Producción, superficie cosechada y rendimiento estimado cultivos de fréjol en el Ecuador.....4
Figura 1.2	Diagrama general del proceso de elaboración para enlatados de baja acidez.....7
Figura 1.3	Gráfica de inactivación microbiana sujeta a una temperatura constante de letalidad.....11
Figura 1.4	Curva de resistencia térmica, donde se muestra la dependencia de la temperatura sobre el valor D.....13
Figura 1.5	Ubicación del punto crítico de calentamiento en envases cilíndricos.....18
Figura 2.1	Organización del procedimiento experimental en el presente estudio.....29
Figura 2.2	Ubicación de los sensores en los envases para la determinación del punto crítico de calentamiento en el producto30
Figura 2.3	Perfil típico de temperaturas vs. tiempo, en alimentos esterilizados en autoclaves de vapor estacionarios.....30
Figura 2.4	Procedimiento gráfico de determinación de parámetros de penetración de calor para la etapa de calentamiento del proceso.....30
Figura 2.5	Procedimiento gráfico de determinación de parámetros de penetración de calor para la etapa de enfriamiento del proceso.....30
Figura 3.1	Perfil tiempo-temperatura en el centro del envase..... 46
Figura 3.2	Perfil tiempo-temperatura registrado con el sensor en el eje axial del envase, a cinco centímetros desde su base.....48
Figura 3.3	Comparación de los perfiles de transferencia de calor obtenidos en las pruebas experimentales.....51
Figura 3.4	Comparación de las pruebas experimentales, utilizando el método gráfico de derivación de los parámetros de transferencia de calor.....52
Figura 3.5	Derivación gráfica del factor de retraso (J_h) para la etapa de calentamiento.....58
Figura 3.6	Derivación de los parámetros de transferencia de calor correspondientes a la etapa de enfriamiento del proceso térmico.....62

Figura 3.7	Diferencia en el incremento acumulativo de la letalidad de proceso y del valor C_o de cocción en el centro del envase.....	75
Figura 3.8	Incremento acumulativo del valor C_o de cocción y el valor C_o de calidad sensorial en la pared del envase, a la misma altura del punto crítico del producto	76
Figura 3.9	Variación en el porcentaje de retención de la lisina en el fréjol sometido a diferentes temperaturas de procesamiento térmico.....	81
Figura 3.10	Combinaciones de tiempo y temperatura de proceso requeridas para diversos porcentajes de retención de la lisina en el fréjol.....	81
Figura 3.11	Diagrama de procesos para la sopa de fréjoles	85

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1	Secuencia para la evaluación de los procesos térmicos por el método de Stumbo.....	59
Tabla 2	Secuencia para la determinación del tiempo de procesamiento térmico por el método de Stumbo.....	60
Tabla 3	Factores cinéticos del atributo de calidad.....	63
Tabla 4	Factores cinéticos para la degradación de la lisina en el fréjol seco.....	65
Tabla 5	Formulación del producto, pruebas en laboratorio.....	69
Tabla 6	Formulación del producto, pruebas a nivel piloto utilizando envases A2.....	71
Tabla 7	Formulación del producto, pruebas a nivel piloto utilizando envases A6.....	72
Tabla 8	Comparación de letalidades de proceso obtenidas en las pruebas de penetración de calor.....	76
Tabla 9	Comparación de letalidades de proceso obtenidas mediante software Datatrace® en las pruebas de penetración de calor.....	77
Tabla 10	Parámetros de penetración de calor.....	87
Tabla 11	Evaluación del proceso térmico por el método general.....	88
Tabla 12	Hoja de procesos térmicos análogos.....	94
Tabla 13	Optimización del tratamiento térmico, evaluación del valor C_0 en el punto crítico del producto.....	96
Tabla 14	Optimización del tratamiento térmico, evaluación del valor C_0 en la pared del envase.....	96
Tabla 15	Retención de la lisina en el fréjol sometido a procesos análogos de esterilización comercial en envases A6.....	102

INTRODUCCION

Frente a la necesidad de instaurar en el país planes de alimentación que contribuyan a cubrir las deficiencias nutricionales de los sectores sensibles de la población o de aquellos grupos afectados por desastres naturales, la ESPOL, a través del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, auspició el proyecto semilla “Tecnología para el desarrollo de productos dirigidos a la alimentación colectiva en el Ecuador”, destinado a proveer una fuente de información tecnológica para la producción de alimentos enlatados de óptima calidad en envases con una capacidad aproximada de tres kilogramos. Dentro de dicho proyecto, uno de los productos desarrollados fue “sopa de fréjoles con carne de cerdo”.

Una de las recomendaciones expuestas en el informe final del proyecto semilla “Tecnología para el desarrollo de productos dirigidos a la alimentación colectiva en el Ecuador”, propuso “optimizar los procesos térmicos aplicados en los productos, de tal forma que permitan retener la calidad sensorial y nutricional de sus componentes”. En base a este premisa, el objetivo general de este trabajo de tesis fue establecer los parámetros óptimos del tratamiento térmico - tiempo de proceso y

temperatura de esterilización - que garanticen la inocuidad del alimento y a la vez minimicen las pérdidas nutricionales o sensoriales en una sopa de fréjoles enlatada en envases de hojalata con formato A6 (153 mm de diámetros por 152 mm de altura).

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

A continuación se detallan las características y generalidades de las materias primas usadas en el proceso de elaboración de una sopa de fréjoles y los conceptos básicos del procesamiento térmico de alimentos.

1.1 Materia prima.

El diseño de productos destinados a la alimentación colectiva con fines de ayuda social debe de incluir en su formulación ingredientes que posean un contenido nutricional significativo y sean cultivados masivamente en el país, el producto escogido tiene como ingredientes principales agua y fréjol seco tipo canario, como ingredientes secundarios se emplean papa variedad superchola y carne de cerdo.

Fréjol común seco (tipo canario)

El fréjol común, de tipo voluble y arbustivo, es una semilla comestible de la familia de las fabáceas cuyo nombre científico es *Phaseolus vulgaris* L, ocupa el octavo lugar de consumo entre las leguminosas

sembradas en el planeta y es la más importante leguminosa de grano comestible que se cultiva en el país por la vasta superficie sembrada, las zonas agroecológicas de cultivo, su aporte en carbohidratos y proteínas de bajo costo si los comparamos con las fuentes proteicas de origen animal de la alimentación ecuatoriana y las posibilidades de ampliar el área de cultivo, la agroindustria y la exportación(1).

Según las encuestas de superficie y producción agropecuaria del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos la extensión cultivada de fréjol seco en el Ecuador durante el año 2007 totalizó 49.070 hectáreas, cosechando el 83% en la Sierra (figura1.1). La producción de la leguminosa seca fue de 23.488 toneladas métricas en el 2005, concentrada principalmente en diversos pisos climáticos de las provincias de Azuay, Loja y Carchi. En el segundo semestre del año tiene su pico de producción y aproximadamente el 80% de la cosecha se traslada para las ciudades de Quito y Guayaquil; el consumo per cápita de fréjol seco en el Ecuador se estima en 4 kg al año.

El fréjol seco es un alimento de alta calidad nutritiva, es indudable el aporte en proteína y carbohidratos que ofrece esta leguminosa (80% de su contenido), también es una fuente excelente de minerales, como el potasio, hierro, selenio, molibdeno y ácido fólico.



FIGURA 1.1 Producción, superficie cosechada y rendimiento de los cultivos de frejol en el Ecuador

Fuente: www.sica.gov.ec

Papa

La papa es el tubérculo comestible de la planta *Solanum tuberosum* de la familia de las solanáceas. En el Ecuador durante el año 2006, la superficie cosechada de 42.029 hectáreas originó un volumen de producción de 404.276 toneladas métricas, en el año 2007 se cosecharon 46.635 hectáreas que produjeron 317.220 toneladas métricas del tubérculo fresco (1).

Las provincias de Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, aportaron con el 83% a la producción, con cultivos focalizados en zonas con alturas comprendidas entre los 2700 a 3400 metros sobre el nivel del mar, donde las temperaturas fluctúan entre 11°C y 9°C.

Aproximadamente el 80% de la oferta comercial de la producción nacional de papa se comercializa en fresco para consumo doméstico mientras la diferencia se destina para la producción industrial. De los principales cultivos transitorios del país, se ubica en el quinto lugar en hectareaje, las siembras y cosechas de papa durante todo el año, permite abastecer suficientemente el consumo nacional.

Las variedades de este tubérculo mayormente cultivadas en nuestro país son superchola (la cual será utilizada en este estudio), chola, Gabriela, Esperanza, Santa Catalina, Fripapa y María, aunque el contenido de nutrientes varía de acuerdo a la variedad cultivada, la papa tiene un gran aporte nutricional y energético en la ingesta diaria por su alto contenido de almidón, vitamina C, potasio y compuestos nitrogenados.

Carne de cerdo

La carne de cerdo es la carne de mayor consumo mundial, provee aproximadamente el 38% de la ingesta diaria proteica proveniente de los alimentos cárnicos debido a su alto contenido de tiamina y niacina.

En nuestro país se faenaron 470.770 porcinos durante el año 2005 lo que produjo 30.627 toneladas métricas de carne de canal. La explotación tecnificada o semi-tecnificada aporta aproximadamente con el 22% de la oferta total y está orientada a satisfacer la demanda de la cadena de supermercados e industrias de elaborados cárnicos. Más del 70% del faenamiento total se concentra en cinco provincias con el aporte mayoritario de la provincia del Guayas seguida de las provincias de Pichincha, Loja, Chimborazo y Manabí (2).

1.2 Proceso general para la elaboración de enlatados de baja acidez

Todas las sopas con excepción de aquellas que utilicen tomates como ingrediente principal están clasificadas como alimentos de baja acidez - pH entre 4,5 y 7 - (3) La elaboración de productos enlatados de baja acidez comprende varias etapas generales de preparación y procesamiento de los alimentos previo a la esterilización y precisa de operaciones de acondicionamiento de los envases posteriores al tratamiento térmico, (figura 1.2).

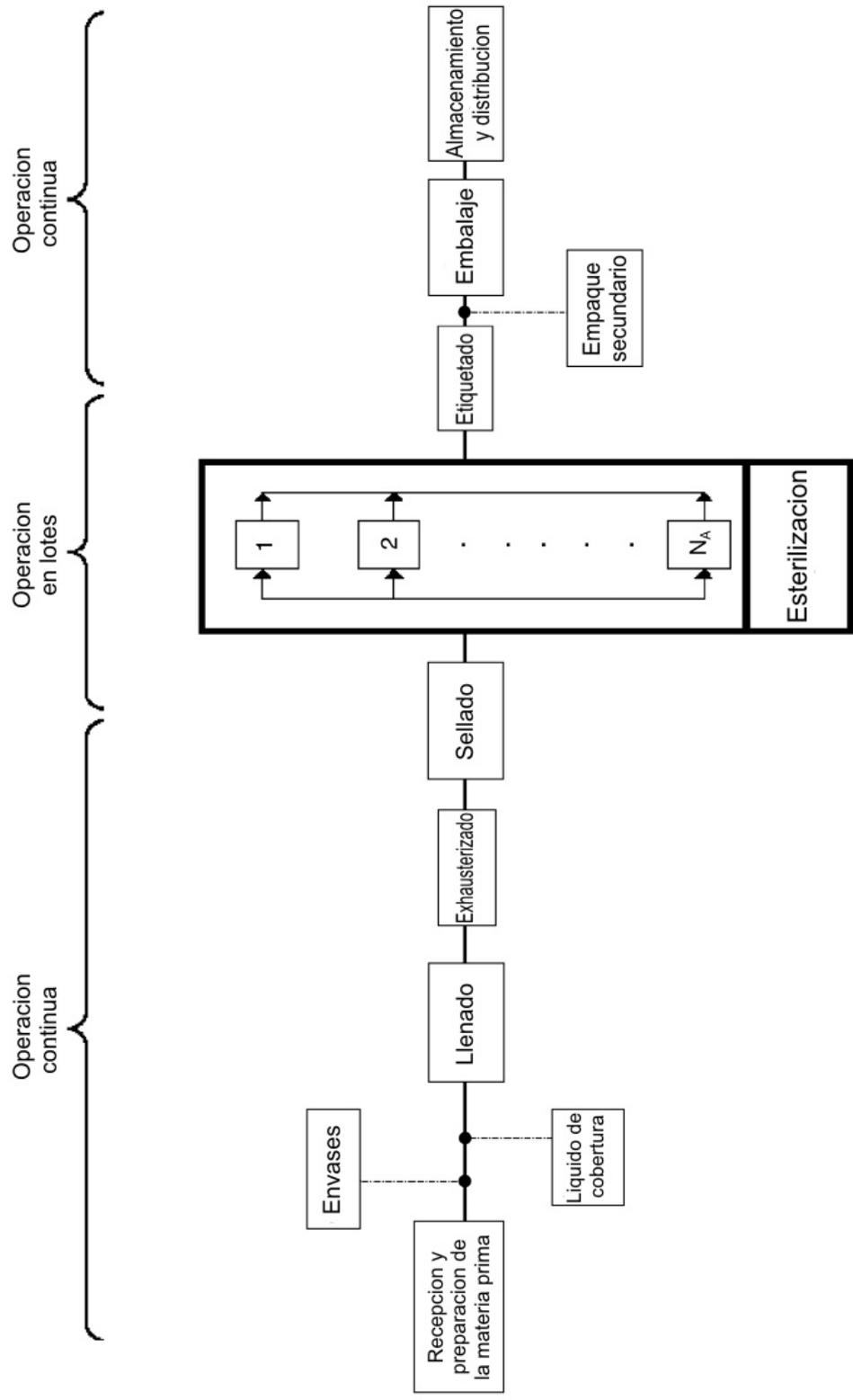


Figura 1.2 Diagrama general del proceso de elaboraci3n para enlatados de baja acidez
Elaborado por: Juan Jos3 Tamayo Cabezas

1.3 Tratamiento térmico en alimentos de baja acidez

De los varios puntos de control existentes en una línea de proceso de enlatado de los alimentos poco ácidos, ninguno es más crítico para el fabricante ni plantea mayores riesgos para la salud de los consumidores que el tratamiento térmico, el cual es reconocido como “el proceso esencial para el establecimiento de la seguridad y estabilidad del producto final” (4).

El crecimiento y las actividades de los microorganismos anaerobios están profundamente relacionadas, entre otros factores, con el pH del medio que los rodea; desde el punto de vista del procesamiento térmico los alimentos se dividen en tres grupos: los altamente ácidos ($\text{pH} < 3.7$), los medianamente ácidos ($3.7 < \text{pH} < 4.5$) y los alimentos de baja acidez ($\text{pH} > 4.5$). La resistencia de los microorganismos disminuye con los valores extremos de pH por lo que la mayoría de los alimentos con carácter ácido ($\text{pH} < 4.5$) no requieren de procesos térmicos prolongados para alcanzar la estabilidad microbiológica.

El procesamiento térmico mínimo para la inactivación bacteriana o esterilización comercial de un alimento poco ácido se define como la condición lograda debido al calentamiento de los alimentos en envases cerrados herméticamente por un tiempo definido y a una

temperatura predeterminada con la finalidad de que estos estén libres de microorganismos capaces de reproducirse y deteriorar el alimento bajo condiciones normales de almacenamiento o distribución no refrigeradas y de microorganismos patógenos de importancia para la salud pública (4).

En los alimentos poco ácidos sometidos a esterilización comercial los objetivos del envasado hermético buscan prevenir la contaminación del producto y alcanzar niveles de oxígeno bajos dentro de los envases lo que evita la corrosión interna del mismo, cambios oxidativos en ciertos componentes pero principalmente inhibe el crecimiento de los microorganismos aerobios; las esporas de estos microorganismos son poco resistentes al calor por lo que el tratamiento térmico está dirigido primordialmente a la eliminación de anaerobios facultativos u obligados y sus esporas aunque también se logra la inactivación de enzimas y otros microorganismos que afectan la calidad del producto final.

La línea divisoria entre los alimentos ácidos y los de baja acidez ($\text{pH} = 4.5$) fue cuidadosamente seleccionado con la finalidad de representar un valor ligeramente inferior del pH mínimo en el que puede crecer el *Clostridium Botulinum*, este microorganismo es un patógeno anaerobio

esporulado de alta resistencia térmica y productor de una exotoxina muy peligrosa para el ser humano (una millonésima de gramo puede ser fatal para el hombre), las condiciones presentes dentro del envase sellado son las óptimas para el desarrollo de este microorganismo por lo que se asume su presencia en todos los alimentos poco ácidos previstos a ser enlatados, consecuentemente su destrucción y la de sus esporas es el criterio de seguridad alimentaria utilizado en el diseño de un tratamiento térmico óptimo (5).

1.3.1 Resistencia térmica de los microorganismos

La inactivación microbiana es una reacción química de primer orden dependiente de la temperatura del medio y con tendencia logarítmica (figura 1.3), la temperatura adecuada y el tiempo de aplicación de esta temperatura para inactivar el microorganismo “objetivo” del tratamiento térmico son los factores críticos que deben determinarse para el establecimiento de procesos térmicos adecuados. Generalmente para este fin se utilizan dos factores característicos de la resistencia térmica de cada microorganismo, el primero es conocido como tiempo de reducción decimal o valor D y se define como “el tiempo necesario para eliminar el 90% de la población inicial del microorganismo definido”. Este valor se obtiene mediante

estudios de termobacteriología donde se determinan el número de sobrevivientes en un contaje microbiano específico luego de la exposición a la temperatura de estudio por un tiempo predeterminado.

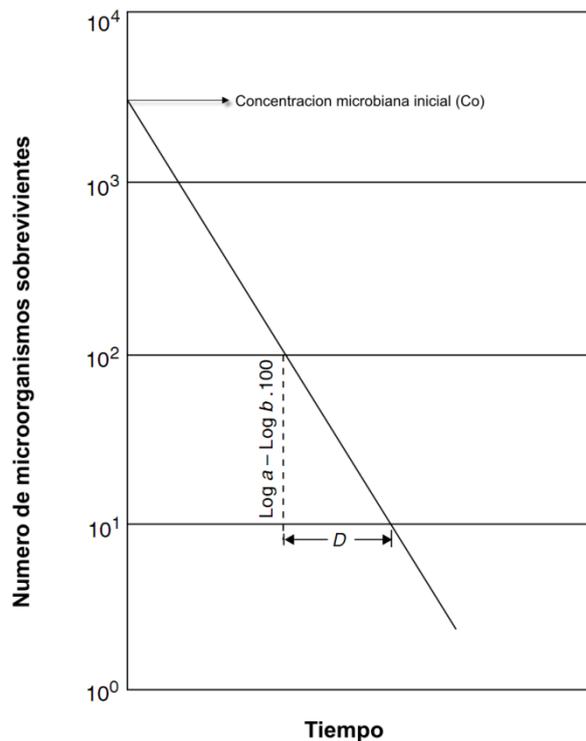


FIGURA 1.3 Gráfica de inactivación microbiana sujeta a una temperatura constante de letalidad.

Fuente: Handbook of Food Engineering, Dennis R. Heldman and Daryl B. Lund, segunda edición, CRC Press.

El valor D es dependiente de la variación de la temperatura del medio, esto quiere decir que a una mayor temperatura del medio se obtendrán menores tiempos de reducción decimal, la graficación a escala logarítmica de los distintos valores de D

sobre su correspondiente temperatura es conocida como curva de resistencia térmica ó curva TDT (figura 1.4). Esta gráfica es utilizada para calcular la constante de muerte térmica del microorganismo o valor Z, el cual es el segundo factor característico de la termoresistencia microbiana y se define como el rango de temperatura necesario para incrementar o disminuir en diez veces el valor de destrucción térmica (valor D), o gráficamente, como el rango de temperatura sobre el que la curva de resistencia térmica cruza un ciclo logarítmico, el valor Z correspondiente al Clostridium Botulinum es equivalente a 10 °C (18 °F) (6).

Se derivan dos importantes conclusiones a partir de la relación logarítmica asociada a la inactivación microbiana, la primera se refiere a que mientras más reducida sea la carga microbiana inicial del producto se necesitara de un menor tiempo de calentamiento para alcanzar la destrucción microbiana requerida, esto es extremadamente importante ya que implica que un tratamiento térmico adecuado puede ser insuficiente si la carga microbiana inicial en el producto es muy alta por lo que se debe tener un cuidado especial en minimizar la

contaminación del producto en las etapas previas al procesamiento térmico.

El segundo concepto se refiere que la población microbiana presente en el producto nunca podrá eliminarse completamente, esto se denomina “probabilidad de supervivencia” y es importante para definir la extensión del proceso térmico.

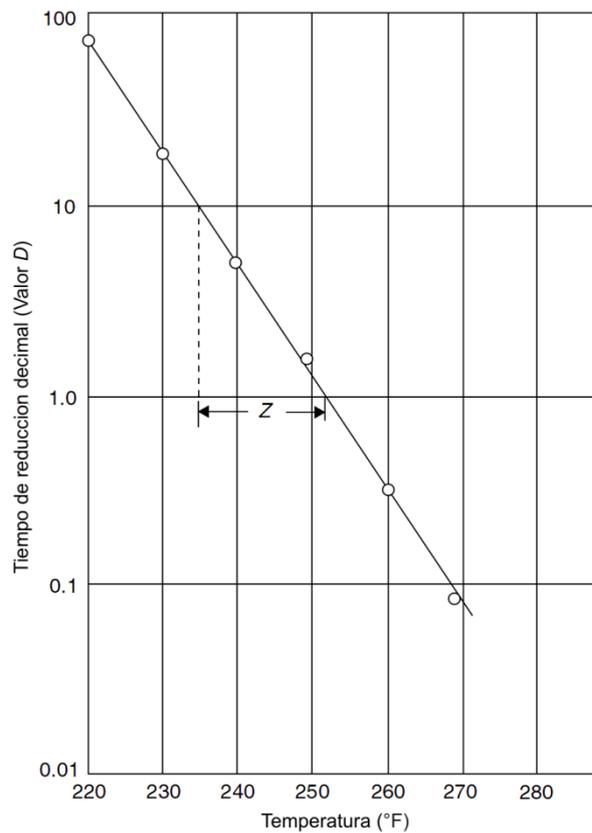


FIGURA 1.4 Curva de resistencia térmica, donde se muestra la dependencia de la temperatura sobre el valor D.

Fuente: Handbook of Food Engineering, Dennis R. Heldman and Daryl B. Lund, segunda edición, CRC Press.

1.3.2 Concepto de letalidad

La letalidad de un proceso térmico es una medida de comparación relativa del efecto que ejerce la aplicación del calor sobre los alimentos y está definida como el tiempo de calentamiento equivalente al efecto durante un minuto a una temperatura de calentamiento referencial establecida generalmente a 121,1 °C (250 °F) para los procesos de esterilización comercial, esta unidad posibilita expresar los efectos de inactivación microbiana de cualquier combinación tiempo-temperatura en términos de minutos equivalentes a una temperatura de referencia (6) y se define por la ecuación:

$$\text{Letalidad} = 10^{(T-T_0)/z} \quad \text{ec.1.1}$$

Donde T_0 es la temperatura de referencia y Z la constante de muerte térmica del microorganismo objetivo; en esta fórmula se asume que el calentamiento y enfriamiento subsecuente del alimento son instantáneos, debido a que la temperatura en el punto frío del producto cambia a través del tiempo, este concepto es útil para determinar la contribución de letalidad de cada lectura de tiempo-temperatura registrada en el estudio de penetración de calor.

El método “general” para la evaluación de un proceso térmico consiste en efectuar la sumatoria de todos los valores de letalidad obtenidos en el estudio de penetración de calor mediante procedimientos gráficos o numéricos, el valor que se obtiene se denomina letalidad del proceso (simbolizado por F_o) y se representa por la ecuación:

$$F_o = \int 10^{\frac{T-T_{ref}}{Z_{ref}}} dt \quad \text{ec.1.2}$$

Un concepto práctico en el tratamiento térmico es el de la cocción botulínica o concepto 12-D, en donde se indica que para determinar la idoneidad del proceso térmico en alimentos de baja acidez el tratamiento térmico mínimo que se debe aplicar debe reducir la población del Clostridium Botulinum en doce valores D, basados en estudios de termobacteriología (7) se asume que el valor D para el Clostridium Botulinum equivale a 0,21 minutos a una temperatura de 121,1 °C; por lo que la letalidad de proceso (F_o) mínima para alcanzar la cocción botulínica es de 2,52 minutos (12 x 0,21). El concepto 12-D se basa sobre la probabilidad estadística de supervivencia de una espora posterior a la esterilización comercial sobre una población original de 10^{12} esporas presentes en el producto antes de la aplicación de calor, debe recalcar que aunque los

postulados subyacentes a este concepto no son del todo satisfactorios, el concepto de la cocción botulínica tiene un amplio registro de seguridad alimentaria comprobada.

1.4 Descripción de los parámetros de penetración de calor

La determinación del comportamiento de los alimentos durante el tratamiento térmico se la realiza mediante estudios de penetración de calor, los cuales buscan obtener el historial del tiempo y la temperatura en el punto crítico de calentamiento a lo largo del proceso de esterilización con el objetivo de cuantificar en términos de parámetros específicos derivados de la información obtenida la razón y el retraso de la transmisión de calor del medio hacia el alimento.

Para establecer la extensión del tratamiento térmico de forma representativa y fiable los datos obtenidos deben reflejar con precisión las condiciones en las que el producto será procesado, por lo que se recomienda emplear las autoclaves y el equipamiento utilizado en la planta para efectuar el estudio. Se deben determinar factores intrínsecos del producto como: tipo y resistencia térmica de los microorganismos objetivo, esporas o enzimas presentes en el alimento, pH del alimento, condiciones de calentamiento, propiedades

termofísicas del alimento y del envase; y condiciones de almacenamiento del producto posteriores al proceso(8).

Los estudios de penetración de calor se realizan bajo condiciones controladas que representen el peor escenario de producción respecto al tratamiento térmico y que resulten en el modo de calentamiento más lento del producto, se asume que si el punto con menor razón de calentamiento dentro del envase (punto crítico o punto frío) recibe la cantidad de calor necesaria para alcanzar la esterilidad comercial entonces el resto del envase ha recibido la misma o una mayor cantidad de calor y por consiguiente todo el volumen del producto ha logrado la esterilización comercial.

Para los productos en envases cilíndricos que presenten un perfil de calentamiento por conducción (sólidos, productos viscosos) el punto crítico de calentamiento se encuentra localizado en el centro geométrico del envase ya que es el punto más alejado de la fuente de calentamiento; pero en los productos que se calientan por convección (líquidos, vegetales, alimentos poco viscosos, alimentos poco particulados) el punto crítico de calentamiento se encuentra en el eje vertical aproximadamente a una décima de la altura del envase medida desde la base del mismo (figura 1.5), existen otros productos,

generalmente aquellos que contienen almidón, en los que el modo de transferencia de calor varía de convección a conducción durante el calentamiento lo que implica que su punto crítico también cambia de posición, es recomendable que para el diseño del tratamiento térmico de un nuevo producto se determine el punto crítico de calentamiento en el envase mediante la comparación de los perfiles de temperatura obtenidos por la colocación de termopares o registradores de temperatura a lo largo del eje vertical del envase.

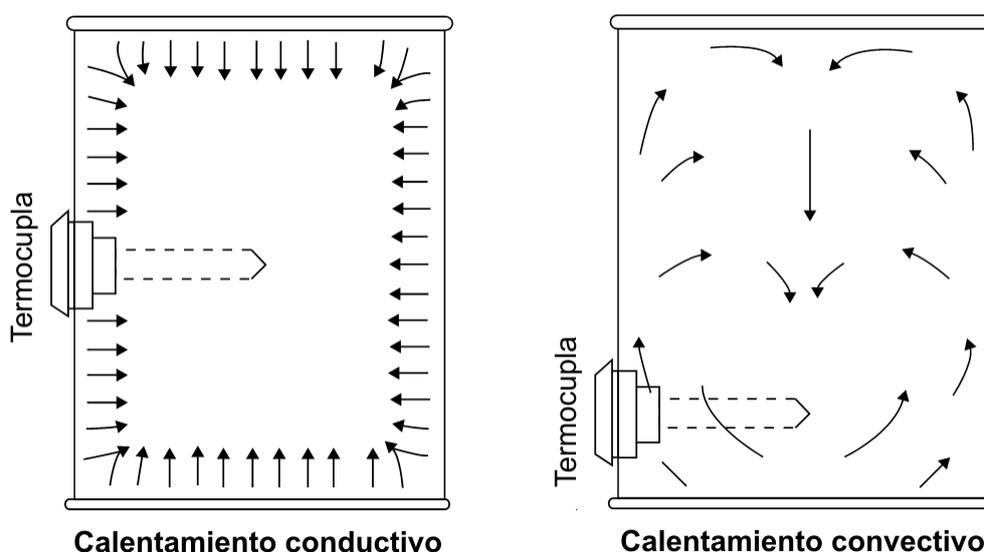


FIGURA 1.5 Ubicación del punto crítico de calentamiento en envases cilíndricos.

Fuente: Handbook of Food Engineering, Dennis R. Heldman and Daryl B. Lund, segunda edición, CRC Press.

La temperatura del medio de calentamiento o del medio de enfriamiento, y particularmente su uniformidad a lo largo del proceso es una condición crítica para el establecimiento de un proceso térmico

adecuado, la distribución del calor a través del autoclave puede ser afectada debido a la existencia de diferentes sistemas de transportación del medio de calentamiento, la disposición de las válvulas en el autoclave y la aleatoriedad en la forma de cargar los coches o cestas con el producto, por lo que antes de efectuar el estudio de penetración de calor se debe determinar la uniformidad de la distribución de calor y temperaturas dentro del equipo mediante estudios de distribución de calor.

1.4.1 Estudio de distribución de calor

Estos estudios se realizan generalmente para retortas tipo batch de vapor, agua o mezcla vapor-agua que utilizan coches o canastas para transportar los envases y se efectúan como apoyo para el establecimiento de procedimientos operacionales en estos equipos, los objetivos del estudio son:

- Obtener el tiempo de venteo o levante, que se define como el tiempo en el que todo el autoclave alcance la temperatura del medio de calentamiento y evacue al aire presente dentro del equipo.
- Localizar las zonas “frías” o de calentamiento tardo del autoclave.

- Evaluar el efecto que produce algún cambio en el equipamiento o en la forma de cargar el producto sobre la distribución de calor.

Los estudios de distribución de calor requieren de un extensivo conocimiento e identificación del equipamiento térmico, de los aparatos de medición de temperatura y del flujo del medio de calentamiento y enfriamiento en el autoclave y la planta de proceso, estas variables pueden afectar la suficiencia del venteo y deben analizarse extensivamente, para evitar cualquier desviación a lo largo del desarrollo del estudio el Instituto de Especialistas en Procesamiento Térmico (conocido como ITFPS por sus siglas en el idioma inglés) ha redactado protocolos cuyas etapas generales son: reconocimiento general del equipo de proceso, selección y documentación del autoclave para el estudio, selección y estandarización del equipo para la prueba, ubicación de los equipos de medición de temperatura en el autoclave, preparación de los coches o canastas con envases y efectucción del estudio.

Se deben ubicar los sensores de temperatura cerca o adheridos del bulbo del termómetro de mercurio, dentro de los

envases llenos con el producto y en las canastas de manera que representen la condición mas critica que pudiera presentarse en una producción normal, la prueba debe extenderse por lo menos por diez minutos después que el sistema de control del autoclave se haya estabilizado o todos los instrumentos de monitoreo de temperatura hayan alcanzado una condición estable; ningún sensor de de temperatura debe leer mas de 1,0° F (0.6° C) de diferencia que el termómetro de mercurio al tiempo que este indica haber alcanzado la temperatura de proceso predeterminada, las situaciones o condiciones que no reúnen este criterio deberán ser evaluadas por un especialista en procesos térmicos.

1.4.2 Estudio de penetración de calor

El propósito general que se debe tener en cuenta al diseñar un estudio de penetración de calor es que se busca determinar el comportamiento del calentamiento y enfriamiento de un producto en un sistema específico de autoclave o autoclaves para establecer un proceso térmico seguro para su producción “comercial” y evaluar sus probables desviaciones, el estudio debe ser diseñado para realizar un análisis de todos los factores críticos asociados con el producto, el envase, el

proceso y el efecto del medio de calentamiento o enfriamiento; antes de iniciar un estudio de penetración de calor en un producto siempre deberá realizarse la evaluación y el estudio de distribución de la temperatura en el autoclave o sistemas de autoclaves que se van a utilizar para el procesamiento térmico. Por regla general, se recomienda efectuar un estudio de penetración de calor cuando:

- Se desarrolle un proceso térmico para un nuevo producto, para un nuevo tipo de envase o para un nuevo sistema de autoclaves.

- Se efectúen cambios en la formulación del producto o en el tamaño del envase o en el proceso en general que puedan afectar las características de calentamiento.

- Se necesite verificar la efectividad del procesamiento térmico establecido.

- Se evalúen los efectos del procesamiento térmico sobre nutrientes o características organolépticas.

- Se desarrollen modelos matemáticos orientados al control del procesamiento térmico.

Al igual que para los estudios de distribución de calor, el ITFPS ha redactado los procedimientos a seguir en la conducción de estudios de penetración de calor para establecer procesos térmicos necesarios de producción de alimentos comercialmente estériles empacados en envases herméticamente sellados cuyas etapas generales son:

- Identificación de factores críticos: la variación de factores relacionadas con el producto, el proceso térmico o el envase pueden contribuir a la presencia de desviaciones en los datos obtenidos durante el estudio, el establecer un proceso requiere de la obtención de adecuados datos experimentales para determinar cuál de estos factores son críticos y el efecto que causaría su variación dentro o fuera de los límites establecidos, entre los factores críticos generales se pueden citar la composición del producto, el procedimiento de llenado, el tamaño del espacio de cabeza, el tipo de envase, el tipo de autoclave y la temperatura inicial tanto del producto como del medio de calentamiento y enfriamiento.

- Medición de temperatura y obtención de datos: el estudio de penetración de calor debe estar diseñado bajo las peores condiciones de procesamiento previstas en la planta, se deben ubicar los envases previamente preparados de acuerdo a los factores críticos en la zona de menor velocidad de calentamiento del autoclave acorde al estudio de distribución de temperatura del equipo, con el sensor de medición de temperatura ubicado en el punto de menor razón de calentamiento dentro del envase. Es recomendable que durante el análisis de determinación del punto crítico se utilicen varios sensores de temperatura insertados dentro de diferentes envases; la temperatura empieza a registrarse un poco antes o al mismo tiempo que el medio de calentamiento ingrese al equipo y debe ser medida a lo largo del tratamiento térmico en intervalos iguales hasta que el recipiente con razón de transferencia de calor más lenta llegue a una diferencia de 2 grados respecto a la temperatura del medio de calentamiento, el registro obtenido deberá proporcionar al menos quince lecturas de datos tiempo-temperatura, estas secuencias de datos serán posteriormente utilizadas en conjunto con las características de resistencia térmica del microorganismo “objetivo” para establecer los parámetros del proceso térmico.

1.4.3 Análisis de los datos del estudio de penetración de calor

La gran mayoría de los modelos matemáticos utilizados para establecer el valor de letalidad y el tiempo adecuado de proceso requieren del conocimiento de los siguientes parámetros generales que caracterizan el procesamiento térmico de un producto:

- Parámetros de repuesta a la temperatura (f): describen la velocidad de penetración de calor en un recipiente y su contenido durante su calentamiento o enfriamiento a temperatura constante.

- Factores de retraso (J): parámetros descriptivos de la relación de las temperaturas del producto y el medio durante el periodo que transcurre antes que el último alcance una temperatura constante en el equipo.

Aunque estos parámetros pueden obtenerse analíticamente, la graficación de las secuencias de tiempo y temperatura obtenidas durante el estudio de penetración de calor en un plano semilogarítmico empleando software especializado es el método más sencillo y preciso para el cálculo de estos factores.

1.5 Enfoque del proyecto de Tesis

La cantidad de calor que recibe un producto durante el procesamiento térmico depende de sus características físicas, de las condiciones de procesamiento y del empaque utilizado. Las zonas del producto que se encuentren cercanas a las paredes del envase reciben mayor incidencia del calor, lo que resulta en pérdidas de la calidad sensorial de componentes termo-sensibles, especialmente en aquellos productos envasados en latas con diámetros amplios y de comportamiento de transferencia de calor por conducción, el desafío del procesamiento térmico de los alimentos es el de seleccionar las combinaciones adecuadas de tiempo y temperatura que aseguren la inocuidad y estabilidad del producto, pero también minimicen las pérdidas de calidad sensorial y los efectos indeseables causados por el prolongado calentamiento.

1.5.1 Objetivo general

El objetivo general del trabajo de tesis propuesto será establecer los parámetros óptimos del tratamiento térmico - tiempo y temperatura de proceso - que minimicen las pérdidas nutricionales del frejol en una sopa de fréjoles enlatada en envases de hojalata A6, con una capacidad aproximada de tres kilogramos.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar la metodología a seguir para obtener la formulación de una sopa de fréjoles, encuadrada bajo los requerimientos indicados en el objetivo general del proyecto semilla “Tecnología para el desarrollo de productos dirigidos a la alimentación colectiva en el Ecuador”, donde se planteó desarrollar la tecnología para la elaboración de alimentos enlatados en envases con una capacidad aproximada de tres kilogramos, de óptima calidad y bajo costo relativo.

- Realizar un estudio de penetración de calor que permita definir los parámetros que caracterizan el calentamiento del producto.

- Establecer una hoja de procesamiento térmico, donde se indiquen varias combinaciones análogas de tiempo de proceso y temperatura de calentamiento adecuadas para garantizar la esterilización comercial del producto, estas combinaciones serán obtenidas aplicando el método predictivo de fórmula propuesto por Stumbo.

- Desarrollar la metodología de optimización del proceso térmico, basados en el método numérico propuesto por Jen et al. Donde se evaluará la degradación del componente de calidad específico, que en este estudio es el contenido de lisina del fréjol. La metodología de análisis servirá para el posterior desarrollo de estudios de penetración de calor como un servicio técnico adicional de la facultad y la potencial aplicación del modelo de optimización seleccionado en productos con condiciones de proceso y diseño similares.

CAPÍTULO 2

2. PRUEBAS EXPERIMENTALES

La fase experimental se puede dividir en cuatro etapas generales, las cuales se subdividirán en procedimientos específicos (figura 2.1).



FIGURA 2.1 Organización del procedimiento experimental en el presente estudio

Fuente: Juan José Tamayo

2.1 Formulación del producto

Como se mencionó en el capítulo primero, este trabajo de tesis forma parte de un proyecto para el desarrollo de productos destinados a la restauración colectiva de los sectores sensibles menos favorecidos de nuestro país, por lo que el desarrollo de la formulación del producto debió encuadrarse a características predefinidas como ser de fácil adaptación para el medio, con mayor rendimiento por unidad de producto, baja perecibilidad, facilidad de consumo, acorde con los hábitos alimenticios del país, de envase resistente y con un significativo nivel nutricional. La elaboración del producto se realizó en la planta piloto del Programa de Tecnología de Alimentos (PROTAL) mientras que los paneles degustativos fueron efectuados en el laboratorio de análisis sensorial de la carrera de Ingeniería de Alimentos en la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.

2.1.1 Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados en esta etapa del proyecto se enlistan a continuación:

- Materia prima
- Utensilios de cocina
- Gas L.P.

- Dos termómetros de mercurio Taylor (-10 - 110 °C)
- Balanza digital Jadever JKH-4000 con sensibilidad de 1 gramo
- Cocineta eléctrica Alton

2.1.2 Procedimiento

Las primeras tres pruebas de formulación del producto se efectuaron a nivel de laboratorio y estuvieron orientadas a transformar una receta casera de menestrón con carne de cerdo en una formulación base para el producto enlatado ajustando el tipo, contenido, presentación y cocción de los ingredientes de acuerdo a los requerimientos que demandaba el proyecto semilla.

2.2 Pruebas a nivel de Planta Piloto

2.2.1 Materiales y equipos

- Materia prima
- Latas Welded-Beaded A2 con barniz interior sanitario blanco
- Latas Welded-Beaded A6 con barniz interior sanitario blanco
- Utensilios de cocina
- Cocina industrial

- Caldera pirotubular Distral DI30-150
- Balanza automática Mobba 105P5 \pm 5 gramos
- Exhauster de vapor
- Selladora de latas semiautomática Somme 222
- Autoclave vertical tipo batch por presión de vapor de agua
- Dos termómetros de mercurio Taylor (-10 - 110 °C)
- Balanza digital Jadever JKH-4000 \pm 1 gramo

2.2.2 Procedimiento

Luego de obtener la formulación base en las pruebas preliminares se procede a realizar una serie de pruebas a escala piloto en la planta del Programa de Tecnología de Alimentos; donde se enlató y esterilizó el producto utilizando envases de hojalata con formato A2 (83 mm de diámetro por 114 mm de altura) cuya capacidad aproximada es de 600 gramos, luego de cada prueba se evalúa sensorialmente el producto aplicando la misma metodología empleada en las pruebas de laboratorio.

Estos ensayos se enfocaron principalmente a realizar los ajustes necesarios en la formulación del producto para contrarrestar los efectos del tratamiento térmico en el sabor y en

la presentación final de los ingredientes; a observar la estabilidad del producto enlatado y a definir las características de las distintas etapas del proceso de elaboración.

Para la segunda fase de las pruebas a escala piloto, se parte con los porcentajes obtenidos en la anterior serie de pruebas con la diferencia de que en la etapa de llenado se emplea envases de hojalata con formato A6, los cuales fueron escogidos para la presentación final del producto.

Un cambio importante que se implantó en el proceso a partir de esta serie de pruebas fue el aumento en la preparación de producto por lote, este incremento se debe a que las pruebas de penetración de calor que se realizarán posteriormente requerirán de cierta cantidad de producto para que, por lo menos, se llenen dos envases de hojalata con formato A6

Los objetivos planteados para esta serie de pruebas fueron los de definir el tiempo requerido por cada etapa de producción y realizar los ajustes necesarios para que la formulación no se afecte por el tratamiento térmico severo requerido por las dimensiones del nuevo envase utilizado.

2.2.3 Método para la determinación del punto crítico de calentamiento en el producto

Antes de iniciar un estudio de penetración de calor debe efectuarse una evaluación acerca de la distribución de la temperatura en el autoclave que se utilizará en el proceso de esterilización del producto, este estudio preliminar se efectuó en la planta piloto del PROTAL el mes de noviembre del 2004 por el Ing. Carlos Herrera, en el cual determinó que:

- La zona de menor calentamiento del equipo está localizada en la parte superior de la autoclave vertical.
- La diferencia de temperaturas entre la zona de menor calentamiento del equipo con respecto a la zona de mayor calentamiento es menor a un grado Celsius.
- El tiempo de venteo (tiempo necesario para alcanzar una temperatura de procesamiento requerida en todas las zonas del equipo empleado) del autoclave es de 23 minutos, este intervalo es independiente del tamaño o tipo de envase utilizado.

El cálculo del tiempo necesario para esterilizar un alimento enlatado requiere de la obtención del perfil de temperaturas en el punto de menor calentamiento del envase durante el proceso

térmico. Para determinar este punto y su perfil tiempo-temperatura se efectuó el estudio de penetración de calor en el producto basándonos en la metodología recomendada por el Instituto de Especialistas en Procesos Térmicos para producir alimentos comercialmente estériles empacados en envases herméticamente sellados.

Los objetivos de este estudio fueron: identificar la peor situación esperada que puede ocurrir en la producción de la sopa con frejoles y proponer una combinación de tiempo de calentamiento junto a una adecuada temperatura de vapor que asegure la esterilización comercial del producto en esa situación.

Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados en esta etapa del proyecto se enlistan a continuación:

- Notebook PC HP Pavilion DV1000
- Hoja de cálculo MS Excel versión 12.0
- Sistema de interfase Datatrace®
- Software DTW versión 4.02

- Software gráfico Dplot versión 2.05
- Sensor de temperatura Micropack III con termistor
- Sensor de temperatura Micropack I con termistor
- Sensor de temperatura y presión Micropack I con termistor
- Retenedores internos de los sensores
- Termómetro de mercurio Taylor (-10 - 110 °C)
- pHmetro Oakton serie 510

Procedimiento

El estudio de penetración de calor se diseña de tal forma que se analizan todos los factores críticos químicos y físicos relacionados al producto, envase y condiciones de proceso que pueden influenciar en la reacción térmica del producto y se determina el comportamiento del producto durante su calentamiento y enfriamiento con la finalidad de establecer un proceso térmico seguro en condiciones de producción comercial; la variación de estos factores “críticos” pueden influenciar en el proceso que se pretende establecer por lo que deben examinarse de forma adecuada y precisa.

Factores relacionados a las características del producto

- La variación en el peso de los ingredientes debe ser consistente con los valores extremos que puedan darse en la producción normal, por lo que las latas fueron ligeramente sobrellenadas para este lograr el efecto de “peor situación”, normalmente el producto debe tener un peso comprendido en el rango de 2630 a 2660 gramos, para el estudio se utilizaron latas con un peso neto de 2700 gramos.
- El contenido de sólidos de los productos no homogéneos debe ser medido antes y después del proceso.
- La viscosidad de los componentes líquidos así como el pH de la preparación deben ser medidos antes y después del proceso.
- El tamaño, forma y peso de los componentes sólidos deben ser medidos antes y después de procesarlos.
- Las características adicionales del producto pueden influenciar en la transmisión de calor o la resistencia microbiológica, por lo que también deben ser registradas.

Factores relacionados a las características del envase

- Se registran las medidas del envase utilizado tanto en sistema inglés como en el sistema internacional, las

características del barniz utilizado como recubrimiento y el nombre del proveedor.

- El estudio se efectúa utilizando veinticuatro envases llenos de agua orientados verticalmente, debidamente sellados y deliberadamente anidados, dejando libre únicamente el nivel superior de la canastilla del autoclave, la cual fue determinada previamente como la zona de calentamiento más lento del equipo (determinación efectuada mediante el estudio de distribución de temperatura).
- Se anidan los envases dentro del autoclave, de esta forma la tasa de penetración calor hacia el envase disminuirá, esto con la finalidad de construir el peor escenario en planta.
- Se registra el espacio de cabeza y el vacío obtenido en el sellado del envase.

Factores relacionados a las condiciones del proceso

- La temperatura de llenado de los envases es un factor crítico en el desarrollo del estudio ya que influye directamente sobre ciertos parámetros de penetración de calor como el tiempo de venteo y los factores de retraso por lo que se utiliza una temperatura inicial de llenado de 75 grados

Celsius, inferior a la que comúnmente se emplearía en la producción “normal” en planta.

- El llenado del envase se realiza manualmente ubicando el envase sobre la balanza digital, utilizando la tara del envase previamente definida.
- Se registra el tipo de autoclave utilizado, su orientación, su tamaño, el tipo de medio de calentamiento utilizado y su suministro.
- Los sensores Datatrace® empleados en este estudio poseen termistores como dispositivos de medición de temperatura, estos son más sensibles a los cambios de temperatura que los termopares o los sensores de temperatura resistivos (RTD) utilizados comúnmente; para preservar esta precisión en el sistema los sensores se desarmen y limpian cuidadosamente entre las pruebas para prevenir errores de lectura.
- Los sensores Datatrace® MPI se programan utilizando su correspondiente interfase y el software propietario Datatrace® DTW versión 4.02 para que registre lecturas de temperatura (en grados Fahrenheit) cada minuto desde la hora programada.

- Durante la inserción de los sensores en la lata se evita alterar la forma física del producto y afectar la geometría del envase, ajustándolo debidamente con un retenedor que impide la fuga del producto y mantiene el sensor en el sitio previamente establecido.
- Se registran los valores de temperatura y presión del vapor del autoclave durante cada minuto del proceso, de acuerdo a las lecturas observadas en el termómetro de mercurio y el manómetro adosados en el equipo.
- Luego de la etapa de venteo el producto se calienta durante 150 minutos a una temperatura de autoclave de 250 °F (121,1 °C) y una presión interna del equipo de 15 psi_g.
- Posteriormente el producto se enfría utilizando agua potable con una temperatura de 25 °C
- Se utiliza aire comprimido para mantener la presión interna del autoclave en 15 psi_g. durante la etapa de enfriamiento, con la finalidad de evitar el abombamiento y la ruptura de las latas debido al diferencial de presión entre el interior de los envases y el equipo.

Como se mencionó en el primer capítulo de este trabajo de tesis existen tres comportamientos de transferencia de calor en

productos enlatados y esterilizados en autoclaves hidrostáticos: conducción, convección natural y convección-conducción.

La ITFPS sugiere que en un producto que se calienta por conducción en un envase cilíndrico, el centro geométrico del envase es considerado el punto más lento en calentarse. También indica que el punto frío en un envase cilíndrico que contiene producto que se calienta por convección natural puede estar cerca del fondo del envase a una décima de su altura medida desde la base. Por último señala que en los productos que exhiben un comportamiento de curva de calor “quebrada” el punto frío puede migrar durante el proceso de calentamiento a medida que las características físicas del producto cambian.

La Campden and Chorleywood Food Research Association (CCFRA por sus siglas en el idioma inglés) en su guía para el establecimiento de procesos térmicos en alimentos de baja acidez indica que en latas cilíndricas de gran capacidad (mayores a 2 Kg. de contenido neto) la determinación del punto crítico no es necesaria debido a que por sus dimensiones en el eje central de la lata se mantendrá el calentamiento del producto luego de concluido el tiempo de esterilización.



FIGURA 2.2 Ubicación de los sensores en los envases para la determinación del punto crítico de calentamiento en el producto
Fuente: Juan José Tamayo

En este proyecto procedimos a colocar los sensores Datatrace® MicroPack I en dos distintos envases acorde a las ubicaciones que recomienda la guía de la ITFPS, el sensor de temperatura se lo ubicó en el centro geométrico de la lata y se lo aseguró utilizando los retenedores internos proveídos por la empresa fabricante; mientras que el otro sensor se lo ubicó apoyando su base en el centro del fondo de la lata de manera que luego de ajustarlo en su respectivo retenedor se encontraba orientado hacia arriba aproximadamente a un treinta por ciento de la altura total del envase.

Concluido el procesamiento térmico se remueven los sensores colocados dentro las latas, al efectuar esta operación se debe verificar si estos se movieron del lugar ubicado inicialmente o si el envase que los contiene sufrió alguna deformación o fuga durante el calentamiento, es muy importante efectuar esta revisión con el fin de evitar lecturas “falsas” que acarreen errores en los cálculos posteriores, posteriormente se procede a importar los registros de datos utilizando el software Datatrace® DTW versión 4.02

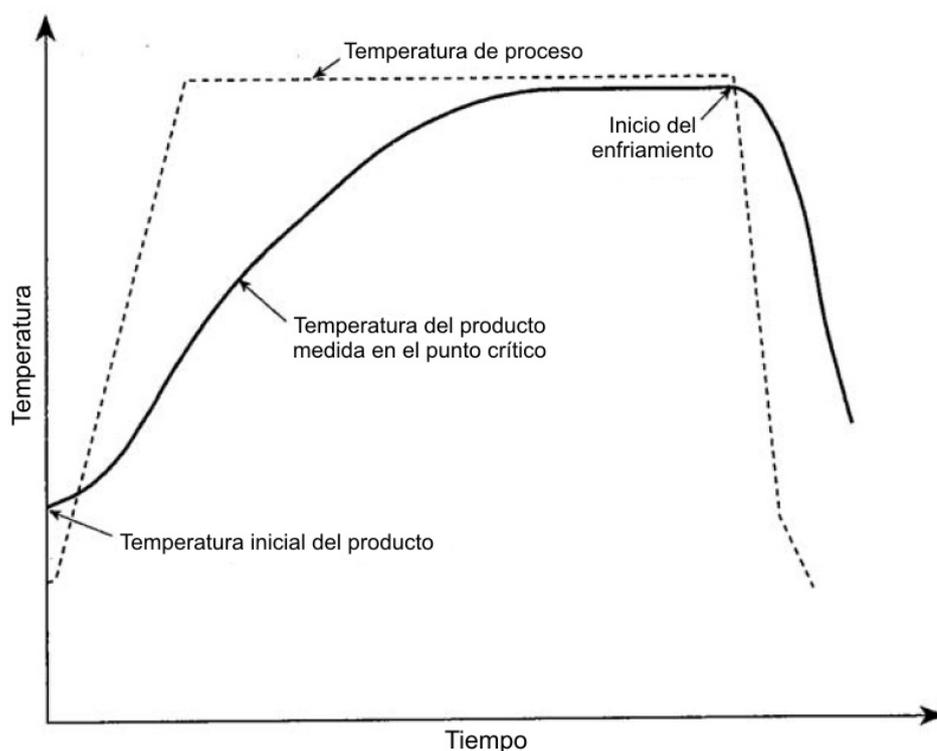


FIGURA 2.3 Perfil típico de temperaturas vs. tiempo, en alimentos esterilizados en autoclaves de vapor estacionarios
Fuente: Thermal processing of packaged foods, S.D. Holdsworth, segunda edición, Springer.

El software proporcionado por Datatrace[®] permite visualizar el número de lecturas registradas en los sensores MicroPack, la extensión del tratamiento térmico y obtener el perfil tiempo-temperatura de cada sensor (figura 2.2), también permite calcular la letalidad del proceso si previamente se ingresan los valores de Z y la temperatura referencial. La determinación del punto crítico del producto se puede efectuar de dos maneras, por comparación directa de los valores de letalidad de proceso, donde el valor más bajo indica el punto crítico. O mediante un análisis de la transición de temperatura durante el calentamiento, donde se elige el perfil que presente un cambio de temperatura menos pronunciado.

El comportamiento térmico del producto deberá ser cuantificado en términos de parámetros específicos de transmisión de calor, estos son calculados en base a las lecturas de tiempo-temperatura obtenidas en el estudio de penetración de calor, esta parametrización del proceso permitirá utilizar posteriormente métodos matemáticos llamados también “métodos de fórmula”, donde se utilizan valores tabulados en tablas para predecir el valor de la letalidad del proceso.

2.2.4 Método de derivación de los parámetros de penetración de calor

Los parámetros de penetración de calor necesarios para aplicar cualquiera de los métodos predictivos son f_h , j_h y T_{pi} para la etapa de calentamiento del proceso, f_c , j_c y T_{pic} referentes del enfriamiento al que será sometido el producto, la masificación del uso de hojas electrónicas y software gráfico han simplificado el procedimiento de cálculo de estos parámetros e incrementado el grado de exactitud de los resultados obtenidos.

Cuando la temperatura de un medio de calentamiento - o enfriamiento - es constante, la temperatura interna del producto varía logarítmicamente de manera lineal con respecto al tiempo, la forma más sencilla para determinar los parámetros de transferencia de calor es mediante la graficación en escala semilogarítmica de la secuencias de tiempo-temperatura obtenidas en el estudio de penetración de calor utilizando el software gráfico Dplot; el procedimiento se dividió en dos graficas correspondientes a las etapas de calentamiento y enfriamiento del producto en la retorta.

Procedimiento gráfico para la etapa de calentamiento

En la grafica de calentamiento, el eje de las abscisas corresponderá a los valores del logaritmo de la diferencia entre la temperatura del medio de calentamiento (T_r) y la temperatura interna del producto (T_i) registrada en intervalos de un minuto, la inversión del eje Y en la gráfica permitirá obtener una curva ascendente con el tiempo, lo que facilitará la obtención de los resultados y no afecta los valores que se obtendrán (7).

Bajo condiciones reales de producción en un autoclave estacionario, durante el tiempo de venteo el equipo todavía no alcanza la temperatura constante requerida, el calentamiento y la temperatura del medio de calentamiento es variable, este periodo debe tratarse separadamente al resto del calentamiento por lo que la curva obtenida debe dividirse en dos partes, señaladas por una perpendicular trazada tomando como origen el minuto en que termina el tiempo de venteo establecido para el sistema (veintitrés minutos luego de abrir la válvula de entrada de vapor de agua al autoclave).

Los datos de tiempo-temperatura de la grafica posteriores a la etapa de venteo deberán ser linealizados mediante un análisis

de regresión lineal, la línea obtenida debe prolongarse hasta interceptar al eje de temperaturas, mediante el análisis de regresión también se obtendrá la función de la recta linealizada en la forma:

$$\text{Log}_{(10)} Y = b - mX$$

Si resolvemos el inverso de la pendiente de esta ecuación obtendremos el valor de f_h :

$$f_h = - (1/m) \quad \text{ec.2.1}$$

En la gráfica obtenida, el periodo de calentamiento correspondiente al tiempo de levante no exhibe un comportamiento lineal debido a que la temperatura del medio de calentamiento no es constante durante este lapso. En esta zona se aplicó el factor de corrección al CUT propuesto por C. O. Ball, trazando una perpendicular al eje de las abscisas cuyo origen es calculado mediante la siguiente expresión:

$$t_b = 0,58 (\text{CUT}) \quad \text{ec.2.2}$$

La lectura obtenida del punto donde se intercepta la prolongación de la recta obtenida en el análisis de regresión de los valores de calentamiento y la línea de corrección del tiempo con origen en L corresponde al valor de la diferencia entre T_r y T_{pi} , este valor es necesario para calcular el factor de retraso de esta fase (J_h) y puede utilizarse directamente aplicando la siguiente ecuación:

$$J_h = \frac{T_r - T_{pi}}{T_r - T_i} \quad \text{ec.2.3}$$

Anteriormente la linealización de los datos posteriores al venteo se la efectuaba “manualmente” mediante estimación visual lo cual derivaba en un porcentaje de error en la determinación de los parámetros de penetración de calor, sin embargo en la actualidad cualquier software que maneje hojas de cálculo permite mediante análisis de regresión lineal obtener inmediatamente la gráfica y la cercanía del ajuste con exactitud. Si el coeficiente de correlación de Pearson de la regresión lineal no es satisfactorio - $0,8 \leq r \leq 1$ - entonces es recomendable remover uno por uno los puntos más cercanos al origen hasta obtener el coeficiente requerido, evitando perder la inclinación de la línea original.

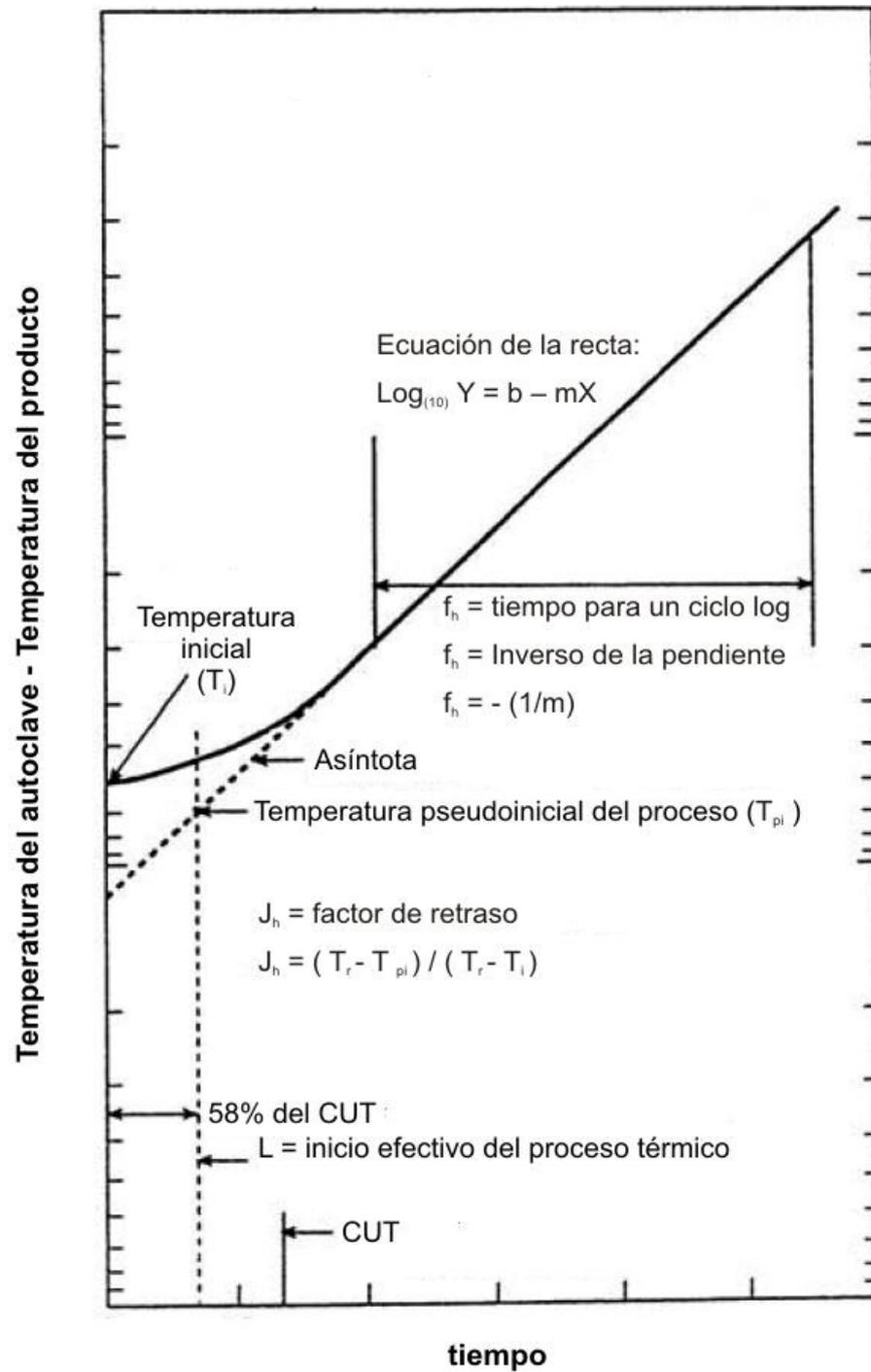


FIGURA 2.4 Procedimiento gráfico de determinación de parámetros de penetración de calor para la etapa de calentamiento del proceso
Fuente: Handbook of food engineering practice, E. Rotstein, segunda edición CRC Press.

Procedimiento gráfico para la etapa de enfriamiento

Para la resolución gráfica de los parámetros de penetración de calor correspondientes a la etapa de enfriamiento, el eje de las ordenadas atañerá a los valores de la diferencia entre la temperatura interna del producto y la temperatura del agua empleada como medio de enfriamiento (T_w) registrados en intervalos de un minuto en el eje de las abscisas (7).

Se trabajó con la misma metodología que para la etapa de retención del producto, efectuamos un análisis de regresión lineal de los puntos utilizando el software gráfico Dplot y la recta de la función obtenida por el análisis se extiende hasta tocar el eje Y.

Como en esta etapa no se tiene que aplicar ningún factor de corrección el punto de intersección entre la función obtenida y el eje corresponde a la diferencia entre T_{pic} y T_w , el factor de retraso de este período (J_c) es calculado utilizando la ecuación:

$$J_c = \frac{T_{pic} - T_w}{T_{ic} - T_w} \quad \text{ec.2.4}$$

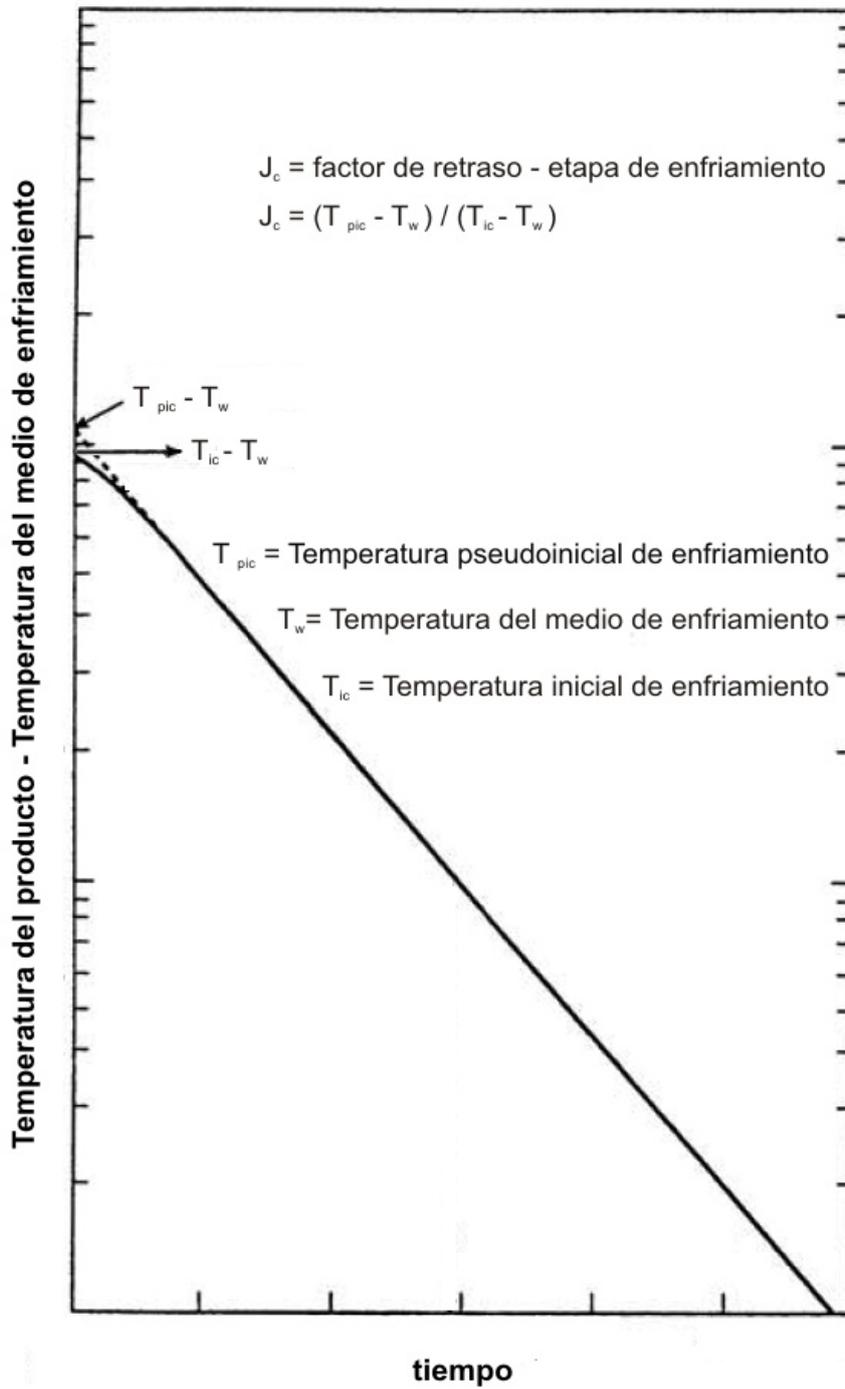


FIGURA 2.5 Procedimiento gráfico de determinación de parámetros de penetración de calor para la etapa de enfriamiento del proceso

Fuente: Handbook of food engineering practice, E. Rotstein, segunda edición, CRC Press.

2.3 Letalidad del procesamiento térmico

El propósito del cálculo de la letalidad del proceso térmico en estudio es el de determinar el tiempo de calentamiento adecuado bajo las condiciones específicas de producción que resulte en alcanzar una letalidad de proceso que asegure la esterilización comercial del producto.

El método que se elegirá como base de cálculo debe integrar precisamente los efectos letales de las temperaturas en transición a lo largo del calentamiento del producto sobre las esporas de *Clostridium Botulinum*. El grado de letalidad de proceso en términos de F_0 es generalmente preestablecido y los procesos son diseñados para alcanzar este nivel de esterilización programado en el punto crítico del producto; para el proceso en estudio este valor se definió en 6 minutos (9) para salvaguardar la integridad del producto incluso bajo condiciones difíciles o temperaturas elevadas de almacenamiento.

2.3.1 Método general mejorado

Las dos secuencias tiempo-temperatura obtenidas en el estudio de penetración de calor fueron exportadas a MS Excel para su ordenamiento y el cálculo de la letalidad (L) mediante la fórmula general:

$$L = (T_n - T_{ref}) / (Z_{ref}) \quad \text{ec.2.5}$$

La variante que introduce Patashnik (1953) para “mejorar” este método fué la de calcular la letalidad acumulada o “del proceso” efectuando la sumatoria de los valores de letalidad calculados en cada lectura y multiplicados por el intervalo de tiempo correspondiente de acuerdo a los datos de penetración de calor con que se disponga, desde la apertura hasta el cierre de la válvula de ingreso de vapor de agua al autoclave. Antes de implementar esta variante la determinación se realizaba gráficamente, lo cual era tedioso e inexacto.

El cálculo de la letalidad acumulada empleando este método implica que el intervalo de tiempo definido en el estudio de penetración de calor para cada registro de temperatura debe ser lo más corto posible para obtener valores exactos.

Los valores de letalidad de proceso obtenidos en cada perfil pueden ser comparados para definir si el producto tiene un comportamiento de transferencia de calor convectivo o conductivo; si el valor de letalidad acumulada en el centro geométrico del envase es mayor que el valor de letalidad

acumulada calculado en el punto inferior entonces el producto tiene un comportamiento de transferencia de calor convectivo, en caso de suceder lo contrario entonces el producto tiene un comportamiento de transferencia de calor conductivo.

El valor de letalidad de proceso puede ser comparado con el valor mínimo fijado para el producto en estudio (6 minutos) y confirmar si el tiempo de proceso ha sido el adecuado para garantizar la esterilización adecuada.

El método general es el método más exacto para evaluar la letalidad de un proceso térmico debido a que los datos que se utilizan para su cómputo son recabados bajo condiciones reales de proceso, los resultados obtenidos son muy específicos para las condiciones de proceso utilizadas en el estudio y resulta impracticable replicarlas permanentemente en planta, actualmente se lo utiliza para corroborar la validez de un proceso térmico establecido por algún método de fórmula.

2.3.2 Método de Stumbo

El método de fórmula que C.O. Ball publicó en 1923 es el más simple y empleado por la industria para el cálculo de letalidad y

tiempos de proceso, este hace uso de tablas con valores tabulados de letalidad expresados como la analogía entre la división de los parámetros f_h sobre U y la diferencia de temperaturas al final del calentamiento (g), para la derivación de los valores de esta relación en las tablas, Ball asumió que el Índice de la velocidad de calentamiento del proceso (f_h) es igual al índice de la razón de enfriamiento del proceso (f_c) y que el valor de esterilización que aportan las lecturas del perfil de penetración de calor en la etapa de enfriamiento del proceso es despreciable.

El método de fórmula desarrollado por C.R. Stumbo en 1973 básicamente es una adaptación del modelo matemático desarrollado por Ball, con la salvedad de que el procedimiento de resolución incluye la influencia ejercida sobre el valor de esterilización del proceso por la variabilidad en los valores del factor de retraso de la etapa de enfriamiento (J_c) entre distintos tratamientos térmicos, mientras que Ball asume este factor de retraso como una constante asignándole el valor de 1.41.

Stumbo desarrolló nuevas tablas de la relación $f_h/U:g$ con respecto a distintos valores del factor de retraso de la etapa de

enfriamiento del proceso (J_c) cada tabla corresponde a un diferente valor de constante de muerte térmica ($Z = 18^\circ\text{F}$ - ver Anexo A). Los valores tabulados en las tablas fueron derivados mediante integración computarizada de los perfiles térmicos generados por la simulación mediante diferencias finitas de las ecuaciones de transmisión de calor, los resultados de letalidad de proceso obtenidos de esta forma se aproximan más a los conseguidos por el método general que a los resultados alcanzados aplicando el Método de Ball.

Las ventajas de utilizar el método de Stumbo son:

1. Puede ser utilizado para calcular la letalidad de un proceso ya establecido.
2. Puede ser utilizado para determinar el tiempo de proceso si se conoce la letalidad "objetivo" del proceso.
3. Dado que utiliza los datos de penetración de calor del sistema en forma de parámetros, se pueden calcular nuevos procesos para el mismo producto y diferentes envases aplicando procedimientos de conversión.
4. Pueden efectuarse correcciones "in situ" de los procesos si se suscitan cambios en la temperatura del medio de calentamiento o en la temperatura inicial del producto.

5. Es muy útil y mucho más eficiente que el método general para evaluar los procesos térmicos y sus variables.

Las ecuaciones generales del método de fórmula de Stumbo y de todos los métodos derivados del método de Ball son:

$$- \quad g = 10^{\log(jh * lh) - B/fh} \quad \text{ec. 2.6}$$

$$- \quad U = F_o F_i \quad \text{ec. 2.7}$$

$$- \quad F_i = 10^{(250 - Tr/z)} \quad \text{ec. 2.8}$$

$$- \quad F_o = \frac{f_h}{(f_h/U)F_i} \quad \text{ec. 2.9}$$

En la Tabla 1 se indica la secuencia de resolución que se desarrollará en MS Excel para la evaluación del proceso y el cálculo de la letalidad del proceso en estudio aplicando el método de Stumbo.

En la Tabla 2 se muestra la secuencia de resolución que se desarrollará en MS Excel para la determinación del tiempo de proceso requerido para alcanzar la esterilización comercial del producto en diferentes condiciones de procesamiento.

TABLA 1

**EVALUACION DE LA LETALIDAD DE PROCESO - METODO DE STUMBO
SECUENCIA DE RESOLUCION**

	PARAMETRO	RESOLUCION
1.	Índice de calentamiento - f_h (minutos)	Determinación gráfica de parámetros de penetración de calor
2.	Factor de retraso para la etapa de calentamiento - J_h	Determinación gráfica de parámetros de penetración de calor
3.	Factor de retraso para la etapa de enfriamiento - J_c	Determinación gráfica de parámetros de penetración de calor
4.	Tiempo de levante - CUT (minutos)	Análisis de distribución de calor del autoclave – CUT = 23 minutos.
5.	Tiempo de procesamiento térmico según Ball (minutos)	Dato experimental
6.	Temperatura del medio de calentamiento ($^{\circ}\text{F}$)	Dato experimental
7.	Temperatura inicial del producto ($^{\circ}\text{F}$)	Dato experimental
8.	I_h ($^{\circ}\text{F}$)	Dato experimental
9.	Constante de destrucción térmica - Z	Tablas de termobacteriología <i>C. botulinum</i> – Z = 18 $^{\circ}\text{F}$
10.	F_i (minutos)	ec. 2.8
11.	g ($^{\circ}\text{F}$)	ec. 2.9
12.	f_h/U (adimensional)	Interpolación de valores Tabla de Stumbo – Anexo A
13.	Letalidad del proceso - F_o (minutos)	ec. 2.9

Elaborado por: Juan José Tamayo.

TABLA 2

**DETERMINACION DEL TIEMPO DE PROCESO - METODO DE STUMBO
SECUENCIA DE RESOLUCION**

	PARAMETRO	RESOLUCION
1.	Índice de calentamiento - f_h (minutos)	Determinación gráfica de parámetros de penetración de calor
2.	Factor de retraso para la etapa de calentamiento - J_h	Determinación gráfica de parámetros de penetración de calor
3.	Factor de retraso para la etapa de enfriamiento - J_c	Determinación gráfica de parámetros de penetración de calor
4.	Letalidad objetivo del proceso - F_o	Producto en estudio $F_o = 6$ min.
5.	Tiempo de levante – CUT (minutos)	Análisis de distribución de calor del autoclave – CUT = 23 minutos.
6.	Constante de destrucción térmica - Z	Tablas de termobacteriología <i>C. botulinum</i> – Z = 18 °F
7.	Temperatura del medio de calentamiento (°F)	Dato experimental
8.	Temperatura inicial del producto (°F)	Dato experimental
9.	I_h (°F)	$T_{\text{medio de calentamiento}} - T_{\text{inicial producto}}$
10.	F_i (minutos)	ec. 2.8
11.	f_h/U (adimensional)	ec. 2.9
12.	g (°F)	Interpolación de valores Tabla de Stumbo – Anexo A
13.	Tiempo de procesamiento térmico de Ball – B (minutos)	ec. 2.6

Elaborado por: Juan José Tamayo.

2.4 Optimización del tratamiento térmico

El objetivo de la optimización de un tratamiento térmico es encontrar las condiciones de calentamiento y enfriamiento que minimicen en lo posible los procesos de degradación de nutrientes y factores de calidad organolépticos, obteniendo un producto seguro microbiológicamente y estable organolépticamente.

El efecto térmico que un alimento recibe depende entre otros factores de su consistencia, las condiciones de proceso y el tamaño del envase. Para productos fluidos, el mezclado interno permite una distribución de temperatura uniforme, sin embargo en productos sólidos, muy viscosos o con una concentración elevada de sólidos particulados, el calentamiento y por lo tanto el efecto térmico varía del interior al exterior del envase (10).

El producto que está cerca de las paredes del envase recibe el mayor tratamiento térmico, esto resulta en una sobrecocción de las capas externas, con la consiguiente pérdida general de calidad, especialmente en alimentos envasados en recipientes de gran capacidad. Por lo que consideramos conveniente que se recabe el perfil de calentamiento en la “superficie” del producto siguiendo la misma metodología del estudio de penetración de calor.

2.4.1 Valor de cocción

Una medida cuantitativa del efecto del calor sobre los factores de calidad en un punto del producto es el valor de cocción o valor de calidad (valor C_0) originalmente propuesto por Tom Mansfield (Mansfield, 1974) el cual ahora se utiliza como estándar en la industria y está definido por la ecuación:

$$C_0 = \int 10^{\frac{T-T_{ref}}{Z}} dt \quad \text{ec.2.9}$$

Donde Z es la constante de destrucción térmica del factor de calidad seleccionado;(en la tabla # 3 se detallan los factores de calidad que se evaluarán en esta parte del estudio). La temperatura de referencia será 100 °C, aunque también se puede utilizar 121 °C como temperatura de referencia para establecer paralelismos con los valores de letalidad (F_0).

Si se considera que la temperatura de esterilización es constante, la ecuación que permite calcular la letalidad (F_0) para un microorganismo o el valor de cocción (C_0) para el factor de calidad integrando la tasa de letalidad durante el tiempo de proceso se resuelven de forma análoga, por lo que es posible aplicar el método general (ver acápite 2.3.1) para evaluar el valor de cocción del producto en estudio.

TABLA 3
FACTORES CINETICOS – ATRIBUTOS DE CALIDAD

Atributo	Z_c (°F)	Referencia
Cocción	59,6	Mansfield (1962)
Calidad sensorial	47,7	Reichert (1977)

Elaborado por: Juan José Tamayo.

Para efectos de evaluación del tratamiento térmico, el valor C determinado en un punto específico del producto es de menor valor práctico que el valor de cocción promedio en toda la masa de producto, esto se debe a que naturalmente se presenta una distribución uniforme de los nutrientes en todo el volumen del producto y al hecho concreto de que existen diferentes valores en los factores cinéticos que gobiernan las reacciones degradativas de los componentes termosensibles (ver tabla #4).

2.4.2 Método simple de Jen et al. para la optimización del tratamiento térmico

La degradación de los factores de calidad del producto (cocción, apariencia, textura, nutrientes) pueden también ser

evaluados en base al efecto de cocción sobre cierto componente en todo el volumen del envase - no solo en el punto crítico como se realizó en el método propuesto por Mansfield - por lo que se definió la siguiente ecuación general para el cálculo del valor de cocción integral:

$$C_s = D_{ref} [\log (C_o/C)] \quad \text{ec.2.10}$$

Para envases cilíndricos, Y. Jen partió de esta ecuación para el cálculo de la letalidad integrada en un alimento y derivó una relación que incluye la naturaleza de la distribución de los componentes nutricionales y sensoriales sensibles al calor basándose en las siguientes observaciones (10):

- En un envase sometido a un proceso térmico a temperatura constante, existe una isoterma donde el factor de retraso para la etapa de calentamiento (designado como J_{cv} en este punto) es equivalente a la mitad del valor del factor de retraso de calentamiento del proceso ($0.5 J_h$).
- El valor de la diferencia entre la temperatura del producto en esta isoterma y la temperatura del medio de calentamiento al

cierre de la válvula de ingreso de vapor al autoclave (designado como g_v en este punto) es equivalente a la mitad del valor de la diferencia entre la temperatura en el punto crítico del producto y la temperatura del medio de calentamiento al cierre de la válvula de ingreso de vapor al autoclave (0.5 g)

De acuerdo a estas observaciones, la ecuación de Jen se expresa:

$$C_s = C_c + \log \left[1 + \frac{A (C_v + C_c)}{D_{ref}} \right] \quad \text{ec.2.11}$$

En este estudio evaluaremos las pérdidas ocasionadas por el tratamiento térmico en el contenido de lisina del fréjol seco, utilizando los siguientes factores cinéticos para este atributo:

TABLA 4

FACTORES CINETICOS PARA LA DEGRADACION DE LA LISINA EN EL FREJOL SECO

Atributo	D_{ref} (minutos)	Z_c (°F)	Referencia
Lisina	178,28	46	Thermobacteriology Laboratory, College of Food Engineering, UNICAMP

Elaborado por: Juan José Tamayo.

Para la resolución del parámetro C_c se toma como punto de partida el parámetro g determinado mediante la ec. 2.9 en el undécimo numeral de la secuencia de resolución definida para la determinación del tiempo de proceso térmico por el método de Stumbo (ver tabla 2).

Utilizando el valor de este parámetro se ingresa en la tabla de Stumbo desarrollada para el valor de la constante de destrucción térmica del atributo de calidad seleccionado para su estudio (ver Anexo B) y se determina por interpolación el valor correspondiente de f_h/U , el cual se utilizará en la siguiente ecuación.

$$C_c = \frac{f_h}{(f_h/U)F_i} \quad \text{ec.2.12}$$

El parámetro F_i que se indica en esta ecuación se calcula aplicando la ec. 2.8, teniendo en cuenta que se debe utilizar en el cálculo la constante de destrucción térmica del atributo de calidad en estudio, el parámetro f_h que se emplea es el mismo que fue obtenido aplicando el método de derivación gráfica de los parámetros de penetración de calor para la etapa de calentamiento del proceso (ver sección 2.2.3).

Para determinar el valor de cocción en la isoterma definida por Jen (C_v), se aplica la misma metodología empleada en el cálculo del parámetro C_c , con la salvedad de que se ingresará con los valores previamente definidos de los parámetros g_v (0,5g) y J_{cv} (0,5 J_c) para interpolar la relación $f_h/U:g$ en la correspondiente tabla de Stumbo.

El cálculo del porcentaje de nutriente o atributo de calidad retenido en el producto se lo realiza multiplicando por 100 la relación (C/C_o) despejada de la ecuación general de cocción integral (ec. 2.10).de la siguiente forma:

$$\% \text{ retenido} = [10^{-(C_s/D_{ref})}] \times 100 \quad \text{ec.2.13}$$

Este método simple de optimización ha mostrado resultados muy próximos a los análisis experimentales, especialmente en lo que se refiere a retención de nutrientes específicos en envases cilíndricos (10).

CAPÍTULO 3

3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 Formulación del producto

La formulación inicial de la sopa de fréjoles se planteó tomando conceptos de recetas caseras y conjugándolos con los requerimientos estipulados en el planteamiento del proyecto semilla “Tecnología para el desarrollo de productos dirigidos a la alimentación colectiva en el Ecuador”, esta fórmula preliminar fue ajustada a través de tres bancos de pruebas categorizados por la etapa de desarrollo del proyecto (pruebas en laboratorio y pruebas en planta piloto). El porcentaje, la presentación, el grado de cocción de los ingredientes y otras características variaron de una prueba a otra de acuerdo a las apreciaciones efectuadas por un panel de degustación conformado por docentes con entrenamiento en análisis sensorial de alimentos y estudiantes de la carrera de Ingeniería en Alimentos.

TABLA 5

FORMULACIÓN DEL PRODUCTO

PRUEBAS EN LABORATORIO – PRODUCTO SIN ENVASAR

	Prueba Nº 1	Prueba Nº 2	Prueba Nº 3
Ingredientes	%	%	%
Agua	30	46	45
Sólidos			
Fréjol canario	27	23	25
Papa superchola	12	10	9
Carne de cerdo	13	6	7
Fideo pluma	4	4	3,7
Refrito			
Cebolla perla	5	4	3,7
Tomate	5	4	3,7
Pimiento	2,6	2	2
Ajo	0,2	0,15	0,1
Comino	0,2	0,15	0,1
Condimentos			
Sal	0,8	0,5	0,5
Albahaca	0,2	0,2	0,2
Total	100	100	100

Elaborado por: Juan José Tamayo.

En la tabla 5 se detallan los porcentajes de los ingredientes empleados en las tres pruebas realizadas a nivel de laboratorio. Mediante estas corridas preliminares se definió la utilización de retazos de carne de cerdo por ser la presentación de carne de origen porcino más económica en el mercado y se determinaron etapas importantes en la preparación del producto.

En la tabla 6 se indican los porcentajes utilizados en el primer banco de pruebas realizadas a nivel de planta piloto utilizando envases A2 (con un peso neto aproximado de 500 gramos de producto). Las modificaciones que se incluyeron en el proceso de elaboración a raíz de estas pruebas fueron la implantación del control de temperaturas en las etapas de cocción, la variación de los porcentajes de los componentes en la fórmula del refrito, la adición de fideo crudo para mejorar la consistencia del producto final y una mayor adición de los condimentos utilizados.

TABLA 6
FORMULACIÓN DEL PRODUCTO
PRUEBAS A NIVEL PILOTO UTILIZANDO ENVASES A2

	Prueba Nº 1	Prueba Nº 2	Prueba Nº 3
Ingredientes	%	%	%
Agua	60	52	43
Sólidos			
Fréjol canario	19	20	24
Papa superchola	5	6	6
Carne de cerdo	3,8	4	5
Fideo pluma	2	2	2
Refrito			
Cebolla perla	3,8	6	8
Tomate	3,8	6	5
Pimiento	2	3	5
Ajo	0,1	0,2	0,5
Comino	0,1	0,1	0,1
Condimentos			
Sal	0,25	0,3	0,7
Albahaca	0,15	0,4	0,7
Total Mezcla	100	100	100
Pérdida por Evaporación	42	46	18
Producto neto	58	54	82

Elaborado por: Juan José Tamayo.

TABLA 7

FORMULACIÓN DEL PRODUCTO

PRUEBAS A NIVEL PILOTO UTILIZANDO ENVASES A6

	Prueba Nº 1	Prueba Nº 2	Prueba Nº 3
Ingredientes	%	%	%
Agua	43	44,7	44,7
Sólidos			
Fréjol canario	24	23	23
Papa superchola	6	6,1	6,1
Carne de cerdo	5	4,6	4,6
Fideo pluma	2	2,3	2,3
Refrito			
Cebolla perla	8	8	8
Tomate	5	4,6	4,6
Pimiento	5	4,6	4,6
Ajo	0,5	0,5	0,5
Comino	0,1	0,1	0,1
Condimentos			
Sal	0,7	0,8	0,8
Albahaca	0,7	0,7	0,7
Total	100	100	100
Pérdida por evaporación	22	19	18
Producto neto	78	81	82

Elaborado por: Juan José Tamayo.

En la segunda serie de pruebas en la planta piloto se utilizó el envase A6 con capacidad aproximada para 2500 mililitros de producto, las modificaciones que se realizaron luego de efectuar estas pruebas fueron: el aumento del porcentaje de agua en la formulación del producto debido al incremento de la tasa de evaporación suscitado al aumentar la cantidad producida por lote, el ajuste en el contenido de almidones por la pérdida de consistencia del producto debido a la esterilización prolongada y la determinación del porcentaje de merma en el proceso.

3.2 Estudio de penetración de calor

Las secuencias de tiempo y temperatura obtenidas en las dos pruebas de penetración de calor efectuadas para la determinación del punto crítico de calentamiento del producto fueron exportadas a una hoja de cálculo en MS Excel, esto facilita el ordenamiento de los datos recabados.

Para prevenir errores en la recopilación de datos para los próximos cálculos, todos los registros en detalle junto a los factores críticos físico-químicos relacionados al producto, envase y condiciones de proceso se pueden encontrar en el formato estándar para estudios de penetración de calor, (Ver Anexo C).

3.2.1 Elaboración de curvas: perfil tiempo-temperatura obtenido en diferentes puntos del envase

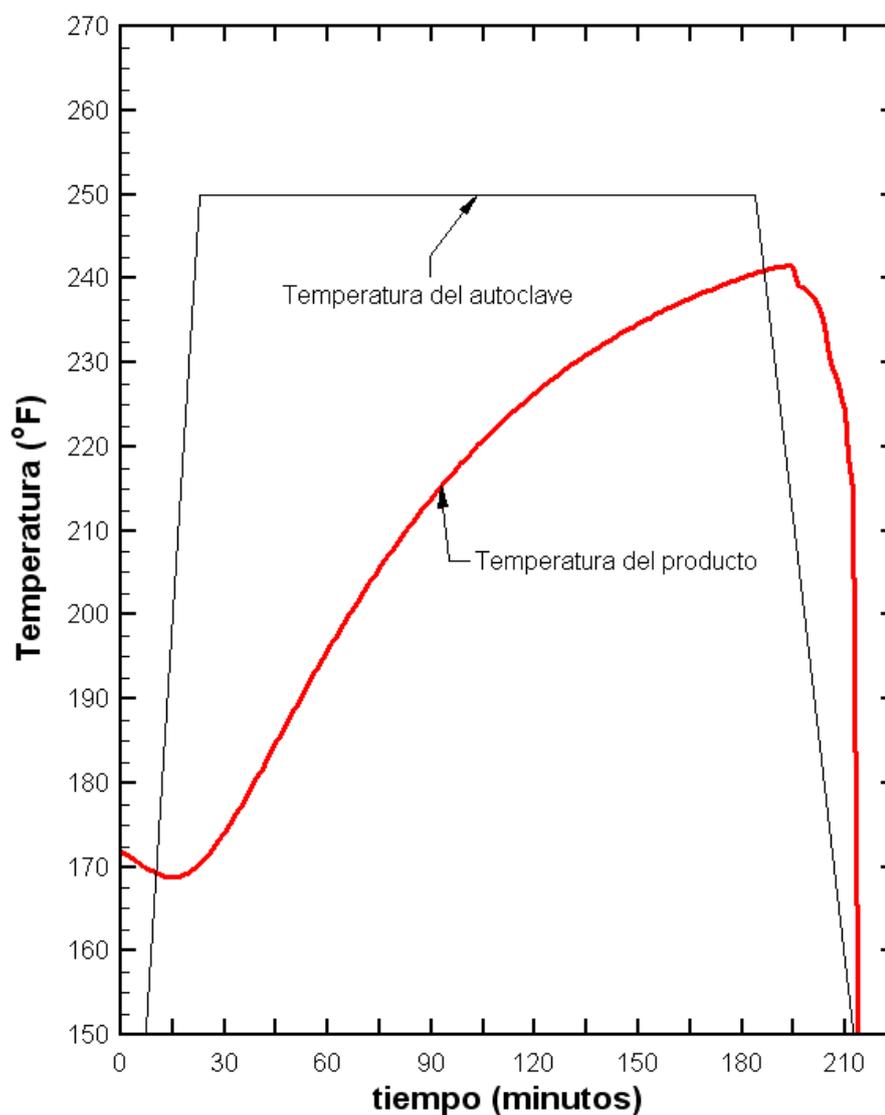


FIGURA 3.1 Perfil tiempo-temperatura en el centro del envase.
Elaborado por: Juan José Tamayo Cabezas

Utilizando el software de graficación Dplot se obtuvieron los dos perfiles tiempo-temperatura de las pruebas realizadas.

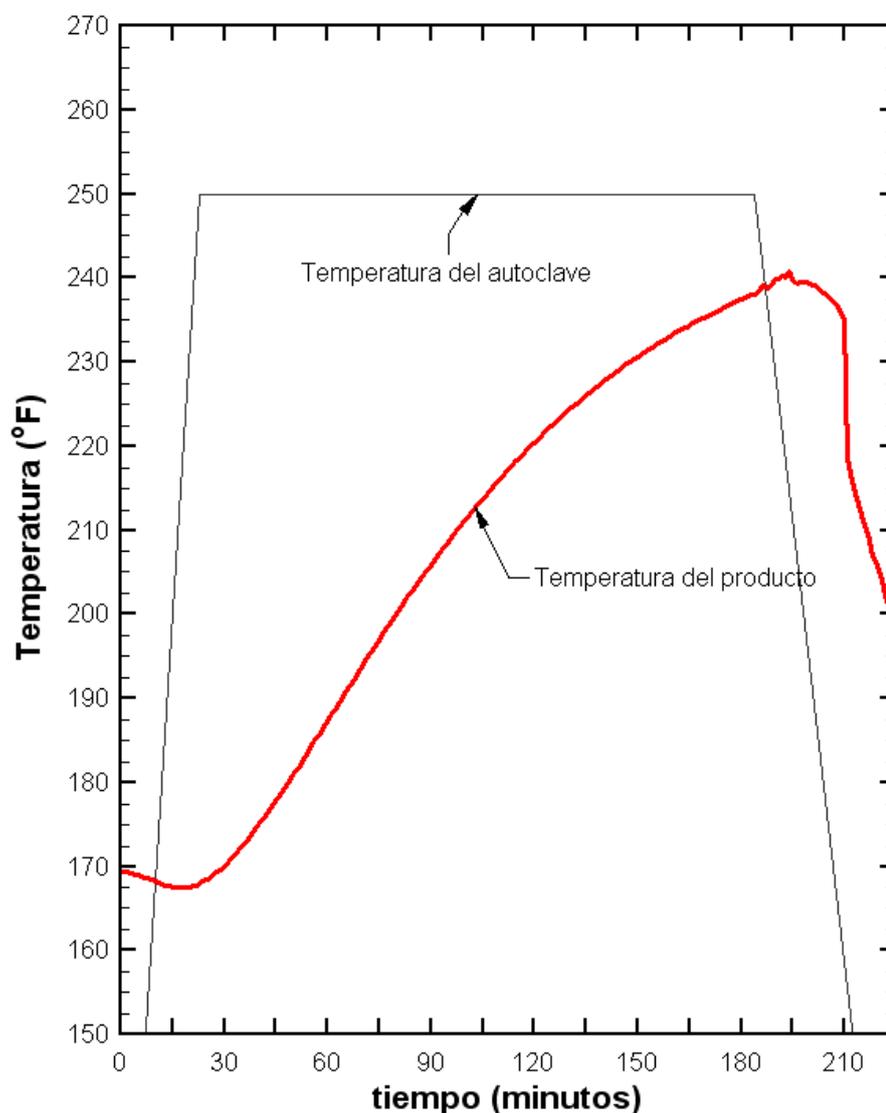


FIGURA 3.2 Perfil tiempo-temperatura registrado con el sensor en el eje axial del envase, a cinco centímetros desde su base.
Elaborado por: Juan José Tamayo Cabezas

Analizando las gráficas obtenidas se puede inferir que el comportamiento de penetración de calor del producto estudiado no presenta un quiebre durante su calentamiento, lo que significa que este producto obedece a solo un mecanismo de transferencia de calor.

3.2.2 Determinación del punto crítico de calentamiento

Aplicando la ec. 2.5 se calculó la letalidad “puntual” de cada una de las lecturas de temperatura registradas en intervalos de un minuto en las pruebas de penetración de calor, la sumatoria de todos los valores letales a lo largo del proceso térmico permitió obtener la letalidad de proceso (F_o) de cada una de las pruebas (Tabla 8).

TABLA 8

COMPARACION DE LETALIDADES DE PROCESO PRUEBAS DE PENETRACION DE CALOR

Ubicación del sensor	Temperatura inicial de proceso (°F)	Temperatura final de proceso (°F)	Fo (minutos)
Centro del envase	171,80	240,43	10,76
30% de altura del envase	169,44	237,97	6,67

También se utilizó la opción de cálculo de la letalidad del proceso térmico incluida en el software proporcionado por Datatrace®, este programa calcula la letalidad de proceso en base a la secuencia tiempo-temperatura, la temperatura referencial del proceso y la constante de muerte térmica del microorganismo “objetivo” (Tabla 9)

TABLA 9

**COMPARACION DE LETALIDADES DE PROCESO
OBTENIDAS MEDIANTE SOFTWARE DATATRACE
PRUEBAS DE PENETRACION DE CALOR**

Ubicación del sensor	Temperatura referencial (°F)	Constante de muerte térmica (°F)	Fo (minutos)
Centro del envase	170	18	10,98
30% de altura del envase	170	18	6,83

En las dos formas de cálculo se obtienen valores de letalidad de proceso menores en la parte inferior del envase que en el sensor ubicado en el centro geométrico del producto. Si se examinan las gráficas obtenidas de los perfiles tiempo-temperatura (Figura 3.3) también se aprecia una transición de temperatura más lenta en el perfil registrado a 30% de altura del envase.

Estas observaciones dan indicación que dentro del producto predomina la convección como mecanismo de transferencia de calor, esta afirmación no puede ser conclusiva debido que la temperatura inicial del estudio en la prueba con el sensor

ubicado en la parte baja de la lata es ligeramente inferior (2,36 °F) a la temperatura inicial registrada en la prueba con el otro sensor, lo cual podría originar cierta “desventaja” con respecto a los valores de letalidad de proceso calculados.

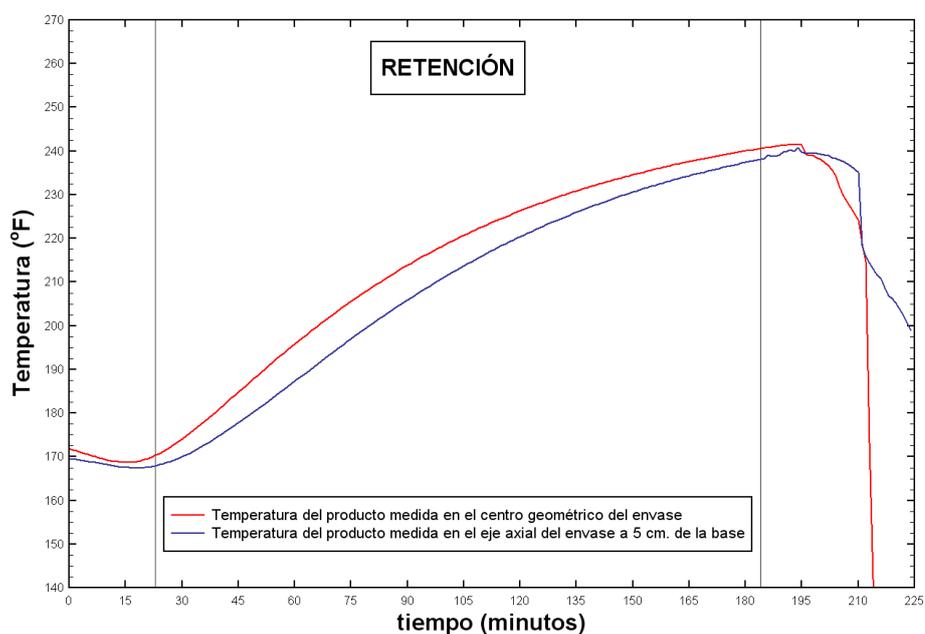


FIGURA 3.3 Comparación de los perfiles de transferencia de calor obtenidos en las pruebas experimentales
Elaborado por: Juan José Tamayo Cabezas

La determinación del punto crítico deberá confirmarse mediante una comparación del índice de la velocidad de calentamiento en los procesos estudiados (valor f_h), la prueba que obtenga el índice más alto corresponderá al punto frío de nuestro producto.

3.2.3 Determinación de los parámetros de penetración de calor

Como se especificó en el acápite 2.2.3 de este trabajo de tesis, la forma más sencilla y práctica para determinar los parámetros de transferencia de calor que caracterizan al producto en estudio en su fase de calentamiento es mediante la graficación en escala semilogarítmica, donde el eje de las ordenadas corresponde a los valores del logaritmo de la diferencia entre la temperatura del medio de calentamiento y las secuencias de tiempo-temperatura obtenidas en las pruebas de penetración de calor.

Para dirimir la ubicación del punto crítico del producto, se graficaron en un mismo plano las diferencias correspondientes a cada prueba de penetración efectuada, las secuencias fueron exportadas desde su respectivo formato estándar (Anexo C y Anexo D). Cabe indicar que el software Dplot sólo procesa los valores definitivos de las ordenadas y las abscisas para la ubicación del punto especificado, por lo que primero se calculó la diferencia entre la temperatura de la retorta y la temperatura interna del producto en una hoja de cálculo de MS Excel.

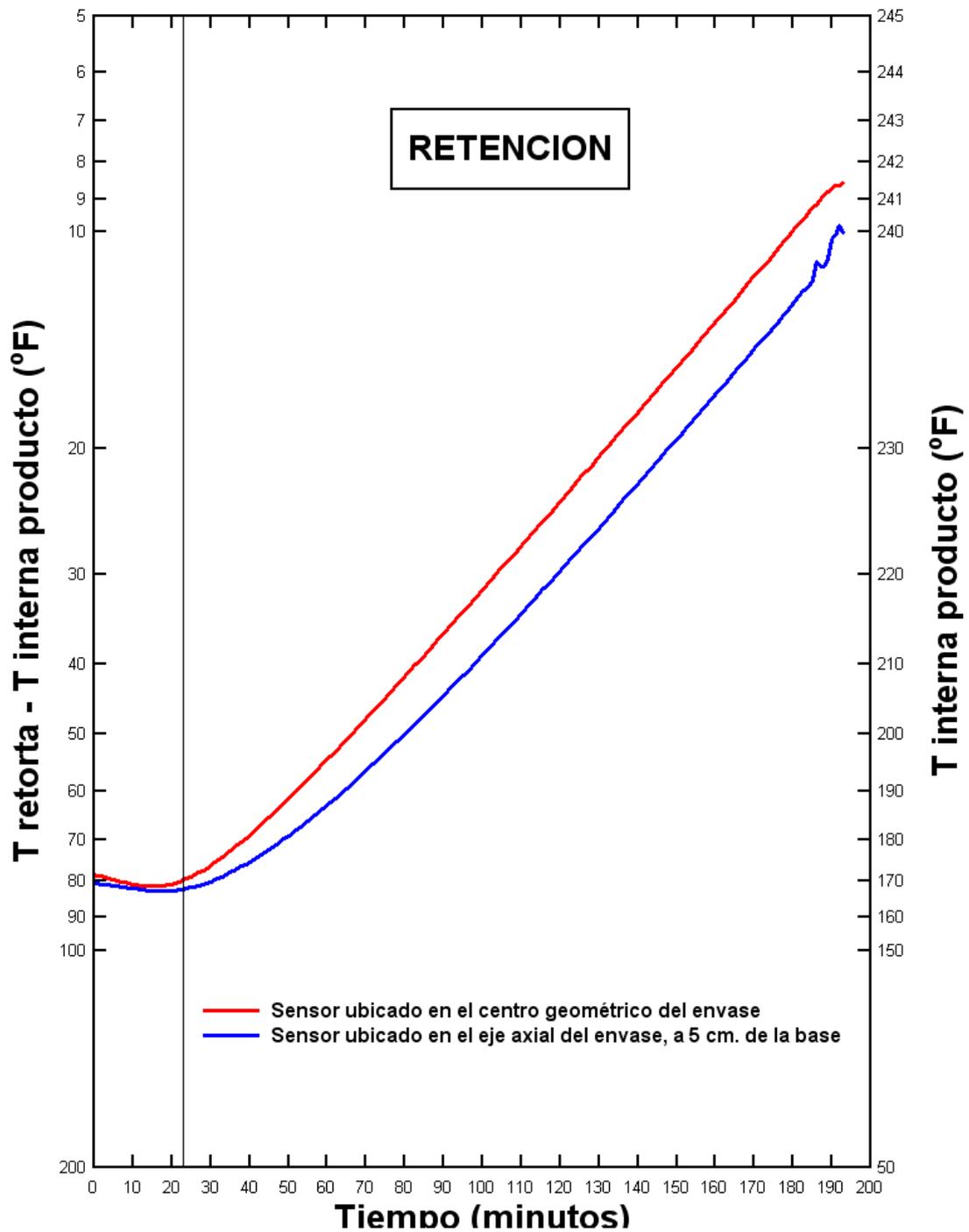


FIGURA 3.4 Comparación de las pruebas experimentales, utilizando el método gráfico de derivación de los parámetros de transferencia de calor.
Elaborado por: Juan José Tamayo Cabezas

Las secuencias de tiempo y temperatura registradas luego del tiempo de levante del autoclave (minuto 23) fueron utilizadas para el análisis de regresión lineal efectuado sobre cada curva, este se efectuó en el software Dplot con los siguientes resultados:

Sensor ubicado en el centro geométrico del envase

Forma de la ecuación: $\text{Log}_{(10)} Y = b - mX$

Coeficientes

$$b = 2,09298$$

$$m = - 0,00603$$

$$r = 0,99958$$

Función resultado: **$\log (y) = 2,092 - 0,00603x$**

Sensor ubicado en el eje axial del envase, a 5 cm. de la base

Forma de la ecuación: $\text{Log}_{(10)} Y = b - mX$

Coeficientes

$$b = 2,11726$$

$$m = - 0,00553$$

$$r = 0,99581$$

Función resultado: **$\log (y) = 2,117 - 0,00553x$**

Aplicamos la ec. 2.1 para despejar el valor de f_h .

$$f_h = - (1/m)$$

Sensor ubicado en el centro geométrico del envase

- $f_h = - (1/- 0,00603)$
- $f_h = 165,8374$

Sensor ubicado a 5 centímetros de la base

- $f_h = - (1/- 0,00553)$
- $f_h = 181,8181$

El valor más alto del índice de calentamiento corresponde al sensor situado en el eje axial del envase, a 5 centímetros de la base. Conforme a este análisis comparativo se confirma esta ubicación como el punto crítico de nuestro producto, los parámetros de transferencia de calor restantes se obtendrán utilizando la secuencia tiempo-temperatura correspondiente a esta prueba experimental.

El factor de retraso para la etapa de calentamiento del proceso (J_h) se calcula aplicando la ec. 2.3.

$$J_h = \frac{T_r - T_{pi}}{T_r - T_i}$$

Las diferencias entre la temperatura de la retorta y la temperatura pseudoinicial del proceso ($T_r - T_{pi}$) y entre la temperatura de la retorta y la temperatura inicial del proceso ($T_r - T_i$) se pueden obtener por lectura directa de los valores en el eje de las ordenadas.

Para la diferencia indicada en el numerador de la ecuación se utiliza la lectura del eje de las ordenadas en el punto donde se intercepta la función resultante del análisis de regresión lineal efectuado sobre la secuencia tiempo-temperatura y la línea de corrección del tiempo de Ball. (Figura 3.5)

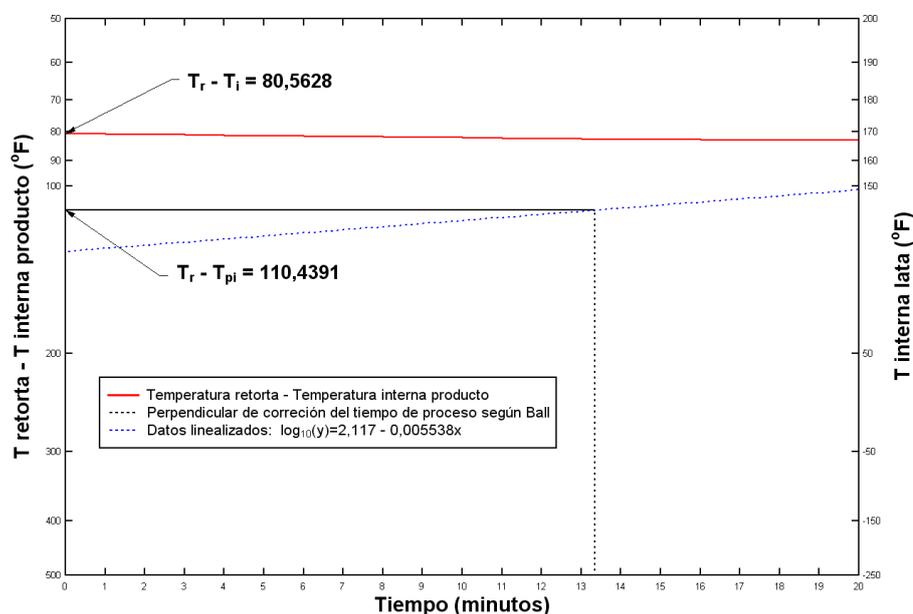


FIGURA 3.5 Derivación gráfica del factor de retraso (J_h) para la etapa de calentamiento
Elaborado por: Juan José Tamayo Cabezas

Para la diferencia indicada en el denominador de la ecuación se toma directamente el valor de la intersección de la curva correspondiente a las lecturas registradas por el sensor en el punto crítico y el eje de las ordenadas (Figura 3.5).

De acuerdo a las lecturas obtenidas gráficamente despejamos

J_h .

$$J_h = \frac{T_r - T_{pi}}{T_r - T_i}$$

$$J_h = \frac{110,4391}{80,5628}$$

$$J_h = 1,3708$$

Para la resolución gráfica de los parámetros de penetración de calor correspondientes a la etapa de enfriamiento del proceso se trabajó con la metodología ilustrada en la figura 2.4 de este trabajo de tesis. El procedimiento es muy similar al de la etapa de calentamiento con las salvedades de que en esta parte del proceso no se aplica la corrección de tiempo de Ball y el eje de las ordenadas corresponderá a la diferencia entre la temperatura interna del producto y la temperatura del agua de enfriamiento (77 °F).

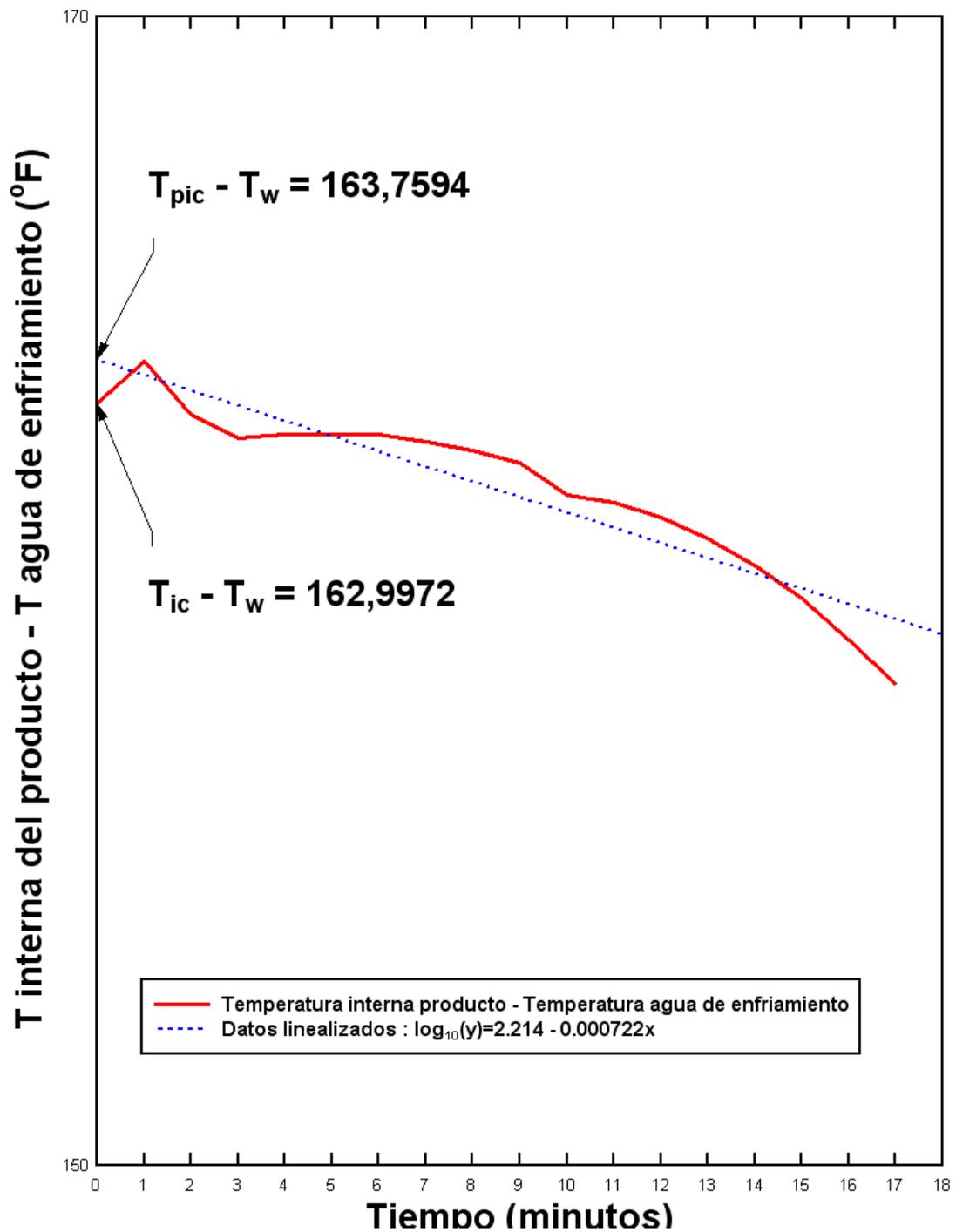


FIGURA 3.6 Derivación de los parámetros de transferencia de calor correspondientes a la etapa de enfriamiento del proceso térmico..
Elaborado por: Juan José Tamayo Cabezas

El factor de retraso para la etapa de enfriamiento del proceso térmico (J_c) se calcula aplicando la ec. 2.4.

$$J_c = \frac{T_{pic} - T_w}{T_{ic} - T_w}$$

Para la diferencia indicada en el numerador de la ecuación se utiliza la lectura del eje de las ordenadas en el punto donde se intercepta la función resultante del análisis de regresión lineal efectuado sobre la secuencia tiempo-temperatura y el eje de las ordenadas. Para la diferencia indicada en el denominador de la ecuación se toma el valor de la intersección de la curva correspondiente a la diferencia entre la temperatura del producto y la temperatura de enfriamiento con el eje de las ordenadas (Figura 3.6).

De acuerdo a las lecturas obtenidas gráficamente despejamos

J_c .

$$J_c = \frac{T_{pic} - T_w}{T_{ic} - T_w}$$

$$J_c = \frac{163,7594}{162,9972}$$

$$J_c = 1,0046$$

TABLA 10
PARAMETROS DE PENETRACIÓN DE CALOR

Definición	Parámetro	Valor	Unidades
Índice de calentamiento	f_h	181.818	Minutos
Factor de Retraso (Calentamiento)	J_h	1.3708	Adimensional
Factor de Retraso (Enfriamiento)	J_c	1.0046	Adimensional

Elaborado por: Juan José Tamayo.

3.3 Letalidad del procesamiento térmico

3.3.1 Evaluación del proceso térmico en el punto crítico por el método general

La evaluación del proceso térmico por el método general se efectuó utilizando MS Excel, donde se ordenaron en columnas y secuencialmente los datos registrados en el formato estándar para estudios de penetración de calor; junto a cada lectura de tiempo-temperatura se calculó su correspondiente letalidad puntual aplicando la ec. 2.5. En una última columna se calculó por sumatoria la letalidad de proceso acumulada, debido a la extensión del tratamiento térmico aplicado la resolución en detalle se puede encontrar en el Anexo E, los resultados se resumen a continuación (Tabla 11).

TABLA 11
EVALUACIÓN DEL PROCESO TÉRMICO
METODO GENERAL

Objetivo	Letalidad de proceso (Fo)	Tiempo de retención requerido (minutos)
Esterilización mínima	6,0	157
Letalidad final alcanzada	6,67	160

Elaborado por: Juan José Tamayo.

3.3.2 Evaluación del proceso térmico en el punto crítico por el método de Stumbo

Para efectuar la evaluación del proceso térmico en estudio por el método de fórmula especificado se aplicó la secuencia de resolución descrita en la tabla 1, previamente en este capítulo ya se han obtenido los parámetros definidos en los nueve primeros pasos detallados en la secuencia por lo que iniciaremos el proceso de resolución desde el numeral 10 de la tabla, los resultados de la evaluación del proceso térmico por los dos métodos se compararán inmediatamente a continuación de los cálculos del acápite 3.3.3.

- Cálculo de F_i

$$F_i = 10^{(250 - T_r/z)} \quad \text{ec. 2.8}$$

$$F_i = 10^{(250 - 250)/18}$$

$$F_i = 1 \text{ minuto}$$

- Cálculo del parámetro g

$$g = 10^{\log(j_h * I_h) - B/f_h} \quad \text{ec. 2.6}$$

$$\log(j_h * I_h) - B/f_h = \log[(1,3708)(80,5628)] - \frac{163,66}{181,81}$$

$$\log(j_h * I_h) - B/f_h = 1,1429$$

$$g = 10^{1,1429}$$

$$g = 13,898 \text{ } ^\circ\text{F}$$

- Cálculo del parámetro f_h/U

Para simplificar el desarrollo de este inciso, en la tabla de Stumbo para $Z = 18 \text{ } ^\circ\text{F}$ (Anexo A) se derivó por interpolación simple una columna adicional correspondiente al factor de retraso para la etapa de enfriamiento específico del proceso en estudio ($J_c = 1,004$).

$$g = 13,898 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Fragmento de la tabla de Stumbo para $Z = 18 \text{ } ^\circ\text{F}$ (Anexo A)

f_h/U	g cuando $J_c = 1,004$
25	13,62
X	13,898
30	14,622

Por interpolación simple, se resuelve el valor de f_h/U correspondiente al valor g del proceso.

$$f_h/U = \frac{(30 - 25)(13,89 - 13,6)}{(14,6 - 13,6)} + 25$$

$$f_h/U = 26,38$$

- Cálculo de la letalidad de proceso (F_o)

$$F_o = \frac{f_h}{(f_h/U)F_i}$$

$$F_o = \frac{181,81}{(26,38)(1)}$$

$$F_o = 6,89 \text{ minutos}$$

3.3.3 Cálculo de los parámetros de procesamiento térmico

La secuencia de resolución detallada en la tabla # 2 permite calcular el tiempo de retención necesario bajo las mismas condiciones de proceso de las pruebas experimentales, para alcanzar la letalidad de proceso preestablecida que logre la esterilización comercial del producto en estudio ($F_o = 6$ minutos).

Previamente en este capítulo ya se han obtenido los parámetros definidos en los diez primeros pasos detallados en la secuencia

por lo que iniciaremos el proceso de resolución desde el numeral 11 de la tabla especificada.

- Cálculo del parámetro f_h/U

$$f_h/U = \frac{f_h}{(F_o)(F_i)} \quad \text{ec. 2.9}$$

$$f_h/U = \frac{181,81}{(6)(1)}$$

$$f_h/U = 30,3016$$

- Cálculo del parámetro g

$$f_h/U = 30,3016$$

Fragmento de la tabla de Stumbo para $Z = 18$ °F y $f_h/U = 30,3016$ (Anexo A).

f_h/U	g cuando $J_c = 1,004$
30	14,62
30,3016	X
35	15,52

Por interpolación simple, se obtiene el parámetro g del proceso correspondiente al valor f_h/U previamente obtenido.

$$g = \frac{(30,3016 - 30)(15,52 - 14,62)}{(35 - 30)} + 14,622$$

$$g = 14,6764 \text{ } ^\circ\text{F}$$

- Cálculo del tiempo de procesamiento térmico según Ball (B)

$$B = f_h[\log(j_h \cdot I_h) - \log g] \quad \text{ec. 2.6}$$

$$B = 181,8181\{\log[(1,3708)(80,5628)] - \log 14,6764\}$$

$$B = 159,35 \text{ minutos}$$

Para obtener el tiempo de retención o tiempo de proceso térmico requerido se resta el intervalo de tiempo equivalente al 42% del tiempo de venteo del sistema (CUT) del tiempo de Ball calculado y por regla general, el resultado se redondea al entero inmediato superior, como se indica a continuación:

$$P = B - (0,42 \text{ CUT})$$

$$\text{CUT del sistema} = 23 \text{ minutos}$$

$$P = 159,35 - [(0,42)(23)]$$

$$P = 149,69 \text{ minutos}$$

$$\mathbf{P \approx 150 \text{ minutos}}$$

Bajo las condiciones experimentales descritas y aplicando el método predictivo de Stumbo, se necesitarán 150 minutos de proceso térmico para alcanzar la esterilización del producto.

3.3.4 Elaboración de hoja de procesos térmicos análogos

Aprovechando la versatilidad del método de Stumbo, utilizamos la hoja de cálculo de MS Excel empleada para obtener los parámetros del procesamiento térmico y desarrollamos una hoja de tratamientos térmicos análogos que proporcionen la misma - y la mínima- letalidad de proceso preestablecida ($F_0 = 6$ min) para alcanzar la esterilización comercial del producto en estudio, estas analogías son de mucha utilidad para efectuar correcciones “in situ” y aplicar el tratamiento térmico adecuado sobre el producto si se suscitan desviaciones en su elaboración.

En las dos primeras columnas de la tabla de procesos térmicos análogos (tabla 12) se especificarán la temperatura inicial del producto y la temperatura del medio de calentamiento; para obtener el tiempo de retención necesario en cada una de estas combinaciones sencillamente se aplicó el mismo proceso de resolución detallado en la tabla 2 y desarrollado en el acápite 3.3.3 de este trabajo de tesis, con la sola salvedad de que ahora iniciaremos los cálculos desde el numeral 7 de la tabla especificada.

TABLA 12

HOJA DE PROCESOS TERMICOS ANÁLOGOS

TIEMPOS SUGERIDOS PARA ALCANZAR LA ESTERILIZACION
COMERCIAL DE SOPA DE FRÉJOLES EN ENVASES DE FORMATO A6

T.I (°F)	T.R (°F)	Tiempo de retención calculado		Tiempo de retención sugerido	
		Minutos	(HH:MM:SS)	Minutos	(HH:MM)
158	245	177.1541	2:57:09	178	2:58
160	245	175.3177	2:55:19	176	2:56
165	245	170.5309	2:50:32	171	2:51
170	245	165.4350	2:45:26	166	2:46
175	245	159.9874	2:39:59	160	2:40
180	245	154.1359	2:34:08	155	2:35
185	245	147.8158	2:27:49	148	2:28
158	250	160.1789	2:40:11	161	2:41
160	250	158.4435	2:38:27	159	2:39
165	250	153.9303	2:33:56	154	2:34
170	250	149.1434	2:29:09	150	2:30
175	250	144.0475	2:24:03	145	2:25
180	250	138.5999	2:18:36	139	2:19
185	250	132.7484	2:12:45	133	2:13
158	255	145.5689	2:25:34	146	2:26
160	255	143.9238	2:23:55	144	2:24
165	255	139.6547	2:19:39	140	2:20
170	255	135.1416	2:15:08	136	2:16
175	255	130.3547	2:10:21	131	2:11
180	255	125.2588	2:05:16	126	2:06
185	255	119.8112	1:59:49	120	2:00
158	260	133.3769	2:13:23	134	2:14
160	260	131.8133	2:11:49	132	2:12
165	260	127.7632	2:07:46	128	2:08
170	260	123.4941	2:03:30	124	2:04
175	260	118.9809	1:58:59	119	1:59
180	260	114.1940	1:54:12	115	1:55
185	260	109.0981	1:49:06	110	1:50

Elaborado por: Juan José Tamayo.

3.4 Optimización del tratamiento térmico

En la prueba de penetración de calor efectuada para recabar el perfil tiempo-temperatura necesario para la optimización del tratamiento térmico se colocó un sensor Micropack III en la pared del envase a la misma altura del punto crítico del producto. Las secuencias de tiempo y temperatura obtenidas se exportaron al formato estándar para estudios de penetración de calor, el registro en detalle junto a los factores críticos correspondientes a esta prueba se pueden encontrar en el anexo F.

3.4.1 Determinación del valor de cocción en diferentes puntos del envase

La evaluación del valor C_0 aplicando el método general empleado en el cálculo de la letalidad del proceso se efectuó ordenando en columnas y secuencialmente los datos registrados en el anexo F; junto a cada lectura de tiempo-temperatura se calculó su correspondiente aportación al valor de cocimiento “acumulado” aplicando la ec. 2.9 y utilizando las constantes de destrucción térmica anotadas en la tabla 2.5, sobre dos temperaturas referenciales (212 °F y 250 °F).

En una última columna se ingresó por sumatoria el valor acumulado de cocción específico a ese punto, debido a la extensión de la tabla en detalle esta se puede encontrar en el anexo G, los resultados se resumen a continuación.

TABLA 13

**OPTIMIZACION DEL TRATAMIENTO TERMICO
EVALUACIÓN DEL VALOR C_o EN EL PUNTO CRÍTICO**

Atributo	C_o^{212}	C_o^{250}
Cocción	206,08	47,45
Calidad sensorial	227,56	36,34

Elaborado por: Juan José Tamayo.

TABLA 14

**OPTIMIZACION DEL TRATAMIENTO TERMICO
EVALUACIÓN DEL VALOR C_o EN LA PARED DEL ENVASE**

Atributo	C_o^{212}	C_o^{250}
Cocción	386,13	88,9
Calidad sensorial	481,8	76,95

Elaborado por: Juan José Tamayo.

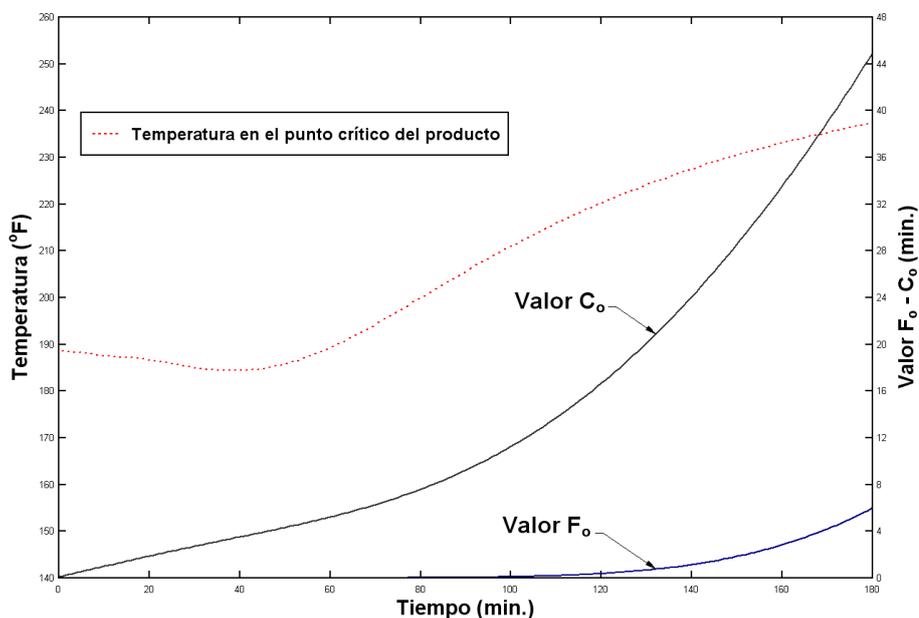


FIGURA 3.7 Diferencia en el incremento acumulativo de la letalidad de proceso y del valor C_0 de cocción en el centro del envase.

Elaborado por: Juan José Tamayo Cabezas

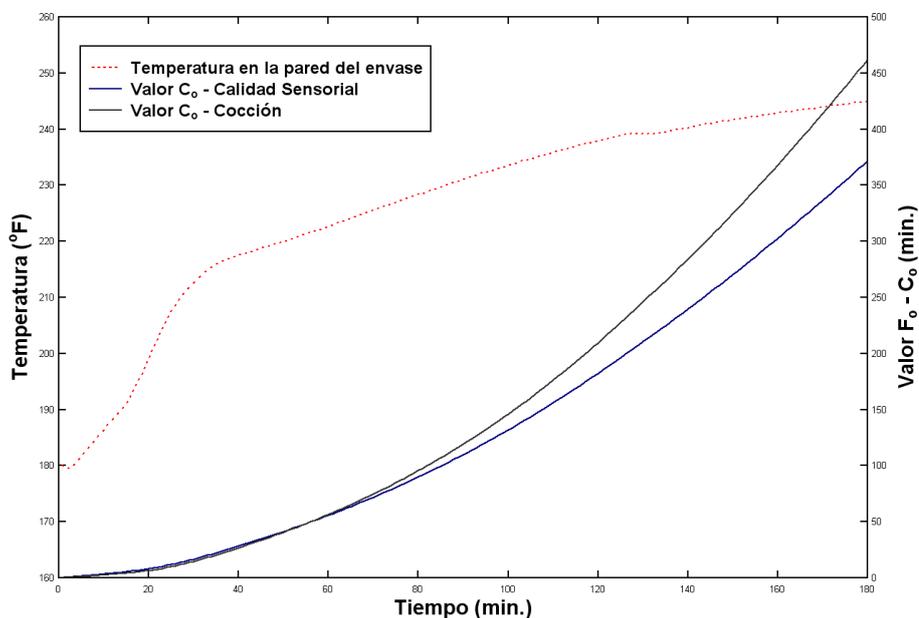


FIGURA 3.8 Incremento acumulativo del valor C_0 de cocción y el valor C_0 de calidad sensorial en la pared del envase, a la misma altura del punto crítico del producto

Elaborado por: Juan José Tamayo Cabezas

3.4.2 Evaluación de valor de cocción promedio por el método de Jen

Los parámetros previamente determinados y que se necesitan para esta evaluación son:

$$f_h = 181,818 \text{ min.}$$

$$J_c = 1,004$$

$$g = 14,676 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$A_{\text{cilindro}} = 10,734$$

Atributo de calidad: Lisina en fréjol café

Factores cinéticos del atributo de calidad

$$Z_c = 46 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$D_{\text{ref}} = 178,28 \text{ minutos}$$

1. Cálculo del parámetro f_h/U

Para simplificar el desarrollo de este inciso, en la tabla de Stumbo para $Z = 46 \text{ }^\circ\text{F}$ (Anexo B) se derivó por interpolación simple una columna adicional correspondiente al factor de retraso específico para la etapa de enfriamiento del proceso ($J_c = 1,004$).

Fragmento de la tabla de Stumbo para $Z = 46$ °F (Anexo B)

f_h/U	g cuando $J_c = 1,004$
5	14,118
X	14,676
6	16,234

Por interpolación simple, se resuelve el valor de f_h/U correspondiente al valor g del proceso.

$$f_h/U = \frac{(6 - 5)(14,676 - 14,118)}{(16,234 - 14,118)} + 5$$

$$f_h/U = 5,264$$

2. Cálculo de F_i

$$F_i = 10^{(250 - Tr/z)} \quad \text{ec. 2.8}$$

$$F_i = 10^{(250 - 250)/46}$$

$$F_i = 1 \text{ minuto}$$

3. Cálculo del parámetro C_c

$$C_c = \frac{f_h}{(f_h/U)F_i} \quad \text{ec.2.12}$$

$$C_c = \frac{181,818}{(5,264)1}$$

$$C_c = 34,54$$

4. Cálculo del parámetro $(f_h/U)_v$

Para simplificar el desarrollo de este inciso, en la tabla de Stumbo para $Z = 46$ °F (Anexo B) se derivó por interpolación simple una columna adicional correspondiente al factor de retraso para la etapa de enfriamiento específico ($J_c = 0,502$).

Fragmento de la tabla de Stumbo para $Z = 46$ °F (Anexo B)

f_h/U	g cuando $J_c = 1,004$
3	6,574
X	7,338
4	8,727

Por interpolación simple, se resuelve el valor de f_h/U correspondiente al valor g del proceso.

$$f_h/U = \frac{(4 - 3)(7,338 - 6,574)}{(8,727 - 6,574)} + 3$$

$$f_h/U = 3,355$$

5. Cálculo del parámetro C_v

$$C_v = \frac{f_h}{(f_h/U)F_i} \quad \text{ec.2.12}$$

$$C_v = \frac{181,818}{(3,355)1}$$

$$C_v = 54,1915$$

6. Cálculo del valor de cocción promedio C_s

$$C_s = C_c + \log \left[1 + \frac{A (C_v + C_c)}{D_{ref}} \right] \quad \text{ec.2.11}$$

$$C_s = 34,54 + \log \left[1 + \frac{10,374 (54,1915 + 34,54)}{178,28} \right]$$

Valor de cocción promedio = 35,3413

7. Cálculo del porcentaje de atributo de calidad retenido

$$\% \text{ retenido} = [10^{-(C_s/D_{ref})}] \times 100 \quad \text{ec.2.13}$$

$$C_s/D_{ref} = 35,3413/178,28$$

$$C_s/D_{ref} = 0,1982$$

$$\% \text{ retenido} = [10^{-(0,1982)}] \times 100$$

Porcentaje de nutriente retenido = 63,35

3.4.3 Optimización del tratamiento térmico

Existen dos enfoques en la aplicación del método de Jen para optimizar el tratamiento térmico en estudio, puede ser utilizado junto al método de Stumbo en la determinación del tiempo de procesamiento térmico requerido para asegurar un valor mínimo de letalidad de proceso (previamente definido en $F_o = 6$ minutos) y a la vez evaluar predictivamente el porcentaje de retención de lisina en el fréjol de cada combinación tiempo-temperatura sugerida.

TABLA 15

**RETENCIÓN DE LA LISINA EN EL FREJOL SECO
SOMETIDO A PROCESOS ANALOGOS DE
ESTERILIZACION COMERCIAL EN ENVASES A6**

Temperatura de proceso (°F)	Tiempo de tratamiento térmico sugerido por método de Stumbo		Porcentaje retenido
	Minutos	(HH:MM)	
225	359,4511	6:00:00	43,53
240	199,3678	3:20:00	59,06
245	177,1541	2:58:00	61,48
250	160,1789	2:41:00	63,35
255	145,5689	2:26:00	65,49
260	133,3769	2:14:00	67,63
275	109,1940	1:40:00	71,3

Elaborado por: Juan José Tamayo.

También se pueden definir uno o varios porcentajes mínimos de retención del atributo de calidad seleccionado, en este caso se deberán efectuar de manera inversa los cálculos detallados en la sección 3.4.2, de este modo se podrá determinar el valor del parámetro “g” que satisfaga la restricción definida.

Por ejemplo, si se busca retener el 75% de la lisina del fréjol contenido en el producto y se pretende trabajar con una temperatura de proceso de 250 °F y una temperatura inicial mínima del producto de 158 °F, se procede de la siguiente forma:

1. Cálculo del valor de cocción promedio C_s

$$C_s = \log \left[\frac{\% \text{ retenido}}{100} \right] \times (-D_{\text{ref}}) \quad \text{ec.2.13}$$

$$C_s = \log \left[\frac{75}{100} \right] \times (-178,28)$$

$$C_s = 22,274$$

2. Cálculo de F_i

$$F_i = 10^{(250 - T_r/z)} \quad \text{ec. 2.8}$$

$$F_i = 10^{(250 - 250)/46}$$

$$F_i = 1 \text{ minuto}$$

3. Cálculo del parámetro f_h/U

$$f_h/U = \frac{f_h}{(C_s)(F_i)} \quad \text{ec. 2.9}$$

$$f_h/U = \frac{181,81}{(22,274)(1)}$$

$$f_h/U = 8,1624$$

4. Cálculo del parámetro g

Fragmento de la tabla de Stumbo para $Z = 46^\circ\text{F}$ (Anexo B)

f_h/U	g cuando $J_c = 1,004$
8	19,742
8,1624	X
9	21,244

Por interpolación simple, se resuelve el valor del parámetro g correspondiente al valor f_h/U del proceso.

$$g = \frac{(21,244 - 19,742)(8,1624 - 8)}{(9 - 8)} + 19,742$$

$$g = 19,985$$

5. Cálculo del tiempo de procesamiento térmico según Ball

$$B = f_h[\log(j_h \cdot I_h) - \log g] \quad \text{ec. 2.6}$$

$$B = 181,8181\{\log[(1,3708)(250 - 158)] - \log 19,985\}$$

$$B = 140,637 \text{ minutos}$$

6. Cálculo del tiempo de procesamiento térmico sugerido

$$P = B - (0,42 \text{ CUT})$$

$$\text{CUT del sistema} = 23 \text{ minutos}$$

$$P = 140,637 - [(0,42)(23)]$$

$$P = 130,977 \text{ minutos}$$

$$\mathbf{P \approx 130 \text{ minutos}}$$

La figura 3.9 muestra como varía el porcentaje de retención de la lisina en el fréjol si se somete al producto a diferentes temperaturas de proceso, a temperaturas elevadas los procesos térmicos alcanzarán la letalidad de proceso objetivo ($F_o = 6$ min.) en menor tiempo y se retendrá un mayor porcentaje del atributo de calidad mientras que si la temperatura de proceso descende entonces los tratamientos serán más extensos y la retención de lisina se reducirá, esta conclusión es la base científica de los tratamientos HTST (high temperatura, short time por sus siglas en el idioma inglés); si se reduce la letalidad objetivo del proceso térmico a 3 minutos los porcentajes de retención de lisina en el fréjol aumentarán considerablemente.

La figura 3.10 muestra una gráfica semilogarítmica entre la temperatura y el tiempo de proceso que puede ser utilizada como una referencia rápida para la optimización del tratamiento térmico de este producto, donde en primer plano se aprecia la curva de procesos térmicos análogos que garantizan la inocuidad de la sopa de fréjoles y en líneas entrecortadas se observan las curvas de procesos análogos que aseguran un porcentaje mínimo de retención de la lisina en el fréjol.

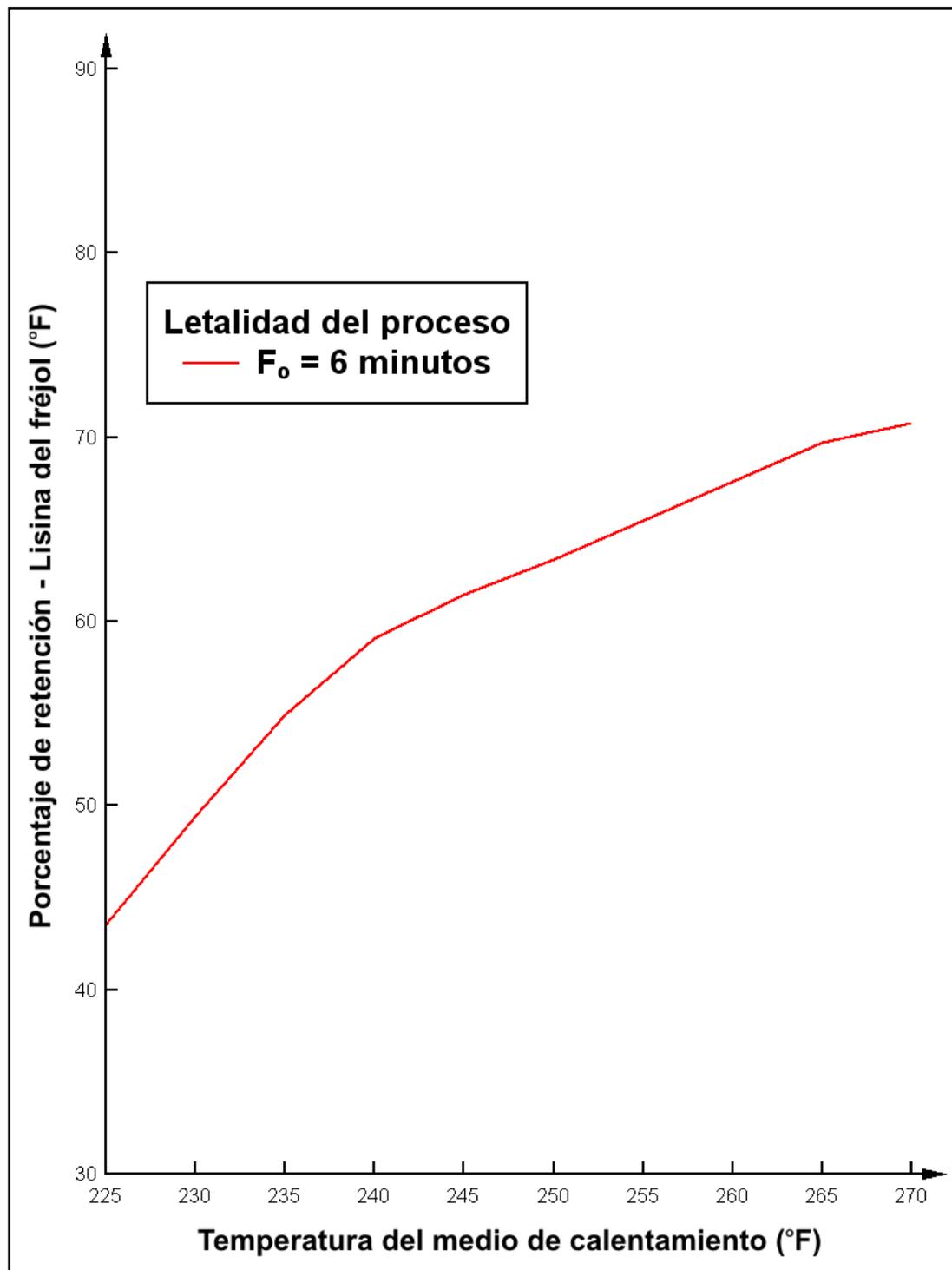


FIGURA 3.9 Variación en el porcentaje de retención de la lisina en el fréjol sometido a diferentes temperaturas de procesamiento térmico
Elaborado por: Juan José Tamayo Cabezas

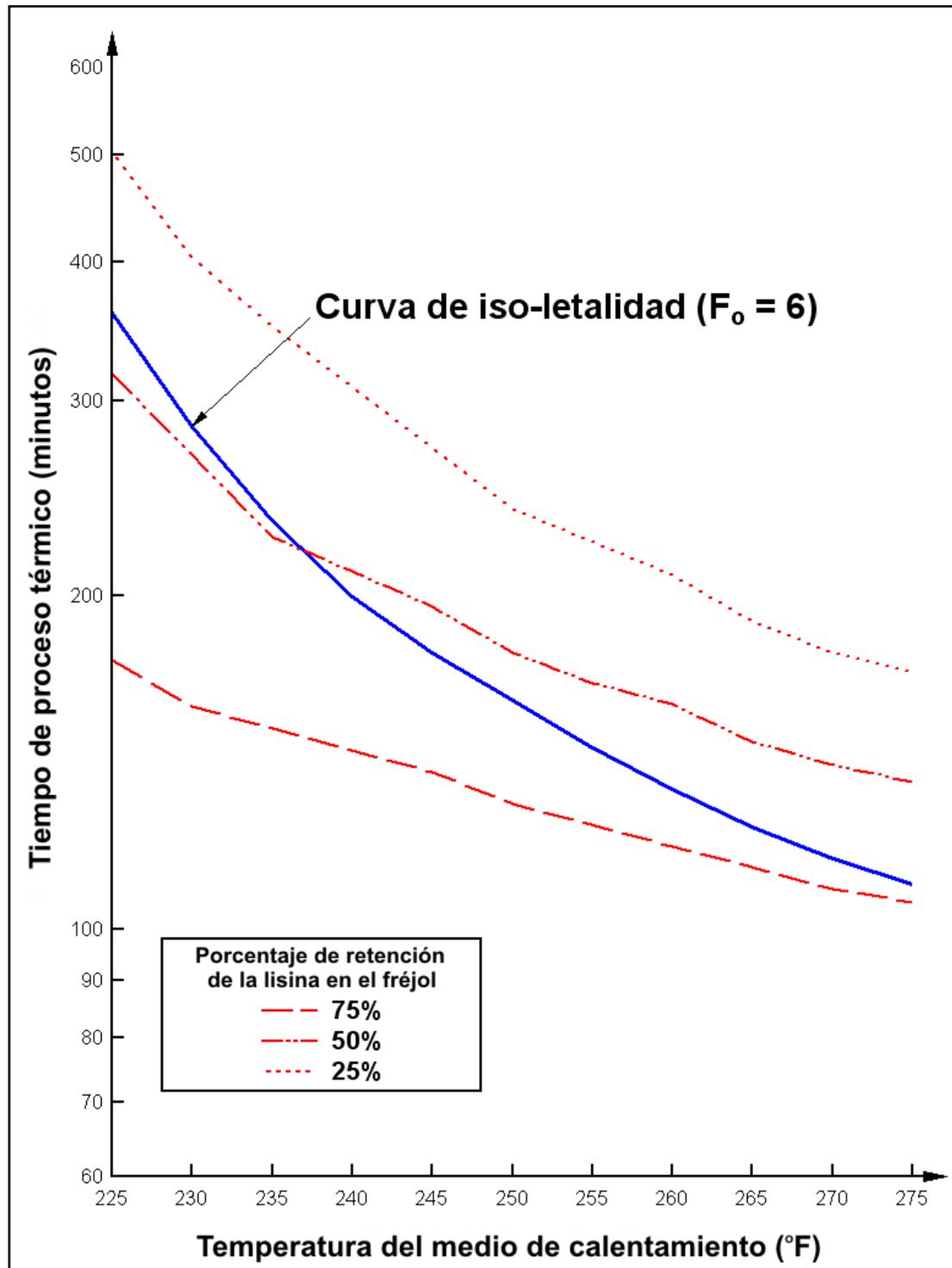


FIGURA 3.10 Combinaciones de tiempo y temperatura de proceso requeridas para diversos porcentajes de retención de la lisina en el fréjol
Elaborado por: Juan José Tamayo Cabezas

3.5 Diseño del proceso de elaboración de sopa de fréjoles en envases de hojalata A6

Debido al nivel significativo de pérdida de agua por evaporación en el producto debido a los tiempos de cocimiento y preparación que requieren ciertos componentes, es recomendable diseñar el proceso de elaboración con cuatro “líneas” que efectúen las operaciones preliminares sobre los componentes principales (fréjol, carne, papa y refrito) simultáneamente, esto permite reducir los tiempos de espera previos a la cocción general y la pérdida de agua en general.

3.5.1 Diagrama de flujo del proceso de elaboración

En la figura 3.11 se aprecian las etapas que conforman el proceso que se diseñó para la elaboración de sopa de fréjoles.

3.5.2 Breve descripción del proceso de elaboración

Recepción e inspección de materia prima: se receiptan por separado la carne de cerdo, el fréjol canario seco, las verduras y hortalizas (cebolla perla, pimiento verde, tomate, papa), los condimentos (albahaca, comino molido y sal) y otros (ajo, fideo). Estos ingredientes deberán ser inspeccionados con el objetivo de determinar si cumplen con sus especificaciones mínimas de calidad para ser ingresados en el proceso.

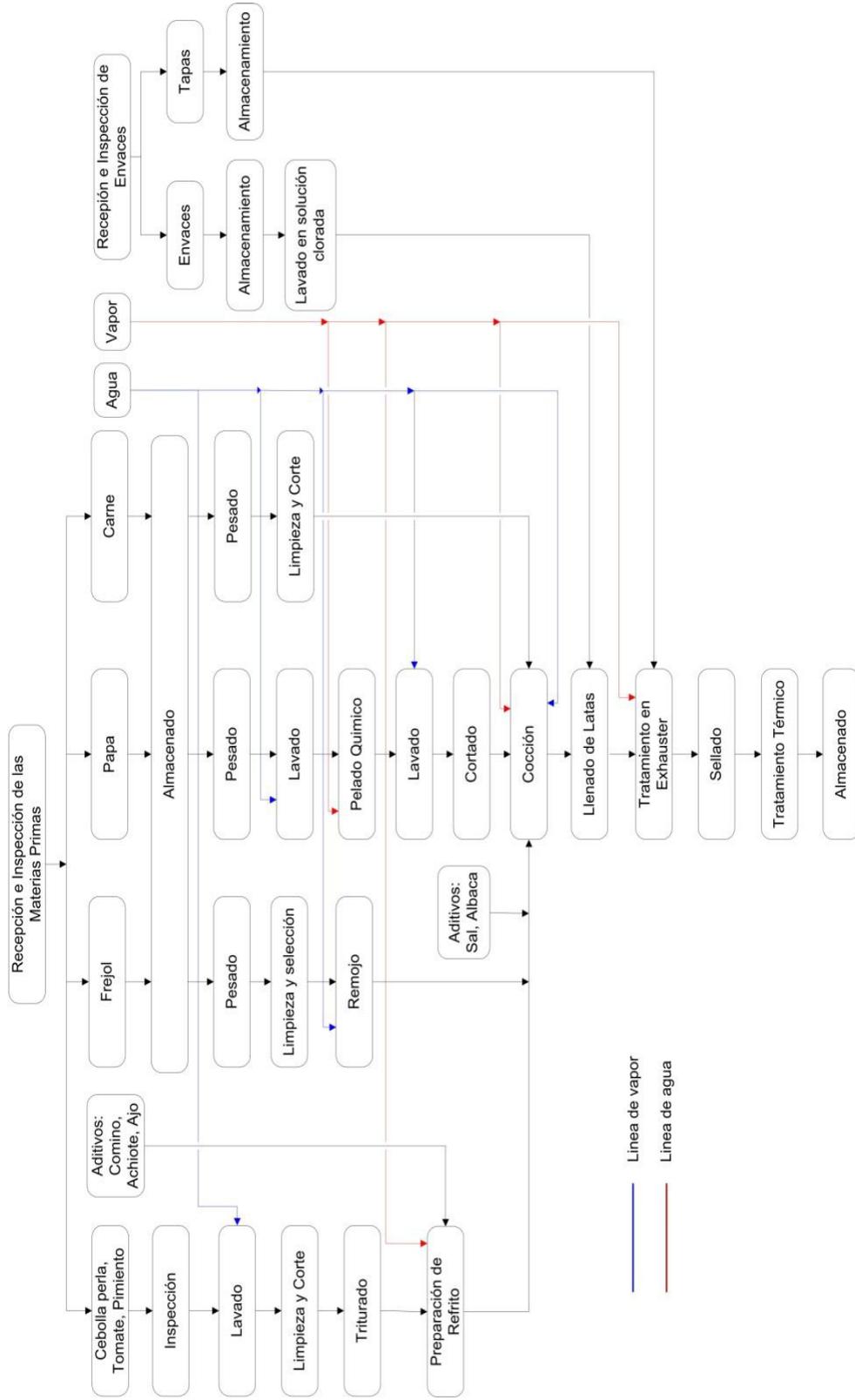


Figura 3.11 Diagrama de procesos para la sopa de fréjoles
Elaborado por: Juan José Tamayo Cabezas

Lavado: Se procede a lavar las materias primas recibidas (excepto los condimentos) para disminuir la carga bacteriana o la presencia de agentes extraños.

Limpieza y Pelado: La carne de cerdo, la cebolla perla y el pimiento pasaran por una etapa de limpieza mediante enjuague mientras que la papa previamente pasara por una etapa de pelado químico y luego de limpieza.

Cortado: La carne de cerdo deberá cortarse en cuadrados de 2cm por 2cm, la papa en cuadrados de 3 cm por 3cm, la cebolla perla, el tomate y el pimiento en 4 partes iguales, el ajo deberá ser molido para su posterior uso.

Remojo: El fréjol canario deberá remojar preferiblemente durante seis horas en agua a temperatura ambiente o por dos horas en agua a 60 °C antes de empezar el proceso de cocción.

Precocción: El fréjol remojado deberá hervirse en cierto porcentaje de agua por 10 minutos, luego se añade la carne de cerdo y se calienta por 15 minutos a llama baja.

Cocción: El refrito y la papa escaldada se añaden al recipiente del fréjol precocinado y se hierve por 10 minutos, luego se adiciona el porcentaje de fideo cocinado y los condimentos, se mantiene a llama baja durante 5 minutos

Llenado: Se proceden a llenar los envases teniendo especial cuidado de que el producto no baje su temperatura a menos de 80 °C.

Sellado: Los envases llenos inmediatamente serán trasladados al exhauster para evacuar el aire presente en el espacio de cabeza, seguidamente serán cerrados herméticamente utilizando la selladora Somme, la cual deberá estar calibrada por los técnicos de FADESA (ver Anexo H).

Tratamiento Térmico: Se limpia el exceso de producto y con celeridad se ubican los envases en la canastilla de la autoclave de vapor, donde se aplicará vapor a una temperatura y tiempo asignados por el supervisor de producción encargado, se deberá vigilar constantemente el normal desenvolvimiento del tratamiento térmico para tomar las medidas de contingencia

respectivas en caso de que se presentare una desviación de proceso.

Enfriamiento: Luego de cumplir con el tiempo y la temperatura de retención adecuadas para el lote de producción, se cierra la válvula de vapor de agua y se ingresa agua de enfriamiento, teniendo especial cuidado en regular la válvula de aire para mantener la presión interna del equipo (50 psi_g).

Etiquetado: Se coloca las etiquetas características del formato de la lata, esta operación al momento es enteramente manual.

Almacenamiento: El producto ya embalado será trasladado al almacén de productos terminados, donde deberá cumplir el período de cuarentena y los análisis respectivos antes de ser liberado para su consumo.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se definieron los ingredientes y porcentajes adecuados para la formulación de sopa de frejoles (menestrón de carne) enlatada en un envase de hojalata formato A6, con el objetivo de proveer una fuente de información tecnológica que incentive la producción de alimentos destinados a la restauración colectiva de nuestro país.
- Las pruebas experimentales desarrolladas en el estudio de penetración de calor establecieron que durante el calentamiento del producto predomina la convección como mecanismo de transferencia de calor y que en el eje axial del envase con formato A6, a 5 centímetros de altura, se ubica el punto “crítico” del producto.
- En una prueba de penetración de calor confirmatoria efectuada empleando una combinación de tiempo de proceso-temperatura de calentamiento obtenida aplicando el método predictivo de Stumbo y

aplicando el método general para calcular el valor de la letalidad de proceso (F_0) se alcanzó la letalidad mínima predefinida ($F_0 = 6$ minutos), lo cual garantiza la esterilidad comercial del producto en estudio.

- Basados en el modelo matemático de optimización propuesto por Jen et al., se calculó que si se aplica una temperatura de calentamiento de 250 °F para esterilizar el producto entonces el porcentaje de retención de la lisina en el fréjol es del 63%.
- La metodología que se siguió para efectuar las pruebas de penetración de calor en el producto, acorde a las recomendaciones y guías de la ITFPS, puede ser adaptada para el ofrecimiento de desarrollo de estudios de penetración de calor en otros productos como un servicio técnico de la facultad a la industria alimentaria.
- La metodología para la optimización del proceso térmico empleada en el presente trabajo permite trabajar conjuntamente con el método de Stumbo y predecir el tiempo de proceso requerido para alcanzar diversos porcentajes predefinidos de retención de lisina en el fréjol canario.

RECOMENDACIONES

- Analizar la posibilidad de reducir la letalidad objetivo del proceso (F_0), con la finalidad de disminuir el tiempo de proceso requerido para alcanzar la esterilización comercial del producto, esta reducción conllevaría un ahorro de energía significativo y a la vez se alcanzarían mayores porcentajes de retención de lisina en el fréjol canario.

- Efectuar los análisis culturales aerobios (Anexo I) y anaerobios (Anexo J) detallados en el código internacional recomendado de prácticas de higiene para alimentos poco ácidos envasados del Código Alimentario - C AC/RCP 23-1979 Rev. 2 - con el objetivo de determinar la estabilidad del producto procesado.

- Efectuar un estudio complementario sobre los diferentes métodos predictivos y no predictivos empleados en la determinación de los parámetros de esterilización comercial de los procesos térmicos aplicados en los distintos alimentos diseñados conforme las especificaciones mencionadas del proyecto semilla

ANEXOS

ANEXO A
Relación $f_h/U:g$ cuando $Z = 18\text{ }^\circ\text{F}$

f_h/U	Valores de g cuando J de la curva de enfriamiento es:		
	1.00	1.004	1.20
0.20	5.09E-05	5.10E-05	5.43E-05
0.30	2.40E-03	2.40E-03	2.53E-03
0.40	1.62E-02	1.62E-02	1.71E-02
0.50	5.06E-02	5.07E-02	5.38E-02
0.60	1.09E-01	1.09E-01	1.16E-01
0.70	0.189	0.189	0.202
0.80	0.287	0.287	0.308
0.90	0.400	0.401	0.429
1.00	0.523	0.524	0.561
2.00	1.930	1.933	2.070
3.00	3.260	3.264	3.470
4.00	4.410	4.415	4.680
5.00	5.400	5.406	5.710
6.00	6.250	6.257	6.610
7.00	7.000	7.008	7.410
8.00	7.660	7.669	8.110
9.00	8.250	8.260	8.740
10.00	8.780	8.791	9.320
15.00	10.880	10.894	11.590
20.00	12.400	12.417	13.260
25.00	13.600	13.620	14.600
30.00	14.600	14.622	15.700
35.00	15.500	15.524	16.700
40.00	16.300	16.324	17.500
45.00	17.000	17.026	18.300
50.00	17.700	17.726	19.000
60.00	18.900	18.926	20.200
70.00	19.900	19.928	21.300
80.00	20.800	20.828	22.200
90.00	21.600	21.630	23.100
100.00	22.300	22.332	23.900
150.00	25.200	25.232	26.800
200.00	27.100	27.136	28.900
250.00	28.600	28.638	30.500
300.00	29.800	29.840	31.800
350.00	30.700	30.742	32.800
400.00	31.500	31.544	33.700
450.00	32.300	32.344	34.500
500.00	32.900	32.946	35.200
600.00	34.000	34.048	36.400
700.00	35.000	35.050	37.500
800.00	35.800	35.852	38.400
900.00	36.600	36.652	39.200
999.99	37.300	37.352	39.900

Fuente: STUMBO, C. R. (1973): *Thermobacteriology in food processing*

ANEXO B
Relación f_h/U :g cuando $Z = 46$ °F

Valores de g cuando j de la curva de enfriamiento es						
fh/U	0.4	0.502	0.6	1.00	1.004	1.20
0.20	9.72E-05	1.04E-04	1.10E-04	1.37E-04	1.37E-04	1.50E-04
0.30	4.50E-03	4.81E-03	5.11E-03	6.34E-03	6.35E-03	6.96E-03
0.40	3.08E-02	3.29E-02	3.49E-02	4.33E-02	4.34E-02	4.75E-02
0.50	9.77E-02	1.04E-01	1.11E-01	1.38E-01	1.38E-01	1.51E-01
0.60	0.212	0.227	0.241	0.298	0.299	0.327
0.70	0.270	0.347	0.420	0.521	0.522	0.571
0.80	0.564	0.603	0.641	0.794	0.796	0.871
0.90	0.787	0.842	0.894	1.107	1.109	1.214
1.00	1.030	1.101	1.170	1.450	1.453	1.590
2.00	3.730	3.995	4.250	5.290	5.300	5.800
3.00	6.130	6.574	7.000	8.740	8.757	9.600
4.00	8.130	8.727	9.300	11.630	11.653	12.800
5.00	9.820	10.544	11.240	14.090	14.118	15.510
6.00	11.300	12.116	12.900	16.200	16.234	17.900
7.00	12.600	13.518	14.400	18.100	18.136	19.900
8.00	13.700	14.720	15.700	19.700	19.742	21.800
9.00	14.700	15.822	16.900	21.200	21.244	23.400
10.00	15.700	16.873	18.000	22.600	22.636	24.400
10.25	15.900	17.073	18.200	22.900	22.948	25.300
10.50	16.100	17.324	18.500	23.300	23.346	25.600
10.75	16.300	17.524	18.700	23.600	23.648	26.000
11.00	16.500	17.775	19.000	23.900	23.948	26.300
12.00	17.300	18.626	19.900	25.000	25.052	27.600
13.00	18.100	19.426	20.700	26.100	26.154	28.800
14.00	18.300	20.136	21.900	27.100	27.146	29.400
15.00	19.400	20.879	22.300	28.000	28.058	30.900
16.00	20.000	21.530	23.000	28.900	28.960	31.900
17.00	20.600	22.181	23.700	29.800	29.860	32.800
18.00	21.200	22.781	24.300	30.500	30.564	33.700
19.00	21.700	23.332	24.900	31.300	31.364	34.500
20.00	22.200	23.883	25.500	32.000	32.060	35.000
21.00	22.700	24.383	26.000	32.700	32.766	36.000
22.00	23.200	24.934	26.600	33.300	33.368	36.700
23.00	23.700	25.434	27.100	34.000	34.068	37.400
24.00	24.100	25.885	27.600	34.600	34.670	38.100
25.00	24.500	26.336	28.100	35.100	35.172	38.700

Fuente: STUMBO, C. R. (1973): *Thermobacteriology in food processing*

ANEXO C
Formato estándar para pruebas de penetración de calor

Prueba de penetración de calor: Determinación del punto crítico		
Producto: MENESTRON CON CARNE DE CERDO		
<u>Identificación del envase</u>		
Tipo/Capacidad del envase	Dimensiones del envase	
Hojalata - 3 piezas	In: x	mm: -
Espacio de cabeza:	Diam/Largo	Altura/Ancho
5 mm	6 ³ / ₁₆	6
Método de Procesamiento	Esterilización - Alimento de Baja Acidez	
<u>Identificación de la Retorta</u>		
Tipo de Retorta	Discontinua sin Agitación	
Medio de Calentamiento	Vapor Saturado	
Posicionamiento del envase en la retorta.	En el punto frío del equipo (parte superior)	
Comentarios	Sensor ubicado en el eje axial del envase a una altura de 7.62 cm. desde la base	
<u>Características de Proceso</u>		
Tiempo de Levante o CUT	23	Minutos
Tiempo de Retención	154	Minutos
Tiempo de Enfriamiento	40	Minutos
Temperatura de Retención	250	°F (grados Fahrenheit)
<u>Características del Producto</u>		
Peso neto mínimo:	Peso neto máximo:	
2630 gr.	2660 gr.	
pH antes de iniciar el proceso:	pH después del proceso:	
5.35	5.44	
Sensor		
Tipo de sensor	Data Trace Micropack I	
Numero del sensor	1	
Localización	Centro del envase	
F ₀ mínimo	6	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
PS049664		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
0	171.80	Inicio del CUT
1	171.55	
2	171.31	
3	171.04	
4	170.79	
5	170.52	
6	170.23	
7	169.98	
8	169.70	
9	169.48	
10	169.27	
11	169.08	
12	168.94	
13	168.82	
14	168.72	
15	168.72	
16	168.74	
17	168.80	
18	168.95	
19	169.11	
20	169.32	
21	169.63	
22	169.97	
23	170.34	Fin del CUT
24	170.77	Inicio de la Retención
25	171.20	
26	171.72	
27	172.26	
28	172.81	
29	173.42	
30	174.02	
31	174.67	
32	175.34	
33	175.97	
34	176.66	
35	177.36	
36	178.05	
37	178.78	
38	179.52	
39	180.24	
40	180.97	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
PS049664		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
41	181.71	
42	182.51	
43	183.25	
44	184.00	
45	184.75	
46	185.50	
47	186.24	
48	187.03	
49	187.80	
50	188.56	
51	189.28	
52	190.00	
53	190.79	
54	191.48	
55	192.24	
56	192.91	
57	193.65	
58	194.38	
59	195.08	
60	195.77	
61	196.46	
62	197.14	
63	197.83	
64	198.54	
65	199.19	
66	199.84	
67	200.52	
68	201.14	
69	201.80	
70	202.46	
71	203.10	
72	203.69	
73	204.34	
74	204.95	
75	205.54	
76	206.13	
77	206.77	
78	207.33	
79	207.89	
80	208.46	
81	209.02	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
PS049664		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
82	209.58	
83	210.15	
84	210.68	
85	211.25	
86	211.75	
87	212.25	
88	212.83	
89	213.32	
90	213.82	
91	214.29	
92	214.83	
93	215.31	
94	215.79	
95	216.28	
96	216.69	
97	217.20	
98	217.66	
99	218.11	
100	218.50	
101	218.96	
102	219.42	
103	219.87	
104	220.28	
105	220.67	
106	221.10	
107	221.51	
108	221.89	
109	222.29	
110	222.70	
111	223.06	
112	223.45	
113	223.81	
114	224.17	
115	224.50	
116	224.89	
117	225.23	
118	225.62	
119	225.98	
120	226.31	
121	226.62	
122	226.97	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
PS049664		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
123	227.31	
124	227.62	
125	227.98	
126	228.23	
127	228.55	
128	228.83	
129	229.17	
130	229.51	
131	229.77	
132	230.03	
133	230.33	
134	230.64	
135	230.90	
136	231.16	
137	231.42	
138	231.68	
139	231.95	
140	232.19	
141	232.46	
142	232.68	
143	232.94	
144	233.19	
145	233.46	
146	233.70	
147	233.88	
148	234.11	
149	234.36	
150	234.58	
151	234.81	
152	235.04	
153	235.17	
154	235.45	
155	235.68	
156	235.88	
157	236.04	
158	236.27	
159	236.46	
160	236.65	
161	236.88	
162	237.02	
163	237.25	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
PS049664		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
164	237.39	
165	237.58	
166	237.79	
167	237.98	
168	238.14	
169	238.33	
170	238.47	
171	238.64	
172	238.80	
173	238.92	
174	239.09	
175	239.28	
176	239.47	
177	239.64	
178	239.73	
179	239.88	
180	240.05	
181	240.17	
182	240.34	
183	240.43	Fin de retención/Inicio de enfriamiento
184	240.63	
185	240.77	
186	240.85	
187	241.02	
188	241.11	
189	241.21	
190	241.31	
191	241.41	
192	241.41	
193	241.46	
194	241.50	
195	241.41	
196	239.28	
197	238.92	
198	238.88	
199	238.52	
200	238.14	
201	237.48	
202	236.65	
203	235.70	
204	234.27	

ANEXO D
Formato estándar para pruebas de penetración de calor

Prueba de penetración de calor: Determinación del punto crítico		
Producto: MENESTRON CON CARNE DE CERDO		
<u>Identificación del envase</u>		
Tipo/Capacidad del envase	Dimensiones del envase	
Hojalata - 3 piezas	In: x	mm: -
Espacio de cabeza:	Diam/Largo	Altura/Ancho
5 mm	6 ³ / ₁₆	6
Método de Procesamiento	Esterilización - Alimento de Baja Acidez	
<u>Identificación de la Retorta</u>		
Tipo de Retorta	Discontinua sin Agitación	
Medio de Calentamiento	Vapor Saturado	
Posicionamiento del envase en la retorta.	En el punto frío del equipo (parte superior)	
Comentarios	Sensor ubicado en el eje axial del envase a una altura de 5.08 cm. desde la base	
<u>Características de Proceso</u>		
Tiempo de Levante o CUT	23	Minutos
Tiempo de Retención	154	Minutos
Tiempo de Enfriamiento	40	Minutos
Temperatura de Retención	250	°F (grados Fahrenheit)
<u>Características del Producto</u>		
Peso neto mínimo:	Peso neto máximo:	
2630 gr.	2660 gr.	
pH antes de iniciar el proceso:	pH después del proceso:	
5.35	5.44	
Sensor		
Tipo de sensor	Data Trace Micropack I	
Numero del sensor	2	
Localización	En el eje axial, a 5.08 cm. desde la base	
F ₀ mínimo	6	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
ST048541		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
0	169.44	Inicio del CUT
1	169.38	
2	169.30	
3	169.17	
4	169.04	
5	168.90	
6	168.80	
7	168.65	
8	168.52	
9	168.37	
10	168.22	
11	168.10	
12	167.93	
13	167.75	
14	167.64	
15	167.56	
16	167.49	
17	167.43	
18	167.41	
19	167.45	
20	167.52	
21	167.63	
22	167.73	
23	167.93	Fin del CUT
24	168.14	Inicio de la Retención
25	168.41	
26	168.69	
27	168.96	
28	169.26	
29	169.60	
30	169.99	
31	170.38	
32	170.79	
33	171.26	
34	171.73	
35	172.23	
36	172.72	
37	173.21	
38	173.76	
39	174.30	
40	174.85	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
ST048541		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
41	175.40	
42	175.96	
43	176.60	
44	177.16	
45	177.80	
46	178.39	
47	179.00	
48	179.56	
49	180.20	
50	180.86	
51	181.44	
52	182.08	
53	182.71	
54	183.38	
55	184.05	
56	184.71	
57	185.33	
58	185.96	
59	186.62	
60	187.28	
61	187.90	
62	188.55	
63	189.22	
64	189.88	
65	190.54	
66	191.15	
67	191.83	
68	192.48	
69	193.11	
70	193.81	
71	194.46	
72	195.08	
73	195.70	
74	196.38	
75	196.98	
76	197.61	
77	198.23	
78	198.87	
79	199.43	
80	200.03	
81	200.67	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
ST048541		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
82	201.22	
83	201.86	
84	202.47	
85	203.03	
86	203.58	
87	204.18	
88	204.71	
89	205.30	
90	205.86	
91	206.42	
92	206.97	
93	207.52	
94	208.02	
95	208.60	
96	209.09	
97	209.67	
98	210.18	
99	210.69	
100	211.19	
101	211.73	
102	212.18	
103	212.70	
104	213.27	
105	213.69	
106	214.16	
107	214.62	
108	215.11	
109	215.63	
110	216.06	
111	216.54	
112	216.98	
113	217.39	
114	217.87	
115	218.33	
116	218.73	
117	219.13	
118	219.58	
119	219.97	
120	220.39	
121	220.77	
122	221.22	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
ST048541		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
123	221.59	
124	221.97	
125	222.35	
126	222.73	
127	223.11	
128	223.47	
129	223.81	
130	224.18	
131	224.52	
132	224.89	
133	225.24	
134	225.63	
135	225.96	
136	226.33	
137	226.64	
138	226.98	
139	227.29	
140	227.65	
141	227.90	
142	228.24	
143	228.54	
144	228.84	
145	229.14	
146	229.43	
147	229.76	
148	230.02	
149	230.30	
150	230.58	
151	230.82	
152	231.17	
153	231.43	
154	231.69	
155	231.94	
156	232.22	
157	232.44	
158	232.67	
159	232.93	
160	233.20	
161	233.45	
162	233.65	
163	233.92	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
ST048541		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
164	234.12	
165	234.37	
166	234.57	
167	234.78	
168	235.03	
169	235.21	
170	235.46	
171	235.65	
172	235.85	
173	236.04	
174	236.22	
175	236.48	
176	236.62	
177	236.87	
178	237.01	
179	237.25	
180	237.41	
181	237.62	
182	237.81	
183	237.97	Fin de retención/Inicio de enfriamiento
184	238.09	
185	238.35	
186	239.04	
187	238.85	
188	238.82	
189	239.11	
190	239.78	
191	239.90	
192	240.24	
193	240.00	
194	240.75	
195	239.78	
196	239.37	
197	239.44	
198	239.44	
199	239.44	
200	239.30	
201	239.16	
202	238.94	
203	238.37	
204	238.23	

ANEXO E

Evaluación del proceso térmico aplicando el método general

Tiempo (min)	Temperatura (°F)	Letalidad (L)	Letalidad de proceso (F _o)
56	184.71	0.001	-
57	185.33	0.001	-
58	185.96	0.001	-
59	186.62	0.001	-
60	187.28	0.001	-
61	187.90	0.001	-
62	188.55	0.001	-
63	189.22	0.001	-
64	189.88	0.001	-
65	190.54	0.001	0.01
66	191.15	0.001	0.01
67	191.83	0.001	0.01
68	192.48	0.001	0.01
69	193.11	0.001	0.01
70	193.81	0.001	0.01
71	194.46	0.001	0.01
72	195.08	0.001	0.01
73	195.70	0.001	0.01
74	196.38	0.001	0.01
75	196.98	0.001	0.01
76	197.61	0.001	0.02
77	198.23	0.001	0.02
78	198.87	0.001	0.02
79	199.43	0.002	0.02
80	200.03	0.002	0.02
81	200.67	0.002	0.02
82	201.22	0.002	0.03
83	201.86	0.002	0.03
84	202.47	0.002	0.03
85	203.03	0.002	0.03
86	203.58	0.003	0.04
87	204.18	0.003	0.04
88	204.71	0.003	0.04
89	205.30	0.003	0.04
90	205.86	0.004	0.05
91	206.42	0.004	0.05
92	206.97	0.004	0.06
93	207.52	0.004	0.06
94	208.02	0.005	0.07
95	208.60	0.005	0.07
96	209.09	0.005	0.08
97	209.67	0.006	0.08

Tiempo (min)	Temperatura (°F)	Letalidad (L)	Letalidad de proceso (F_o)
98	210.18	0.006	0.09
99	210.69	0.007	0.09
100	211.19	0.007	0.10
101	211.73	0.007	0.11
102	212.18	0.008	0.12
103	212.70	0.008	0.12
104	213.27	0.009	0.13
105	213.69	0.010	0.14
106	214.16	0.010	0.15
107	214.62	0.011	0.16
108	215.11	0.012	0.18
109	215.63	0.012	0.19
110	216.06	0.013	0.20
111	216.54	0.014	0.22
112	216.98	0.015	0.23
113	217.39	0.015	0.25
114	217.87	0.016	0.26
115	218.33	0.017	0.28
116	218.73	0.018	0.30
117	219.13	0.019	0.32
118	219.58	0.020	0.34
119	219.97	0.021	0.36
120	220.39	0.023	0.38
121	220.77	0.024	0.40
122	221.22	0.025	0.43
123	221.59	0.026	0.46
124	221.97	0.028	0.48
125	222.35	0.029	0.51
126	222.73	0.031	0.54
127	223.11	0.032	0.58
128	223.47	0.034	0.61
129	223.81	0.035	0.64
130	224.18	0.037	0.68
131	224.52	0.038	0.72
132	224.89	0.040	0.76
133	225.24	0.042	0.80
134	225.63	0.044	0.85
135	225.96	0.046	0.89
136	226.33	0.048	0.94
137	226.64	0.050	0.99
138	226.98	0.053	1.04
139	227.29	0.055	1.10
140	227.65	0.057	1.16
141	227.90	0.059	1.22
142	228.24	0.062	1.28
143	228.54	0.064	1.34

Tiempo (min)	Temperatura (°F)	Letalidad (L)	Letalidad de proceso (F _o)
144	228.84	0.067	1.41
145	229.14	0.069	1.48
146	229.43	0.072	1.55
147	229.76	0.075	1.62
148	230.02	0.078	1.70
149	230.30	0.080	1.78
150	230.58	0.083	1.87
151	230.82	0.086	1.95
152	231.17	0.090	2.04
153	231.43	0.093	2.13
154	231.69	0.096	2.23
155	231.94	0.099	2.33
156	232.22	0.103	2.43
157	232.44	0.106	2.54
158	232.67	0.109	2.65
159	232.93	0.113	2.76
160	233.20	0.117	2.88
161	233.45	0.120	3.00
162	233.65	0.123	3.12
163	233.92	0.128	3.25
164	234.12	0.131	3.38
165	234.37	0.135	3.52
166	234.57	0.139	3.65
167	234.78	0.143	3.80
168	235.03	0.147	3.94
169	235.21	0.151	4.09
170	235.46	0.156	4.25
171	235.65	0.159	4.41
172	235.85	0.164	4.57
173	236.04	0.168	4.74
174	236.22	0.172	4.91
175	236.48	0.177	5.09
176	236.62	0.180	5.27
177	236.87	0.186	5.46
178	237.01	0.190	5.65
179	237.25	0.196	5.84
180	237.41	0.200	6.04
181	237.62	0.205	6.25
182	237.81	0.210	6.46
183	237.97	0.215	6.67
184	238.09	0.218	6.89
185	238.35	0.225	7.12
186	239.04	0.246	7.36
187	238.85	0.240	7.60
188	238.82	0.239	7.84
189	239.11	0.248	8.09

Tiempo (min)	Temperatura (°F)	Letalidad (L)	Letalidad de proceso (F_o)
190	239.78	0.271	8.36
191	239.90	0.275	8.63
192	240.24	0.287	8.92
193	240.00	0.278	9.20
194	240.75	0.306	9.51
195	239.78	0.271	9.78
196	239.37	0.257	10.03
197	239.44	0.259	10.29
198	239.44	0.259	10.55
199	239.44	0.259	10.81
200	239.30	0.254	11.07
201	239.16	0.250	11.32
202	238.94	0.243	11.56
203	238.37	0.226	11.78
204	238.23	0.222	12.01
205	237.97	0.215	12.22
206	237.60	0.205	12.43
207	237.13	0.193	12.62
208	236.57	0.179	12.80
209	235.83	0.163	12.96
210	235.10	0.149	13.11
211	218.42	0.018	13.13
212	215.91	0.013	13.14
213	214.40	0.011	13.15
214	213.03	0.009	13.16
215	211.75	0.007	13.17
216	210.73	0.007	13.17
217	208.77	0.005	13.18
218	206.97	0.004	13.18
219	206.23	0.004	13.19
220	205.20	0.003	13.19
221	203.87	0.003	13.19
222	202.34	0.002	13.19
223	200.68	0.002	13.20
224	198.94	0.001	13.20

ANEXO F
Formato estándar para pruebas de penetración de calor

Prueba de penetración de calor: Determinación del punto crítico		
Producto: MENESTRON CON CARNE DE CERDO		
<u>Identificación del envase</u>		
Tipo/Capacidad del envase	Dimensiones del envase	
Hojalata - 3 piezas	In: x	mm: -
Espacio de cabeza:	Diam/Largo	Altura/Ancho
5 mm	6 ³ / ₁₆	6
Método de Procesamiento	Esterilización - Alimento de Baja Acidez	
<u>Identificación de la Retorta</u>		
Tipo de Retorta	Discontinua sin Agitación	
Medio de Calentamiento	Vapor Saturado	
Posicionamiento del envase en la retorta.	En el punto frío del equipo (parte superior)	
Comentarios	Prueba de optimización, sensor ubicado en la pared del envase a una altura de 5,08 cm. desde su base	
<u>Características de Proceso</u>		
Tiempo de Levante o CUT	23	Minutos
Tiempo de Retención	161	Minutos
Tiempo de Enfriamiento	40	Minutos
Temperatura de Retención	250	°F (grados Fahrenheit)
<u>Características del Producto</u>		
Peso neto mínimo:	Peso neto máximo:	
2630 gr.	2660 gr.	
pH antes de iniciar el proceso:	pH después del proceso:	
5.2	5.24	
Sensor		
Tipo de sensor	Data Trace Micropack I	
Numero del sensor	1	
Localización	En la pared del envase, a 5.08 cm de altura desde su base	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
M3T15925		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
0	180.68	Inicio del CUT
1	179.96	
2	179.60	
3	179.96	
4	180.68	
5	181.76	
6	182.66	
7	183.56	
8	184.46	
9	185.54	
10	186.44	
11	187.52	
12	188.24	
13	189.14	
14	190.04	
15	191.12	
16	192.38	
17	194.00	
18	195.62	
19	197.24	
20	199.04	
21	200.84	
22	202.82	
23	204.44	Fin del CUT
24	206.06	Inicio de la Retención
25	207.50	
26	208.76	
27	210.02	
28	210.92	
29	211.82	
30	212.72	
31	213.44	
32	214.16	
33	214.88	
34	215.42	
35	215.96	
36	216.32	
37	216.68	
38	217.04	
39	217.22	
40	217.58	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
M3T15925		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
41	217.76	
42	217.94	
43	218.30	
44	218.48	
45	218.84	
46	219.02	
47	219.20	
48	219.56	
49	219.74	
50	219.92	
51	220.28	
52	220.46	
53	220.82	
54	221.00	
55	221.36	
56	221.54	
57	221.90	
58	222.08	
59	222.44	
60	222.62	
61	222.98	
62	223.34	
63	223.52	
64	223.88	
65	224.24	
66	224.42	
67	224.78	
68	224.96	
69	225.32	
70	225.50	
71	225.86	
72	226.22	
73	226.40	
74	226.76	
75	226.94	
76	227.30	
77	227.48	
78	227.84	
79	228.02	
80	228.38	
81	228.56	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
M3T15925		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
82	228.92	
83	229.10	
84	229.46	
85	229.64	
86	230.00	
87	230.18	
88	230.54	
89	230.72	
90	231.08	
91	231.26	
92	231.62	
93	231.80	
94	232.16	
95	232.34	
96	232.52	
97	232.88	
98	233.06	
99	233.24	
100	233.60	
101	233.78	
102	233.96	
103	234.32	
104	234.50	
105	234.68	
106	235.04	
107	235.22	
108	235.40	
109	235.58	
110	235.94	
111	236.12	
112	236.30	
113	236.48	
114	236.66	
115	237.02	
116	237.20	
117	237.38	Alcance de Fo mínimo (Fo = 6)
118	237.56	
119	237.74	
120	237.92	
121	238.10	
122	238.28	

Sensor ID:		Nombre del Producto:
M3T15925		Menestrón con carne de cerdo
Tiempo	Temperatura	Observaciones
min.	°F	
123	238.46	
124	238.64	
125	238.82	
126	239.00	
127	239.18	
128	239.18	
129	239.36	
130	239.18	
131	239.18	
132	239.18	
133	239.18	
134	239.36	
135	239.54	
136	239.72	
137	239.90	
138	240.08	
139	240.08	
140	240.26	
141	240.44	
142	240.62	
143	240.80	
144	240.98	
145	240.98	
146	241.16	
147	241.34	
148	241.52	
149	241.52	
150	241.70	
151	241.88	
152	241.88	
153	242.06	
154	242.24	
155	242.24	
156	242.42	
157	242.60	
158	242.60	
159	242.78	
160	242.96	
161	242.96	
162	243.14	
163	243.14	

ANEXO G

Determinación del valor de cocción en la pared del envase aplicando la ecuación de Mansfield

Tiempo (min)	Temperatura (°F)	Z = 47.7 °F		Z = 59.58 °F	
		C ₂₁₂	C ₂₅₀	C ₂₁₂	C ₂₅₀
0	180.68	0.220	0.035	0.298	0.069
1	179.96	0.213	0.034	0.290	0.067
2	179.6	0.209	0.033	0.286	0.066
3	179.96	0.213	0.034	0.290	0.067
4	180.68	0.220	0.035	0.298	0.069
5	181.76	0.232	0.037	0.311	0.072
6	182.66	0.243	0.039	0.322	0.074
7	183.56	0.253	0.040	0.333	0.077
8	184.46	0.265	0.042	0.345	0.079
9	185.54	0.279	0.045	0.360	0.083
10	186.44	0.291	0.047	0.372	0.086
11	187.52	0.307	0.049	0.388	0.089
12	188.24	0.318	0.051	0.399	0.092
13	189.14	0.332	0.053	0.413	0.095
14	190.04	0.346	0.055	0.428	0.099
15	191.12	0.365	0.058	0.446	0.103
16	192.38	0.388	0.062	0.468	0.108
17	194	0.419	0.067	0.499	0.115
18	195.62	0.454	0.072	0.531	0.122
19	197.24	0.490	0.078	0.565	0.130
20	199.04	0.535	0.085	0.606	0.140
21	200.84	0.583	0.093	0.650	0.150
22	202.82	0.642	0.103	0.701	0.161
23	204.44	0.694	0.111	0.747	0.172
24	206.06	0.751	0.120	0.795	0.183
25	207.5	0.805	0.129	0.840	0.193
26	208.76	0.855	0.137	0.882	0.203
27	210.02	0.909	0.145	0.926	0.213
28	210.92	0.949	0.152	0.959	0.221
29	211.82	0.991	0.158	0.993	0.229
30	212.72	1.035	0.165	1.028	0.237
31	213.44	1.072	0.171	1.057	0.243
32	214.16	1.110	0.177	1.087	0.250
33	214.88	1.149	0.184	1.118	0.257
34	215.42	1.180	0.188	1.141	0.263
35	215.96	1.211	0.193	1.165	0.268
36	216.32	1.232	0.197	1.182	0.272
37	216.68	1.253	0.200	1.198	0.276
38	217.04	1.275	0.204	1.215	0.280
39	217.22	1.287	0.205	1.224	0.282

Tiempo (min)	Temperatura (°F)	Z = 47.7 °F		Z = 59.58 °F	
		C ₂₁₂	C ₂₅₀	C ₂₁₂	C ₂₅₀
40	217.58	1.309	0.209	1.241	0.286
41	217.76	1.321	0.211	1.249	0.288
42	217.94	1.332	0.213	1.258	0.290
43	218.3	1.355	0.216	1.276	0.294
44	218.48	1.367	0.218	1.285	0.296
45	218.84	1.391	0.222	1.303	0.300
46	219.02	1.403	0.224	1.312	0.302
47	219.2	1.416	0.226	1.321	0.304
48	219.56	1.440	0.230	1.339	0.308
49	219.74	1.453	0.232	1.349	0.311
50	219.92	1.466	0.234	1.358	0.313
51	220.28	1.491	0.238	1.377	0.317
52	220.46	1.504	0.240	1.387	0.319
53	220.82	1.531	0.244	1.406	0.324
54	221	1.544	0.247	1.416	0.326
55	221.36	1.571	0.251	1.436	0.331
56	221.54	1.585	0.253	1.446	0.333
57	221.9	1.613	0.258	1.466	0.338
58	222.08	1.627	0.260	1.476	0.340
59	222.44	1.655	0.264	1.497	0.345
60	222.62	1.670	0.267	1.507	0.347
61	222.98	1.699	0.271	1.529	0.352
62	223.34	1.729	0.276	1.550	0.357
63	223.52	1.744	0.279	1.561	0.359
64	223.88	1.774	0.283	1.583	0.364
65	224.24	1.806	0.288	1.605	0.370
66	224.42	1.821	0.291	1.616	0.372
67	224.78	1.853	0.296	1.639	0.377
68	224.96	1.869	0.299	1.650	0.380
69	225.32	1.902	0.304	1.673	0.385
70	225.5	1.919	0.306	1.685	0.388
71	225.86	1.952	0.312	1.709	0.393
72	226.22	1.987	0.317	1.732	0.399
73	226.4	2.004	0.320	1.745	0.402
74	226.76	2.039	0.326	1.769	0.407
75	226.94	2.057	0.329	1.781	0.410
76	227.3	2.093	0.334	1.806	0.416
77	227.48	2.111	0.337	1.819	0.419
78	227.84	2.148	0.343	1.844	0.425
79	228.02	2.167	0.346	1.857	0.428
80	228.38	2.205	0.352	1.883	0.434
81	228.56	2.224	0.355	1.896	0.437
82	228.92	2.263	0.361	1.923	0.443
83	229.1	2.283	0.365	1.936	0.446
84	229.46	2.323	0.371	1.964	0.452

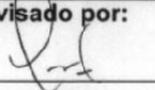
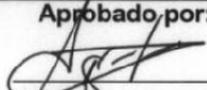
Tiempo (min)	Temperatura (°F)	Z = 47.7 °F		Z = 59.58 °F	
		C ₂₁₂	C ₂₅₀	C ₂₁₂	C ₂₅₀
85	229.64	2.343	0.374	1.977	0.455
86	230	2.384	0.381	2.005	0.462
87	230.18	2.405	0.384	2.019	0.465
88	230.54	2.447	0.391	2.047	0.471
89	230.72	2.469	0.394	2.062	0.475
90	231.08	2.512	0.401	2.090	0.481
91	231.26	2.534	0.405	2.105	0.485
92	231.62	2.578	0.412	2.135	0.491
93	231.8	2.601	0.415	2.149	0.495
94	232.16	2.646	0.423	2.180	0.502
95	232.34	2.669	0.426	2.195	0.505
96	232.52	2.693	0.430	2.210	0.509
97	232.88	2.740	0.438	2.241	0.516
98	233.06	2.764	0.441	2.257	0.520
99	233.24	2.788	0.445	2.272	0.523
100	233.6	2.837	0.453	2.304	0.531
101	233.78	2.862	0.457	2.320	0.534
102	233.96	2.887	0.461	2.337	0.538
103	234.32	2.937	0.469	2.369	0.546
104	234.5	2.963	0.473	2.386	0.549
105	234.68	2.989	0.477	2.403	0.553
106	235.04	3.041	0.486	2.436	0.561
107	235.22	3.068	0.490	2.453	0.565
108	235.4	3.094	0.494	2.470	0.569
109	235.58	3.121	0.499	2.488	0.573
110	235.94	3.176	0.507	2.522	0.581
111	236.12	3.204	0.512	2.540	0.585
112	236.3	3.232	0.516	2.558	0.589
113	236.48	3.260	0.521	2.576	0.593
114	236.66	3.288	0.525	2.594	0.597
115	237.02	3.346	0.534	2.630	0.606
116	237.2	3.375	0.539	2.648	0.610
117	237.38	3.405	0.544	2.667	0.614
118	237.56	3.434	0.549	2.685	0.618
119	237.74	3.464	0.553	2.704	0.623
120	237.92	3.495	0.558	2.723	0.627
121	238.1	3.525	0.563	2.742	0.631
122	238.28	3.556	0.568	2.761	0.636
123	238.46	3.587	0.573	2.780	0.640
124	238.64	3.618	0.578	2.800	0.645
125	238.82	3.650	0.583	2.819	0.649
126	239	3.682	0.588	2.839	0.654
127	239.18	3.714	0.593	2.859	0.658
128	239.18	3.714	0.593	2.859	0.658
129	239.36	3.746	0.598	2.879	0.663

Tiempo (min)	Temperatura (°F)	Z = 47.7 °F		Z = 59.58 °F	
		C ₂₁₂	C ₂₅₀	C ₂₁₂	C ₂₅₀
130	239.18	3.714	0.593	2.859	0.658
131	239.18	3.714	0.593	2.859	0.658
132	239.18	3.714	0.593	2.859	0.658
133	239.18	3.714	0.593	2.859	0.658
134	239.36	3.746	0.598	2.879	0.663
135	239.54	3.779	0.604	2.899	0.667
136	239.72	3.812	0.609	2.919	0.672
137	239.9	3.845	0.614	2.940	0.677
138	240.08	3.879	0.619	2.960	0.682
139	240.08	3.879	0.619	2.960	0.682
140	240.26	3.912	0.625	2.981	0.686
141	240.44	3.947	0.630	3.002	0.691
142	240.62	3.981	0.636	3.022	0.696
143	240.8	4.016	0.641	3.044	0.701
144	240.98	4.051	0.647	3.065	0.706
145	240.98	4.051	0.647	3.065	0.706
146	241.16	4.086	0.653	3.086	0.711
147	241.34	4.122	0.658	3.108	0.716
148	241.52	4.158	0.664	3.129	0.721
149	241.52	4.158	0.664	3.129	0.721
150	241.7	4.194	0.670	3.151	0.726
151	241.88	4.231	0.676	3.173	0.731
152	241.88	4.231	0.676	3.173	0.731
153	242.06	4.268	0.682	3.195	0.736
154	242.24	4.305	0.688	3.218	0.741
155	242.24	4.305	0.688	3.218	0.741
156	242.42	4.342	0.694	3.240	0.746
157	242.6	4.380	0.700	3.263	0.751
158	242.6	4.380	0.700	3.263	0.751
159	242.78	4.419	0.706	3.286	0.757
160	242.96	4.457	0.712	3.309	0.762
161	242.96	4.457	0.712	3.309	0.762
162	243.14	4.496	0.718	3.332	0.767
163	243.14	4.496	0.718	3.332	0.767
164	243.32	4.535	0.724	3.355	0.772
165	243.32	4.535	0.724	3.355	0.772
166	243.5	4.575	0.731	3.378	0.778
167	243.68	4.615	0.737	3.402	0.783
168	243.68	4.615	0.737	3.402	0.783
169	243.86	4.655	0.743	3.426	0.789
170	243.86	4.655	0.743	3.426	0.789
171	244.04	4.696	0.750	3.450	0.794
172	244.22	4.737	0.757	3.474	0.800
173	244.22	4.737	0.757	3.474	0.800
174	244.4	4.778	0.763	3.498	0.805

Tiempo (min)	Temperatura (°F)	Z = 47.7 °F		Z = 59.58 °F	
		C ₂₁₂	C ₂₅₀	C ₂₁₂	C ₂₅₀
175	244.58	4.820	0.770	3.522	0.811
176	244.58	4.820	0.770	3.522	0.811
177	244.76	4.862	0.777	3.547	0.817
178	244.76	4.862	0.777	3.547	0.817
179	244.94	4.904	0.783	3.572	0.822
180	244.94	4.904	0.783	3.572	0.822
181	245.12	4.947	0.790	3.597	0.828
182	245.12	4.947	0.790	3.597	0.828
183	245.12	4.947	0.790	3.597	0.828
184	245.3	4.990	0.797	3.622	0.834
		ΣC_{212}	ΣC_{250}	ΣC_{212}	ΣC_{250}
		481.81	76.95	386.13	88.91

ANEXO H

FADESA - Reporte de calibración de la selladora Somme 222

FADESA		DESARROLLO DE PRODUCTOS	
ESPECIFICACION DE PRODUCTO TERMINADO		CODIGO: EDE-2650	PAGINA: 1/1
Revisado por:	Aprobado por:	REVISION: 02	Fecha: 2005-06-02
		Observaciones:	
Asistente Desarrollo	Jefe Aseg. Calidad	Emisión: 2006-11-21	
		Ref: EDE-2921	

DESCRIPCIÓN DE ENVASES Y ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES

Cliente : **Escuela Politécnica** Capacidad : $2640 \pm 2.5 \% \text{ cm}^3$
 Tamaño : **603x600 (153x152)** Producto : **Vegetales;**
 Tipo : **Welded-Beaded** **Cárnicos**

A. CUERPOS

Metal usado : **Sustrato**
ETP
Barnizado :
 Interior : **Barniz sanitario blanco**
 Exterior : **Barniz transparente, o**
Impresión + Barniz transparente

Costura Lateral:

Interior : **Barniz sanitario**
 Exterior : **Barniz transparente**

Dimensiones :

Altura de envase : **$6.000" \pm 0.020"$**
 Largo de pestaña : **$0.115" \pm 0.015"$**
 Diámetro interior : **$6.030" \pm 0.005"$**

B. TAPAS

Metal usado : **Sustrato**
ETP - TFS
Barnizado :
 Interior : **Barniz sanitario blanco**
 Exterior : **Barniz transparente, o**
Impresión + Barniz transparente

Dimensiones :

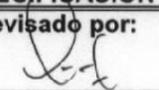
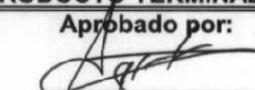
Chuk fit : **Pasa: 6.280"** **No pasa: 6.283"** **(Check dimension)**
 Diámetro exterior : **$6.467" \pm 0.010"$**
 Pin fit : **0.147" mínimo**
 Largo de pestaña : **$0.288" \pm 0.015"$**
 Tapas en 2 pulgadas : **26 ± 3**
 Embutido : **$0.114" \pm 0.005"$**
 Compuesto sellante : **Base de solvente**

Nota: Materiales utilizados cumplen regulaciones FDA

El uso referido se basa en nuestras experiencias y ensayos de laboratorio, deben ser consideradas como recomendaciones. El "cliente" debe realizar sus propios ensayos y determinar las condiciones idóneas para cada uso específico.

FADESA

DESARROLLO DE PRODUCTOS

ESPECIFICACION DE PRODUCTO TERMINADO		CODIGO: EDE-2921	PAGINA: 1/1
Revisado por:	Aprobado por:	REVISION: 01	Fecha: 2006-11-21
		Observaciones:	
Asistente Desarrollo	Jefe Aseg. Calidad	Emisión: 2006-11-21	

GUIA PARA AJUSTES DE CERRADORAS DE CLIENTES

Cliente : **Escuela Politécnica**
 Tamaño : **603x600 - (153x152)**
 Tipo : **Welded - Beaded / Tapa Estándar**

DIMENSIONES

(Para envases de tres piezas las medidas deben tomarse por lo menos a media pulgada del cruce de traslape).

ESPESOR DEL LABIO DEL MANDRIL: **0.125"**

ITEM	IDEAL	LIMITES DE OPERACION	
Ancho 1ª operación:			Max.: 0,108
Espesor 1ª operación:	0,091	Min.: 0,086	Max.: 0,096
Embutido 2ª operación:	0,129	Min.: 0,125	Max.: 0,135
Ancho 2ª operación:			Max.: 0,130
Espesor 2ª operación:	0,061	Min.: 0,058	Max.: 0,064
Gancho del cuerpo:	0,090	Min.: 0,082	Max.: 0,098
Gancho de la tapa:		Min.: 0,080	
Overlap:		Min.: 0,049	
Planchado (%):	100	Min.: 95	

NOTA: Las unidades del presente documento están en pulgadas.

Estas dimensiones son recomendaciones diseñadas para referencia en el ajuste de la máquina y el mantenimiento de la integridad del doble cierre, la determinación final de su aceptabilidad es de responsabilidad del conservero y deberá estar basada en la evaluación total del cierre efectuada por una persona calificada y no por las dimensiones solamente.

La fabricación óptima de un doble cierre requiere de inspección visual constante, examen interno secuencial, mantenimiento del equipo e inmediata corrección de condiciones inaceptables de calidad.



28/02/2007 : Comentario [Env. 603x600R]

***** FADESA *****

Fecha 2007-02-26 Cerradora Canco
 Turno B Inspector Jefferson Tenorio
 Tamaño de envase 603x600R Tipo de tapa Plana TFS
 Línea SB06 SBW Observacion Atun



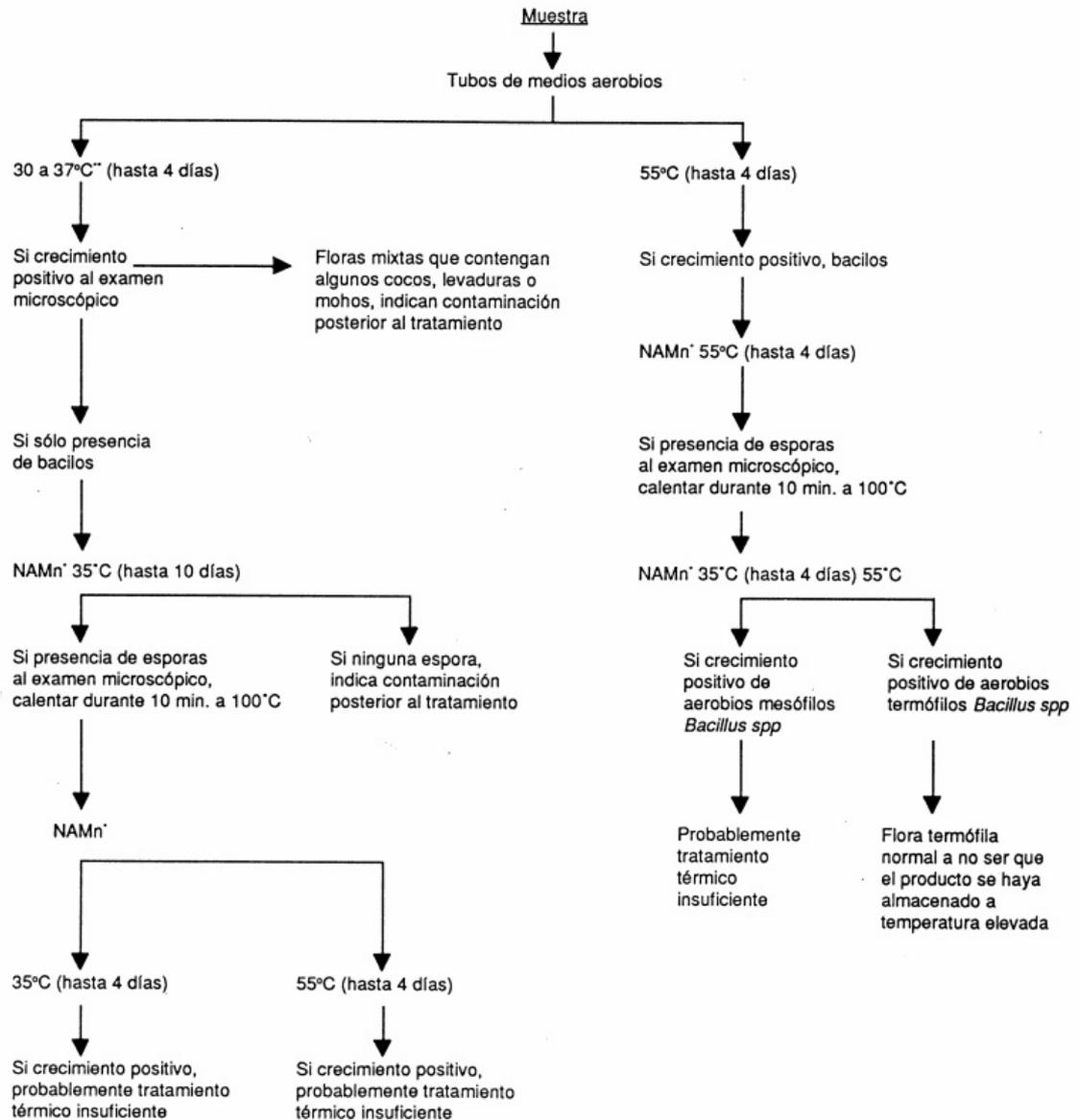
***** DOBLE CIERRE *****

Informe ID: 797 En último lugar fecha calibración 22/02/2007
 Enlate Esp.: 603x600 No. Cabeza 8
 Línea: SBW Medic. Por. Cabeza 3 Inch

Fecha / Tiempo	CB	SC	Esp. Corp.	Esp. Tapa	Espesor	Altura C.	ofundidi	Gancho Tapa	Gancho Cuerpo	Traslape	% Traslape	PG Cuer.	H. Cost	Espcio Libre	Apretadd
Min			0.0087	0.0071	0.054	0.120	0.125	0.080	0.085	0.049	0.0	60.0	0.000	0.0	0
Nom			0.0091	0.0075	0.057	0.125	0.129	0.085	0.090	0.054	0.0	80.0	0.001	0.0	0
Max			0.0094	0.0079	0.060	0.130	0.135	0.095	0.095	0.060	0.0	100.0	0.001	0.0	0
22:35 26/02/2007	*	1 1	0.0094	*0.0110	0.059	0.130	0.132	0.087	0.089	0.056	60.5	80.7	0.000	87.8	100
	*	1 2			0.060	0.129	0.131	0.086	0.086	0.056	59.2	80.1	*0.002	86.3	
22:36 26/02/2007	*	1 3			0.060	0.130	0.130	0.089	0.089	0.057	62.7	80.7	*0.002	86.3	
	*	2 1			0.060	0.129	0.133	0.085	0.085	0.053	56.9	77.4	0.001	86.3	95
22:37 26/02/2007	*	2 2			0.059	0.125	0.132	0.081	0.088	0.053	61.4	82.2	0.000	87.8	
	*	2 3			0.060	0.127	0.134	0.086	0.085	0.056	60.6	79.0	*0.002	86.3	
	*	3 1			0.060	0.124	0.131	0.084	0.085	0.056	63.8	81.6	0.000	86.3	100
22:39 26/02/2007	*	3 2			0.060	0.124	0.129	0.088	0.085	0.060	67.7	83.5	0.000	86.3	
	*	3 3			0.059	0.128	0.129	0.084	0.087	0.052	59.5	81.2	0.000	87.8	
	*	4 1			0.058	*0.131	0.128	0.084	0.088	0.052	55.9	78.9	*0.006	89.3	100
22:40 26/02/2007	*	4 2			0.060	0.130	0.128	0.089	0.087	0.053	60.3	78.7	*0.002	86.3	
	*	4 3			0.060	0.125	0.131	0.083	0.085	0.054	60.9	82.5	*0.002	86.3	
22:41 26/02/2007	*	5 1			0.059	0.130	0.130	0.087	0.087	0.055	58.5	79.5	0.000	87.8	95
	*	5 2			0.060	0.130	0.129	0.085	0.089	0.054	58.1	81.5	0.001	86.3	
22:42 26/02/2007	*	5 3			0.058	0.130	0.129	0.086	0.087	0.054	57.7	79.5	0.001	89.3	
	*	6 1			0.060	0.126	0.133	0.088	0.086	0.057	65.4	81.0	*0.002	86.3	100
	*	6 2			0.060	0.126	0.131	0.083	0.087	0.053	61.6	83.8	0.000	86.3	
22:43 26/02/2007	*	6 3			0.060	0.125	0.133	0.087	0.085	0.058	64.9	79.9	*0.005	86.3	
	*	7 1			0.059	0.122	0.129	0.086	0.087	0.060	71.5	87.7	*0.002	87.8	95
22:44 26/02/2007	*	7 2			0.060	0.130	0.130	0.082	0.086	0.049	53.2	76.8	0.001	86.3	
	*	7 3			0.059	0.122	0.131	0.088	0.085	0.060	70.8	82.5	*0.010	87.8	
22:46 26/02/2007	*	8 1			0.059	0.126	0.131	0.086	0.085	0.055	63.2	80.7	0.000	87.8	95
	*	8 2			0.058	0.129	0.129	0.084	0.085	0.050	54.4	79.0	*0.003	89.3	
	*	8 3			0.060	0.127	0.129	0.086	0.089	0.057	64.8	83.3	0.001	86.3	
Result. Min			0.0094	0.0110	0.058	0.122	0.128	0.081	0.085	0.049	53.2	76.8	0.000	0.0	95
Result. Max			0.0094	0.0110	0.060	0.131	0.134	0.089	0.089	0.060	71.5	87.7	0.010	0.0	100
Result. Rango			0.0000	0.0000	0.003	0.009	0.006	0.008	0.004	0.012	18.2	10.8	0.010	0.0	5
Result. Promedio			0.0094	0.0110	0.059	0.127	0.131	0.086	0.087	0.055	61.4	80.9	0.002	87.1	98
Result. Normdev.			0.0000	0.0000	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	4.6	2.3	0.002	1.1	3

ANEXO I

Diagrama para el análisis aerobio de alimentos poco ácidos envasados

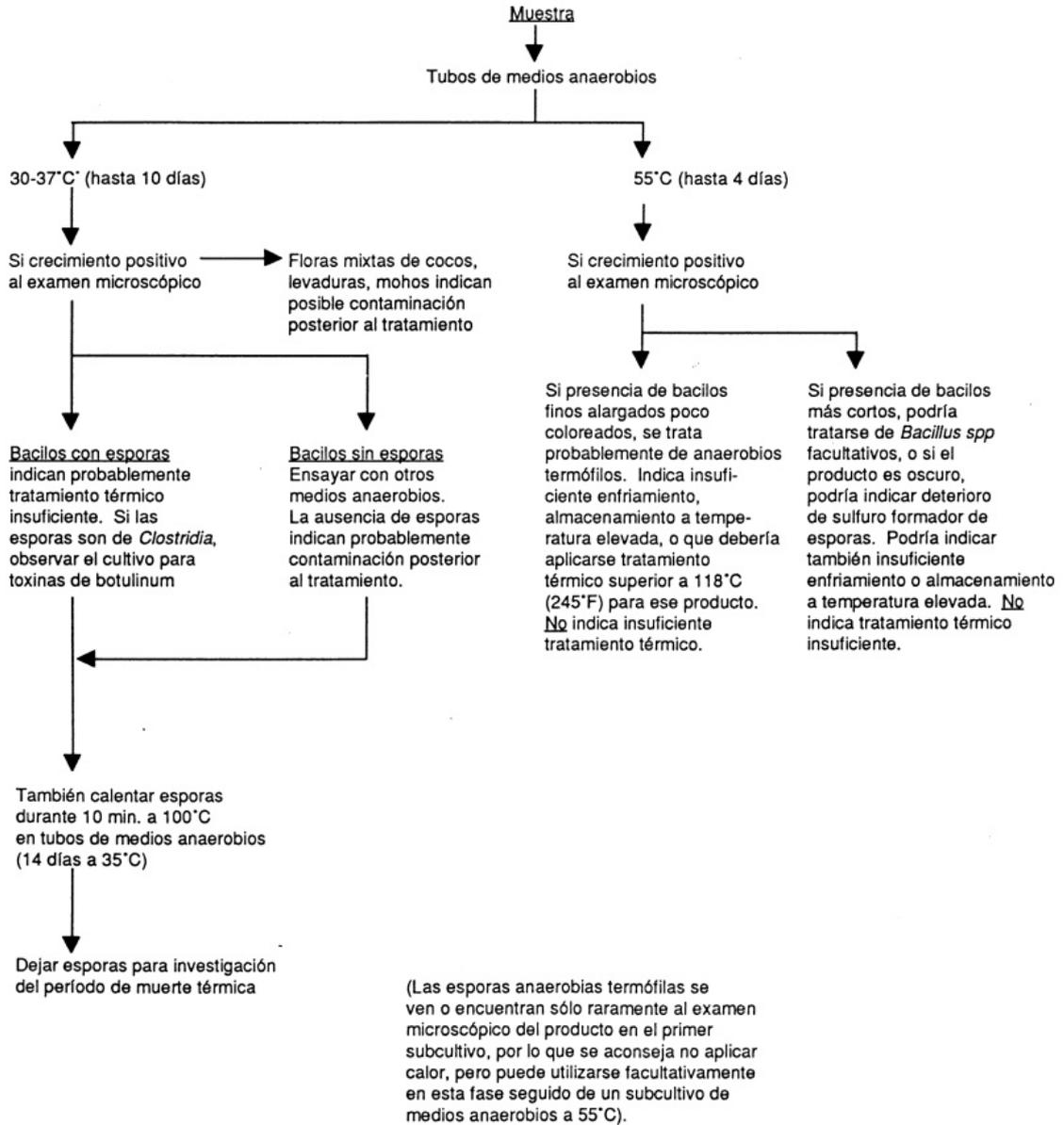


(* NAMn = agar nutriente más manganeso)

(** Las condiciones de crecimiento microbiano son óptimas a temperatura de 30° a 35°C. No obstante pueden aplicarse temperaturas de incubación de 36°C ó 37°C, dependiendo de las condiciones ambientales de la región.)

ANEXO J

Diagrama para el análisis anaerobio de alimentos poco ácidos envasados



(* Las condiciones de crecimiento microbiano son óptimas a temperaturas de 30°C a 35°C. No obstante pueden aplicarse temperaturas de incubación de 36°C ó 37°C, dependiendo de las condiciones ambientales de la región.)

BIBLIOGRAFIA

1. ENCUESTA DE SUPERFICIE Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA CONTINUA – ESPAC (2007): *Cultivos Transitorios: Superficie, Producción y Venta.*
2. MAG/DPDA (2005): *Faenamiento y producción de carne porcina,* Investigación directa.
3. KAREL, Marcus (2003): *Physical principles of food preservation 2nd ed.* New York: Marcel Dekker Inc.
4. COMISION DEL CODEX ALIMENTARIUS (1993): *Código internacional recomendado de prácticas de higiene para alimentos poco ácidos y alimentos poco ácidos acidificados envasados.*
5. ROTSTEIN, Enrique. (1997): *Handbook of food engineering practice.* Boca Ratón: CRC Press LLC.
6. HELDMAN, Dennis R. (2007) *Handbook of food engineering 2nd ed.* Boca Ratón: CRC Press LLC.

7. STUMBO, Charles R. (1973): *Thermobacteriology in food processing 2nd ed.* San Diego: Academic Press, Inc.

8. LAROUSSE, Jean. (1997): *Food canning technology.* New York: Wiley

9. HERRERA, Carlos (2004): *Fundamentos técnicos para el procesamiento térmico de conservas alimenticias en recipientes herméticos.* (Seminario, Programa de Tecnología en Alimentos, Escuela Superior Politécnica del Litoral)

10. HOLDSWORTH, Donald (2007): *Thermal processing of packaged foods.* New York: Springer