

**ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

Evaluación del programa “Real time control” para el control en línea de termodesviaciones en la esterilización comercial de latas.

**Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniería Agroindustrial en el Grado Académico de Licenciatura.**

Presentado por:

Wendy María Marín Gómez.

**Zamorano, Honduras
Diciembre, 2005**

La autora concede a zamorano permiso
para reproducción y distribución de copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.


Wendy María Marín Gómez.

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2005

DEDICATORIA

Primero que nada a Dios por no dejarme caer en el camino y darme las fuerzas.

A mis padres por siempre estar ahí.

A Ito, Ceci, Ive y Mickey, no podría tener mejores hermanos.

A toda mi familia por preocuparse tanto por mí.

A Raja por enseñarme a amar la vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ayudarme a encontrar mi camino.

A todas las personas que en general hicieron este proyecto posible.

A mi profesor Murat Balaban por valorar y creer en mi trabajo.

A todo el personal del laboratorio del profesor Balaban por su apoyo y sus ánimos.

A mis asesores por su trabajo y ayuda.

A Juan Carlos por siempre apoyarme y darme ánimos.

A Melina, por dedicar su tiempo y paciencia para corregir mi redacción.

A Sarahi, Eliana, Jacqueline, Cecilia, mis vecinas, mis amigas, por siempre ayudarme a seguir.

A todos mis amigos y colegas de Zamorano por su paciencia y amistad.

A mi colonia. Marlene, Jean, Ernesto, Rafael, Mabel, Jennifer, Domingo, Calvin y Ciprian, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco a la fundación Wilson Popenoe Dominicana por financiar el 50% de mis estudios.

Agradezco a Zamorano en conjunto con el fondo dotal suizo por financiar parte de mis estudios.

Agradezco a mis padres que financiaron mis gastos durante mi pasantía y tesis.

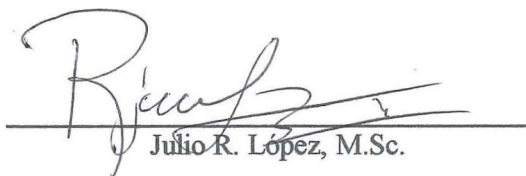
Agradezco al laboratorio del Profesor Balaban en la Universidad de Florida, por su apoyo y patrocinio a este proyecto.

RESUMEN

Marín, Wendy 2005. Evaluación del programa “Real time control” para el control en línea de termo-desviaciones en el procesamiento térmico de latas. Proyecto especial del programa de ingeniero agroindustrial, Zamorano, Honduras, 78 p.

Cualquier desviación en las temperaturas en un autoclave durante un proceso de esterilización comercial puede comprometer seriamente la salud de los consumidores. El objetivo de este estudio fue evaluar la exactitud del programa “Real Time Control” para calcular y garantizar un procesamiento térmico ideal. Se evaluaron desviaciones térmicas tempranas medias y tardías, en sistemas de transmisión de calor por conducción, modo mixto y convección. Para emular estos sistemas de transmisión de calor se usaron soluciones con: 1% (convección), 5% (modo mixto) y 15% (conducción) de bentonita. El programa “Calc Can Analyzer” se usó para optimizar los parámetros de transmisión de calor (Fh , Jh , Fc , Jc) en el experimento. Estos se obtuvieron en experimentos previos de penetración de calor y el efecto de las desviaciones en estos parámetros se evaluó al realizar las mismas sin ajustar el tiempo, y calcular los parámetros resultantes después de las desviaciones. En todos los casos se indujeron desviaciones: tempranas, medias, y tardías. El programa “Real Time Control” prolongó exitosamente el período del calentamiento hasta alcanzar o exceder levemente el nivel de letalidad en todos los experimentos. Se observó que las desviaciones tempranas tenían un impacto mayor en la letalidad, al reducirla más que en las desviaciones tardías. Sin embargo, el programa fue más exacto con la predicción de las temperaturas en desviaciones tempranas. El uso apropiado de este método podría reducir los problemas de inocuidad y las pérdidas que se incurrirán al presentarse una desviación dentro de un proceso de esterilización comercial.

Palabras clave: bentonita, esterilización, letalidad, convección, conducción.



Julio R. López, M.Sc.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Agradecimiento a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Contenido.....	viii
Índice de cuadros.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
 1 INTRODUCCIÓN.....	 1
1.1 LIMITES DEL ESTUDIO.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivo específico.....	2
 2 REVISION DE LITERATURA.....	 3
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS EN PROCESAMIENTO TÉRMICO.....	3
2.2 ANTECEDENTES DEL CONTROL EN LÍNEA.....	4
 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	 6
3.1. LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	6
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS.....	6
3.2.1 Materiales.....	6
3.2.2 Reactivos.....	6
3.2.3 Equipos.....	6
3.3 MÉTODOS.....	7
3.4 DISEÑO DEL ESTUDIO.....	8
3.4.1 Determinación de parámetros de transmisión de calor de las latas.....	8
3.4.2 Procesamiento con desviaciones sin control.....	10
3.4.3 Procesamiento con desviaciones y control en tiempo real.....	11
3.5 METODOS DE CÁLCULO.....	12
 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	 13
4.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS Fh , Jh , Fc Y Jc	13
4.2 EVALUACIÓN DE LAS DESVIACIONES.....	16
4.2.1 Tandas regulares con desviaciones.....	16
4.2.2 Corridas con el programa real time control y desviaciones.....	21

4.2.2.1	Convección (1%).....	21
4.2.2.2	Modo mixto (5%).....	22
4.2.2.3	Conducción (15%).....	24
4.3	RESUMEN DE LOS RESULTADOS.....	28
5.	CONCLUSIONES.....	29
6	RECOMENDACIONES.....	30
7	BIBLIOGRAFÍA.....	31
8.	ANEXOS.....	33

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Peso de las latas ante de ser termo procesadas.....	8
2.	Parámetros obtenidos de las latas con bentonita al 1% (Tanda 1).....	13
3.	Parámetros obtenidos de las latas con bentonita al 5% (Tanda 1)	14
4.	Parámetros obtenidos de las latas con bentonita al 5% (Tanda2)	15
5.	Parámetros obtenidos de las latas con bentonita al 15% (Tanda 1)....	16
6.	Parámetros obtenidos de las latas con bentonita al 15% (Tanda 2)	16
7.	Parámetros más conservadores de los tres sistemas.....	16
8.	Parámetros obtenidos de las desviaciones en latas con concentración del 1% de bentonita.....	16
9	Parámetros obtenidos de las desviaciones en latas con concentración del 5% de bentonita.....	19
10	Parámetros obtenidos de las desviaciones en latas con concentración del 15% de bentonita.....	20
11	Parámetros y valores obtenidos de los procesos térmicos en convección aplicando "Real Time Control"	22
12	Tiempo de los procesos térmicos en convección (1%).....	22
13	Parámetros y valores obtenidos de los procesos térmicos en modo mixto aplicando "Real Time Control"	23
14	Tiempos de los procesos térmicos en modo mixto (5%).....	24
15	Parámetros y valores obtenidos de los procesos térmicos en conducción aplicando "Real Time Control"	24
16	Tiempos de los procesos térmicos en conducción (15%).....	24
17	Nuevos tiempos obtenidos con el programa "Real Time Control" y el respectivo F_0 de cada caso.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Diagrama del sistema de recolección de datos.....	6
2	Flujo del proceso de preparación de las latas para el análisis de desviaciones térmicas.....	7
3	Secuencia de pasos del estudio.....	9
4	Procesamiento térmico de bentonita al 1%.....	13
5	Procesamiento térmico de bentonita al 5%.....	14
6	Procesamiento térmico de bentonita al 15%.....	15
7	Procesamiento térmico con desviación temprana en bentonita al 1%...	17
8	Procesamiento térmico con desviación media en bentonita al 1%.....	17
9	Procesamiento térmico con desviación tardía en bentonita al 1%.....	18
10	Procesamiento térmico con desviación temprana en bentonita al 5%...	18
11	Procesamiento térmico con desviación media en bentonita al 5%.....	19
12	Procesamiento térmico con desviación tardía en bentonita al 5%.....	19
13	Procesamiento térmico con desviación temprana en bentonita al 15%.	20
14	Procesamiento térmico con desviación media en bentonita al 15%.....	21
15	Procesamiento térmico con desviación tardía en bentonita al 15%.....	21
16	Procesamiento térmico con desviación temprana en convección usando el programa "Real Time Control".....	22
17	Procesamiento térmico con desviación media en convección usando el programa "Real Time Control".....	23

Figura		Página
18	Procesamiento térmico con desviación tardía en convección usando el programa "Real Time Control".....	23
19.	Procesamiento térmico con desviación temprana en modo mixto usando el programa "Real Time Control".....	25
20	Procesamiento térmico con desviación media en modo mixto usando el programa "Real Time Control".....	25
21	Procesamiento térmico con desviación tardía en convección usando el programa "Real Time Control".....	26
22	Procesamiento térmico sin desviación en modo mixto.....	26
23	Procesamiento térmico con desviación temprana en conducción usando el programa "Real Time Control".....	26
24	Procesamiento térmico con desviación media en conducción usando el programa "Real Time Control".....	27
25	Procesamiento térmico con desviación tardía en conducción usando el programa "Real Time Control".....	27
26	Procesamiento térmico en conducción sin desviación.....	28

ÍNDICE DE ANEXOS

1	Datos del ajuste de la corrida regular 1 en convección.....	34
2	Datos del ajuste de la corrida regular 2 en convección.....	35
3	Datos del ajuste de la corrida regular 3 en convección.....	36
4	Datos del Ajuste de la corrida regular 4 en convección.....	37
5	Datos ajustados de la corrida regular 5 en convección.....	38
6	Datos ajustados de la corrida regular 1 en modo mixto (tanda 1).....	39
7	Datos ajustados de la corrida regular 2 en modo mixto (tanda 2).....	40
8	Datos ajustados de la corrida regular 3 en modo mixto (tanda).....	41
9	Datos ajustados de la corrida regular 4 en modo mixto (tanda).....	42
10	Datos ajustados de la corrida regular 5 en modo mixto (tanda 1).....	43
11	Datos ajustados de la corrida regular 6 en modo mixto (tanda 1).....	44
12	Datos ajustados de la corrida regular 1 en modo mixto (tanda 2).....	45
13	Datos ajustados de la corrida regular 2 en modo mixto (tanda 2).....	46
14	Datos ajustados de la corrida regular 3 en modo mixto (tanda 2).....	47
15	Datos ajustados de la corrida regular 4 en modo mixto (tanda 2).....	48
16	Datos ajustados de la corrida regular 5 en modo mixto (tanda 2).....	49
17	Datos ajustados de la corrida regular 1 en conducción (tanda 1).....	50
18	Datos ajustados de la corrida regular 2 en conducción (tanda 1).....	51
19	Datos ajustados de la corrida regular 3 en conducción (tanda 1).....	52
20	Datos ajustados de la corrida regular 1 en conducción ((tanda 2).....	53
21	Datos ajustados de la corrida regular 2 en conducción (tanda 2).....	54
22	Datos ajustados de la corrida regular 3 en conducción (tanda 2).....	55
23	Datos ajustados de la corrida con desviación temprana en convección.....	56
24	Datos ajustados de la corrida con desviación media en convección.....	57
25	Datos ajustados de la corrida con desviación tardía en convección.....	58
26	Datos ajustados de la corrida regular después de desviaciones en convección	59
27	Datos ajustados de la corrida regular 2 después de las desviaciones.....	60

28	Datos ajustados de la corrida con desviación temprana en modo mixto (tanda 2).....	61
29	Datos ajustados de la 2 corrida con desviación temprana 28 (tanda 2).....	62
30	Datos ajustados de la corrida con desviación media en modo mixto (tanda 2).....	63
31	Datos ajustados de la corrida con desviación tardía en modo mixto (tanda 2).....	64
32	Datos ajustados de la corrida regular en modo mixto después de las desviaciones. (tanda 2).....	65
33	Ajuste y datos reales de la corrida con desviación temprana en conducción después de las desviaciones. (tanda 2).....	66
34	Datos ajustados de la corrida con desviación media en conducción después de las desviaciones. (tanda 2).....	67
35	Datos ajustados de la corrida con desviación tardía en conducción después de las desviaciones. (tanda 2).....	68
36	Datos ajustados de la corrida regular después de las desviaciones en conducción después de las desviaciones. (tanda 2).....	69
37	Datos de la corrida con control en tiempo real en convección con desviación temprana.....	70
38	Grafica del control en tiempo Real en la desviación media en convección..	73
39	Datos del control en tiempo real en la desviación tardía en convección.....	74
40	Datos de procesamiento con control en tiempo real para el procesamiento regular después de las desviaciones en convección.....	75
41	Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación temprana para las latas de modo mixto.....	76
42	Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación media para las latas de modo mixto.....	77
43	Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación tardía para las latas de modo mixto.....	78
44	Datos de procesamiento con control en tiempo real en la tanda regular después de las desviaciones en las latas de modo mixto.....	79
45	Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación temprana para las latas de conducción.....	80
46	Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación media para las latas de conducción.....	81
47	Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación tardía para las latas de conducción.....	82
48	Datos de procesamiento con control en tiempo real del procesamiento regular después de las desviaciones en las latas de conducción.....	83

1. INTRODUCCIÓN

Cualquier desviación en las temperaturas en un autoclave durante un proceso de esterilización comercial puede comprometer seriamente la salud de los consumidores; por lo que, estas tandas deben ser reprocesadas o guardadas en cuarentena. En el primer caso comprometemos la calidad del alimento, ya que al ser sobre procesado sus características físicas y nutricionales son afectadas al igual que los costos extras de energía y personal aumentan. En el segundo caso el producto saldrá al mercado con menor vida útil, además de los gastos incurridos en almacenamiento y manejo de ese producto (Datta *et al.*, 1986).

Lo que se busca con un control en tiempo real de un autoclave es evitar dichos inconvenientes. Un programa de control en tiempo real predice la temperatura en el centro de la lata en respuesta a la temperatura del autoclave y la temperatura de enfriado. Valiéndose de la temperatura estipulada del agua de enfriamiento, realiza estas predicciones basado en los parámetros de penetración de calor del producto a procesar. Esta predicción puede lograrse gracias al uso de múltiples soluciones finitas de la ecuación de transmisión de calor en el cilindro y por la integración de la letalidad acumulada en tiempo real para calcular el F_0 (Texeira, 1991). En una operación de tiempo real un programa de control extenderá el tiempo de proceso automáticamente en respuesta a cualquier desviación en la curva de calentamiento para asegurar que se alcance el nivel deseado de letalidad total. En palabras más sencillas, ajustará el tiempo del proceso térmico según sea necesario y logrará siempre las reducciones logarítmicas deseadas o una reducción mayor.

Los autoclaves son diseñados especialmente para el procesamiento térmico usando presión. Los autoclaves pueden ser clasificados de varias formas: estáticos si son por tandas o continuos si tienen flujo de producto. Según son introducidos los envases: horizontales o verticales. Por último, según como realizan el procesamiento térmico, en forma rígida o rotatoria (López, 1987).

El procesamiento térmico tiene como objetivo la esterilización comercial del contenido del empaque. Normalmente esta esterilización se alcanza a través del calentamiento por un tiempo y una temperatura predeterminada dentro de un específico medio de calentamiento. Por lo general, el medio de calentamiento usado para este fin es vapor saturado, agua caliente o vapor. El más usado de éstos es el vapor saturado por su mayor capacidad de intercambio calórico (Balaban, 2005).

La idea de procesar térmicamente un alimento no es lograr una esterilización del mismo, lo que se busca es destruir los patógenos y la mayoría de los microorganismos que podrían deteriorar el alimento a temperatura de almacenamiento. Esto es lo que se conoce como esterilización comercial (Balaban, 2005).

En los alimentos sellados al vacío se elimina el oxígeno con el mismo fin, inhabilitar el desarrollo de la mayoría de los organismos patógenos. El otro punto a considerar son las esporas, ya que éstas al crecer en ambientes anaeróbicos y son mucho más resistentes al calor. Este crecimiento también dependerá del pH. Para determinar el tiempo del tratamiento térmico se considera: la resistencia al calor del organismo meta (*Clostridium botulinum*), el pH del alimento, las condiciones en que será almacenado, el calentamiento y las condiciones de transmisión del calor, las propiedades termo físicas del alimento y la forma y tamaño del envase (Hui, 2004).

Para conocer las temperaturas internas de las latas se utilizan los parámetros de transmisión del calor, que son la base para el diseño de un proceso térmico, para determinar el perfil de tiempos y temperaturas en posiciones específicas de la lata o contenedor (López, 2004).

Esta evaluación se llevó a cabo a través del procesamiento en autoclave de latas de tres piezas, con tres diferentes sistemas de transmisión de calor, buscando siempre una esterilización comercial de las mismas.

1.1 LÍMITES DEL ESTUDIO

El estudio consistió en tres tipos de desviaciones (temprana, media y tardía) en cuatro sistemas de transmisión de calor (curva térmica continua, con desviación temprana, con desviación media y con desviación tardía).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Evaluar la exactitud del programa “Real Time Control” para calcular y garantizar un procesamiento térmico ideal.

1.2.2 Objetivos específicos

- Calcular los parámetros de transmisión de calor de las latas en cada sistema de transmisión de calor.
- Evaluar como las desviaciones a estudiar afectan la letalidad y el comportamiento de la curva de calentamiento.
- Comparar la curva pronosticada por el programa real time control con la curva obtenida en tiempo real.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS EN PROCESAMIENTO TÉRMICO

Según Balaban (2005), los cambios cinéticos dentro del procesamiento térmico, incluyendo la inactivación microbiana y de enzimas más la degradación de factores de calidad, es por lo general descrita con la ecuación:

$$dC/dt = -k(C)^n \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde k es la tasa constante, C es la concentración de un reactivo específico en cualquier momento y n es el orden de la reacción.

El valor D es la destrucción decimal en el tiempo de los microorganismos o un indicador en forma logarítmica del número de microorganismos sobrevivientes después de un termo procesamiento:

$$D = (t_2 - t_1) / \log(a) - \log(b) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde a y b representan el número de microorganismos supervivientes después de los tiempos t_1 y t_2 .

El valor D depende de la temperatura, a mayor temperatura menor valor D . Una forma de expresar esta relación es con el tiempo de muerte térmica. Es un indicador de sensibilidad a la temperatura. Se conoce como el valor Z y representa el cambio de temperatura necesario para que el valor D baje en un logaritmo:

$$Z = (T_2 - T_1) / \log(D_1) - \log(D_2) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde D_1 y D_2 son los valores de D a las temperaturas T_1 y T_2 .

El valor F o letalidad es una medida del proceso de esterilización. Este representa cierto múltiplo o fracción del valor D , dependiendo del microorganismo meta:

$$F_0 = F_{10}^{(T_r - T)/z} \quad (\text{Ecuación 4})$$

El F_0 o letalidad total, viene a ser una equivalencia de un F a otra temperatura y en otro tiempo a partir de un valor F de un minuto a 121 °C.

Para calcular el proceso térmico existen múltiples fórmulas que se han desarrollado con el tiempo, entre ellas la más aceptada antes de las computadoras era el método gráfico, dentro de las teóricas se encuentran los métodos de: Ball, Stumbo, Pham y Duhamel (López, 2004).

2.2 ANTECEDENTES DEL CONTROL EN LÍNEA

Los intentos para lograr una solución matemática computarizada de control de termo procesamiento en latas comenzaron con Texeira *et al.* (1969) que realizaron una optimación de nutrientes y el cálculo del F_0 para conducción en latas (cilindros finitos), las computadoras para esta época eran mucho más lentas y bajas en memoria. En 1975 Texeira *et al.* trabajaron en un modelo de simulación y evaluación empírica de métodos computarizados y matemáticos para la evaluación de termo-procesos tratando de lograr una fórmula más precisa y que se pudiera programar más fácilmente en una computadora.

Para 1982 las computadoras habían avanzado lo suficiente para desarrollar controles en línea de desviaciones, en conducción y para envases con forma de pera y rectangular; pero aún estos procesos eran lentos y no se podía hacer correcciones instantáneas por la complejidad de los cálculos (Texeira y Manson, 1982). Con el estudio del efecto de la fase de enfriamiento sobre la letalidad total de los microorganismos se comprobó la importancia de este período en el F_0 final (Texeira *et al.* 1985). A partir de ese estudio los datos del enfriamiento se incluyeron en los cálculos en línea de F_0 en los procesos de corrección en línea (Datta *et al.*, 1986). Para esta fecha los experimentos tomaron otra dirección tratando de desarrollar un complicado sistema para el análisis de convección pura, muy complicados y de un valor relativamente bajo en la práctica, ya que existen pocos o ningún alimento con convección pura.

En 1997 Kim y Texeira, modificaron el sistema de cálculo para lograr que este funcionara en objetos con cualquier forma, este concepto se llamó fantasma equivalente alfa. Para los cálculos sólo se necesitaba la altura y el radio de la figura. Este concepto no pasó del papel ya que se encontró una forma más rápida y fácil de realizar estos cálculos.

El concepto propuesto por Noranha *et al.*, (1995) y demostrado por Denys *et al.*, (1996) era una forma mucho más fácil de calcular la penetración del calor. Este método combinaba el método numérico de Texeira con el teorema de Duhamel y creaba un nuevo concepto el de la analogía de la esfera. En este método se utiliza la sencilla forma de transmisión de calor dentro de la esfera para emular cualquier relación de temperatura versus tiempo, ya sea que venga de un contenedor de forma regular o irregular o si la forma de transmisión de calor es conducción, convección o modo mixto. En la analogía de la esfera los únicos dos parámetros que se necesitan para realizar calculos son:

A) La difusibilidad térmica de la esfera por unidad de radio. Se calcula el parámetro F_h usando el dato experimental de penetración de calor.

$\text{Alfa}_H \text{ Esfera} = 0.233/F_h$ (Ecuación 5)

Similarmente,

$$\text{Alfa}_c \text{ Esfera} = 0.233/F_c \quad (\text{Ecuación 6})$$

B) La localización de la temperatura que debe calcularse dentro del radio de la esfera. Esto es típicamente llamado X/R, R es la unidad de radio. La relación empírica entre el J_h experimental y el X/R es la siguiente:

$$J_h(X/R) = 0.63662 \text{ Sen } (\pi X/R) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Similarmente,

$$J_c(X/R) = 0.63662 \text{ Sen } (\pi X/R) \quad (\text{Ecuación 8})$$

Este método hace una estimación en un solo punto ficticio de la esfera, por lo que no es suficiente para la optimización de nutrientes. Finalmente Texeira et al. (1999), propusieron el programa del Profesor Balaban "Can-Calc" que trabajaba con la analogía de la esfera, lo que le permite ser utilizado para simular procesos térmicos para contenedores de cualquier forma y cualquier sistema de transmisión de calor.

Este tipo de estudios se han realizado de forma privada por la industria alimentaria, pero los avances mas reciente se mantienen dentro de las compañías. En el artículo de Zhijun *et al* (1995) sale a luz pública una investigación por la "Campbell soup company" sobre como afectaban las desviaciones el proceso de transmisión de calor dentro de latas con conducción. Este estudio sería una tercera parte de la primera y de la segunda etapa de esta investigación, respectivamente, ya que realizaremos tal estudio para tres sistemas de transmisión de calor para luego comprobar el funcionamiento del programa "Real Time Control" en predecir la curva térmica de latas sometidas a desviaciones.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El presente estudio fue realizado en la planta piloto del departamento de nutrición humana y ciencia de alimentos en la Universidad de Florida, Estados Unidos de América. Los análisis de los datos se realizaron en el laboratorio de procesos del mismo departamento.

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.3 Materiales

Latas de 211 x 300 (diámetro 68.33mm, altura 76.2mm, peso promedio 38 gramos) de Freund Containers (Fort Myer, Florida).

3.3.5 Reactivos

Se utilizó una suspensión de bentonita en agua como material de llenado de las latas (Fisher Scientific).

3.3.4 Equipos

Termo coplas de aguja tipo T con empaques adquiridos de Ecklund Harrison Technology (Alsip, Illinois), con un peso de 16 gramos fueron colocadas en el centro geométrico de las latas.



Figura 1. Diagrama del sistema de recolección de datos.

El instrumento usado en la adquisición de datos utilizado fue el Omega DAQ-55, un convertidor de datos análogos a digitales con puertos para cinco termo coplas simultaneas. La autoclave era del tipo estática, vertical por tandas (Dixie canner, Athens, GA).

3.4 MÉTODOS

Para emular la convección se utilizaron cinco latas con un 15% de dicho material, las de modo mixto al 5% y las de convección un 1%. Las soluciones de bentonita usadas fueron procesadas en forma estándar y el proceso consistió en:

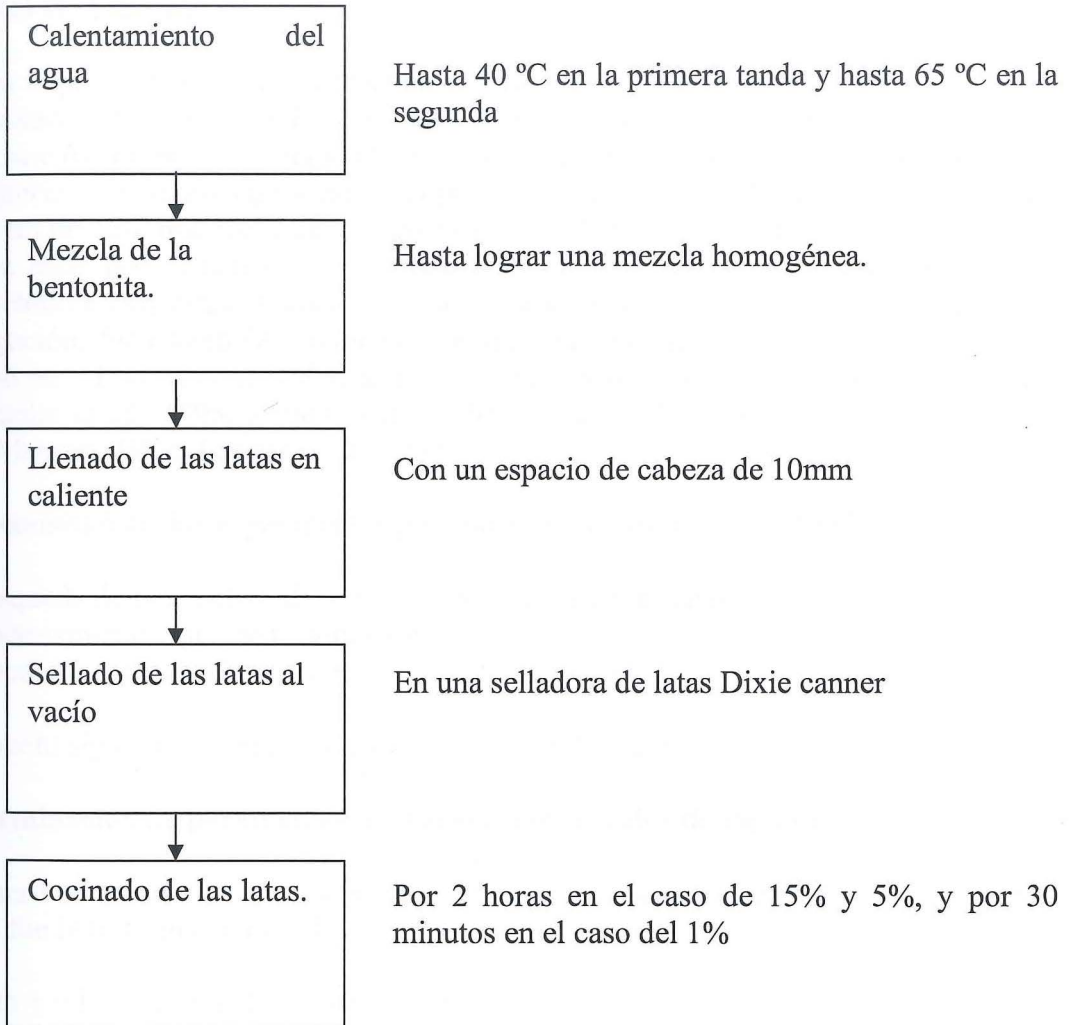


Figura 2. Flujo del proceso de preparación de las latas para el análisis de desviaciones térmicas.

Cuadro 1. Peso de las latas antes de ser termo procesadas

Bentonita	Pesos (gramos)				
/ lata	1	2	3	4	5
1%	251	248	250.4	250.3	249.3
5%	257	257	257	257	257
5% (2)	251.86	251.54	246.89	262.85	262.89
15%	235	235	234	236	236
15% (2)	254.6	255.87	254.98	239.32	240.91

3.5 DISEÑO DEL ESTUDIO

Este fue un experimento cuasiexperimental con los mismos sujetos, en el que aun cuando hay manipulación de las variables independientes, no existe aleatorización de los datos. Todos los sujetos fueron sometidos a todos los experimentos preliminares y finales. Al no existir aleatorización se escogió siempre el peor escenario posible. Ya que la esterilización de latas es un proceso que requiere la mayor cantidad de márgenes extras de seguridad. Las latas deben estar por debajo de la letalidad total de microorganismos deseados en toda ocasión. Debido a esta característica de seguridad alimentaria se escogió este tipo de diseño de investigación. Esto también siguiendo los lineamientos de los estudios realizados con anterioridad por: Texeira *et al.*, 1999, Kim y Texeira, 1997, Welt *et al.*, 1997, Denys *et al.*, 1996, Noranha *et al.*, 1995, Zhijun *et al.*, 1995, Datta *et al.*, 1986., Texeira *et al.*, 1985, Texeira y Manson, 1982, Texeira *et al.*, 1969.

El estudio consistió de dos experimentos preliminares y un experimento final:

- 1) Búsqueda de parámetros de transmisión de calor de las latas.
- 2) Procesamiento con desviaciones sin control.
- 3) Procesamiento con desviaciones y control en tiempo real.

El experimento siguió el orden secuencial mostrado en la Figura 3.

3.4.1 Determinación de parámetros de transmisión de calor de las latas.

En el primero se contó con la variable bentonita, ya que según la cantidad aplicada de la misma, así fue la transmisión de calor en el sistema.

Tratamiento 1 = Bentonita al 1% (convección)

Tratamiento 2 = Bentonita al 5% (sistema mixto)

Tratamiento 3 = Bentonita al 15% (conducción)

En cada procesamiento térmico hubo tres sujetos del proceso de los cuales se escogió siempre el peor escenario y la cantidad de tandas procesadas o repeticiones fue:

Tratamiento 1 = 5

Tratamiento 2 = 12

Tratamiento 3 = 6

El peor caso de cada tanda fue evaluado en una regresión para obtener los parámetros de transmisión de calor (Fh , Jh , Fc y Jc) con el programa "Calc Can Analyzer", a través del método de prueba y error, hasta lograr un ajuste mínimo de los siguientes parámetros:

- R^2 del calentamiento ≥ 0.95
- R^2 enfriamiento ≥ 0.90 .

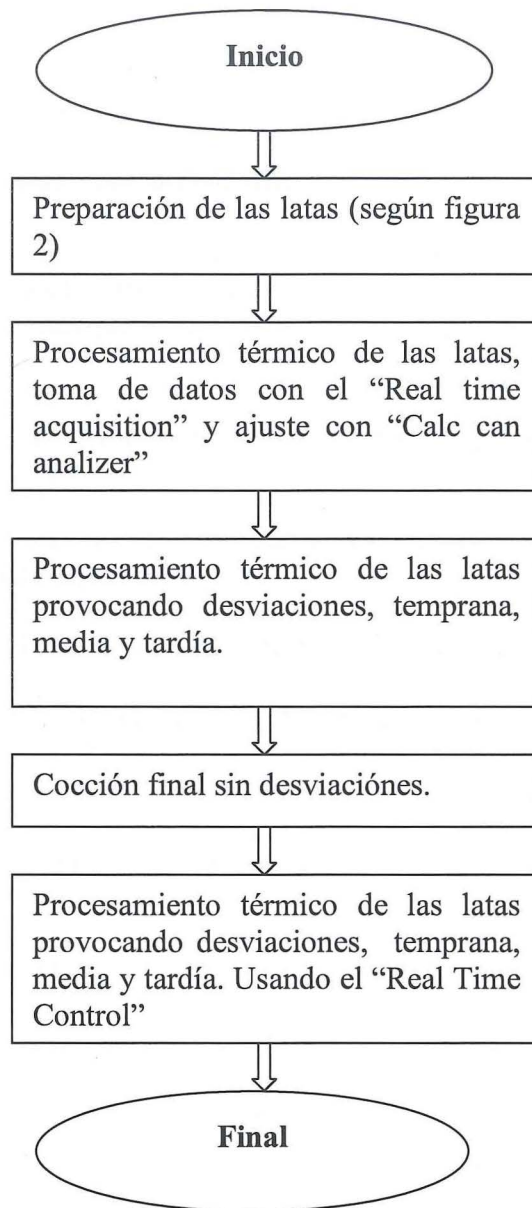


Figura 3. Secuencia de pasos del estudio.

Los parámetros de transmisión de calor brindan un panorama de cómo se transmite el calor dentro de las latas. Estos parámetros en sí consisten en:

- $f_h = f$ (coeficiente angular de la curva de calentamiento)
- $f_c = f$ (coeficiente angular de la curva de enfriamiento)
- $j_h = f$ (coeficiente lineal de la curva de calentamiento)
- $j_c = f$ (coeficiente lineal de la curva de enfriamiento)

Los mismos fueron utilizados en este estudio para el pronóstico del comportamiento de las latas en procesos térmicos. Al conocer cómo se transmite el calor dentro de las latas se puede predecir, conociendo la temperatura interna de la retorta, cuál es la temperatura interna de las latas en el punto mas frío.

3.4.2 Procesamiento con desviaciones sin control.

Este experimento contó con un arreglo factorial con dos variables: bentonita y curva térmica. La curva térmica sufrirá desviaciones tempranas, medias, tardías o no desviaciones. A continuación se detallan las diferentes variaciones que se tuvieron en bentonita y en las curvas térmicas:

- Bentonita = 1%, 5% y 15%
- Curva térmica de la retorta: 1) con desviación temprana, 2) con desviación media, 3) con desviación tardía y 4) continua.

Con respecto a las curvas térmicas se consideró una curva continua en la que no había corte de vapor durante el tiempo del proceso predeterminado.

Se consideró las siguientes condiciones en la desviación temprana:

- En bentonita al 1% = un corte del vapor de dos minutos a los dos minutos del proceso térmico.
- En bentonita al 5% = un corte del vapor de ocho minutos a los 20 minutos del proceso térmico.
- En bentonita al 15% = un corte del vapor de 12 minutos a los 20 minutos del proceso térmico.

Se consideró las siguientes condiciones en la desviación media:

- En bentonita al 1% = un corte del vapor de dos minutos a los cuatro minutos del proceso térmico.
- En bentonita al 5% = un corte del vapor de ocho minutos a los 30 minutos del proceso térmico.
- En bentonita al 15% = un corte del vapor de 12 minutos a los 30 minutos del proceso térmico.

Se consideró las siguientes condiciones en la desviación tardía:

- En bentonita al 1% = un corte del vapor de dos minutos a los seis minutos del proceso térmico.
- En bentonita al 5% = un corte del vapor de ocho minutos a los 40 minutos del proceso térmico.
- En bentonita al 15% = un corte del vapor de 12 minutos a los 40 minutos del proceso térmico.

Estos parámetros se obtuvieron del cuasiexperimento preliminar, donde se determinaron los siguientes tiempos de proceso térmico:

- Bentonita al 1% = ocho minutos.
- Bentonita al 5% = 55 minutos
- Bentonita al 15% = 65 minutos

Las mismas latas, de cada una de las concentraciones, que sufrieron las repeticiones del primer experimento preliminar se usaron en este paso y pasaron por todas las desviaciones (tempranas, medias y tardías) en orden secuencial, con los mismos sujetos, seleccionando el peor de los casos para evaluar sus parámetros de penetración de calor. Se ajustaron los parámetros obtenidos por la regresión del peor caso en cada ocasión, a través del método de prueba y error hasta obtener con los siguientes parámetros:

- R^2 del calentamiento ≥ 0.94
- R^2 del enfriamiento ≥ 0.91 .

3.4.3 Procesamiento con desviaciones y control en tiempo real.

Se utilizó el mismo arreglo factorial:

- Bentonita = 1%, 2% y 5%
- Curva térmica de la retorta: 1) con desviación temprana, 2) con desviación media, 3) con desviación tardía y 4) continua.

Con los mismos sujetos se llevó a cabo la misma secuencia de desviaciones que en el experimento preliminar dos, pero en esta ocasión se compararon los datos obtenidos en tiempo real con los que se obtienen del programa "Real Time Control" con los parámetros del peor caso dado. Se realizó una correlación de los datos buscando obtener un:

- R^2 del calentamiento ≥ 0.95
- R^2 del enfriamiento ≥ 0.90 .

Esta investigación tuvo un diseño no experimental, en este caso el dato más importante es lograr tener una letalidad ligeramente menor o igual a la real y la comparación de las gráficas punto a punto, entre los datos pronosticados y los reales. El valor de la letalidad mayor o igual se logró al aumentar el tiempo del proceso térmico cuando se presentan desviaciones.

3.5 MÉTODO DE CÁLCULO.

Los datos se tomaron a través del programa "Real Time Acquisition" que los ordenó en cuadros y los graficó.

Todos los datos que se recolectaron de los experimentos preliminares (tandas regulares y con desviaciones) fueron analizados con el programa "Calc-Can Analyzer" para conseguir los parámetros más cercanos a los reales que nos dieran un F_0 ligeramente menor al real con la menor suma de cuadrados (SS) posible.

La suma de los cuadrados es la diferencia entre los datos que se calculan y los datos experimentales de la temperatura, en cada paso del proceso.

Los datos finales del experimento se tomaron y analizaron con el programa "Real Time Control" para evaluar su capacidad para pronosticar cambios en la curva térmica en desviaciones.

Se programaron los parámetros adecuados de transmisión de calor del producto a procesado, la temperatura del agua con la que se planea enfrió y los valores Z y D del microorganismo meta en el proceso.



Figura 4. Proceso de calentamiento.

En la Figura 4 se muestra la curva de calentamiento del producto. La curva muestra el tiempo que se requiere para alcanzar la temperatura deseada. La curva se puede utilizar para determinar el tiempo de procesamiento necesario para alcanzar la temperatura deseada.

Cuadro 2. Datos de la Figura 4.

Tiempo (min)	Temperatura (C)
1.00	1.00
1.50	1.50
2.00	2.00
2.50	2.50

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS ÓPTIMOS FH, JH, FC Y JC.

En el primer ensayo se obtuvieron los parámetros de transmisión de calor y el diseño del proceso para cada concentración de bentonita. Se obtuvo información tanto de que tan rápido penetra el calor, en cada sistema, hasta el centro de las latas, como del tiempo que se tardaron estas para alcanzar las reducciones logarítmicas deseadas (12 en convección y 30 en conducción y modo mixto)

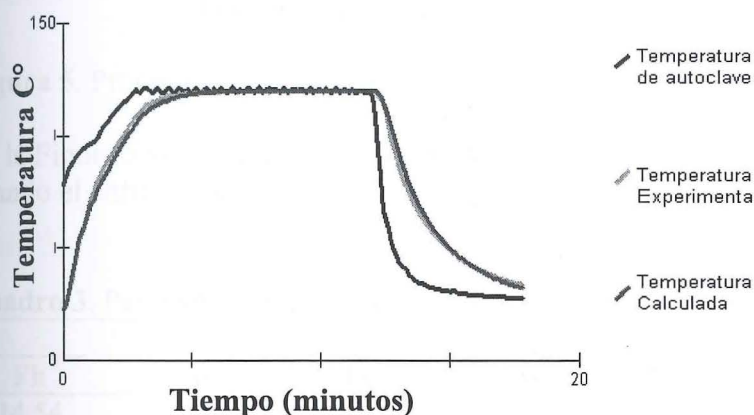


Figura 4. Procesamiento térmico de bentonita al 1%.

En la Figura 4 el color azul representa la curva térmica del autoclave, su calentamiento, tiempo que permaneció a la temperatura de procesamiento y tiempo y temperatura de enfriado. La curva verde corresponde a una de las latas que fue procesada, en este caso por ser convección esta caliente y enfría siguiendo el patrón de temperaturas del autoclave.

Cuadro 2. Parámetros obtenidos de las latas con bentonita al 1% (Tanda 1)

Valores Ajustados						
Fh	Jh	Fc	Jc	Fo real	Fo, calc	SS
2.66	0.89	3.93	1.07	5.93	5.83	1120
2.66	0.89	3.93	0.74	6.20	6.18	711
2.75	0.85	4.5	0.9	5.04	4.95	3080
2	0.89	7.5	0.68	5.76	5.60	2370
2.33	0.89	3.83	0.74	5.62	5.59	729

El Cuadro 2 muestra los resultados del peor escenario con respecto a la transmisión de calor, en las corridas regulares de bentonita al 1%. De todas estas repeticiones se escogió el escenario que contenía los parámetros más lentos de calentamiento para programar el programa "Real Time Control".

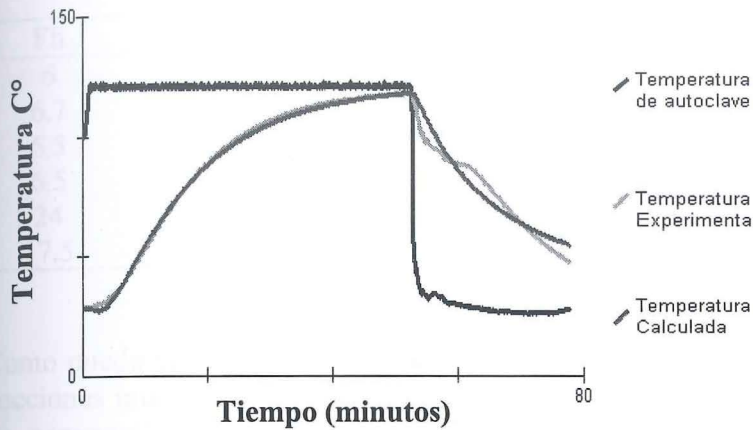


Figura 5. Procesamiento térmico de bentonita al 5%.

En la Figura 5 vemos que en modo mixto el calentamiento fue mucho más lento aún cuando el enfriamiento fue similar a un proceso de convección.

Cuadro 3. Parámetros obtenidos de las latas con bentonita al 5% en la tanda 1

Valores ajustados						
Fh	Jh	Fc	Jc	F ₀ , real	F ₀ , calc.	SS
14.54	1.66	33.46	0.7	9.18	9.02	27400
22.5	1.64	20.3	1.72	9.18	8.93	4510
13.4	1.83	8.44	0.7	8.36	7.50	3190
5.95	1.73	23.75	0.26	7.50	7.10	2030

En los Cuadros 3 y 4 se observan los datos ajustados obtenidos de todas las latas con menor F_0 de las corridas de latas al 5% de bentonita. El Cuadro 3 contiene los datos de las primeras latas utilizadas y el Cuadro 4 del segundo juego de latas usado. Igual que en los anteriores se busca comparar resultados para ver su proximidad y evaluar el tiempo del procesamiento. Como puede observarse en los cuadros 3 y 4 los parámetros de transmisión de calor, resultan mucho más variables que en los otros sistemas de transmisión de calor (conducción y convección).

El procesamiento térmico de las latas con el sistema mixto de transmisión de calor se comportó como conducción durante el proceso de cocción, pero como convección en el enfriamiento. Esto crea problemas al enfriar las latas en la autoclave, ya que se obtuvieron curvas irregulares de enfriamiento al flotar las latas durante el proceso de enfriamiento

con agua. Se puede observar en los cuadros 3 y 4 que mientras los Fh y Jh de las latas son muy cercanos a lo observado en un proceso de conducción, sus Fc y Jc tienen la velocidad característica de un sistema de transmisión de calor por convección.

Cuadro 4. Parámetros obtenidos de las latas con bentonita al 5% (tanda 2)

Valores ajustados						
Fh	Jh	Fc	Jc	F_0 , real	F_0 , calc.	SS
6	1	24.18	0.45	16.93	16.74	10100
6.7	1	71.61	0.23	15.33	15.33	36800
6.5	1.67	20	0.48	11.30	11.14	15100
6.5	1.54	21.93	0.44	5.19	4.90	7760
24	1.64	40.74	1	12.03	11.84	7590
17.5	1.78	38.25	1	24.31	25.26	1760

Como puede verse en el Cuadro 4 las latas con 5% de bentonita necesitan un numero de cocciones mucho mayor que las de 1% y 15%. Las curvas describen un comportamiento de convección, pero luego reduce moderadamente la velocidad en que el calor se transmite a través de este material, hasta que se estabiliza y actúa en forma uniforme después de tres a cuatro cocciones continuas.

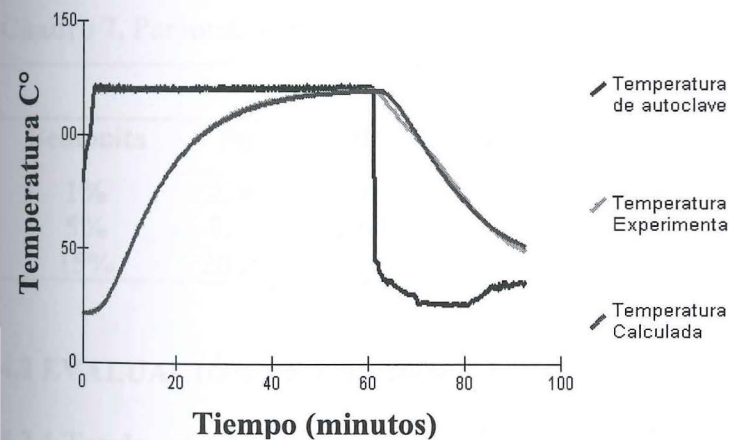


Figura 6. Procesamiento térmico de bentonita al 15%.

En la Figura 6 se puede observar como el procesamiento térmico de las latas en conducción es mucho mas lento, tanto al calentar como al enfriar. El tiempo de cocción fue cercano a los 60 minutos y el enfriamiento tomó alrededor de 30 minutos.

Los Cuadros 5 y 6 muestran el peor escenario posible para las latas del 15% de bentonita en cada una de las tandas de procesamiento térmico. En este caso los parámetros del calentamiento resultan altamente uniformes, al igual que los de enfriamiento.

Cuadro 5. Parámetros obtenidos de las latas con bentonita al 15%, (tanda 1)

Valores ajustados						
Fh	Jh	Fc	Jc	Fo, real	Fo, calc.	SS
13.95	1.85	10.84	0.59	9.22	9.15	1730
20.1	1.81	24.56	1.3	9.68	9.28	479
20.56	1.86	27.12	1.35	8.30	7.74	4210

Cuadro 6. Parámetros obtenidos de las latas con bentonita al 15%, (tanda 2)

Valores ajustados						
Fh	Jh	Fc	Jc	Fo, real	Fo, calc.	SS
18.5	1.7	29.73	1.04	17.10	16.89	1550
20.1	1.72	32.42	1.23	12.54	12.47	1870
19	1.75	37.91	0.89	11.79	11.69	12200

De cada uno de los sistemas de transmisión de calor se seleccionaron los más conservadores de todos los parámetros para cada caso (Cuadro 7), para pronosticar siempre según el peor escenario posible. Estos parámetros son los que se utilizaron para comparar con los parámetros obtenidos durante las desviaciones y los que se utilizaron con el programa "Real Time Control" para pronosticar la temperatura en el centro de las latas.

Cuadro 7. Parámetros más conservadores de los tres sistemas

Valores ajustados							
Bentonita	Fh	Jh	Fc	Jc	Fo real	Fo calc	SS
1%	2.66	0.89	3.93	0.74	6.20	6.18	711
5%	22.5	1.64	20.3	1.72	9.18	8.93	4510
15%	20.56	1.86	27.12	1.35	8.30	7.74	4210

4.2 EVALUACIÓN DE LAS DESVIACIONES

4.2.1 Tandas regulares con desviaciones

Cuadro 8. Parámetros obtenidos de las desviaciones en latas con concentración del 1% de bentonita

Valores ajustados							
Desviación	Fh	Jh	Fc	Jc	Fo, real	Fo calc	SS
Temprana	3.3	0.61	3.5	1	2.37	2.36	951
Media	1.92	0.95	4.21	0.7	2.78	2.76	363
Tardía	2.1	0.96	5	0.87	3.31	3.29	949
Sin desviación	2.45	0.8	6.5	0.63	3.58	3.54	1430

En el siguiente paso del experimento se cortó el vapor durante el procesamiento térmico de las latas para ver si esto afectaba los parámetros de penetración de calor. Se procesaron luego de las desviaciones en una tanda regular para ver si existía algún cambio en estos parámetros.

En el Cuadro 8 se puede observar que los parámetros varían ante la presencia de una desviación. Se observa que el F_0 también disminuye y esta disminución es mayor en la desviación temprana que en la media y mayor en la media que en la tardía. Este hecho se puede observar también al comparar las Figuras 7, 8 y 9.

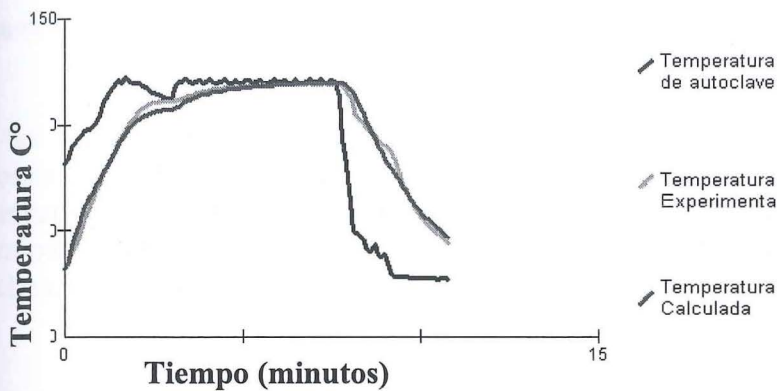


Figura 7. Procesamiento térmico con desviación temprana en bentonita al 1%.

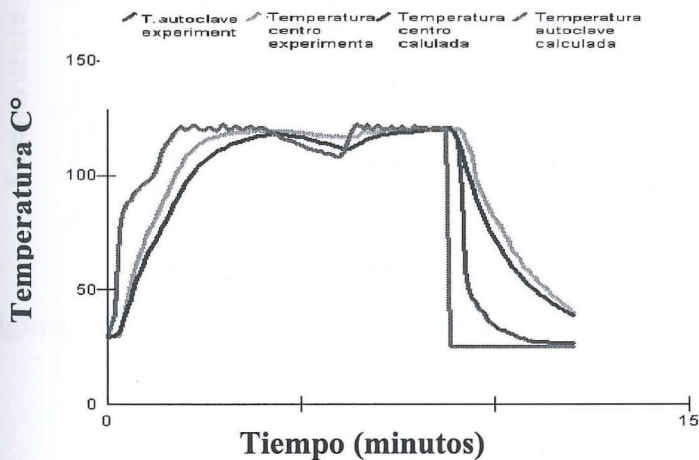


Figura 8. Procesamiento térmico con desviación media en bentonita al 1%.

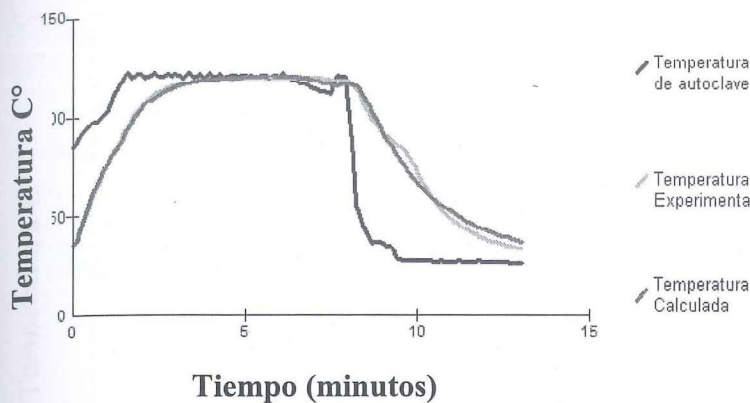


Figura 9. Procesamiento térmico con desviación tardía en bentonita al 1%.

En las Figuras 10, 11 y 12 se pudo comparar el efecto de las desviaciones en el procesamiento de las latas con el sistema de transmisión de calor mixto. Como se puede observar su procesamiento tomó cerca de 60 minutos. Su enfriamiento tomó alrededor de 18 minutos. Se puede notar también que el ajuste de las desviaciones medias y tardías es mucho más difícil que el de las tempranas.

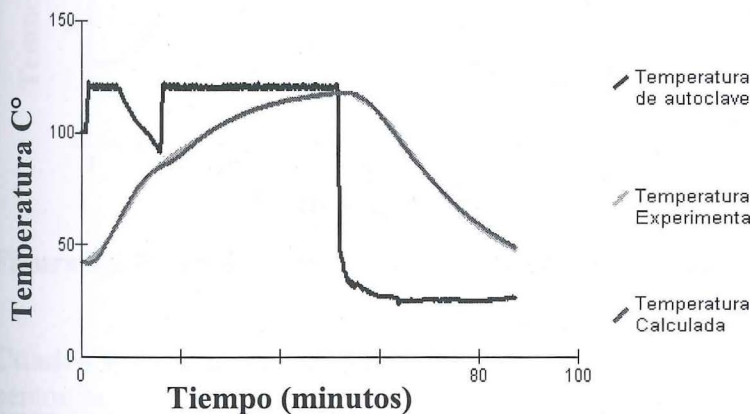


Figura 10. Procesamiento térmico con desviación temprana en bentonita al 5%.

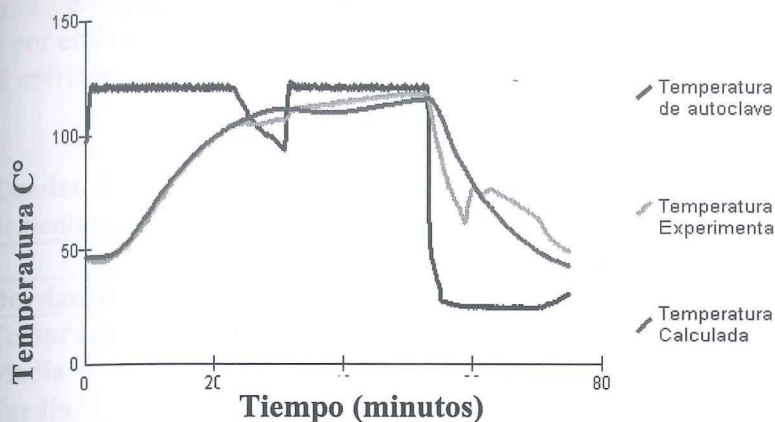


Figura 11. Procesamiento térmico con desviación media en bentonita al 5%.

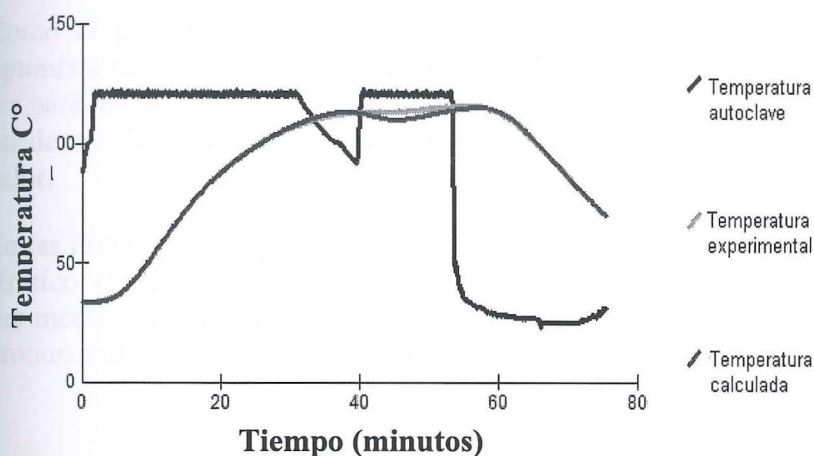


Figura 12. Procesamiento térmico con desviación tardía en bentonita al 5%.

Cuadro 9. Parámetros obtenidos de las desviaciones en latas con concentración del 5% de bentonita

Desviación	Valores ajustados						
	Fh	Jh	Fc	Jc	Fo real	Fo calc	SS
Temprana	12	1.35	18.5	1.42	6.88	6.86	923
Temprana	17.5	1.75	25.93	1.5	6.50	6.49	2460
Media	22	1.99	30	0.71	5.91	3.57	42900
Tardía	17.83	1.72	25.07	1.74	5.27	3.41	2190
Sin desviación	24	1.67	66.31	0.6	7.59	7.09	6830

Se puede ver en el Cuadro 9 que los parámetros fueron afectados y el F_0 disminuyó con la misma tendencia. Se puede observar también en el Cuadro 9 que tanto se ajustaban los parámetros calculados con los reales. Las diferencias se debieron a que el programa

consideró que las latas siempre estuvieron en un sistema de transmisión de calor en vapor y por ende sufren una desviación más severa que la lata real, el tiempo en el que se realizó el enfriado le resultó insuficiente para recuperarse de la desviación.

Cuadro 10. Parámetros obtenidos de las desviaciones en latas con concentración del 15% de bentonita

Desviación	Valores ajustados						SS
	Fh	Fh	Fc	Jc	Fo real	Fo, calc	
Temprana	19.07	1.97	33.99	1.06	15.46	15.38	5330
Media	19.53	1.8	35.83	1.08	9.71	6.54	10500
Tardía	20.21	1.9	28.68	1.73	9.48	7.89	1950
Sin desviación	21.73	1.76	35.45	1.39	18.72	17.66	1900

Como se puede observar en el Cuadro 10, las desviaciones afectaron los parámetros optimizados de penetración de calor. Al volver a procesar las latas sin ninguna desviación los parámetros resultaron extremadamente cercanos a los del primer ensayo, por lo que se puede concluir que las desviaciones no afectaron los parámetros reales de transmisión de calor.

En las Figuras 13, 14 y 15 se puede ver como las desviaciones afectaron el procesamiento térmico. Como modo mixto fue mucho más difícil ajustar las curvas cuando la desviación fue media o tardía. Se puede observar que las desviaciones térmicas fueron mucho más pronunciadas en conducción que en los demás sistemas

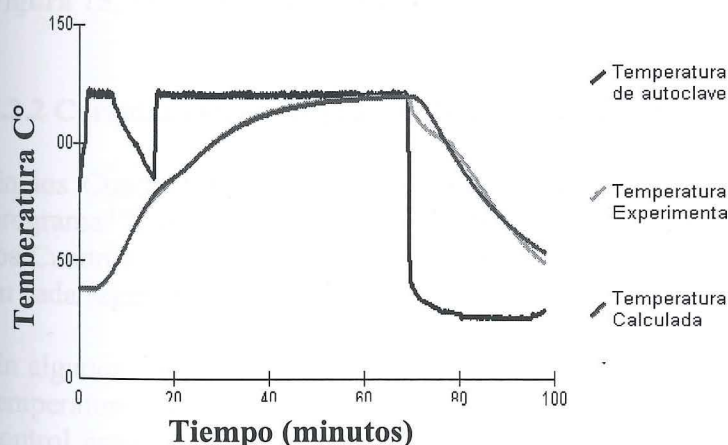


Figura 13. Procesamiento térmico con desviación temprana en bentonita al 15%.

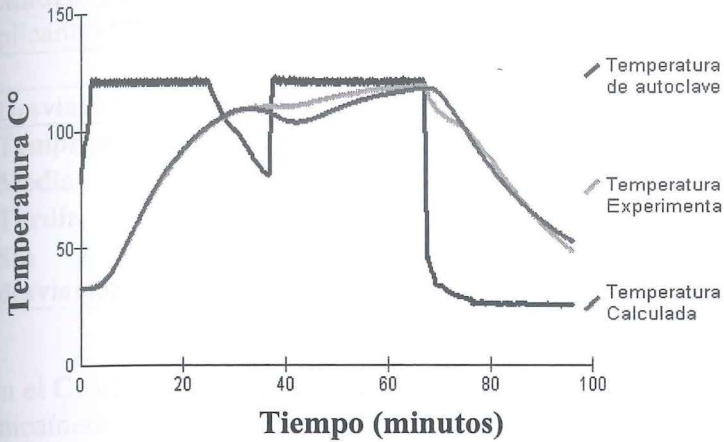


Figura 14. Procesamiento térmico con desviación media en bentonita al 15%.

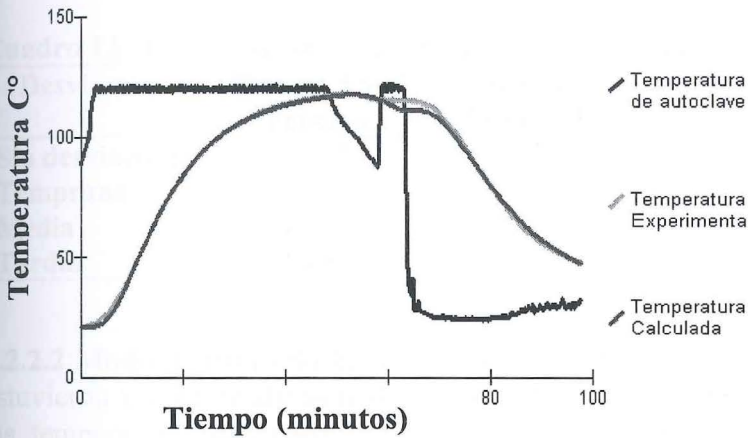


Figura 15. Procesamiento térmico con desviación tardía en bentonita al 15%.

4.2.2 Corridas con el programa "Real Time Control" y desviaciones.

En los Cuadros 11, 13 y 15 se muestran los parámetros con los que se programó el programa "Real Time Control" y la diferencia entre la letalidad total real y la obtenida. En los Cuadros 12, 14 y 16 se resumen los tiempos de calentamiento con y sin desviaciones en cada régimen de transmisión térmica.

En algunos casos los ajustes fueron hechos para asegurar que el aumento calculado de la temperatura fuera un poco más lento que el verdadero. En todos los casos el programa de control aseguró que se alcanzaran las reducciones logarítmicas deseadas, especialmente en las desviaciones ajustadas.

4.2.2.1 Convección (1%) En el Cuadro 11 se puede observar que la diferencia entre la letalidad total real fue ligeramente menor a la calculada en todos los casos.

Cuadro 11. Parámetros y valores obtenidos de los procesos térmicos en convección aplicando “Real Time Control”

Desviación	Valor ajustado					
	Fh	Jh	Fc	Jc	Fo rea	Fo calc
Temprana	2.66	0.89	3.93	0.74	3.88	2.44
Media	2.66	0.89	3.93	0.74	3.88	2.44
Tardía	2.66	0.89	3.93	0.74	3.01	2.46
Sin desviación	2.66	0.89	3.93	0.74	3.01	2.47

En el Cuadro 12 se puede observar que el período de calentamiento regular de las latas fue únicamente cinco minutos y medio, y aumentó a aproximadamente ocho minutos en el caso de la desviación tardía.

Cuadro 12. Tiempo de los procesos térmicos en convección (1%)

Desviación	Tiempo Total Proceso	Tiempo para llegar a 121C	Tiempo para enfriar	Tiempo termo proceso
Sin desviación	13.51	4.22	9.73	5.51
Temprana	12.92	2.4	9.23	6.83
Media	13.36	2.31	9.66	7.35
Tardía	14.52	2.53	10.3	7.77

4.2.2.2 Modo mixto (5%) En las Figuras 16, 17 y 18 se puede observar que tan cercanas estuvieron las temperaturas reales de las latas con las temperaturas calculadas. En general las temperaturas calculadas fueron ligeramente menores a las reales. Al observar la temperatura real de la retorta y la calculada al momento del enfriamiento solo se observaron diferencias en el enfriamiento (Figura 18). El desfase del momento en el enfriamiento causó la diferencia entre el enfriamiento pronosticado por el programa y el real.

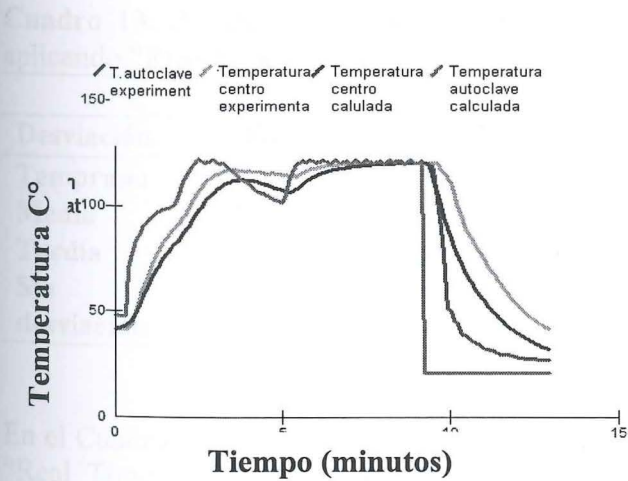


Figura 16. Procesamiento térmico con desviación temprana en convección usando el programa “Real Time Control”.

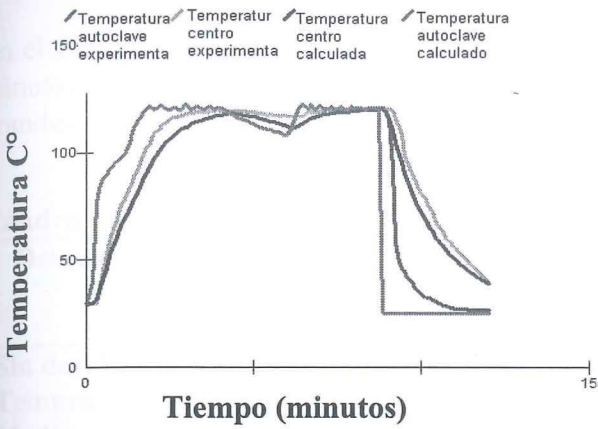


Figura 17. Procesamiento térmico con desviación media en convección usando el programa "Real Time Control"

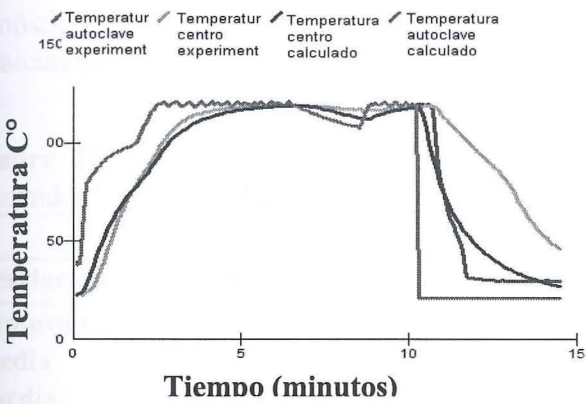


Figura 18. Procesamiento térmico con desviación tardía en convección usando el programa "Real Time Control".

Cuadro 13. Parámetros y valores obtenidos de los procesos térmicos en modo mixto aplicando "Real Time Control"

Desviación	Valores ajustados					
	Fh	Jh	Jc	Jc	Fo real	Fo calc
Temprana	29	1.64	20.3	1.72	8.19	6.01
Media	29.5	1.74	20.3	1.72	7.79	6.03
Tardía	29	1.64	20.3	1.72	8.19	6.01
Sin desviación	28.5	1.64	20.3	1.72	5.45	6.29

En el Cuadro 13 se pueden observar los parámetros con los que se programó el programa "Real Time Control" en cada desviación y la diferencia entre la letalidad total y la calculada. Como en el caso anterior la letalidad calculada fue en todos los casos menor a la real

En el Cuadro 14 puede observarse que el proceso de modo mixto aumentó doce y medio minutos. El aumento en tiempo de calentamiento y el tiempo de proceso fueron más grandes en las latas de modo mixto que en las latas de conducción

Cuadro 14. Tiempos de los procesos térmicos en modo mixto (5%)

Desviación	Tiempo total del proceso	Tiempo en alcanzar 121C	Tiempo para enfriar	Tiempo Procesamiento térmico.
Sin desviación	71.62	3.43	51.32	47.89
Temprana	91.33	1.92	54.33	52.41
Media	100.02	2.71	59.51	57.2
Tardía	84.51	2.71	63.42	60.71

4.2.2.3 Conducción (15%) el Cuadro 15 muestra los parámetros utilizados para los pronósticos del programa “Real Time Control” y la diferencia entre la letalidad total real y la calculada. Como en los casos anteriores la letalidad calculada resultó menor a la real.

Cuadro 15. Parámetros y valores obtenidos de los procesos térmicos en conducción aplicando “Real Time Control”

Desviación	Valores ajustados					
	Fh	Jh	Fc	Jc	Fo real	Fo calc
Temprana	24	1.75	27	1.35	6.53	6.02
Media	23	1.89	27	1.35	8.8	6.03
Tardía	24.7	1.89	27	1.35	7.28	6.02
Sin desviación	25.4	1.9	27	1.35	7.28	6.02

Se puede observar en el Cuadro 16 que el proceso de modo mixto sin la desviación fue de aproximadamente cuarenta y cinco minutos y aumentó en cerca de diez minutos.

Cuadro 16. Tiempos de los procesos térmicos en conducción (15%)

Desviación	Tiempo total del proceso	Tiempo para llegar a 121C	Tiempo enfriamiento	Tiempo termo procesamient
Sin desviación	72.7 minutos	2.53 minutos	47.3 minutos	44.77 minutos
Temprana	75.82 minutos	1.91 minutos	50.62 minutos	48.71 minutos
Media	80.11 minutos	6.4 minutos	59.51 minutos	53.11 minutos
Tardía	82.22 minutos	3.32 minutos	57.33 minutos	54.01 minutos

En las Figuras 19, 20, 21 y 22 se pueden observar las diferentes cocciones a la que fueron sometidas las latas usando el programa "Real Time Control". Se puede observar que en la Figura 19 que la curva térmica calculada se ajustó muy bien a la curva térmica real,

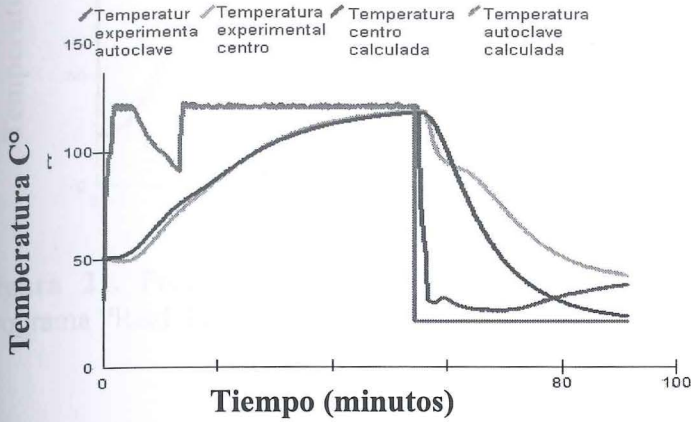


Figura 19. Procesamiento térmico con desviación temprana en modo mixto usando el programa "Real Time Control".

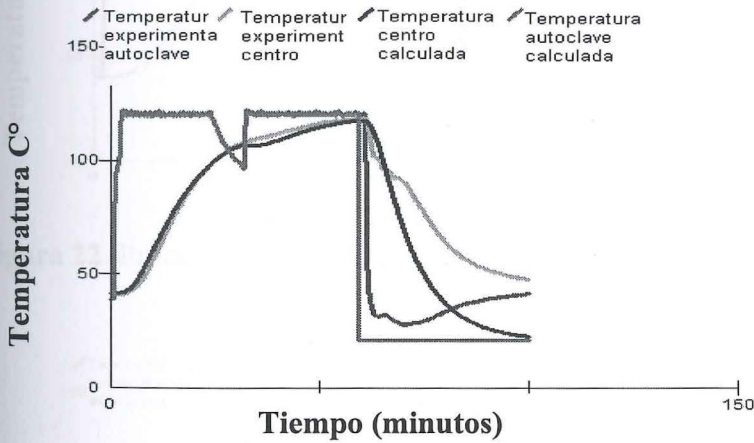


Figura 20. Procesamiento térmico con desviación media en modo mixto usando el programa "Real Time Control".

En las Figuras 23, 24, 25 y 26 se pueden observar las diferentes cocciones a la que fueron sometidas las latas con un 15% de bentonita usando el programa "Real Time Control". Se puede observar que en la Figura 23 que la curva térmica calculada se ajustó muy bien a la curva térmica real en el calentamiento y enfriamiento.

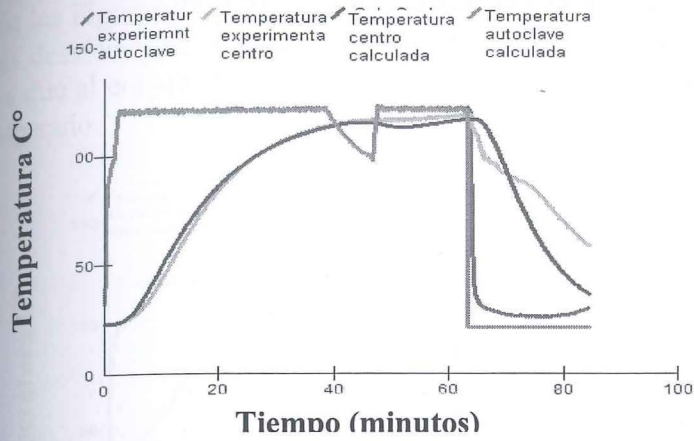


Figura 21. Procesamiento térmico con desviación tardía en convección usando el programa "Real Time Control"

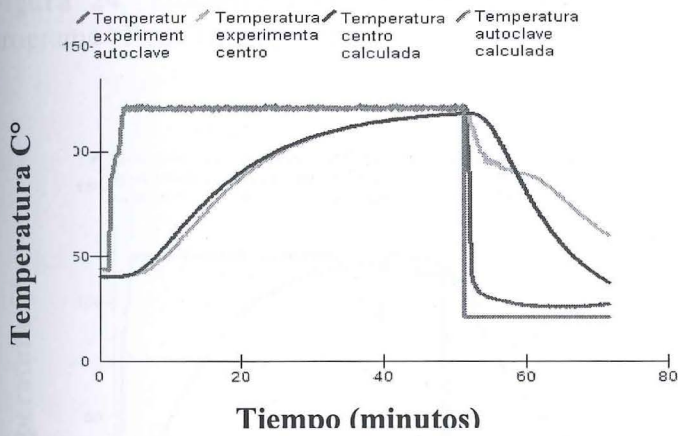


Figura 22. Procesamiento térmico sin desviación en modo mixto.

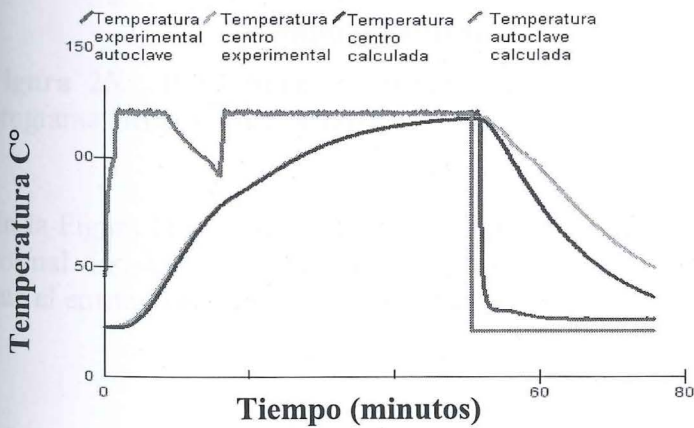


Figura 23. Procesamiento térmico con desviación temprana en conducción usando el programa "Real Time Control".

En las Figuras 24 y 25 se puede observar que el pronóstico se ajustó hasta que se aplican las desviaciones, después de las cuales su recuperación fue lenta. Esto afectó el enfriado ya que al empezar a pronosticarse en una temperatura menor el resultado es diferente del esperado.

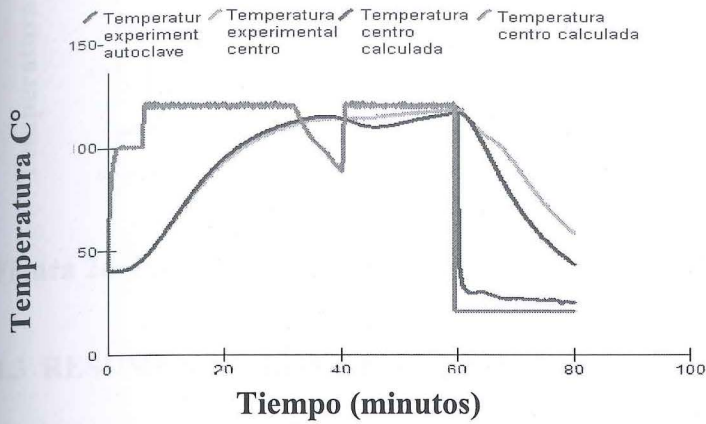


Figura 24. Procesamiento térmico con desviación media en conducción usando el programa "Real Time Control".

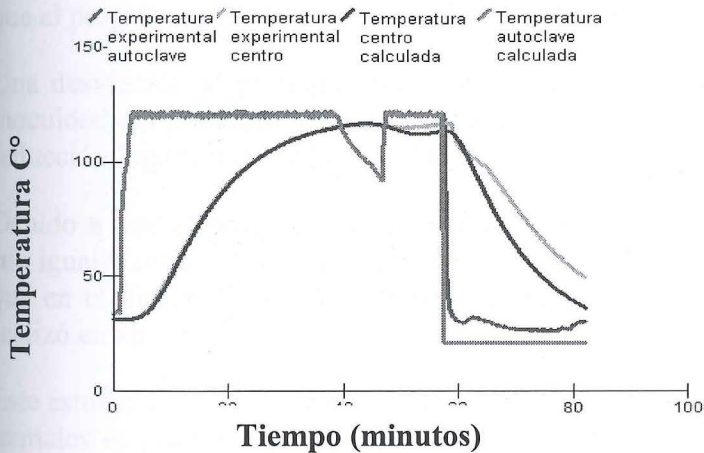


Figura 25. Procesamiento térmico con desviación tardía en conducción usando el programa "Real Time Control".

En la Figura 26 se puede ver como el proceso luego de las desviaciones corrió de forma normal. Existieron diferencias en el enfriamiento por la diferencia entre el momento en que el enfriado comenzó a ser simulado en el programa y cuando sucedió en realidad.

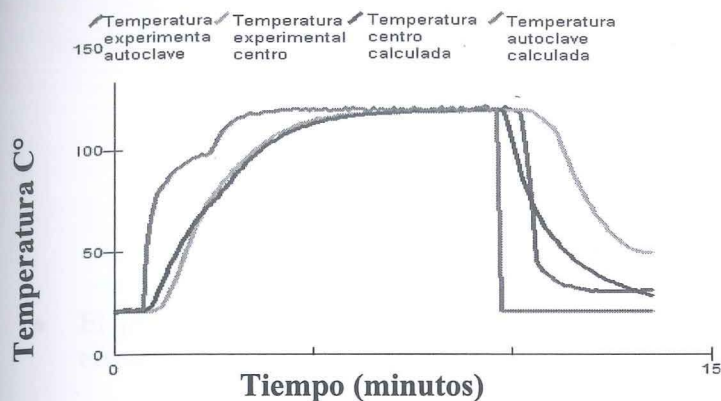


Figura 26. Procesamiento térmico en conducción sin desviación

4.3 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Según lo visto en los Cuadros 12, 14 y 16 el tiempo del proceso decreció en la misma medida que el momento de las desviaciones se adelanta.

En el Cuadro 17 se presenta un resumen de todo el trabajo. El F_0 final de cada proceso con una desviación fue por lo menos igual, o mayor que el F_0 sin la desviación. Mientras que el programa intenta alcanzar el F_0 deseado, los tiempos de calentamiento aumentan.

Una desviación al principio del procesamiento térmico es mucho más riesgosa para la inocuidad del producto que una desviación tardía, ya que la temprana provocó una mayor reducción logarítmica de la letalidad total.

Debido a que el programa de control considera que los parámetros del traspaso térmico son iguales durante la desviación, este se recuperó de forma más lenta de las desviaciones que en el tiempo real. En la realidad el vapor fue cortado y la transmisión de calor se realizó en aire.

Este estudio confirmó que un proceso de dos pasos para controlar desviaciones de proceso termal es posible y relativamente fácil. Los pasos críticos son la selección correcta de parámetros en la primera etapa y el acceso a la temperatura real de la réplica en la segunda etapa

Cuadro 17. Nuevos tiempos obtenidos con el programa “Real Time Control” y el respectivo F_0 en cada caso

Bentonita.	Sin desviación		Temprana		Media		Tardía	
	Nuevo tiempo	Fo	Nuevo tiempo	F0	Nuevo tiempo	F0	Nuevo tiempo	F0
1%	5.51	3.01	6.83	3.88	7.35	3.88	7.77	3.01
5%	51.32	5.45	54.33	8.19	59.51	7.79	63.42	8.19
15%	44.77	7.28	48.71	6.53	53.11	8.8	54.01	7.28

5. CONCLUSIONES

- El programa alargó el tiempo del procesamiento térmico en cada caso de forma efectiva.
- El programa pronosticó la temperatura interna de las latas con una mínima diferencia, por debajo de la temperatura real.
- El F_0 (letalidad total) calculado fue igual o mayor a la letalidad total de las latas, en todos los casos.
- Los parámetros de transmisión de calor fueron estables en las latas de 1% y 15% de bentonita.
- Los parámetros de transmisión de calor de las latas al 5% variaron continuamente.
- El tiempo de la desviación se relacionó directamente con la reducción de la letalidad. Mientras más temprana la desviación se obtuvo una letalidad menor, con todas las variables constantes.
- La curva térmica del programa de simulación fue más lenta en recuperarse de la desviación de lo que la curva térmica de las latas.

6. RECOMENDACIONES

- Usar pesas o moldes que mantengan inmóviles las latas durante el procesamiento térmico, en el modo mixto.
- Estabilizar los parámetros al cocinar las latas de bentonita con una concentración que emula un modo mixto de transmisión de calor, antes de obtener curvas térmicas representativas.
- Usar empaques de otros materiales de mayor resistencia, si se realizan experimentos de este tipo con bentonita.
- Comprobar los resultados obtenidos con productos alimenticios.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Balaban, M. O. 2005. Principles of Food Processing, Manual de clases primavera 2005. 71-99.
- Datta, A.K., Teixeira, A.A. and Manson, J.E. 1986. Computer-based retort control logic for on-line correction of process deviations. J. of Food Science. 51: 480-483.
- Denys, S., Noronha, J., Stoforo, N.G., Hendrickx, M. and Tobback, P. 1996b. A semi-empirical approach to handle broken-line heating: Determination of empirical parameters and evaluation of process deviations. J. food Processing Preservation, 20: 331-346.
- Hui, Y. H., Ghazala, S., Graham, D. M., Murrell, K. D., Nip, W. 2004 Handbook of Vegetable Preservation and Processing. Marcel Dekker. Estados Unidos. 739p.
- Kim, K.H., Texeira, A.A., 1997. Predicting internal temperature response to conduction-heating of odd-shaped solids. J. of Food Process Eng. 20:51-63.
- López, A. 1987. A complete course in canning and related processes. Volumen 1, Basic information on canning. 12 ed. Canning Trade. Baltimore.
- Noronha, J., Hendrickx, M., Van Loey, A. and Tobback, P. 1995. New semi-empirical approach to handle time-variable boundary conditions during sterilization of non conductive heating foods. J. Food Engr. 24: 249-268.
- Teixeira, A.A., Dixon, J.R., Zahradnik, J.W., Zinsmeister, G.E. 1969. Computer optimization of nutrient retention in the thermal processing of conduction-heated foods. Food Technology, 23, 845-850.
- Teixeira, A.A, Manson, J.E. 1982. Computer control batch retort operations with on-line correction of process deviations. Food Technology. 36 (4): 85-90.
- Teixeira, A.A., Dolan, K., Datta, A.K. and Adams, J.P. 1985. Retort depressurization effect on cooling rates in conduction-heating canned food. TRANSACTIONS of the ASAE. 28(2): 645-648.
- Teixeira, A.A, 1991. Instrumental methods for quality assurance in foods: Thermal processing of canned food. Chapter 11. Ed. Fung, D., Matthews, R. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Teixeira, A.A., Balaban, M.O., Germer, S.P.M., Sadahira, M.S., Teixeira-Neto, R.O. and Vitali, A.A. 1999. Heating transfer model performance in simulation of process deviations. J. of Food Science. 64(3): 488-493.

Velt, B.A., Texeira, A.A., Chau, K.V., Balaban, M.O., and Hintenlang, D.E. (1997). Explicit finite difference methods for heat treatment transfer simulation and thermal process desing. Journal of food science, V62, 230-236.

hijun, W., David, P, Ferry, H., 1995. Process deviation analysis of conduction-heating canned foods processed in hydrostatic sterilizer.

8. ANEXOS

Anexo 1. Datos del ajuste de la corrida regular 1 en convección.

El enfriado empieza en el punto 121

Tiempo del comienzo del enfriado = 12.01

Temperatura de la retorta al comienzo del enfriado = 117.79

Temperatura de del centro de la lata al comienzo del enfriado = 119.24

Parámetros de penetración de calor en el calentado.

Pausas 0 desde el punto 2 al punto 40

R^2 ajustado = 0.9833575959

$f_h = 2.69$ $j_h = 1.283995133$

Parámetros de penetración de calor en el enfriado
desde el punto 121 al punto 154

R^2 ajustado = 0.9963821629

$f_c = 4.349229532$ $j_c = 1.082209545$

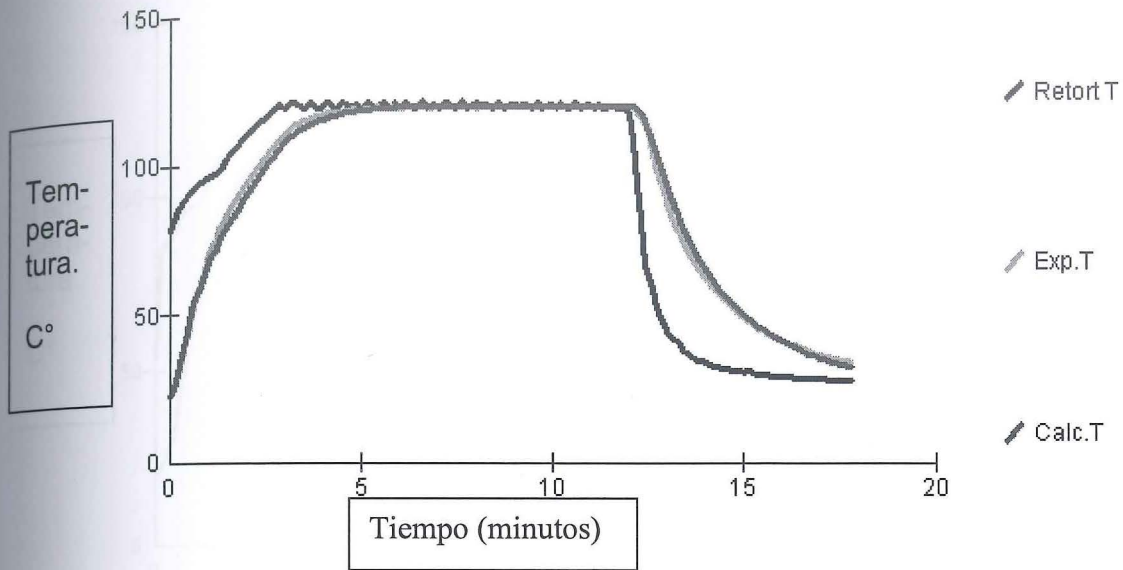
Simulación con parámetros de penetración de calor
SS de las temperaturas minimizado

Inicial $f_h = 2.69$ Final $f_h = 2.33$
Inicial $j_h = 1.283995133$ Final $j_h = 0.89$

$\alpha = 0.1$
 $X / R = 0.6434423849$ Pausas = 0

Inicial $f_c = 4.349229532$ Final $f_c = 3.83$ $\alpha = 0.0608$
Inicial $j_c = 1.082209545$ Final $j_c = 0.74$ $X / R = 0.6982837913$
SS de las temperaturas: 729 RMS = 2.02

Anexo 2. Datos del ajuste de la corrida regular 2 en convección



El enfriado empieza en el dato 105
 del comienzo del enfriado = 10.4
 al comienzo del enfriado = 119.16

Tiempo
 Temperatura de la retorta
 Temperatura de del centro de la lata al comienzo del = 119.98

Parámetros de penetración de calor en el calentado

Desde el punto 2 al punto 24 R^2 ajustado = 0.974947099
 $f_h = 2.17$ $j_h = 1.26505726$

Parámetros de penetración de calor en el enfriamiento

Desde el punto 107 al punto 139 R^2 ajustado = 0.9603662531
 $f_c = 7.715259261$ $j_c = 1.067773485$

Simulación con parámetros de penetración de calor
 SS de las temperaturas minimizado

Inicial $f_h = 2.17$ Final $f_h = 2$ Alpha = 0.116
 Inicial $j_h = 1.26505726$ Final $j_h = 0.89$ X/R = 0.6434423849

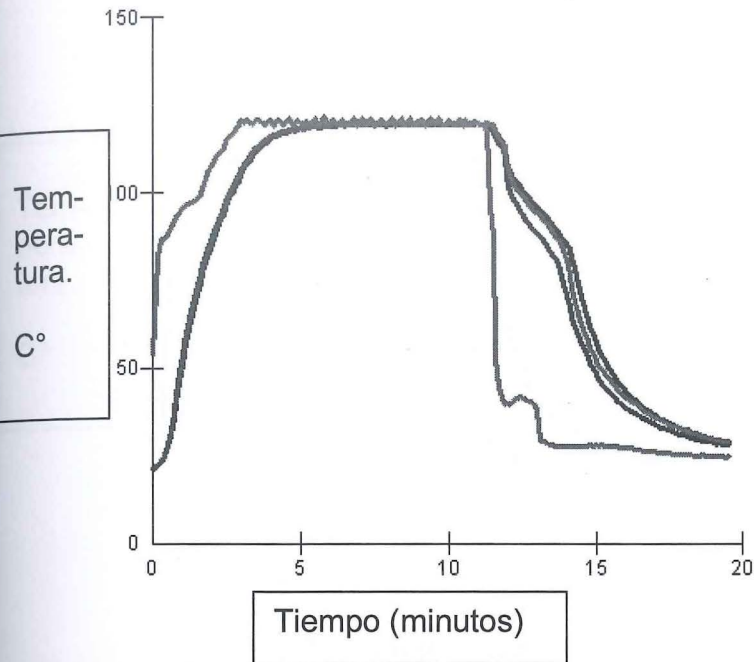
Pausas = 0

Inicial $f_c = 7.715259261$ Final $f_c = 7.5$ Alpha = 0.0311
 Inicial $j_c = 1.067773485$ Final $j_c = 0.68$ X/R = 0.720116966

SS de las temperaturas: 2370

RMS = 3.47

Anexo 3. Datos del ajuste de la corrida regular 3 en convección



El enfriado empieza en el dato 109

Tiempo del comienzo del enfriado = 10.81

Temperatura de la retorta al comienzo del enfriado = 117.57

Temperatura de del centro de la lata al comienzo del = 119.69

Parámetros de penetración de calor en el calentado

Desde el punto 3 al punto 38 R^2 ajustado = 0.9865930096

$f_h = 2.62$ $j_h = 1.29783748$

Parámetros de penetración de calor en el enfriamiento

Desde el punto 109 al punto 144 R^2 ajustado = 0.9335183146

$f_c = 7.048580575$ $j_c = 1.100353804$

Simulación con parámetros de penetración de calor

SS de las temperaturas minimizado

Inicial $f_h = 2.62$ Final $f_h = 2.75$ $\alpha = 0.0847$

Inicial $j_h = 1.29783748$ Final $j_h = 0.85$ $X / R = 0.658082992$

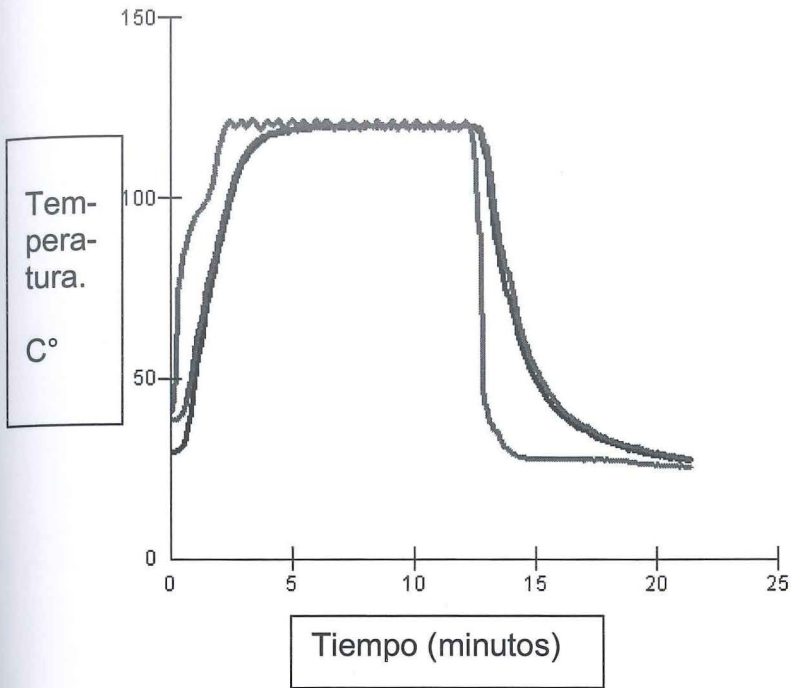
Inicial $f_c = 7.048580575$ Final $f_c = 4.5$ $\alpha = 0.0518$ Inicial

$j_c = 1.100353804$ Final $j_c = 0.9$ $-36 - X / R = 0.6397755226$

SS de las temperaturas: 3080

RMS = 4.02

Anexo 4. Datos del Ajuste de la corrida regular 4 en convección



El enfriamiento comienza en el punto 122

Tiempo al enfriar = 12.11 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 117.75 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 119.67 C°

Parámetros de penetración de calor

Desde el punto 5 hasta el punto 28 R^2 ajustado= 0.9776614871

$f_h = 2.52$ $j_h = 1.579041462$

Valores de la penetración de calor en el enfriamiento.

Desde el punto 127 hasta el punto 157 R^2 ajustado= 0.9973250717

$f_C = 3.77161837$ $j_C = 1.192536037$

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

Inicial $f_h = 2.52$ Final $f_h = 2.66$ Alpha = 0.0876
 Inicial $j_h = 1.579041462$ Final $j_h = 0.89$ X / R = 0.6426523791

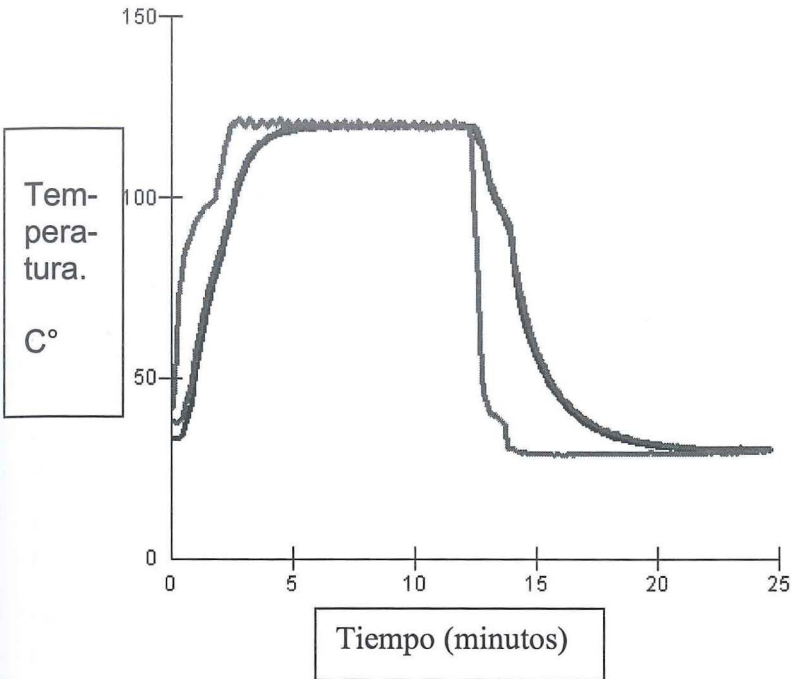
breaks = 0

Inicial $f_C = 3.77161837$ Final $f_C = 3.93$ Alpha = 0.0592
 Inicial $j_C = 1.192536037$ Final $j_C = 0.74$ X / R = 0.6998903571

SS de las temperaturas: 711

RMS = 1.83

Anexo 5. Datos ajustados de la corrida regular 5 en convección



El enfriamiento comienza en el punto = Data # 120
 Tiempo al enfriar = 11.9 minutos
 Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 119.57 C°
 Temperatura del centro al empezar el enfriado = 119.6 C°

Parámetros de penetración de calor en el calentamiento
 Desde el punto 6 hasta el punto 20 R^2 ajustado = 0.9985671614
 $f_h = 3.67$ $j_h = 1.239571095$

Valores de la penetración de calor en el enfriamiento. Desde el punto 122 hasta el punto 157
 R^2 ajustado = 0.9720993129
 $f_c = 4.280613658$ $j_c = 1.354099496$

Simulación con los valores de penetración de calor.
 SS de la temperatura minimizado.

Inicial $f_h = 3.67$	Final $f_h = 2.66$	$\alpha = 0.0876$	
Inicial $j_h = 1.239571095$	Final $j_h = 0.89$	$X \text{ over } R = 0.6424787053$	
Inicial $f_c = 4.280613658$	Final $f_c = 3.93$	$\alpha = 0.0593$	
Inicial $j_c = 1.354099496$	Final $j_c = 1.07$	$X \text{ over } R = 0.5756620427$	
SS de las temperaturas: 1120		RMS = 2.14	

Anexo 6. Datos ajustados de la corrida regular 1 en modo mixto (tanda 1)

El enfriamiento comienza en el punto 562

Tiempo al enfriar = 56.1099999999999 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 119.27 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 118.25 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 71 hasta el punto 426 R² ajustado = 0.9988575285

fh = 28.29 jh = 1.8192581

Valores de la penetración de calor en el enfriamiento.

Desde el punto 573 hasta el punto 624 R² ajustado = 0.9737846118

fC = 9.181246239 jC = 1.349416501

Calculado Fo 8.356066853 Temperatura de referencia 121.1 Valor Z 10

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

Inicial fH = 28.29	Final fH = 13.14	Alpha = 0.0177
Inicial jH = 1.8192581	Final jH = 1.89	X / R = 0.1822089421
Inicial fC = 9.181246239	Final fC = 3.59	Alpha = 0.0649
Inicial jC = 1.349416501	Final jC = 1.56	X / R = 0.3776453042

SS de las temperaturas: 12700

RMS = 4.21

Anexo 7. Datos ajustados de la corrida regular 2 en modo mixto (tanda 1)

El enfriamiento comienza en el punto 512 Tiempo al enfriar = 51.1 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 118.77 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 117.26 C°

Parámetros de penetración de calor en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 345 R² ajustado = 0.9897640471

fh = 33.11 jh = 1.16037664

Valores de la penetración de calor en el enfriamiento.

Desde el punto 514 hasta el punto

792 R² ajustado = 0.9101973637

fC = 28.20440981 jC = 0.877509058

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

Inicial fH =	33.11	Final fH =	24	Alpha = 0.00971
Inicial jH =	1.16037664	Final jH =	1.22	X / R = 0.5194968994
Inicial fC =	28.20440981	Final fC =	25	Alpha = 0.00932
Inicial jC =	0.877509058	Final jC =	0.64	X / R = 0.7359559243

SS de las temperaturas: 17700

RMS = 4.72

Anexo 8. Datos ajustados de la corrida regular 3 en modo mixto (tanda 1)

El enfriamiento comienza en el punto 598

Tiempo al enfriar = 59.6900000000001 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 118.76 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 118.31 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 410 R² ajustado= 0.9869141976
fh = 31.82 jh = 1.429085177

Valores de la penetración de calor en el enfriamiento.

Desde el punto 598 hasta el punto 929 R² ajustado= 0.9625823092
fC value 36.64508265 jC value 1.295011308

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

Inicial fH =	31.82	Final fH =	22.5	Alpha =	0.0104
Inicial jH =	1.429085177	Final jH =	1.64	X over R =	0.3393468873
Inicial fC =	36.64508265	Final fC =	20.3	Alpha =	0.0115
Inicial jC =	1.295011308	Final jC =	1.72	X over R =	0.2952467507
SS de las temperaturas:	4510	RMS =	2.2		

Anexo 9. Datos ajustados de la corrida regular 4 en modo mixto (tanda 1)

El enfriamiento comienza en el punto 606

Tiempo al enfriar = 60.52 minu tos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 48.82 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 117.84 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 86 hasta el punto 473 R^2 ajustado=0.9993668966

fh = 29.08 jh = 1.778713712

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 612 hasta el punto 761 R^2 ajustado= 0.9706284887

fC = 66.91277034 jC = 1.033078626

Fo Calculado 9.18265268 Temperatura de referencia 121.1 Valor z 10

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

Inicial fH = 29.08 Final fH = 14.54 Alpha = 0.016
Inicial jH = 1.778713712 Final jH = 1.66 X / R = 0.329914048

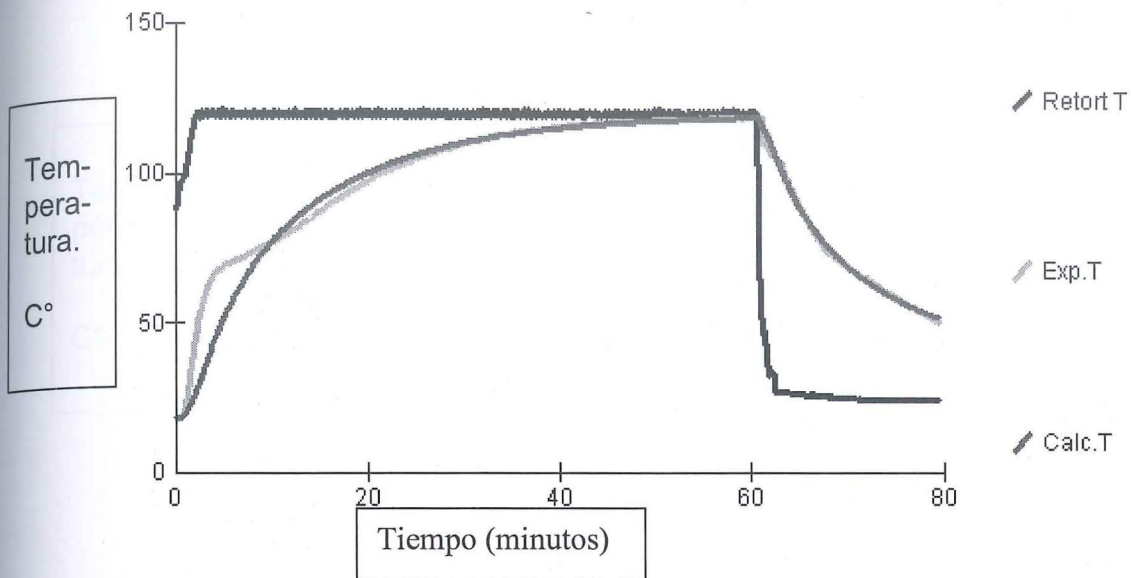
breaks = 0

Inicial fC = 66.91277034 Final fC = 33.46 Alpha = 0.00696
Inicial jC = 1.033078626 Final jC = 1 X / R = 0.603105432

SS de las temperaturas: 27400

RMS = 5.42

Anexo 10. Datos ajustados de la corrida regular 5 en modo mixto ((tanda 1)



El enfriamiento comienza en el punto 602

Tiempo al enfriar = 60.1 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.96 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 118.56 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento.

Desde el punto 13 hasta el punto 269 R^2 ajustado = 0.9779384705

$f_h = 35.98$ $j_h = 0.7808230955$

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 604 hasta el punto 732 R^2 ajustado = 0.9823991889

$f_c = 30.68478564$ $j_c = 1.00839557$

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

Inicial $f_h = 35.98$

Final $f_h = 12.8$

Alpha = 0.0182

Inicial $j_h = 0.7808230955$

Final $j_h = 0.8$

X / R = 0.6763490092

Inicial $f_c = 30.68478564$

Final $f_c = 31.49$

Alpha = 0.0074

Inicial $j_c = 1.00839557$

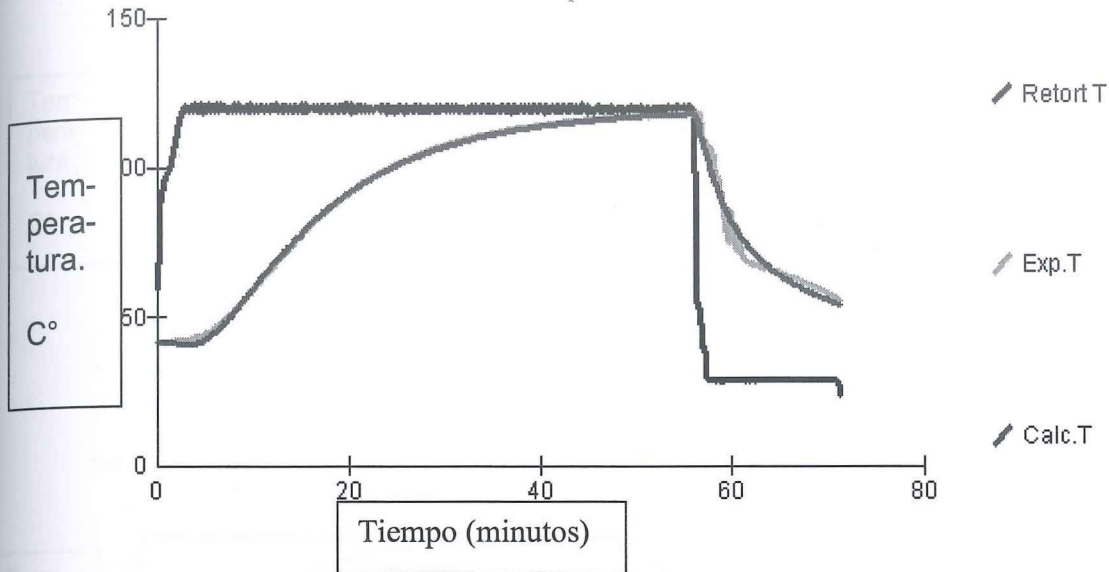
Final $j_c = 0.42$

X / R = 0.8171950103

SS de las temperaturas: 21000

RMS = 5.14

Anexo 11. Datos ajustados de la corrida regular 6 en modo mixto (tanda 1)



El enfriamiento comienza en el punto = Data # 557

Tiempo al enfriar = 55.5900000000001 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.89 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 117.92 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 369 R^2 ajustado = 0.9816466847
 $f_h = 32.48$ $j_h = 1.413073407$

Valores de la penetración de calor en el enfriamiento.

Desde el punto 557 hasta el punto 696 R^2 ajustado = 0.8685880914
 $f_c = 29.01657396$ $j_c = 0.8824816773$

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

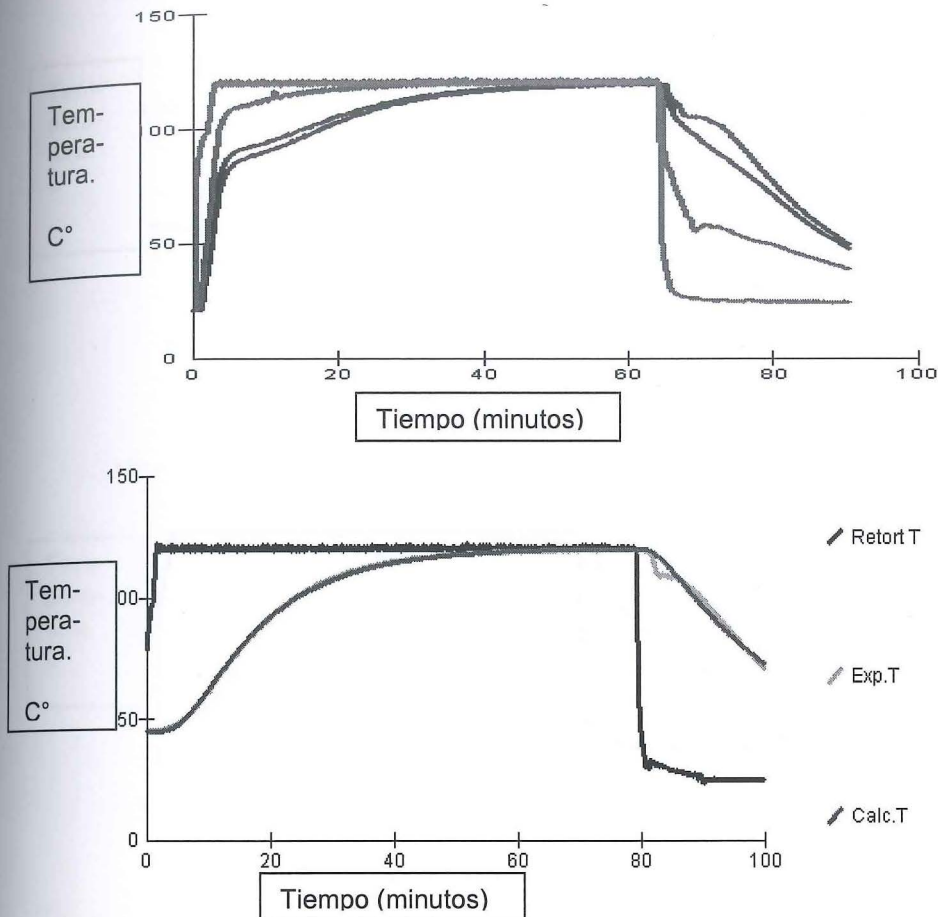
Inicial $f_h = 32.48$ Final $f_h = 5.95$ Alpha = 0.0391
 Inicial $j_h = 1.413073407$ Final $j_h = 1.73$ X / R = 0.2923038644

Inicial $f_c = 29.01657396$ Final $f_c = 23.75$ Alpha = 0.00981
 Inicial $j_c = 0.8824816773$ Final $j_c = 0.26$ X / R = 0.8823508896

SS de las temperaturas: 2030

RMS = 1.69

Anexo 12. Datos ajustados de la corrida regular 1 en modo mixto (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 637

Tiempo al enfriar = 63.61 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 119.75 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 119.4 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 349 R^2 ajustado = 0.9673474089

fh = 31.8 jh = 0.668865371

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

punto 898 R^2 ajustado = 0.9842279858

fC value 46.12012208 jC value 1.026122176

Desde el punto 637 hasta el

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

Inicial fh = 31.8 Final fh = 6 Alpha = 0.0388

Inicial jh = 0.668865371 Final jh = 1 X / R = 0.6031048771

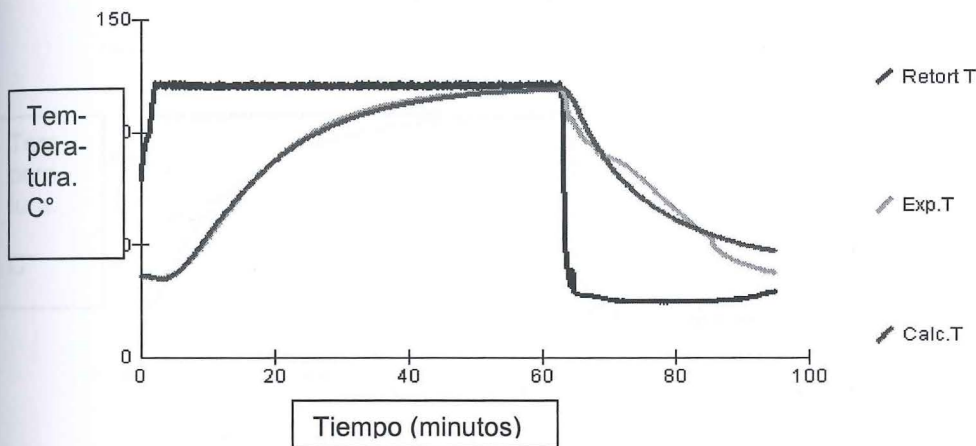
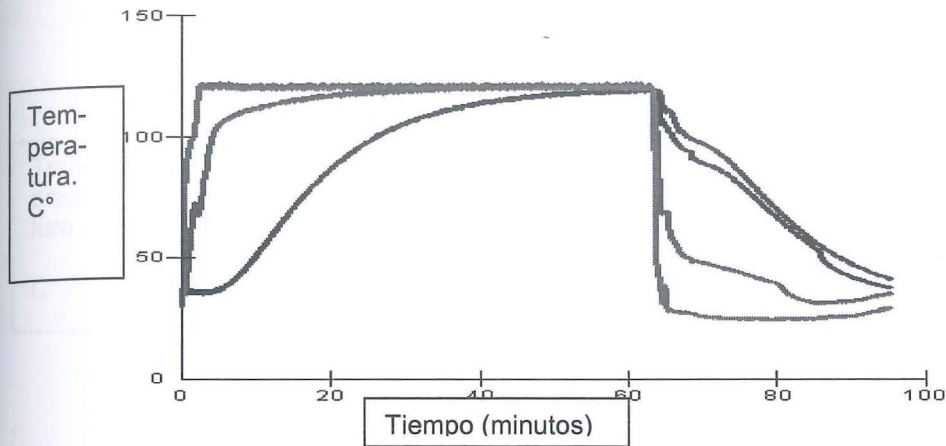
Inicial fC = 46.12012208 Final fC = 24.18 Alpha = 0.00964

Inicial jC = 1.026122176 Final jC = 0.45 X / R = 0.8074256028

SS de las temperaturas: 101000

RMS = 10.59

Anexo 13. Datos ajustados de la corrida regular 2 en modo mixto (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 657

Tiempo al enfriar = 65.59 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.55 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 119.2 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 395 R^2 ajustado = 0.9898593577

$f_h = 33.07$ $j_h = 0.904815339$

Valores de la penetración de calor en el enfriamiento.

Desde el punto 657 hasta el punto 940 R^2 ajustado = 0.9657167421

$f_c = 47.73788932$ $j_c = 1.051319727$

Simulación con los valores de penetración de calor.

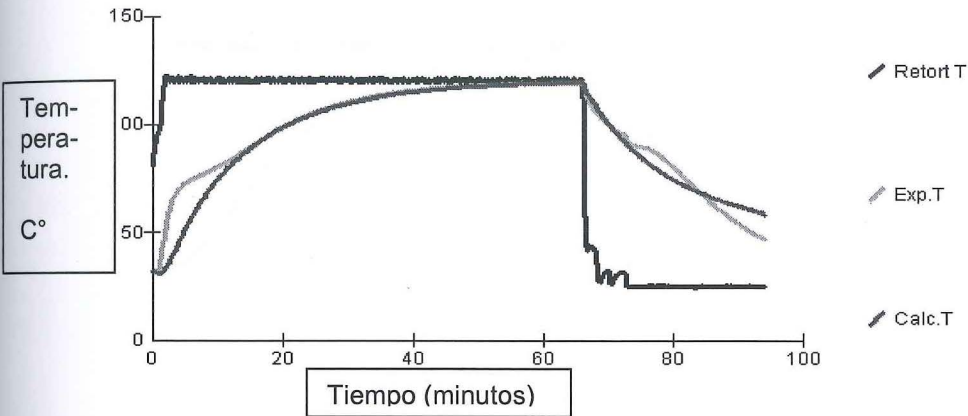
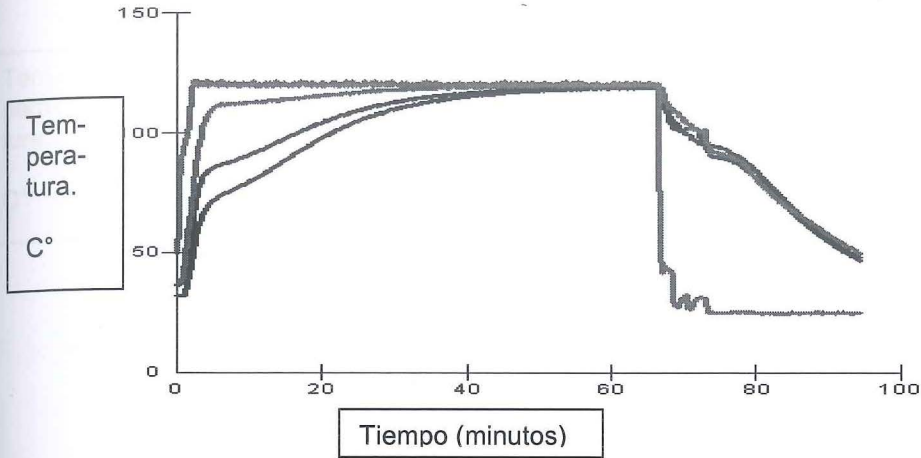
SS de la temperatura minimizado.

Inicial $f_h = 33.07$	Final $f_h = 6.7$	$\alpha = 0.0348$
Inicial $j_h = 0.904815339$	Final $j_h = 1$	$X/R = 0.603104518$
Inicial $f_c = 47.73788932$	Final $f_c = 71.61$	$\alpha = 0.00325$
Inicial $j_c = 1.051319727$	Final $j_c = 0.23$	$X/R = 0.8935843117$

SS de las temperaturas: 36800

RMS = 6.25

Anexo 14. Datos ajustados de la corrida regular 3 en modo mixto (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 628

Tiempo al enfriar = 62.71 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.11C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 118.79C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 463 R^2 ajustado = 0.9866676238

fh = 30.97 jh = 1.527807677

Valores de la penetración de calor en el enfriamiento.

Desde el punto 628 hasta el punto 850

R^2 ajustado = 0.9722180967

fC = 45.5867649 jC = 0.972843784

Simulación con los valores de penetración de calor.

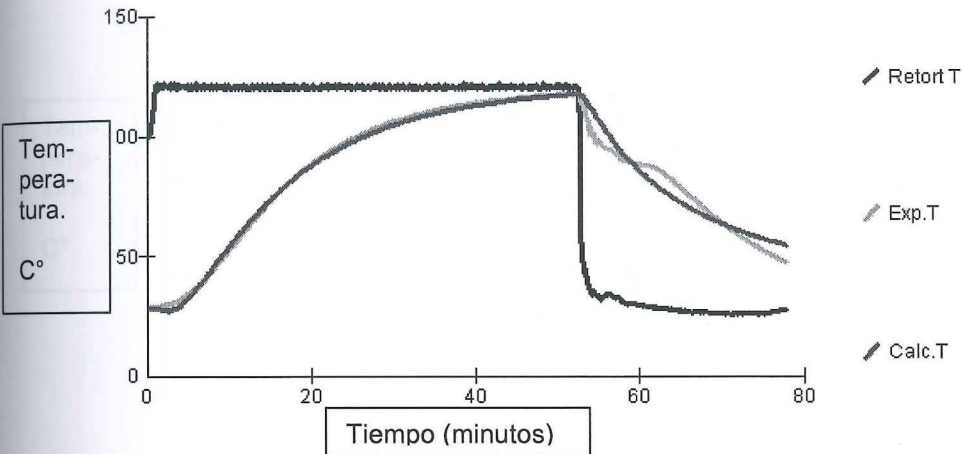
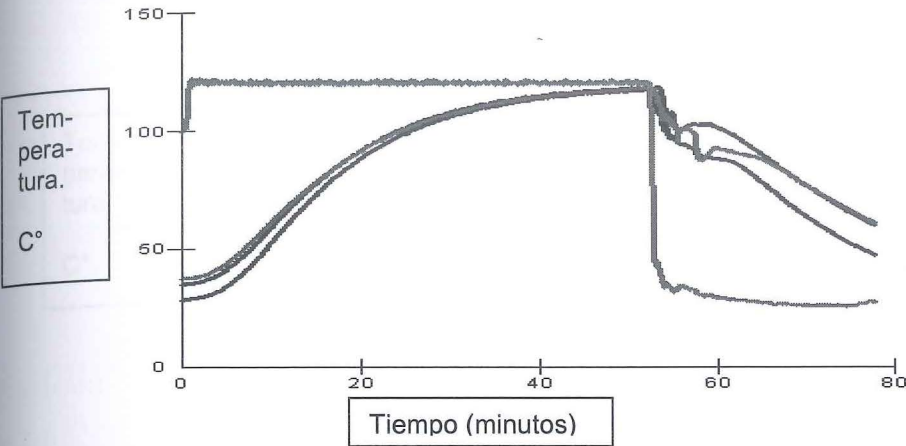
SS de la temperatura minimizado.

Inicial fh =	30.97	Final fh =	6.5	Alpha = 0.0358
Inicial jh =	1.527807677	Final jh =	1.67	X / R = 0.3248126286
Inicial fC =	45.5867649	Final fC =	18	Alpha = 0.0129
Inicial jC =	0.972843784	Final jC =	0.48	X / R = 0.7941588187

SS de las temperaturas: 15100

RMS = 3.99

Anexo 15. Datos ajustados de la corrida regular 4 en modo mixto (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 523

Tiempo al enfriar = 52.32 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.51

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 117.51

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 371 R^2 ajustado = 0.9862441197

$f_h = 31.92$ $j_h = 1.370101909$

Valores de la penetración de calor en el enfriamiento.

Desde el punto 523 hasta el punto 772 R^2 ajustado = 0.9605521607

$f_c = 43.86582898$ $j_c = 0.9945140316$

Simulación con los valores de penetración de calor.

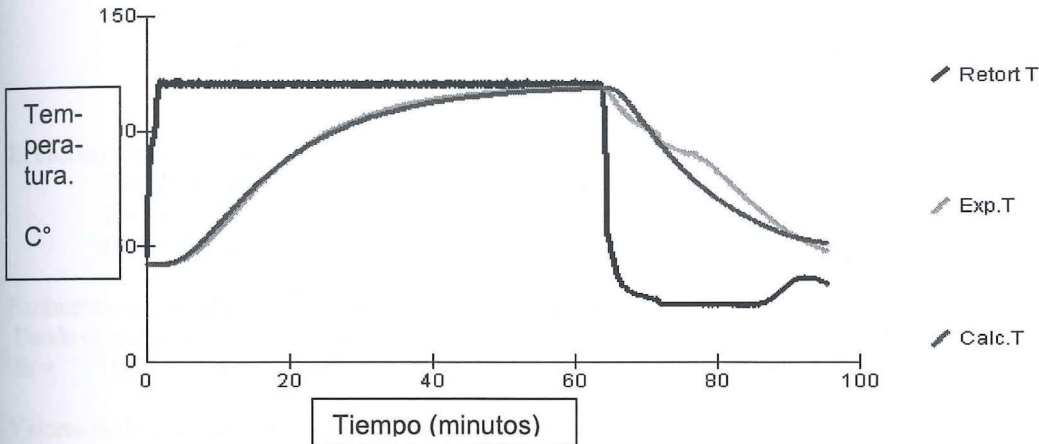
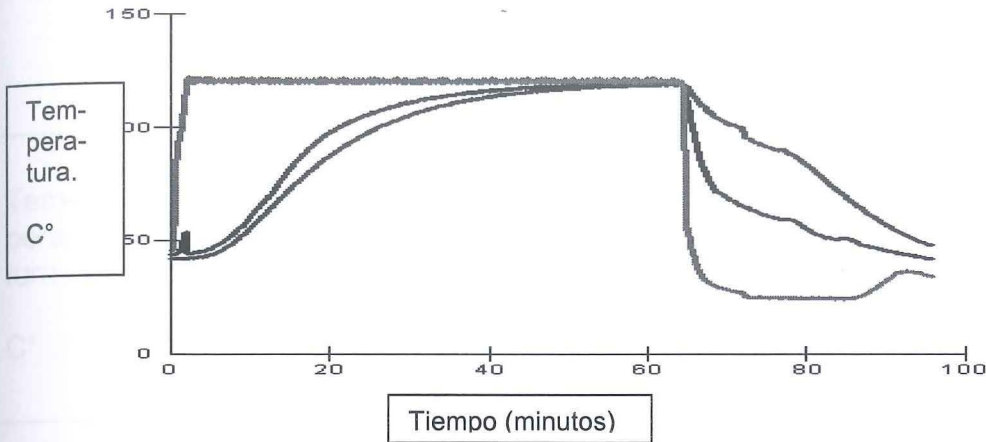
SS de la temperatura minimizado.

Inicial $f_h = 31.92$	Final $f_h = 6.5$	$\alpha = 0.0358$
Inicial $j_h = 1.370101909$	Final $j_h = 1.54$	$X/R = 0.3875809688$
Inicial $f_c = 43.86582898$	Final $f_c = 21.93$	$\alpha = 0.0106$
Inicial $j_c = 0.9945140316$	Final $j_c = 0.44$	$X/R = 0.8107673872$

SS de las temperaturas: 7760

RMS = 3.16

Anexo 16. Datos ajustados de la corrida regular 5 en modo mixto (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 637

Tiempo al enfriar = 63.61 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.68 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 118.66 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 430 R^2 ajustado = 0.9822518204

fh = 32.82 jh = 1.479966392

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 637 hasta el punto 952 R^2 ajustado = 0.9493694458

fC = 43.2250685 jC = 1.171454863

Simulación con los valores de penetración de calor.

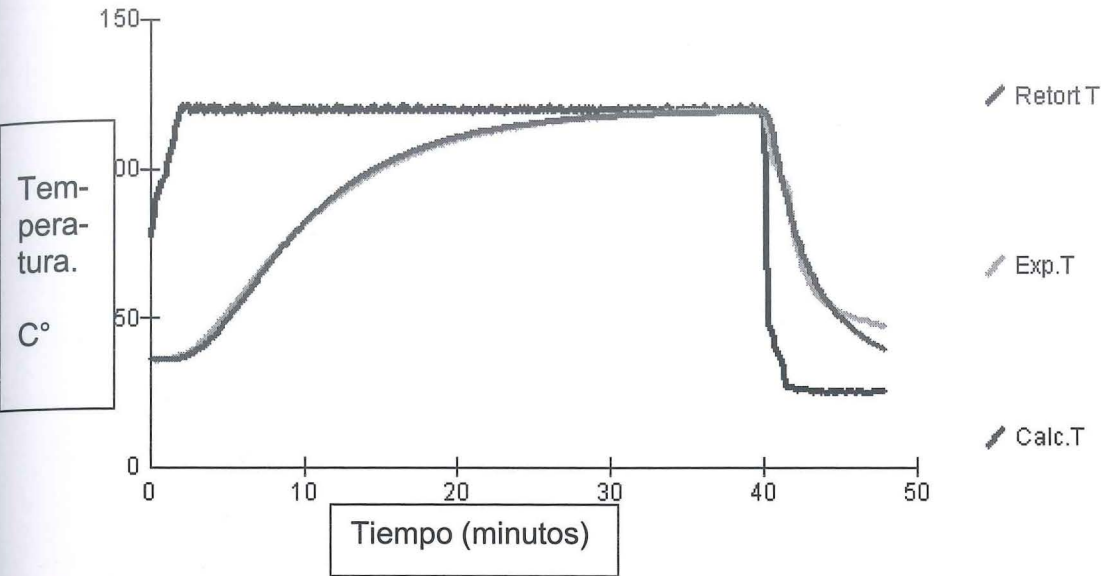
SS de la temperatura minimizado.

Inicial fh =	32.82	Final fh =	24	Alpha =	0.00971
Inicial jh =	1.479966392	Final jh =	1.64	X / R =	0.3394060258
Inicial fC =	43.2250685	Final fC =	40.74	Alpha =	0.00572
Inicial jC =	1.171454863	Final jC =	1	X / R =	0.6039849253

SS de las temperaturas: 7590

RMS = 2.82

Anexo 17. Datos ajustados de la corrida regular 1 en conducción (tanda 1)



El enfriamiento comienza en el punto 399
Tiempo al enfriar = 39.889999999999 minutos
Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.21 C°
Temperatura del centro al empezar el enfriado = 119.25 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento
Desde el punto 1 hasta el punto 275 R^2 ajustado =0.9888115905
fh = 18.22 jh = 1.470476477

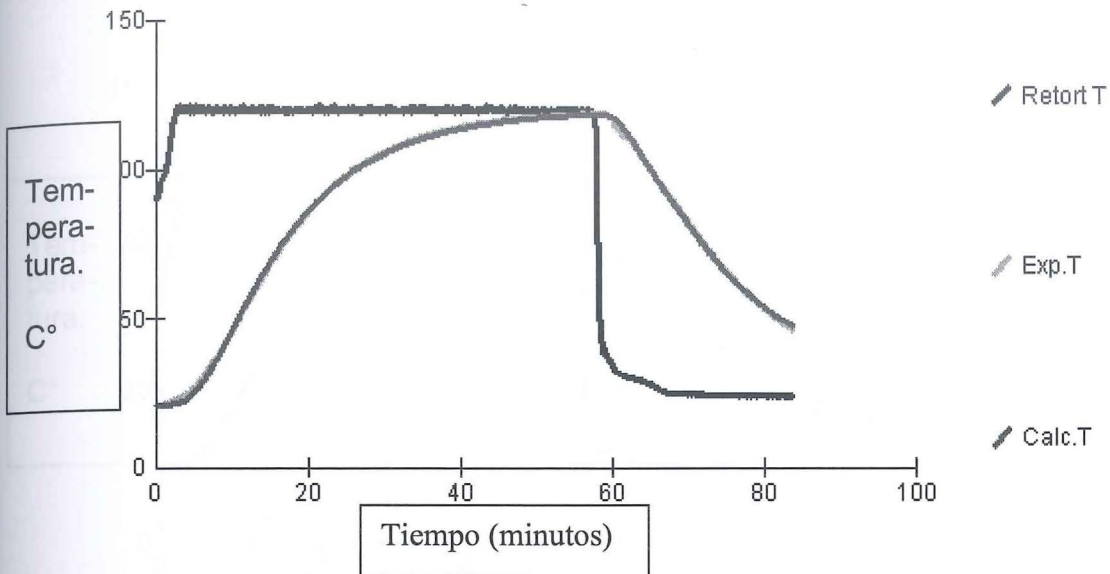
Valores de la penetración de calor en el enfriamiento.
Desde el punto 399 hasta el punto 435 R^2 ajustado = 0.97924163
fC = 7.227390526 jC = 1.09053706

Simulación con los valores de penetración de calor.
SS de la temperatura minimizado.

Inicial fH =	18.22	Final fH =	13.95	Alpha = 0.0167
Inicial jH =	1.470476477	Final jH =	1.85	X / R = 0.2140847745
Inicial fC =	7.227390526	Final fC =	10.84	Alpha = 0.0215
Inicial jC =	1.09053706	Final jC =	0.59	X / R = 0.7517228875

SS de las temperaturas: 1730 RMS = 1.9

Anexo 18. Datos ajustados de la corrida regular 2 en conducción (tanda 1)



El enfriamiento comienza en el punto 574

Tiempo al enfriar = 57.31 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 119.21 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 118.52 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 423 R^2 ajustado = 0.9861563819
 $f_h = 29.79$ $j_h = 1.470111019$

Parámetros de penetración del calor en el enfriamiento

Desde el punto 574 hasta el punto 836 R^2 ajustado = 0.9810594884
 $f_c = 39.62145568$ $j_c = 1.20201543$

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

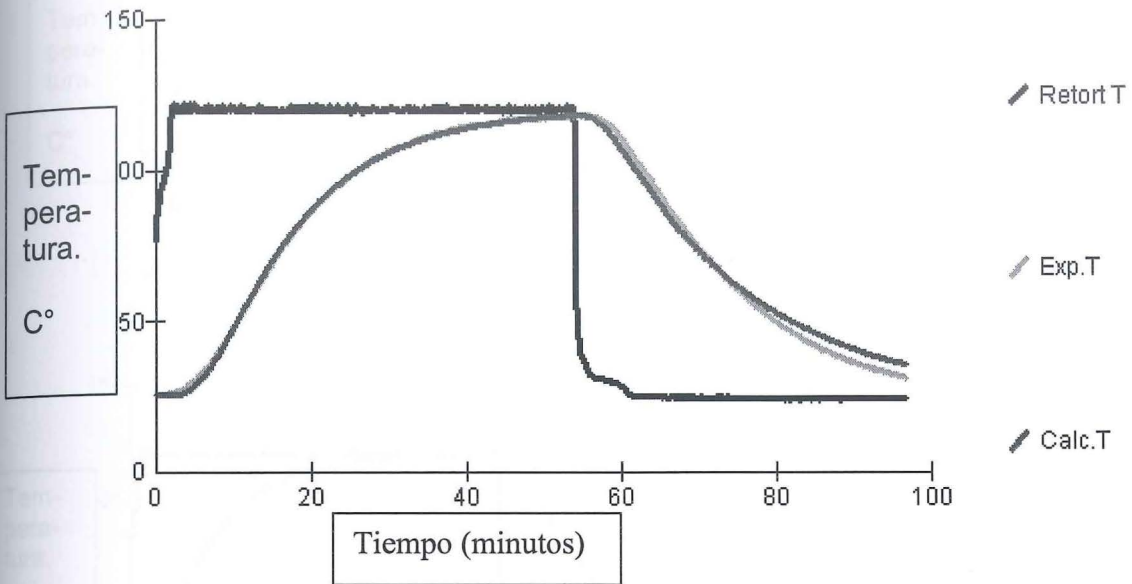
Inicial $f_h =$	29.79	Final $f_h =$	20.1	Alpha = 0.0116
Inicial $j_h =$	1.470111019	Final $j_h =$	1.81	X / R = 0.2438067783

Inicial $f_c =$	39.62145568	Final $f_c =$	24.56	Alpha = 0.00949
Inicial $j_c =$	1.20201543	Final $j_c =$	1.3	X / R = 0.4900698012

SS de las temperaturas: 479

RMS = 0.76

Anexo 19. Datos ajustados de la corrida regular 3 en conducción (tanda 1)



El enfriamiento comienza en el punto 537

Tiempo al enfriar = 53.61 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 121.01 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 118.03 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 6 hasta el punto 224 R^2 ajustado = 0.9575861285

$f_h = 38.45$ $j_h = 1.262552159$

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 537 hasta el punto 710 R^2 ajustado = 0.9469602979

$f_c = 54.2473977$ $j_c = 1.137185351$

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

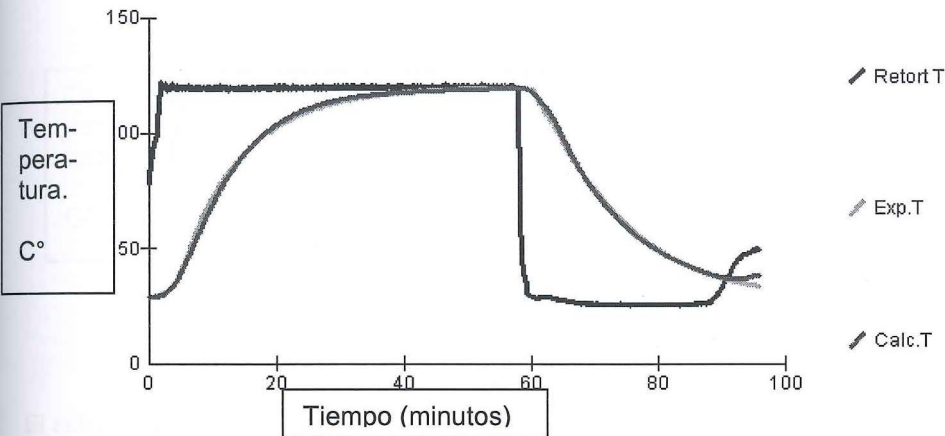
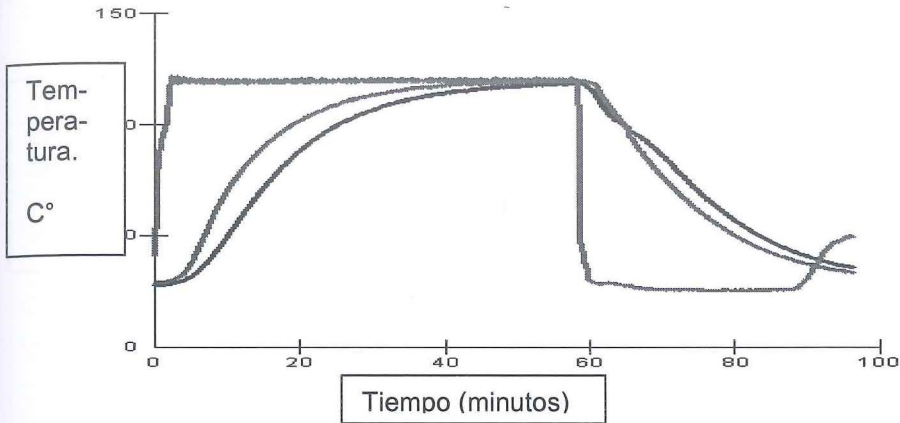
Inicial $f_h =$	38.45	Final $f_h =$	20.76	Alpha = 0.0112
Inicial $j_h =$	1.262552159	Final $j_h =$	1.86	X / R = 0.2057365564

Inicial $f_c =$	54.2473977	Final $f_c =$	27.12	Alpha = 0.00859
Inicial $j_c =$	1.137185351	Final $j_c =$	1.35	X / R = 0.4695770583

SS de las temperaturas: 4210

RMS = 2.09

Anexo 20. Datos ajustados de la corrida regular 1 en conducción (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 579

Tiempo al enfriar = 57.81 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 119.39 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 120.26 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 347 R^2 ajustado = 0.9960776272

$f_h = 23.66$ $j_h = 1.332284906$

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 579 hasta el punto 865 R^2 ajustado = 0.9952958014

$f_c = 33.59899039$ $j_c = 1.180635966$

Simulación con los valores de penetración de calor.

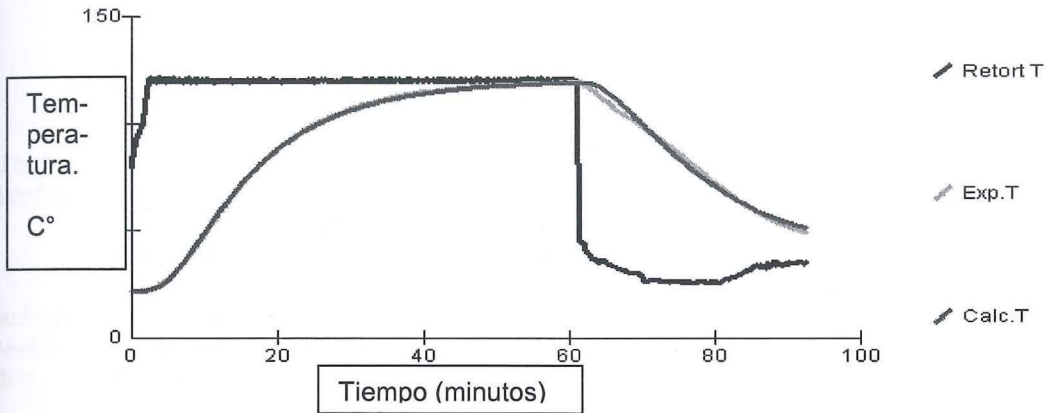
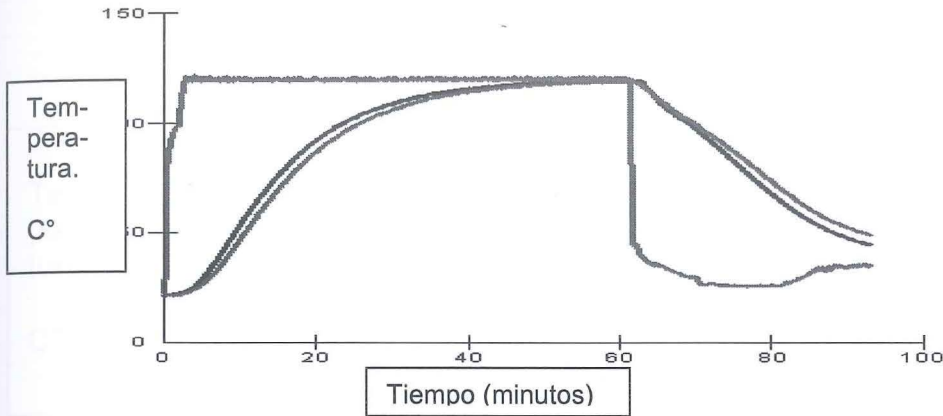
SS de la temperatura minimizado.

Inicial $f_h =$	23.66	Final $f_h =$	18.5	$\alpha = 0.0126$
Inicial $j_h =$	1.332284906	Final $j_h =$	1.7	$X/R = 0.3081765527$
Inicial $f_c =$	33.59899039	Final $f_c =$	29.73	$\alpha = 0.00784$
Inicial $j_c =$	1.180635966	Final $j_c =$	1.04	$X/R = 0.5885878244$

SS de las temperaturas: 1550

RMS = 1.27

Anexo 21. Datos ajustados de la corrida regular 2 en conducción (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 609

Tiempo al enfriar = 60.81 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 119.59C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 119.47C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 449 R^2 ajustado = 0.9898723148

$f_h = 28.64$ $j_h = 1.484162748$

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 609 hasta el punto 783 R^2 ajustado = 0.9903662742

$f_c = 68.41299536$ $j_c = 1.041464381$

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

Inicial $f_h = 28.64$ Final $f_h = 20.1$ Alpha = 0.0116 Inicial $j_h =$

1.484162748 Final $j_h = 1.72$ X / R = 0.2953723198

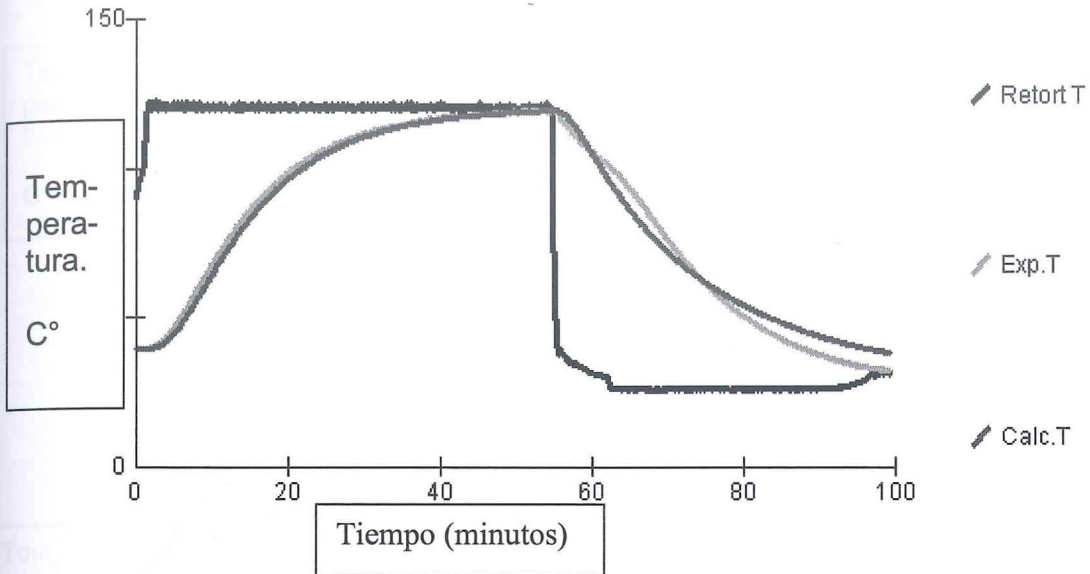
Inicial $f_c = 68.41299536$ Final $f_c = 32.42$ Alpha = 0.00719

Inicial $j_c = 1.041464381$ Final $j_c = 1.23$ X / R = 0.5153314982

SS de las temperaturas: 1870

RMS = 1.4

Anexo 22. Datos ajustados de la corrida regular 3 en conducción (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 543
al enfriar = 54.2 minutos

Tiempo

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 119.91 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 119.28 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 286 R^2 ajustado = 0.9848229229

fh = 28.6 jh = 1.327048258

Valores de la penetración de calor en el enfriamiento.

Desde el punto 552 hasta el punto 633 R^2 ajustado = 0.9940509311

fC = 75.8227124 jC = 1.02167737

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

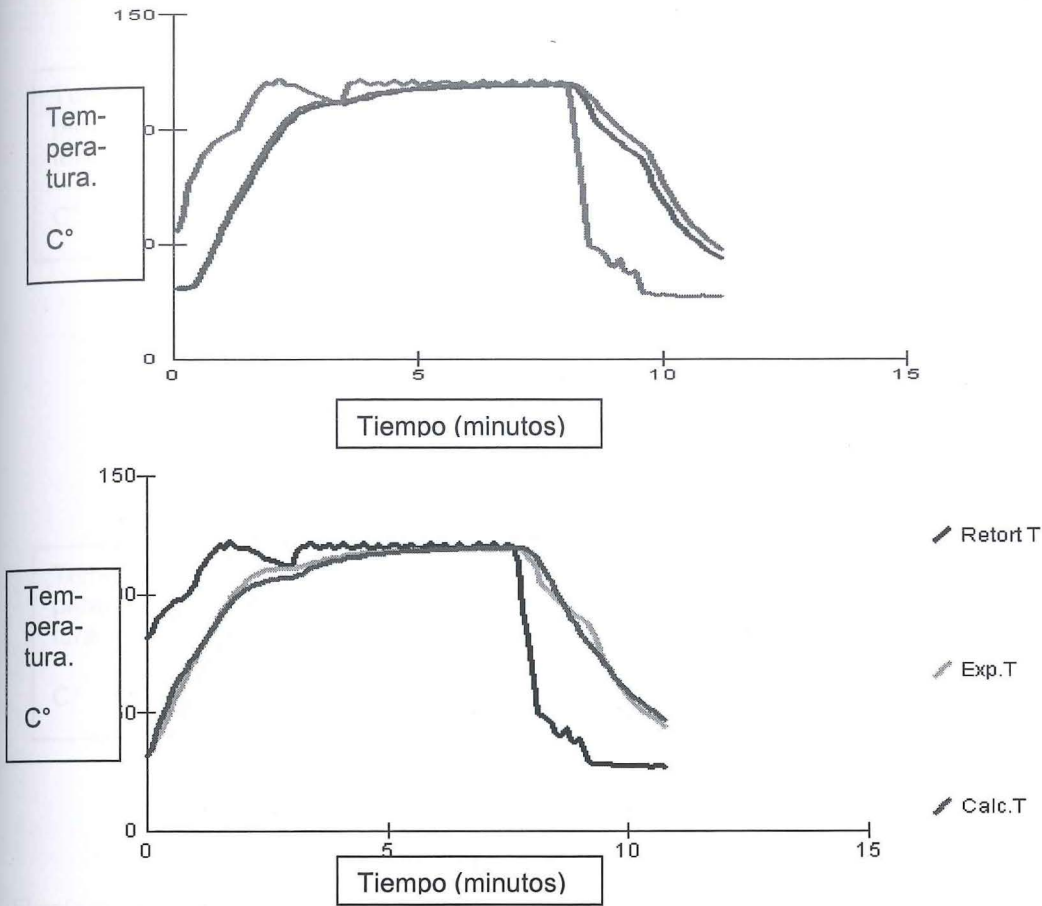
Inicial fh = 28.6	Final fh = 19	Alpha = 0.0123
Inicial jh = 1.327048258	Final jh = 1.75	X / R = 0.2795383483

Inicial fC = 75.8227124	Final fC = 37.91	Alpha = 0.00615
Inicial jC = 1.02167737	Final jC = 0.89	X / R = 0.6451980071

SS de las temperaturas: 12200

RMS = 3.5

Anexo 23. Datos ajustados de la corrida con desviación temprana en convección.



El enfriamiento comienza en el punto 78

Tiempo al enfriar = 7.71 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 112.88 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 119.14 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 43 R^2 ajustado = 0.9824508694

fh = 2.9 jh = 1.061545049

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 78 hasta el punto 104 R^2 ajustado = 0.9434308486

fC = 4.76681966 jC = 1.132767339

Simulación con los valores de penetración de calor.

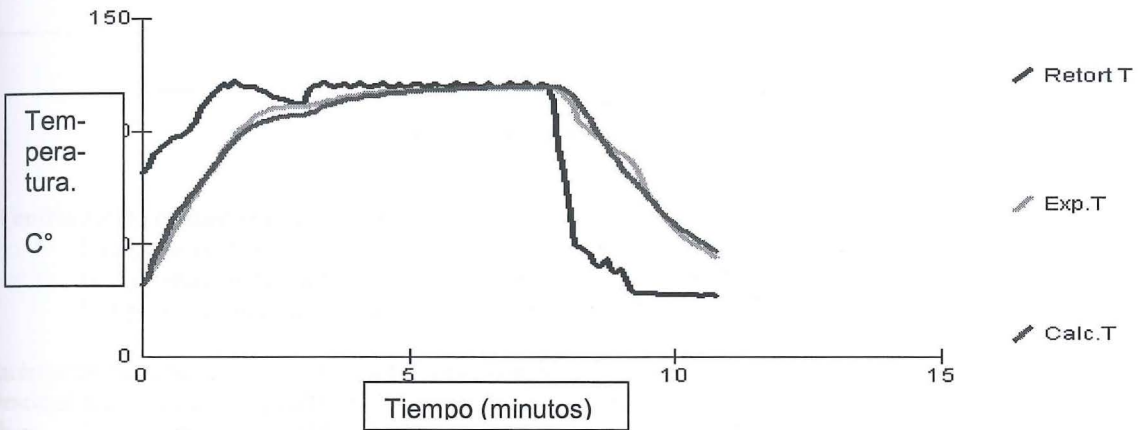
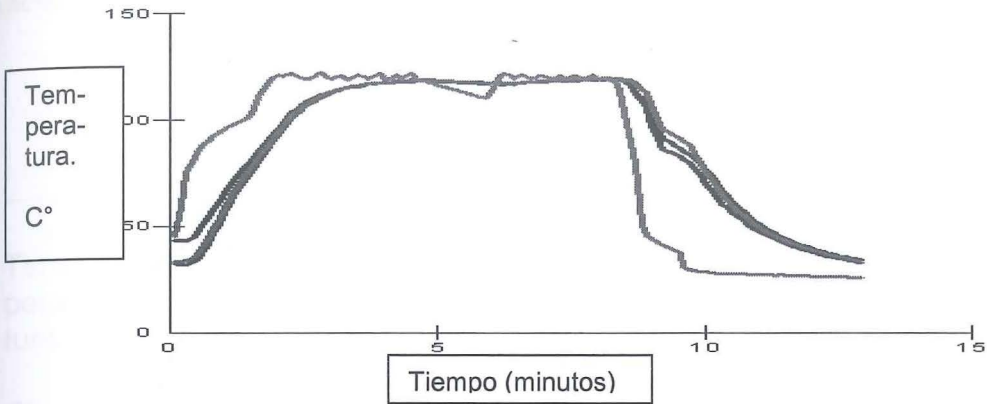
SS de la temperatura minimizado.

Inicial fh =	2.9	Final fh =	3.3	Alpha =	0.0706
Inicial jh =	1.061545049	Final jh =	0.61	X / R =	0.7458061542
Inicial fC =	4.76681966	Final fC =	3.5	Alpha =	0.0666
Inicial jC =	1.132767339	Final jC =	1	X / R =	0.6051686486

SS de las temperaturas: 951

RMS = 2.95

Anexo 24. Datos ajustados de la corrida con desviación media en convección.



El enfriamiento comienza en el punto 77

Tiempo al enfriar = 7.6 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 118.47°C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 119.29 °C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 34 R^2 ajustado = 0.9893674612

$f_h = 2.09$ $j_h = 1.293763419$

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 77 hasta el punto 121 R^2 ajustado = 0.9920610092

$f_c = 3.731078283$ $j_c = 1.25598386$

Simulación con los valores de penetración de calor.

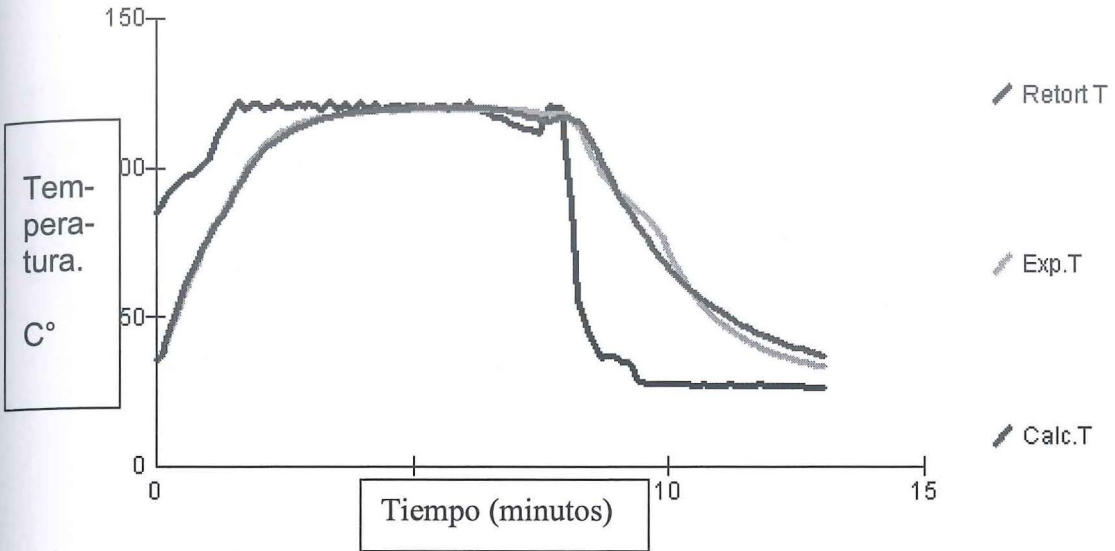
SS de la temperatura minimizado.

Inicial $f_h =$	2.09	Final $f_h =$	1.92	$\alpha = 0.121$
Inicial $j_h =$	1.293763419	Final $j_h =$	0.95	$X/R = 0.621354937$
	3.731078283	Final $f_c =$	4.21	$\alpha = 0.0553$
Inicial $j_c =$	1.25598386	Final $j_c =$	0.7	$X/R = 0.7101441641$

SS de las temperaturas: 363

RMS = 1.71

Anexo 25. Datos ajustados de la corrida con desviación tardía en convección.



El enfriamiento comienza en el punto 80

Tiempo al enfriar = 7.91 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.08°C

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 118.27°C

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 33 R^2 ajustado = 0.9841079585

$f_h = 2.17$ $j_h = 1.354141598$

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 80 hasta el punto 120 R^2 ajustado = 0.9670391421

$f_c = 4.331293926$ $j_c = 1.25348532$

Simulación con los valores de penetración de calor.

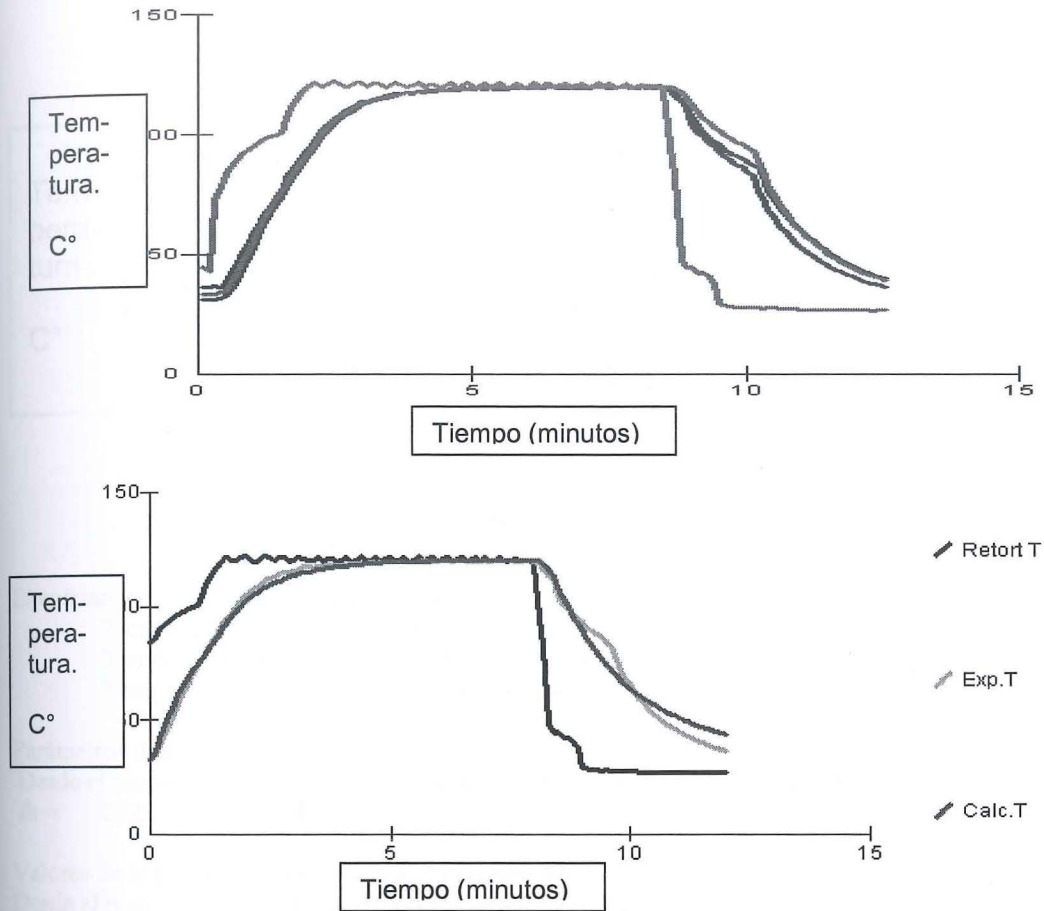
SS de la temperatura minimizado.

Inicial $f_h =$	2.17	Final $f_h =$	2.1	$\alpha = 0.111$
Inicial $j_h =$	1.354141598	Final $j_h =$	0.96	$X/R = 0.6194921136$
Inicial $f_c =$	4.331293926	Final $f_c =$	5	$\alpha = 0.0466$
Inicial $j_c =$	1.25348532	Final $j_c =$	0.87	$X/R = 0.6499446808$

SS de las temperaturas: 949

RMS = 2.69

Anexo 26. Datos ajustados de la corrida regular después de desviaciones en convección



El enfriamiento comienza en el punto 80

Tiempo al enfriar = 7.92 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.06 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 120.15 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento.

Desde el punto 1 hasta el punto 31 R^2 ajustado = 0.9820769181

fh = 2.18 jh = 1.339292285

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 80 hasta el punto 120 R^2 ajustado = 0.9757756484

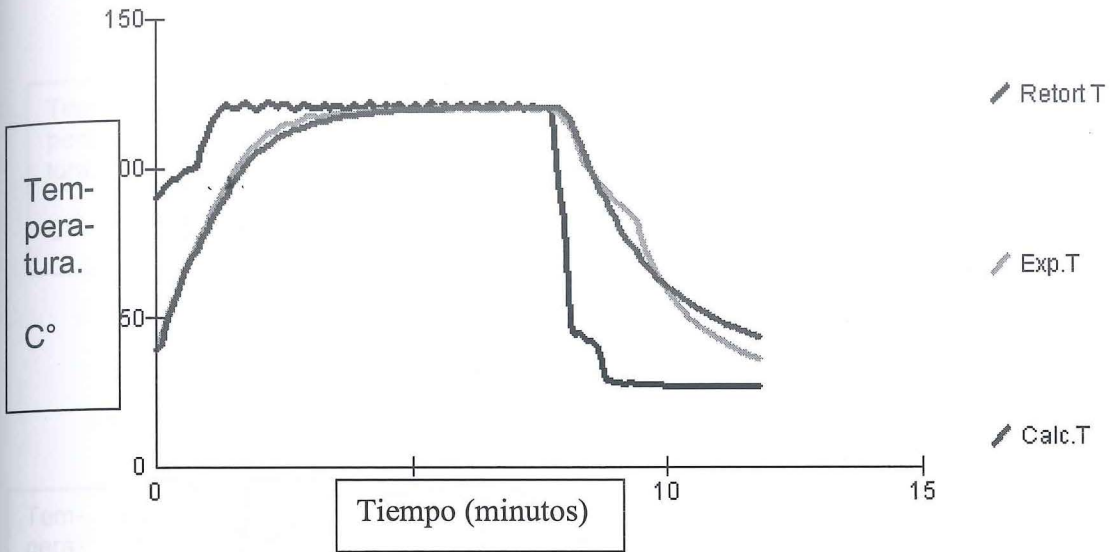
fc = 3.859802391 jc = 1.274824622

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

Inicial fh =	2.18	Final fh =	2.5	Alpha =	0.0932
Inicial jh =	1.339292285	Final jh =	0.77	X / R =	0.688465729
Inicial fc =	3.859802391	Final fc =	6.5	Alpha =	0.0358
	1.274824622	Final jc =	0.63	X / R =	0.739564654

Anexo 27. Datos ajustados de la corrida regular 2 después de las desviaciones.



El enfriamiento comienza en el punto 78

Tiempo al enfriar = 7.71 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.06C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 120.15 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 40 R^2 ajustado = 0.9922494531

$f_h = 2.06$ $j_h = 1.275907601$

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 78 hasta el punto 116 R^2 ajustado = 0.9767070028

$f_c = 4.275584683$ $j_c = 1.218695449$

Simulación con los valores de penetración de calor.

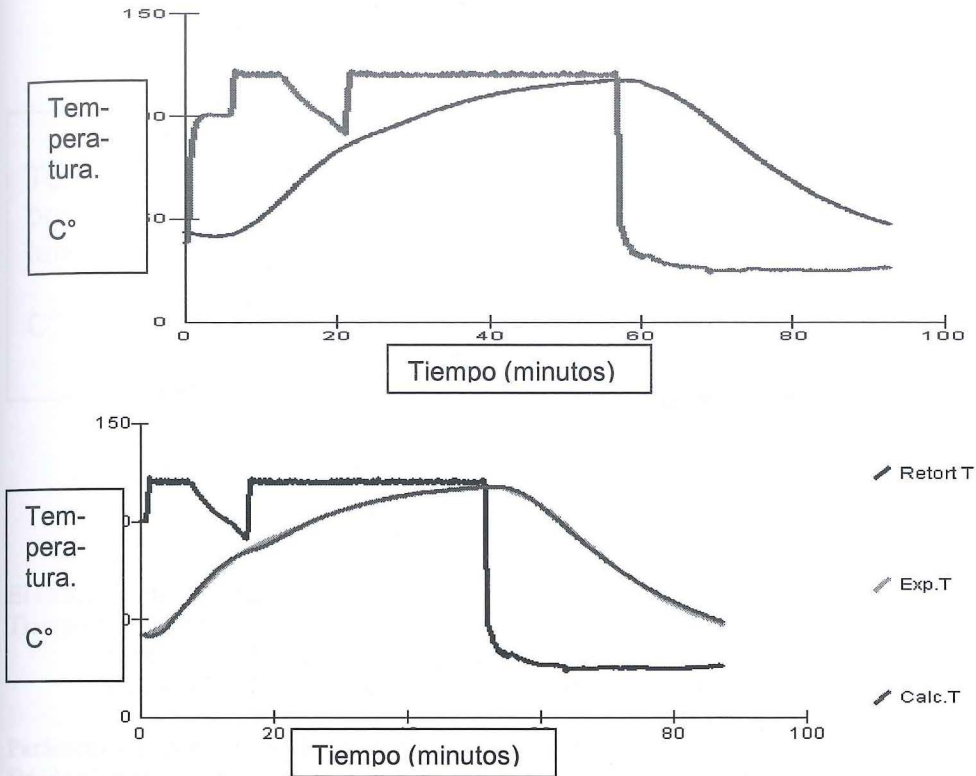
SS de la temperatura minimizado.

Inicial $f_h =$	2.06	Final $f_h =$	2.45	$\alpha = 0.0951$
Inicial $j_h =$	1.275907601	Final $j_h =$	0.8	$X/R = 0.6763560826$
Inicial $f_c =$	4.275584683	Final $f_c =$	6.5	$\alpha = 0.0358$
Inicial $j_c =$	1.218695449	Final $j_c =$	0.63	$X/R = 0.7397562413$

SS de las temperaturas: 1430

RMS = 3.47

Anexo 28. Datos ajustados de la corrida con desviación temprana en modo mixto (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 513

Tiempo al enfriar = 51.18 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 119.93 C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 117.23 C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 292 R^2 ajustado = 0.9951087273

$f_h = 39.67$ $j_h = 1.135731324$

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 513 hasta el punto 838 R^2 ajustado = 0.9664185326

$f_c = 55.54818139$ $j_c = 1.227877957$

Simulación con los valores de penetración de calor.

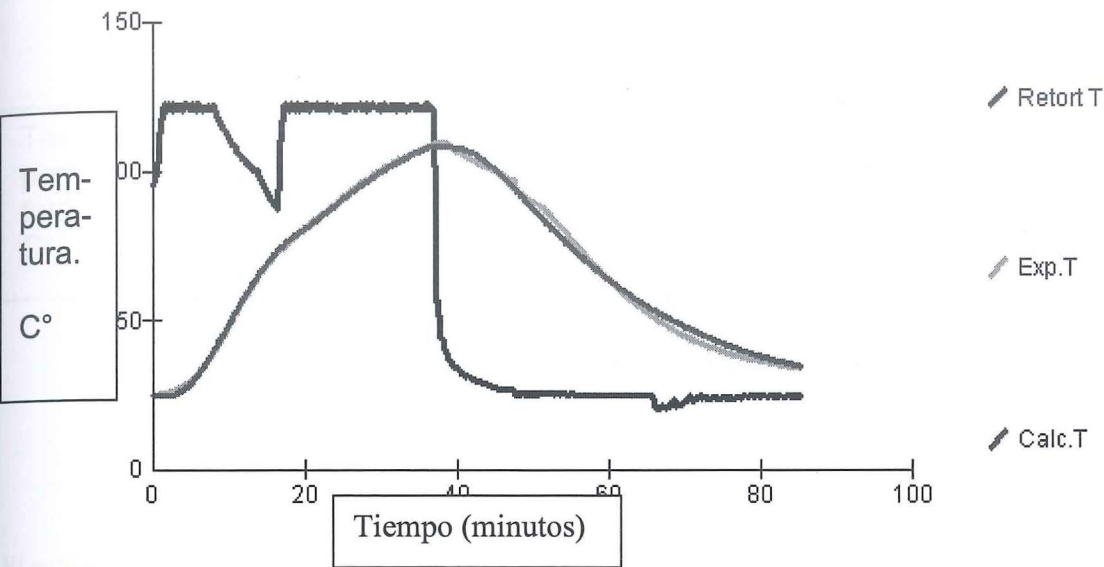
SS de la temperatura minimizado.

Inicial $f_h =$	39.67	Final $f_h =$	12	$\alpha = 0.0194$
Inicial $j_h =$	1.135731324	Final $j_h =$	1.35	$X/R = 0.4697148549$
Inicial $f_c =$	55.54818139	Final $f_c =$	18.5	$\alpha = 0.0126$
Inicial $j_c =$	1.227877957	Final $j_c =$	1.44	$X/R = 0.4294322162$

SS de las temperaturas: 923

RMS = 1.03

Anexo 29. Datos ajustados de la 2 corrida con desviación temprana (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 364
Tiempo al enfriar = 36.29 minutos
Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.66C°
Temperatura del centro al empezar el enfriado = 108.34C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento
Desde el punto 1 hasta el punto 273 R^2 ajustado = 0.982945848
fh = 42.85 jh = 1.201177505

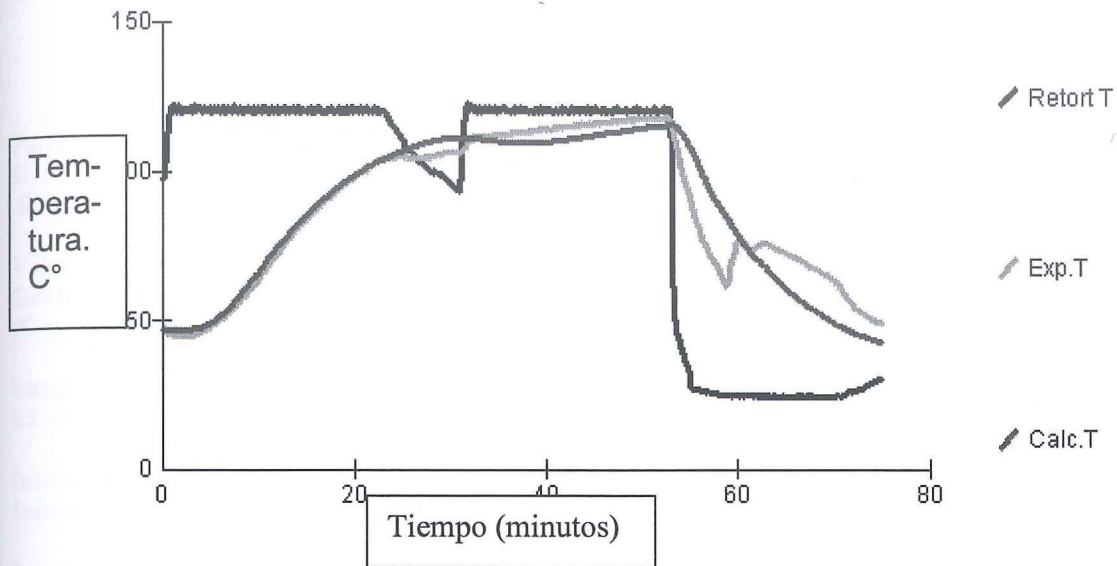
Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.
Desde el punto 364 hasta el punto 708 R^2 ajustado = 0.9475508248
fC = 51.85186542 jC = 1.279775071

Simulación con los valores de penetración de calor.
SS de la temperatura minimizado.

Inicial fh =	42.85	Final fh =	17.5	Alpha = 0.0133
Inicial jH =	1.201177505	Final jH =	1.75	X / R = 0.2772786015
Inicial fC =	51.85186542	Final fC =	25.93	Alpha = 0.00899
Inicial jC =	1.279775071	Final jC =	1.5	X / R = 0.4052592195

SS de las temperaturas: 2460 RMS = 1.7

Anexo 30. Datos ajustados de la corrida con desviación media en modo mixto (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 528

Tiempo al enfriar = 52.7 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 119.71C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 117.94C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 228 R^2 ajustado = 0.9445099668

fH = 32.25 jH = 1.363896398

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 530 hasta el punto 586 R^2 ajustado = 0.9960286574

fC = 14.28814328 jC = 1.020159975

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

Inicial fH =	32.25	Final fH =	22	Alpha =	0.0106
Inicial jH =	1.363896398	Final jH =	1.99	X / R =	0.05258357318
Inicial fC =	14.28814328	Final fC =	30	Alpha =	0.00777
Inicial jC =	1.020159975	Final jC =	0.71	X / R =	0.7081922254

Anexo 31. Datos ajustados de la corrida con desviación tardía en modo mixto (tanda 2)

El enfriamiento comienza en el punto 532

Tiempo al enfriar = 53.11 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 121.34C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 115C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 233 R^2 ajustado = 0.9437742933

fH = 40.46 jH = 1.26589758

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 532 hasta el punto 756 R^2 ajustado = 0.9118369972

fC = 73.1832738 jC = 1.155564909

Simulación con los valores de penetración de calor.

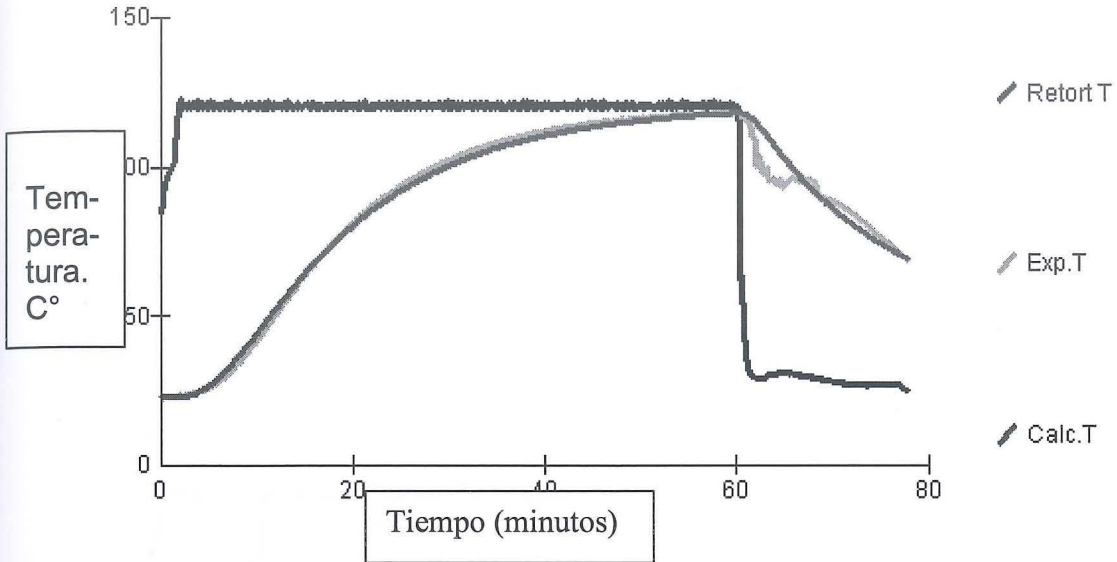
SS de la temperatura minimizado.

Inicial fH =	40.46	Final fH =	17.83	Alpha = 0.0131
Inicial jH =	1.26589758	Final jH =	1.76	X / R = 0.2737066714
Inicial fC =	73.1832738	Final fC =	25.07	Alpha = 0.00929
Inicial jC =	1.155564909	Final jC =	1.74	X / R = 0.2837059459

SS de las temperaturas: 2190

RMS = 1.7

Anexo 32. Datos ajustados de la corrida regular en modo mixto después de las desviaciones. (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 600

Tiempo al enfriar = 59.89 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.28C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 118.26C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento.

Desde el punto 1 hasta el punto 367 R^2 ajustado = 0.9776882609

fh = 34.61 jh = 1.401988913

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 600 hasta el punto 649 R^2 ajustado = 0.9202373302

fC = 30.3607391 jC = 1.023597076

Simulación con los valores de penetración de calor.

SS de la temperatura minimizado.

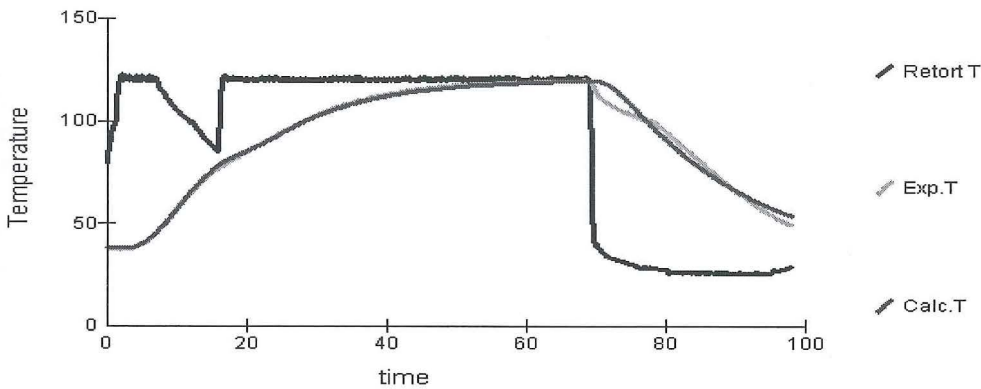
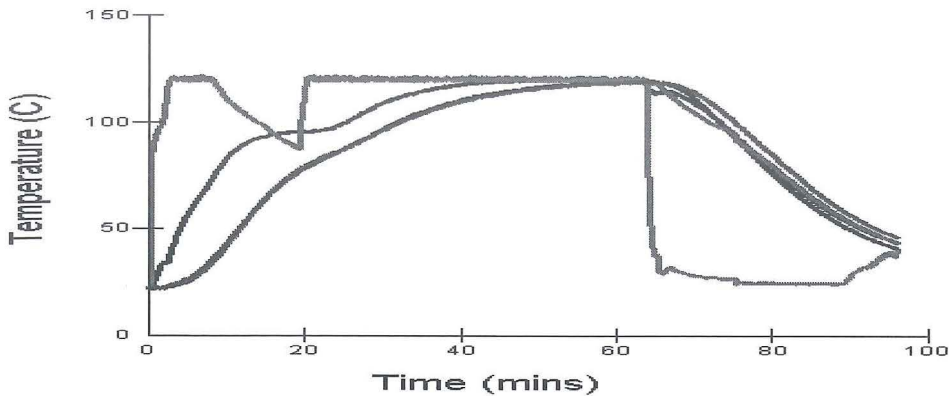
Inicial fH =	34.61	Final fH =	24	Alpha = 0.00971
Inicial jH =	1.401988913	Final jH =	1.67	X / R = 0.3220031171

Inicial fC =	30.3607391	Final fC =	66.31	Alpha = 0.00351
Inicial jC =	1.023597076	Final jC =	0.6	X / R = 0.7506143564

SS de las temperaturas: 6830

RMS = 2.96

Anexo 33. Ajuste y datos reales de la corrida con desviación temprana en conducción después de las desviaciones. (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 688

Tiempo al enfriar = 68.72 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 119.78°C

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 119.61°C

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 388 R^2 ajustado = 0.9802311669

fh = 36.71 jh = 1.359613105

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 691 hasta el punto 777 R^2 ajustado = 0.931996021

fc = 95.1255104 jc = 0.9629024465

Simulación con los valores de penetración de calor.

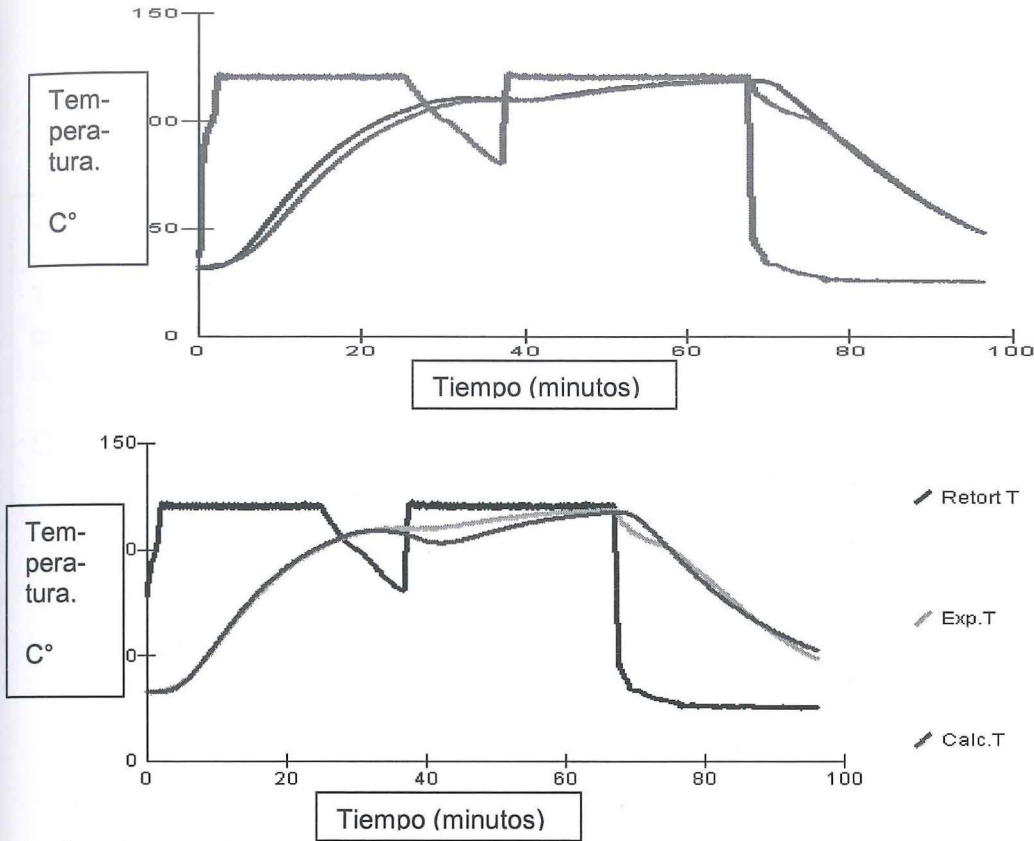
SS de la temperatura minimizado.

Inicial fh =	36.71	Final fh =	19.07	Alpha = 0.0122
Inicial jh =	1.359613105	Final jh =	1.97	X / R = 0.09450060763
Inicial fc =	95.1255104	Final fc =	33.99	Alpha = 0.00685
Inicial jc =	0.9629024465	Final jc = 1.06	X / R = 0.5826196353	

SS de las temperaturas: 5330

RMS = 2.33

Anexo 34. Datos ajustados de la corrida con desviación media en conducción después de las desviaciones. (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 669

Tiempo al enfriar = 66.8 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 121.28C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 118.79C°

Parámetros de penetración de calor

Desde el punto 1 hasta el punto 339 R^2 ajustado = 0.9821211497

fh = 31.75 jh = 1.368431421

Valores de la penetración de calor en el enfriamiento.

Desde el punto 669 hasta el punto 938 R^2 ajustado = 0.9628153668

fC value 51.64377946 jC value 1.100834088

Simulación con los valores de penetración de calor.

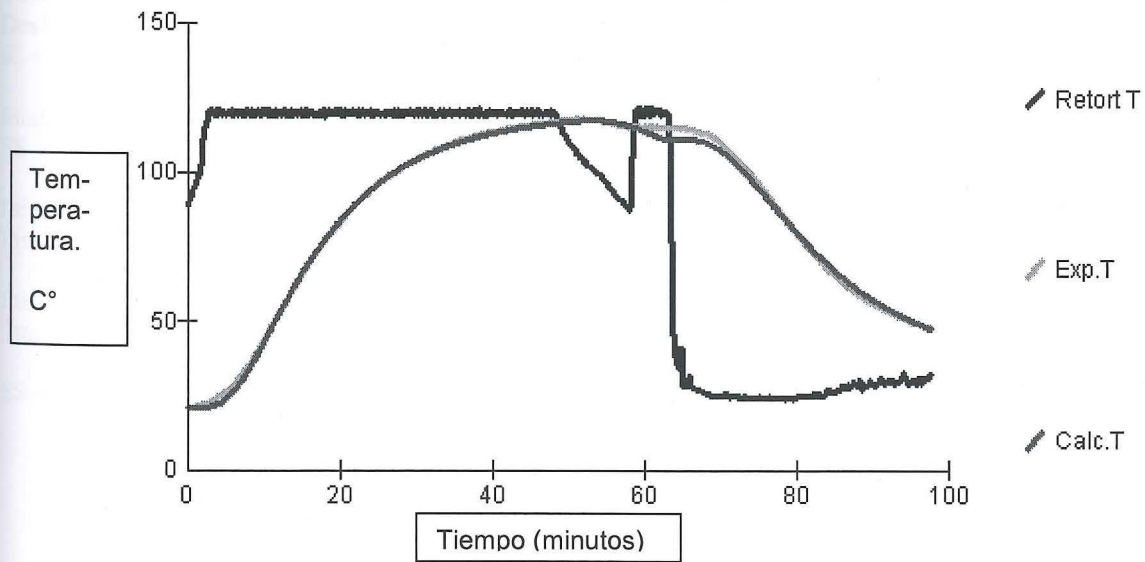
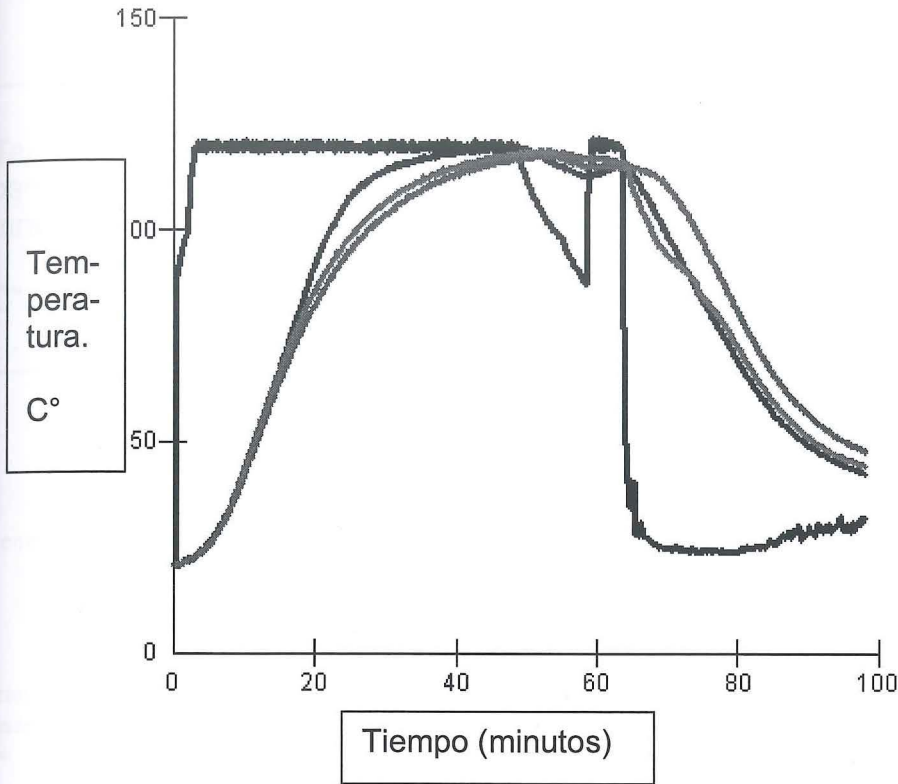
SS de la temperatura minimizado.

Inicial fh =	31.75	Final fh =	19.53	Alpha = 0.0119
Inicial jH =	1.368431421	Final jH =	1.8	X / R = 0.2494278963
Inicial fC =	51.64377946	Final fC =	35.83	Alpha = 0.0065
Inicial jC =	1.100834088	Final jC =	1.08	X / R = 0.5716381064

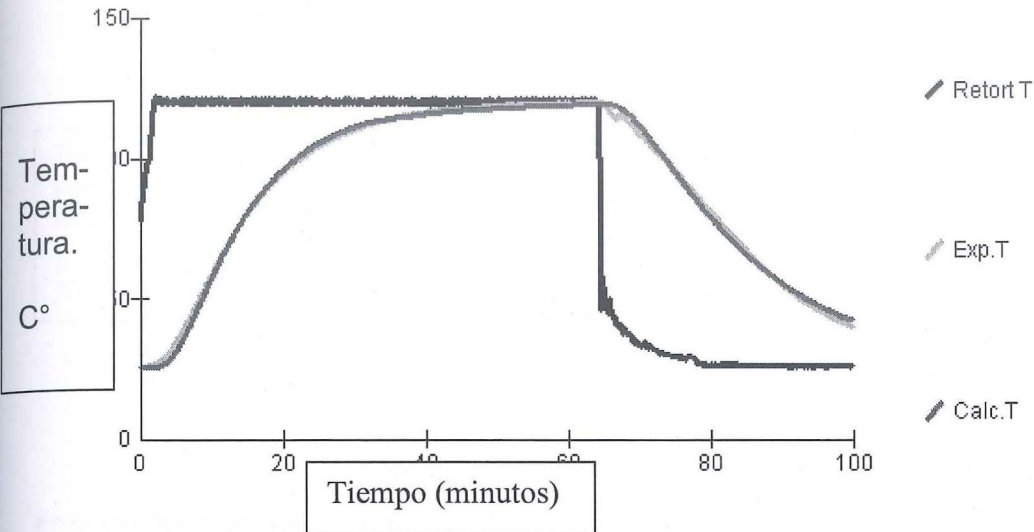
SS de las temperaturas: 10500

RMS = 3.31

Anexo 35. Datos ajustados de la corrida con desviación tardía en conducción después de las desviaciones. (tanda 2)



Anexo 36. Datos ajustados de la corrida regular después de las desviaciones en conducción después de las desviaciones. (tanda 2)



El enfriamiento comienza en el punto 636

Tiempo al enfriar = 63.5 minutos

Temperatura de la retorta al empezar el enfriado = 120.04C°

Temperatura del centro al empezar el enfriado = 119.84C°

Parámetros de penetración de calor, en el calentamiento

Desde el punto 1 hasta el punto 323 R^2 ajustado = 0.9874452486 fh = 27.31

jh = 1.362309071

Valores de la penetración de calor, en el enfriamiento.

Desde el punto 636 hasta el punto 991 R^2 ajustado = 0.9726181754

fC = 43.82570445 jC = 1.258322986

Simulación con los valores de penetración de calor.

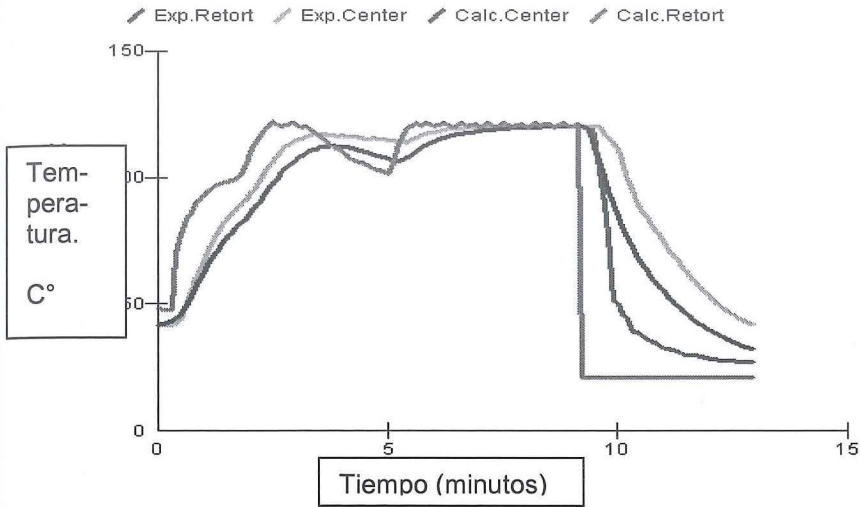
SS de la temperatura minimizado.

Inicial fh =	27.31	Final fh =	21.73	Alpha = 0.0107
Inicial jH =	1.362309071	Final jH =	1.76	X / R = 0.2761628796
Inicial fC =	43.82570445	Final fC =	35.45	Alpha = 0.00657
Inicial jC =	1.258322986	Final jC =	1.39	X / R = 0.4542603989

SS de las temperaturas: 1900

RMS = 1.38

Anexo 37. Datos de la corrida con control en tiempo real en convección con desviación temprana.



Reducciones logarítmicas simuladas 12.296

Tiempo en que comenzó el enfriamiento simulado

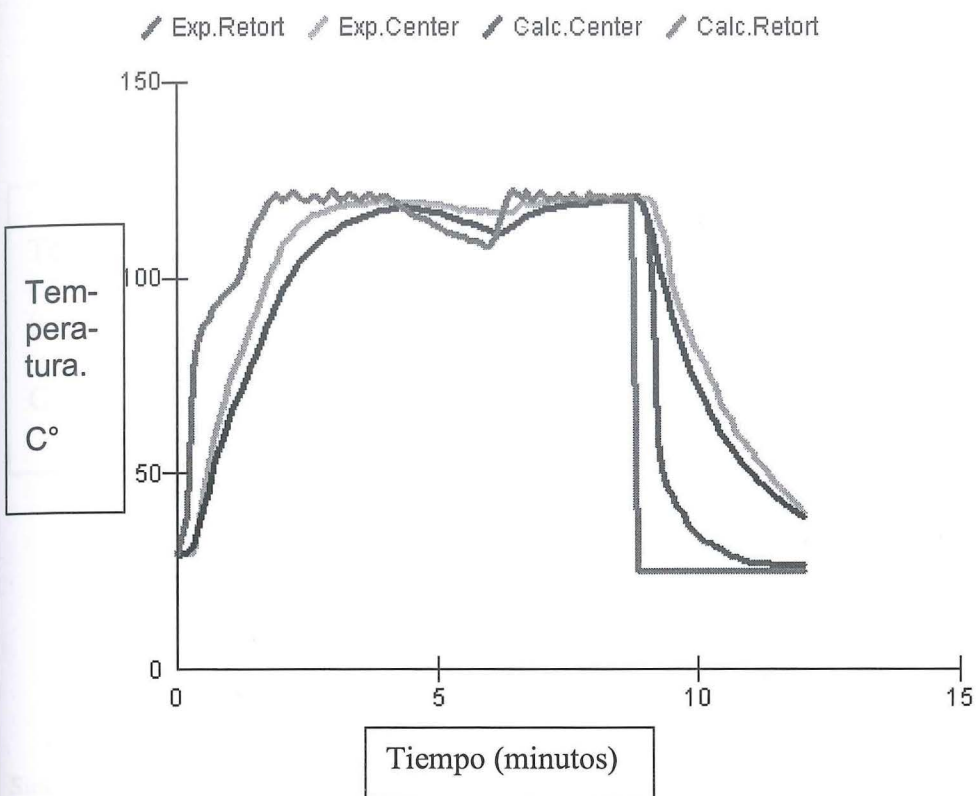
9.228 minutos

Tiemp(min)	RetortT	CentroT	Exp supervivencia	Fo,exp	Calc.Retort	CalcCT	Fo,calc
0	48.34	41.72	1000000	0	48.341	41.72	0
0.21	47.9	41.83	999.999.972	0	47.898	42.53	0
0.31	47.92	41.69	9.999.999.583	0	47.924	43.16	0
0.41	69.82	41.88	9.999.999.444	0	69.823	43.92	0
0.52	77.48	43.41	9.999.999.272	0	77.484	45.97	0
0.62	83.73	50.14	9.999.998.735	0	83.725	49.28	0
0.72	85.9	54.69	9.999.996.982	0	85.899	52.91	0
0.83	89.61	59.74	9.999.991.598	0	89.612	56.54	0
0.93	91.82	63.93	9.999.976.457	0	91.815	60.05	0
1.03	93.24	68.01	9.999.937.159	0	93.239	63.4	0
1.1	94.98	70.81	9.999.880.451	0	94.979	65.51	0
1.2	95.98	74.79	9.999.691.687	0	95.978	68.51	0
1.31	97.03	78.11	9.999.262.572	0	97.027	71.3	0
1.41	97.76	80.82	9.998.415.331	0	97.76	73.88	0
1.51	98.34	83.56	9.996.828.942	0	98.343	76.24	0
1.61	98.93	86	9.993.967.776	0	98.926	78.4	0
1.71	99.48	87.71	9.989.416.026	0	99.478	80.39	0
1.82	101.1	89.53	9.982.575.118	0	101.098	82.23	0
1.92	105.41	91.39	997214.66	0	105.411	84.03	0
2.02	110.01	93.54	9.955.494.776	0	110.014	86.01	0
2.13	113.69	95.97	9.926.049.442	0.001	113.691	88.36	0
2.23	116.52	99.06	9.872.201.839	0.001	116.522	90.82	0
2.33	118.99	101.77	9.768.513.839	0.002	118.988	93.38	0
2.4	119.95	103.9	9.649.534.759	0.003	119.952	95.09	0
2.5	122.13	106.62	9.343.966.444	0.006	122.133	97.6	0.001
2.61	121.02	109.09	8.796.693.273	0.011	121.021	100.1	0.001
2.71	120.04	111.25	7.971.356.623	0.02	120.038	102.24	0.003
2.82	120.66	112.67	688.536.259	0.032	120.66	104.04	0.004
2.92	121.87	113.7	5.675.508.939	0.049	121.87	105.64	0.007

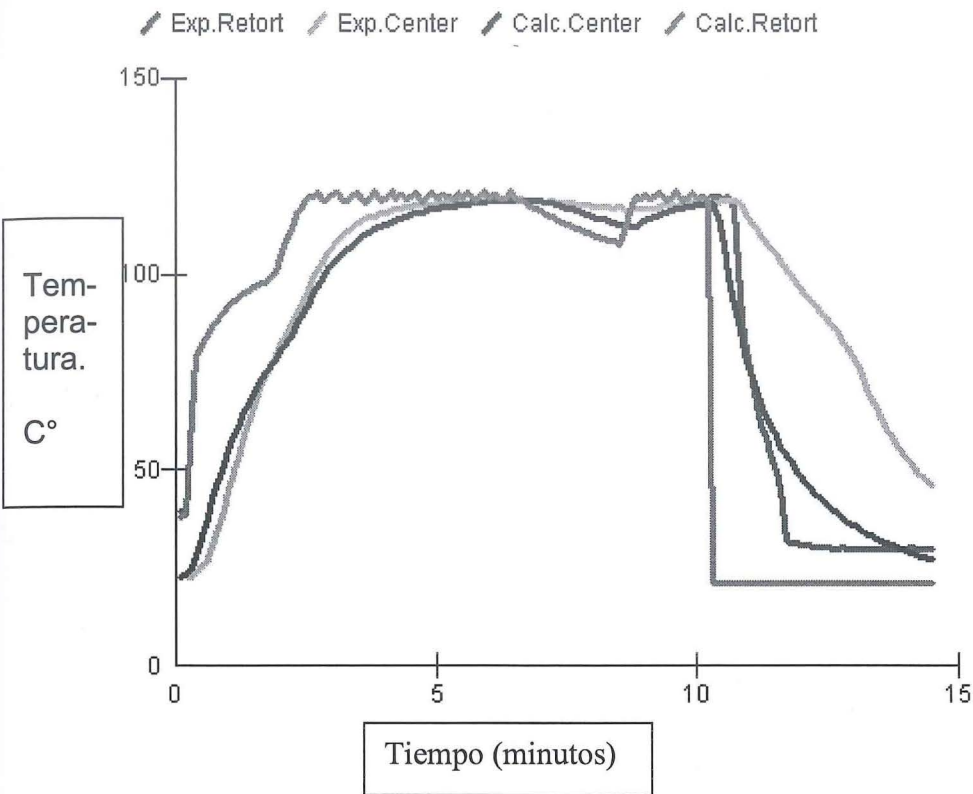
3.02	121.19	114.7	4.446.776.417	0.07	121.195	107.14	0.01
3.12	119.95	115.44	3.306.382.745	0.096	119.945	108.47	0.015
3.23	120.3	116.13	2.330.323.808	0.127	120.301	109.58	0.022
3.33	119.08	116.93	1.537.942.292	0.163	119.08	110.53	0.03
3.43	117.95	117.04	9.729.413.093	0.202	117.953	111.31	0.04
3.53	116.28	117.04	6.133.332.098	0.242	116.277	111.89	0.051
3.6	114.93	117.14	4.486.867.917	0.27	114.93	112.16	0.06
3.71	113.6	116.93	2.771.334.794	0.311	113.597	112.38	0.074
3.81	112.09	116.64	1.794.325.657	0.349	112.09	112.4	0.088
3.91	111.38	116.37	1.193.738.836	0.385	111.378	112.28	0.101
4.01	110.4	116.68	7.900.239.297	0.42	110.398	112.08	0.115
4.12	108.72	116.36	5.245.695.989	0.456	108.716	111.82	0.127
4.22	107.24	116.21	3.500.938.004	0.491	107.243	111.43	0.139
4.33	106.59	116.14	2.396.821.392	0.524	106.589	110.96	0.149
4.43	105.74	115.93	1.660.662.783	0.556	105.743	110.44	0.159
4.53	105.2	115.26	1.194.986.728	0.585	105.201	109.92	0.167
4.63	104.31	115.3	8.769.026.711	0.611	104.305	109.39	0.174
4.71	103.52	115.62	6.971.934.101	0.631	103.518	109.01	0.179
4.81	103.02	115.22	5.076.530.798	0.659	103.024	108.44	0.185
4.91	102.38	115.07	371.973.166	0.686	102.379	107.84	0.19
5.02	101.56	114.75	2.803.309.253	0.71	101.564	107.27	0.195
5.12	105.61	114.59	2.144.731.941	0.734	105.613	106.74	0.199
5.22	113.05	114.13	1.672.284.572	0.755	113.053	106.55	0.202
5.32	116.99	114.22	1.316.284.222	0.776	116.991	107.03	0.206
5.43	119.57	113.64	1.050.811.922	0.796	119.574	108.03	0.211
5.53	120.49	114.99	8.171.722.217	0.818	120.494	109.28	0.217
5.63	121.7	115.82	5.921.753.066	0.846	121.696	110.57	0.225
5.73	120.43	116.47	4.053.302.101	0.878	120.434	111.79	0.235
5.8	121.69	117.03	3.023.847.287	0.904	121.687	112.5	0.244
5.9	121.33	117.65	183.510.212	0.947	121.33	113.46	0.26
6.01	120.4	117.94	1.055.207.737	0.995	120.398	114.29	0.28
6.11	120.94	118.22	5.849.895.372	1.047	120.943	114.96	0.303
6.21	121.83	118.7	3.069.206.366	1.103	121.831	115.54	0.33
6.31	120.8	119.24	1.483.089.516	1.166	120.797	116.11	0.36
6.42	119.87	119.2	0.6690106187	1.235	119.868	116.6	0.396
6.52	121.01	119.37	0.3072975171	1.302	121.011	116.94	0.435
6.63	121.94	119.51	0.1374604269	1.372	121.942	117.29	0.476
6.73	120.05	119.56	0.06036256822	1.444	120.048	117.67	0.52
6.83	120.58	119.75	0.02594163321	1.517	120.579	117.95	0.568
6.93	121.21	119.87	0.01077606613	1.594	121.209	118.18	0.619
7	119.93	119.87	0.005962090511	1.645	119.932	118.34	0.655
7.1	120.82	119.64	0.002513622058	1.72	120.815	118.53	0.711
7.21	121.71	119.87	0.001057190725	1.795	121.707	118.71	0.769
7.31	120.34	120.26	0.0004160669572	1.876	120.337	118.95	0.829
7.41	120.19	119.91	0.0001639271079	1.957	120.194	119.11	0.893
7.52	121.7	119.94	6,42E+04	2.038	121.704	119.23	0.962
7.62	120.72	119.97	2,59E+04	2.117	120.716	119.4	1.03
7.72	120.04	120.13	1,03E+04	2.198	120.041	119.55	1.1
7.82	120.92	120.13	4,00E+03	2.28	120.92	119.62	1.173
7.93	121.49	120.01	1,58E+03	2.36	121.492	119.71	1.246

8.03	119.67	120.22	6,16E+02	2.442	119.67	119.84	1.322
8.13	120.88	119.93	2,44E+02	2.523	120.876	119.88	1.399
8.23	121.62	119.78	1,01E+02	2.599	121.618	119.94	1.477
8.3	120.3	120.24	5,44E+01	2.653	120.304	120.02	1.529
8.41	121.31	120.42	2,02E+01	2.739	121.307	120.1	1.61
8.51	121.54	120.22	7,26E+00	2.828	121.543	120.2	1.696
8.61	119.95	120.1	2,81E+00	2.91	119.953	120.31	1.78
8.72	120.91	120.47	1,05E+00	2.996	120.912	120.33	1.866
8.82	121.85	120.29	3,89E-01	3.082	121.847	120.36	1.952
8.92	120.25	120.16	1,48E-02	3.166	120.252	120.45	2.039
9.02	120.26	120.39	5,58E-02	3.251	120.262	120.48	2.128
9.13	121.34	120.41	2,05E-02	3.338	121.345	120.47	2.217
9.23	120.23	120.46	7,45E-03	3.426	21	120.5	2.305
9.33	120.36	120.29	2,75E-03	3.512	21	119.62	2.39
9.43	119.35	120.46	1,01E-03	3.599	21	115.83	2.439
9.5	116.84	120.19	5,24E-04	3.656	21	112.23	2.452
9.6	103.62	120.31	1,99E-04	3.74	21	106.29	2.459
9.71	89.78	117.35	9,98E-05	3.8	21	100.31	2.46
9.81	77.21	116.04	6,54E-05	3.837	21	94.66	2.461
9.91	51.2	113.58	4,98E-05	3.861	21	89.44	2.461
10.01	50.29	111.19	4,26E-05	3.874	21	84.66	2.461
10.12	46.03	107.08	3,95E-05	3.881	21	80.29	2.461
10.22	44.17	99.13	3,88E-05	3.882	21	76.32	2.461
10.32	39	95.04	3,86E-05	3.883	21	72.67	2.461
10.42	38.8	90.52	3,85E-05	3.883	21	69.34	2.461
10.53	37.95	86.98	3,85E-05	3.883	21	66.27	2.461
10.63	36.4	84.49	3,85E-05	3.883	21	63.44	2.461
10.73	35.39	81.66	3,85E-05	3.883	21	60.82	2.461
10.83	35.17	78.97	3,85E-05	3.883	21	58.4	2.461
10.9	33.78	77.5	3,85E-05	3.883	21	56.87	2.461
11	32.46	74.36	3,85E-06	3.883	21	54.72	2.461
11.11	32.65	71.76	3,85E-05	3.883	21	52.71	2.461
11.21	31.73	69.44	3,85E-05	3.883	21	50.84	2.461
11.31	31.37	67.16	3,85E-05	3.883	21	49.09	2.461
11.41	30.1	64.36	3,85E-05	3.883	21	47.44	2.461
11.52	29.93	62.46	3,85E-05	3.883	21	45.9	2.461
11.62	29.87	60.29	3,85E-05	3.883	21	44.46	2.461
11.72	29.66	58.2	3,85E-05	3.883	21	43.1	2.461
11.82	29.13	55.95	3,85E-05	3.883	21	41.83	2.461
11.93	28.94	54.23	3,85E-05	3.883	21	40.63	2.461
12.03	28.16	52.6	3,85E-05	3.883	21	39.51	2.461
12.13	28.18	50.88	3,85E-05	3.883	21	38.44	2.461
12.24	27.84	49.11	3,85E-05	3.883	21	37.41	2.461
12.3	27.62	48.66	3,85E-05	3.883	21	36.77	2.461
12.41	27.78	47.31	3,85E-05	3.883	21	35.87	2.461
12.51	27.67	45.73	3,85E-05	3.883	21	35.02	2.461
12.61	27.43	45.06	3,85E-05	3.883	21	34.23	2.461
12.71	27.36	43.67	3,85E-05	3.883	21	33.47	2.461
12.82	27.36	42.54	3,85E-05	3.883	21	32.76	2.461
12.92	27.28	41.86	3,85E-05	3.883	21	32.09	2.461

Anexo 38. Gráfica del control en tiempo real en la desviación media en convección



Anexo 39. Datos del control en tiempo real en la desviación tardía en convección



Simulación de la reducción logarítmica a los 12.223 minutos
 Simulación del enfriado comienza a los 10.302 minutos

Parámetros usados:
 fH= 2.66 jH= 0.89 fC= 3.93 jC= 0.74

AlphaH= 0.08759398496 X/R H= 0.64
 AlphaC= 0.05928753181 X/R C= 0.7

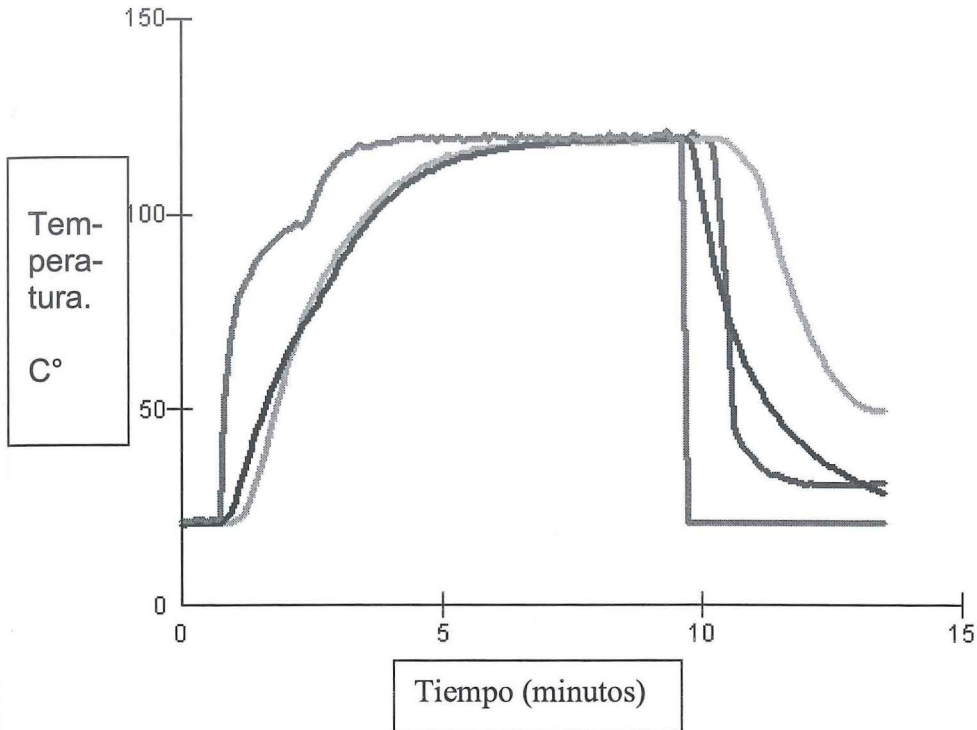
Temperatura de referencia = 121.1 C°
 Temperatura del agua de enfriamiento = 21 C°
 CW limite = 55 #Nodos = 10

Reducciones logarítmicas metas = 12 % restante al comenzar a enfriar = 10
 Tiempo de los pasos = 0.01

Valor D de referencia = 0.2 Valor Z= 10

Anexo 40. Datos de procesamiento con control en tiempo real para el procesamiento regular después de las desviaciones en convección.

Exp.Retort Exp.Center Calc.Center Calc.Retort



Simulación de la reducción logarítmica a los 12.33 minutos
Simulación del enfriado comienza a los 9.729 minutos

Parámetros usados:

fH= 2.9 jH= 0.89 fC= 3.93 jC= 0.74

AlphaH= 0.08034482759 X/R H= 0.64

AlphaC= 0.05928753181 X/R C= 0.7

Temperatura de referencia = 121.1 C°

Temperatura del agua de enfriamiento = 21 C°

CW limite = 55 #Nodos = 10

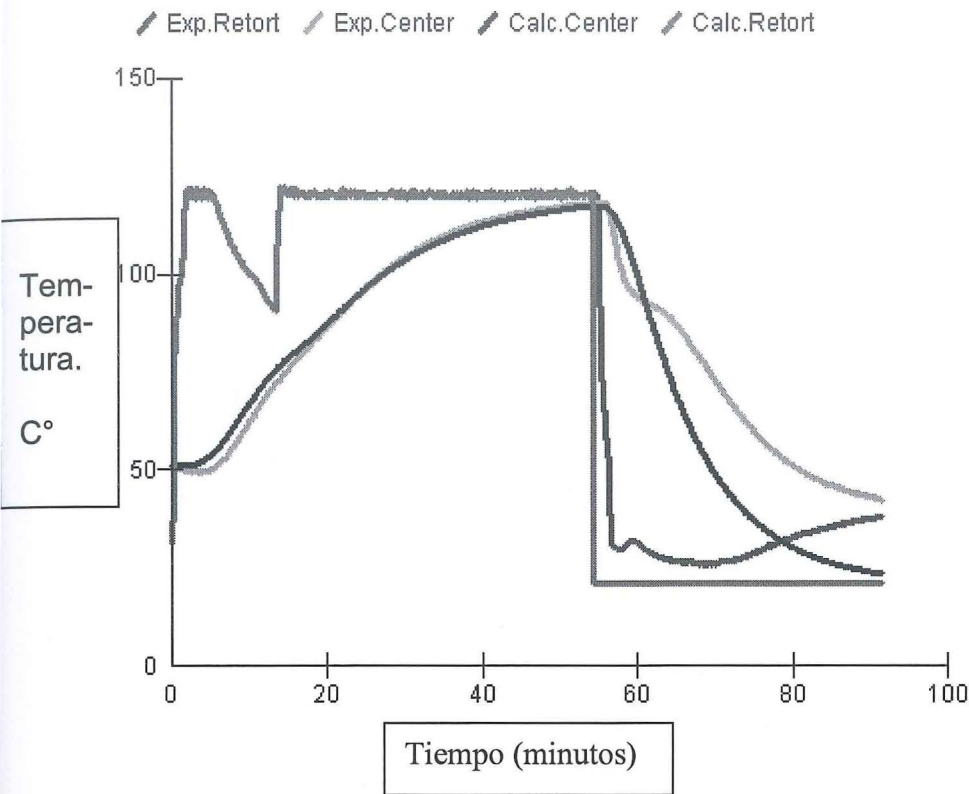
Reducciones logarítmicas metas = 12

% restante al comenzar a enfriar 10

Tiempo de los pasos = 0.01

Valor D de referencia = 0.2 Valor Z= 10

Anexo 41. Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación temprana para las latas de modo mixto.



Simulación de la reducción logarítmica a los 30.051 minutos
Simulación del enfriado comienza a los 54.328 minutos

Parámetros usados:

fH= 30.5 jH= 1.64 fC= 20.3 jC= 1.72

AlphaH= 0.007639344262 X/R H= 0.34

AlphaC= 0.01147783251 X/R C= 0.3

Temperatura de referencia = 121.1 C°

Temperatura del agua de enfriamiento = 21 C°

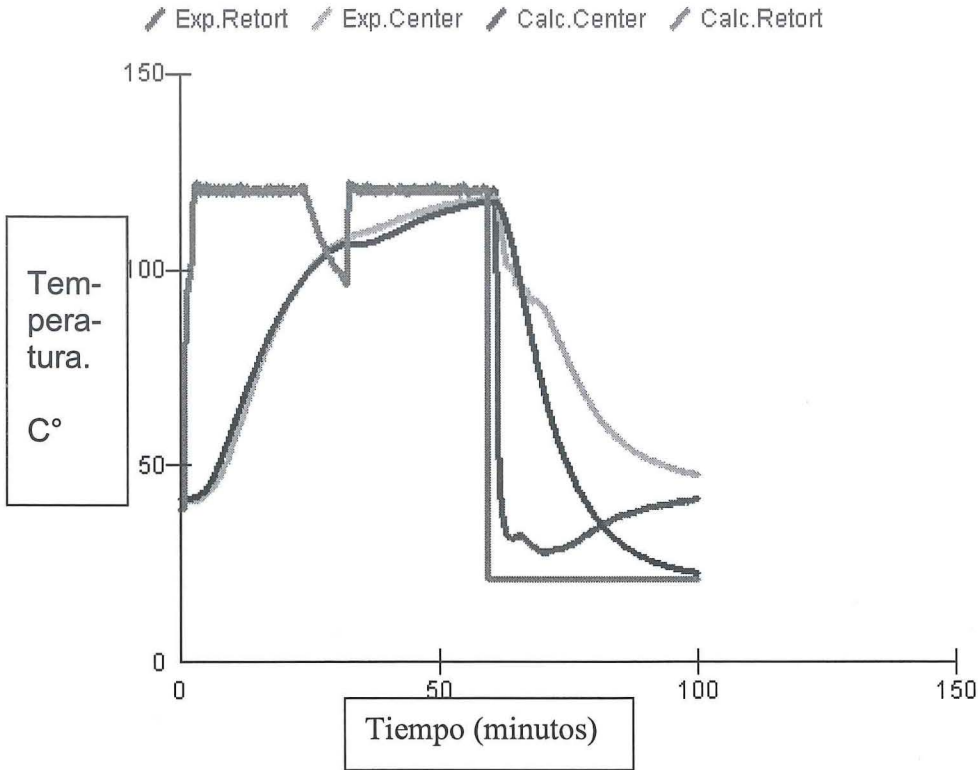
CW limite = 55 #Nodos = 10

Reducciones logarítmicas metas = 30

% restante al comenzar a enfriar = 10 Tiempo de los pasos = 0.01

Valor D de referencia = 0.2 Valor Z = 10

Anexo 42. Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación media para las latas de modo mixto.



Simulación del enfriado comienza a los 30.177 minutos
 Simulación de la reducción logarítmica a los 59.508 minutos

Parámetros usados:

fH= 29.5 jH= 1.74 fC= 20.3 jC= 1.72

AlphaH= 0.007898305085 X/R H= 0.34

AlphaC= 0.01147783251 X/R C= 0.3

Temperatura de referencia = 121.1C°

Temperatura del agua de enfriamiento = 21C°

CW limite = 55 #Nodos= 10

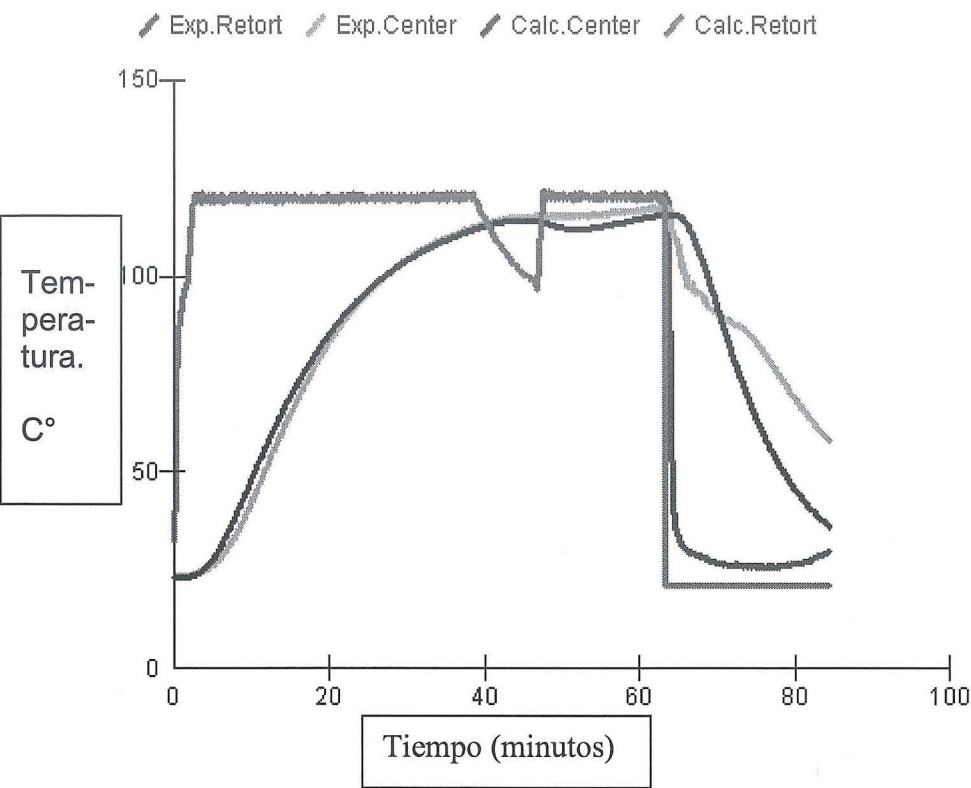
Reducciones logarítmicas metas = 30

% restante al comenzar a enfriar = 10

Tiempo de los pasos = 0.01

Valor D de referencia = 0.2 Valor Z= 10

Anexo 43. Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación tardía para las latas de modo mixto.



Simulación de la reducción logarítmica a los 30.088 minutos
Simulación del enfriado comienza a los 63.416 minutos

Parámetros usados:
fH= 29 jH= 1.64 fC= 20.3 jC= 1.72

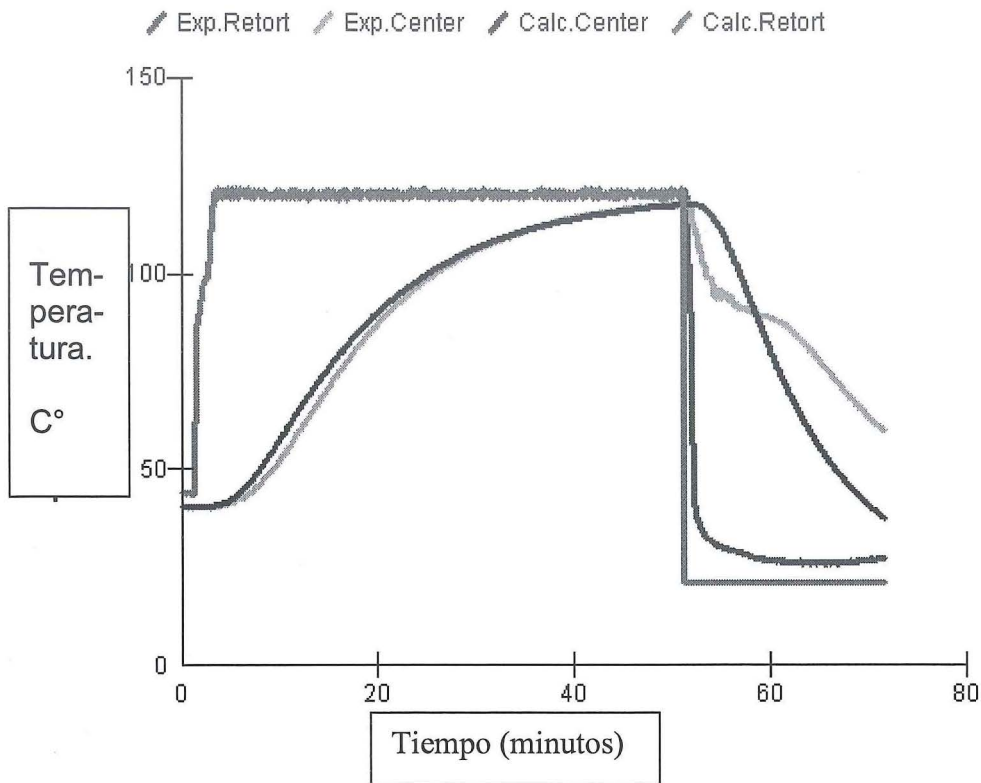
AlphaH= 0.008034482759 X/R H= 0.34
AlphaC= 0.01147783251 X/R C= 0.3

Temperatura de referencia = 121.1 C°
Temperatura del agua de enfriamiento = 21 C°
CW limite = 55 #Nodos = 10

Reducciones logarítmicas metas = 30
% restante al comenzar a enfriar 10
Tiempo de los pasos = 0.01 minutos

Valor D de referencia = 0.2 Valor Z = 10

Anexo 44. Datos de procesamiento con control en tiempo real en la tanda regular después de las desviaciones en las latas de modo mixto.



Simulación de la reducción logarítmica a los 31.525 minutos
 Simulación del enfriado comienza a los 51.322 minutos

Parámetros usados:

fH= 28.5 jH= 1.64 fC= 20.3 jC= 1.72

AlphaH= 0.008175438596 X/R H= 0.34

AlphaC= 0.01147783251 X/R C= 0.3

Temperatura de referencia = 121.1 C°

Temperatura del agua de enfriamiento = 21 C°

CW limite = 55 #Nodos= 10

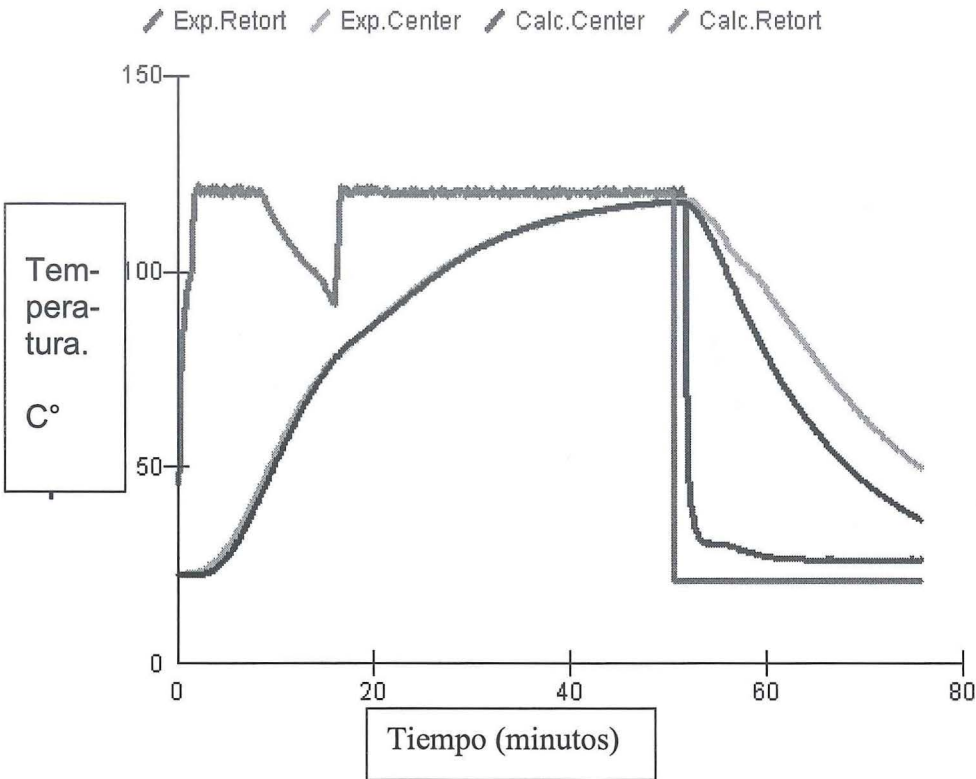
Reducciones logarítmicas metas = 30

% restante al comenzar a enfriar 10

Tiempo de los pasos 0.01 minutos

Valor D de referencia = 0.2 Valor Z= 10

Anexo 45. Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación temprana para las latas de conducción.



Simulación de la reducción logarítmica a los 30.121 minutos
 Simulación del enfriado comienza a los 50.619 minutos

Parámetros usados:

fH= 24 jH= 1.75 fC= 27.12 jC= 1.35

AlphaH= 0.009708333333 X/R H= 0.21

AlphaC= 0.008591445428 X/R C= 0.47

Temperatura de referencia = 121.1 C°

Temperatura del agua de enfriamiento = 21 C°

CW limite = 55 #Nodos= 10

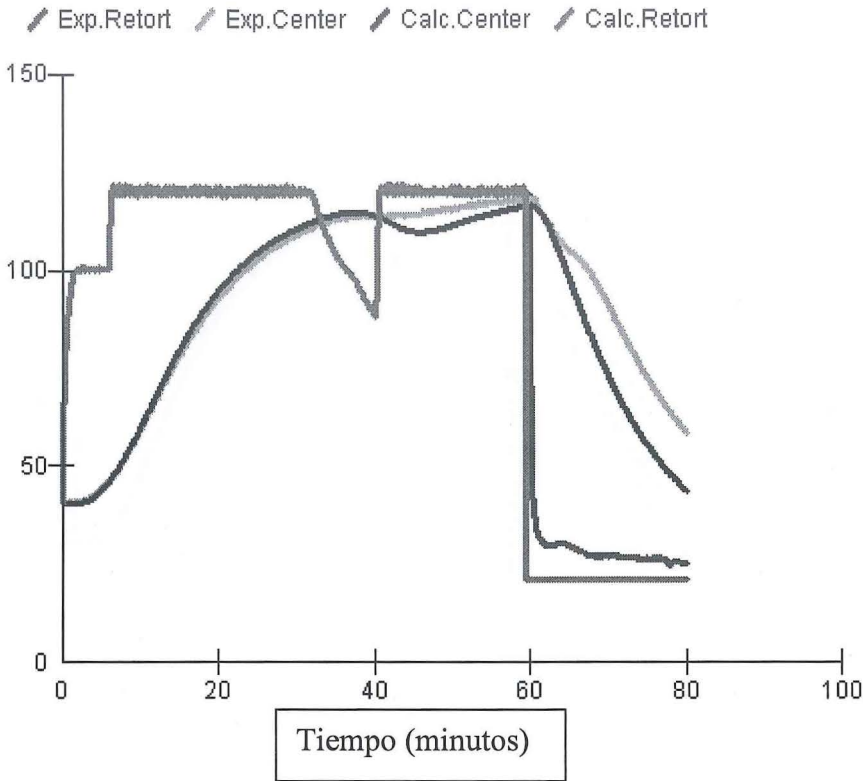
Reducciones logarítmicas metas = 30

% restante al comenzar a enfriar = 10

Tiempo de los pasos = 0.01 minutos

Valor D de referencia = 0.2 Valor Z= 10

Anexo 46. Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación media para las latas de conducción.



Simulación de la reducción logarítmica a los 30.165 minutos
 Simulación del enfriado comienza a los 59.513 minutos

Parámetros usados:

fH= 23 jH= 1.89 fC= 27.12 jC= 1.35

AlphaH= 0.01013043478 X/R H= 0.18

AlphaC= 0.008591445428 X/R C= 0.47

Temperatura de referencia = 121.1 C°

Temperatura del agua de enfriamiento = 21 C°

CW limite = 55 #Nodos= 10

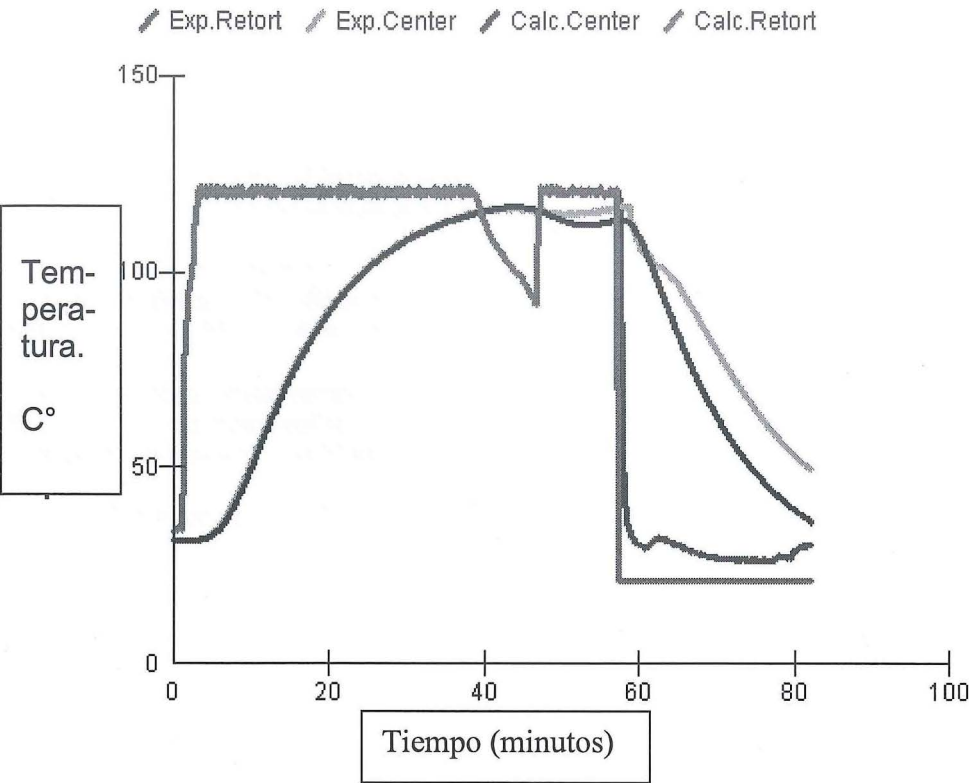
Reducciones logarítmicas metas = 30

% restante al comenzar a enfriar = 10

Tiempo de los pasos = 0.01 minutos

Valor D de referencia = 0.2 Valor Z= 10

Anexo 47. Datos de procesamiento con control en tiempo real con desviación tardía para las latas de conducción.



Simulación de la reducción logarítmica a los 30.108 minutos
Simulación del enfriado comienza a los 57.331 minutos

Parámetros usados:
fH= 24.7 jH= 1.89 fC= 27.12 jC= 1.35

AlphaH= 0.009433198381 X/R H= 0.18
AlphaC= 0.008591445428 X/R C= 0.47

Temperatura de referencia = 121.1C°
Temperatura del agua de enfriamiento = 21C°
CW limite = 55 #Nodos= 10

Reducciones logarítmicas metas = 30
% restante al comenzar a enfriar = 10
Tiempo de los pasos = 0.01 minutos

Valor D de referencia = 0.2 Valor Z= 10

Anexo 48. Datos de procesamiento con control en tiempo real del procesamiento regular después de las desviaciones en las latas de conducción.

Simulación del enfriado comienza a los 30.122 minutos
Simulación de la reducción logarítmica a los 47.304 minutos

Parámetros usados:

fH= 25.4 jH= 1.9 fC= 27.12 jC= 1.35

AlphaH= 0.009173228346 X/R H= 0.18

AlphaC= 0.008591445428 X/R C= 0.47

Temperatura de referencia = 121.1C°

Temperatura del agua de enfriamiento = 21C°

CW limite = 55 #Nodos= 10

Reducciones logarítmicas metas = 30

% restante al comenzar a enfriar = 10

Tiempo de los pasos = 0.01 minutos

Valor D de referencia = 0.2 Valor Z= 10