

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA QUÍMICA**



**“TRATAMIENTO TÉRMICO Y  
MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL  
CONCENTRADO DE TOMATE (*Lycopersicon  
esculentum Mill*) EN ENVASE DE HOJALATA  
Y DE VIDRIO”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

ING. SEBASTIÁN ANGEL LOZANO AYALA

Callao - 2017  
PERÚ



## DEDICATORIA

A mis padres, por haberme dado en el estudio, la herramienta principal para enfrentar a la vida. A mi esposa Sarita por otorgarme en su amor, comprensión y apoyo el principal soporte para sobresalir ante cualquier obstáculo y a mi pequeña hija Brianna por ser el principal motivo por el cual sigo soñando en alcanzar mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi gratificación eterna a Dios, por iluminar cada día mi camino, y hacer de su voluntad mi destino.

A mi perseverancia, constancia y carácter, en cumplir cada reto trazado, que a pesar de las circunstancias, condiciones e inconvenientes pude culminar esta investigación.

Al Dr. David Vivanco Pezantes, quien no solo me asesoro, sino también, cultivo en mí el hábito de investigar y conocer más en la tecnología de alimentos.

A la Universidad Nacional del Callao, por facilitarme el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Pesquera y Alimentos. En especial, por hacer uso de la unidad de tratamiento térmico con los respectivos equipos de medición.

A la unidad de Pos grado de la Facultad de Ingeniería Química.

Al Centro de Innovación y Trasferencia Tecnológica del Instituto Tecnológico de la Producción, quienes me facilitaron y apoyaron en la realización de la investigación.

A familiares, amigos y todos aquellos quienes de alguna u otra forma me incentivaron en la realización de este proyecto.

## INDICE

TABLAS DE CONTENIDO.	6
RESUMEN.	30
ABSTRACT.	32
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	34
1.1. Determinación del problema.	34
1.1.1. Problemas principales.	35
1.1.2. Problemas secundarios.	35
1.2. Objetivos de la investigación.	35
1.2.1. Objetivos principales.	35
1.2.2. Objetivos secundarios.	36
1.3. Justificación.	36
1.4. Limitaciones y facilidades.	37
II. FUNDAMENTO TEÓRICO.	39
2.1. Antecedentes de estudio.	39
2.2. Descripción del producto.	41
2.2.1. Materia prima.	43
2.2.2. Diagrama de flujo de elaboración del puré de tomate.	47
2.3. Control de aseguramiento de la calidad en el proceso de elaboración de puré de tomate.	60

2.3.1. Métodos de determinación de la calidad.	61
2.3.2. Diagrama de flujo y análisis de calidad de cada etapa en la elaboración del puré de tomate.	64
2.3.3. Parámetros que determinan la calidad externa del fruto.	65
2.3.4. Parámetros que determinan la calidad interna del producto.	70
2.4. Estudio de procesamiento térmico.	76
2.4.1. Factores que afectan la transferencia de calor en el proceso de tratamiento térmico.	79
2.4.2. Consideraciones microbiológicas en el proceso de tratamiento térmico en productos derivados del tomate.	81
2.4.3. Análisis de transferencia de calor y modelado matemático.	96
III. VARIABLES E HIPÓTESIS.	112
3.1. Definición de las variables.	112
3.1.1. Variables independientes.	112
3.1.2. Variables dependientes.	112
3.2. Relación entre las variables de investigación.	113
3.3. Operacionalización de variables.	114
3.4. Hipótesis general e hipótesis específica.	115
3.4.1. Hipótesis general.	115

3.4.2. Hipótesis secundarias.	115
IV. METODOLOGIA	117
4.1. Tipo de investigación.	117
4.2. Diseño de la investigación.	117
4.2.1. Etapas de la investigación.	118
4.2.2. Determinación de la relación entre variables y operatividad del sistema.	124
4.3. Población y muestra.	126
4.3.1. Población.	127
4.3.2. Muestra.	127
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	128
4.4.1. Técnicas.	128
4.4.2. Instrumentos.	130
4.5. Procedimiento de recolección de datos.	134
4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.	137
4.6.1. Análisis de capacidad de proceso.	137
4.6.2. Prueba de significancia de los coeficientes estimados en el método ajustado.	141
4.6.3. Prueba de falta de ajuste.	143
4.6.4. Prueba de pendiente en ascenso.	146
V. RESULTADOS.	148

5.1. Resultados en la validación de la materia prima en la experiencia.	148
5.2. Resultados de las corridas experimentales, establecidas del diseño experimental.	150
5.2.1. Análisis de la experiencia N°1 ( $X_1=74.4^{\circ}\text{C}$ , $X_2=9.47\%$ ).	152
5.2.2. Análisis de la experiencia N°2 ( $X_1=74.4^{\circ}\text{C}$ , $X_2=21.53\%$ ).	165
5.2.3. Análisis de la experiencia N°3 ( $X_1=95.6^{\circ}\text{C}$ , $X_2=9.47\%$ ).	178
5.2.4. Análisis de la experiencia N°3 ( $X_1=95.6^{\circ}\text{C}$ , $X_2=21.53\%$ ).	191
5.2.5. Análisis de la experiencia N°5 ( $X_1=85^{\circ}\text{C}$ , $X_2=15.5\%$ ).	204
5.2.6. Análisis de la experiencia N°6 ( $X_1=85^{\circ}\text{C}$ , $X_2=15.5\%$ ).	217
5.2.7. Análisis de la experiencia N°7 ( $X_1=85^{\circ}\text{C}$ , $X_2=15.5\%$ ).	230
5.2.8. Análisis de la experiencia N°8 ( $X_1=85^{\circ}\text{C}$ , $X_2=7\%$ ).	243
5.2.9. Análisis de la experiencia N°9 ( $X_1=85^{\circ}\text{C}$ , $X_2=24\%$ ).	256
5.2.10. Análisis de la experiencia N°10 ( $X_1=70^{\circ}\text{C}$ , $X_2=15.5\%$ ).	269
5.2.11. Análisis de la experiencia N°11 ( $X_1=100^{\circ}\text{C}$ , $X_2=15.5\%$ ).	282
5.3. Análisis de resultados y modelamiento matemático de los valores obtenidos en el diseño experimental.	295
5.3.1. Envase de hojalata.	295
5.3.2. Envase de vidrio.	307
5.3.3. Análisis de la experiencia optimizada ( $X_1=92.4^{\circ}\text{C}$ , $X_2=15.5\%$ ).	319

5.4. Resultado comparativo del valor cocción y los parámetros de transferencia de calor.	332
5.4.1. Valor de cocción.	333
5.4.2. Parámetros de transferencia de calor.	334
5.4. Diagnóstico de validez de la ecuación de regresión.	340
5.5.1. Distribución de residuales.	340
5.5.2. Probabilidad Normal.	342
5.5.3. Distribución Normal.	343
5.5.4. Multicolinealidad.	344
5.5.1. Identificación de autocorrelación.	346
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	348
6.1. Contrastación de hipótesis con resultados.	348
6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares.	352
VII. CONCLUSIONES.	356
VIII. RECOMENDACIONES.	359
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	361
ANEXOS.	366

## TABLAS DE CONTENIDO

### INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Valor nutricional del tomate fresco.	46
Tabla 2.2	Efecto del método de corte en la calidad del tomate envasado.	53
Tabla 2.3	Efecto del método de pelado y tamaño de tomate en la eficiencia y calidad de los tomates envasados.	56
Tabla 2.4	Relación directa de lectura de refractómetro para sólidos y densidad relativa del jugo de tomate, pulpa y pasta.	59
Tabla 2.5	Valor nutricional en la pasta de tomate.	71
Tabla 2.6	Clasificación de frutos y vegetales de acuerdo a su acidez.	75
Tabla 2.7	Atributos de calidad por producto derivado del tomate.	76
Tabla 2.8	Factores que afectan la transferencia de calor.	80
Tabla 2.9	Características de los microorganismos contaminantes en alimentos de alta acidez.	82
Tabla 2.10	Datos de resistencia térmica para <i>Bacillus</i> y <i>Clostridium</i> .	90
Tabla 2.11	Valores recomendado de $P_{value}$ , para frutas y vegetales.	92
Tabla 2.12	Valores de $z_{valor}$ para componentes vulnerables al calor.	94
Tabla 3.1	Operacionalización de variables.	114
Tabla 4.1	Dimensionado del envase de vidrio y hojalata.	120
Tabla 4.2	Aplicación del diseño experimental en la investigación.	126

Tabla 4.3	Especificación de la capacidad de proceso.	139
Tabla 4.4	Análisis de varianza.	142
Tabla 5.1	Valores de pH en cada experiencia.	148
Tabla 5.2	Parámetros de termoresistencia en el <i>Bacillus Coagulans</i> .	150
Tabla 5.3	Parámetros de reacción bioquímica en las proteínas de tomate.	151
Tabla 5.4	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°1 en envase de hojalata.	152
Tabla 5.5	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°1 en envase de vidrio.	157
Tabla 5.6	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°2 en envase de hojalata.	165
Tabla 5.7	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°2 en envase de vidrio.	171
Tabla 5.8	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°3 en envase de hojalata.	178
Tabla 5.9	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°3 en envase de vidrio.	183
Tabla 5.10	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°4 en envase de hojalata.	191
Tabla 5.11	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°4 en envase de vidrio.	196

Tabla 5.12	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°5 en envase de hojalata.	204
Tabla 5.13	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°5 en envase de vidrio.	209
Tabla 5.14	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°6 en envase de hojalata.	217
Tabla 5.15	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°6 en envase de vidrio.	222
Tabla 5.16	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°7 en envase de hojalata.	230
Tabla 5.17	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°7 en envase de vidrio.	235
Tabla 5.18	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°8 en envase de hojalata.	243
Tabla 5.19	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°8 en envase de vidrio.	248
Tabla 5.20	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°9 en envase de hojalata.	256
Tabla 5.21	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°9 en envase de vidrio.	261
Tabla 5.22	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°10 en	269

	envase de hojalata.	
Tabla 5.23	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°10 en envase de vidrio.	274
Tabla 5.24	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°11 en envase de hojalata.	282
Tabla 5.25	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia N°11 en envase de vidrio.	287
Tabla 5.26	Variables codificadas y variable de respuesta del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envases de hojalata.	295
Tabla 5.27	Efectos del planeamiento experimental para el tiempo de calentamiento en envases de hojalata.	296
Tabla 5.28	Análisis de varianza de la falta de ajuste y error puro del modelo matemático de la variable de respuesta del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envase de hojalata.	298
Tabla 5.29	Anova de modelo matemático de la variable de respuesta del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envase de hojalata.	299
Tabla 5.30	Anova de los coeficientes de regresión del modelo matemático para la estimación del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envase de hojalata.	300
Tabla 5.31	Valores codificados y reales del diseño experimental para el	301

modelamiento matemático del tiempo de calentamiento del  
puré de tomate en envases de hojalata.

Tabla 5.32	Valores críticos de la superficie de respuesta tipo punto-silla del puré de tomate en envase de hojalata.	304
Tabla 5.33	Variables codificadas y reales con los valores del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envases de vidrio.	307
Tabla 5.34	Tabla de los efectos estimados del planeamiento experimental para el tiempo de calentamiento en envases de vidrio.	308
Tabla 5.35	Análisis de varianza de la falta de ajuste y error puro del modelo matemático de la variable de respuesta del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envase de vidrio.	310
Tabla 5.36	Anova de modelo matemático de la variable de respuesta del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envase de vidrio.	311
Tabla 5.37	Valores de los coeficientes de regresión del modelo matemático para la estimación del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envase de vidrio.	312
Tabla 5.38	Valores codificados y reales del diseño experimental para el modelamiento matemático del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envases de vidrio.	313
Tabla 5.39	Valores críticos de la superficie de respuesta tipo punto-silla del	316

puré de tomate en envase de vidrio.

Tabla 5.40	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia optimizada en envase de hojalata.	319
Tabla 5.41	Condiciones físicas de proceso, en la experiencia optimizada en envase de vidrio.	325
Tabla 5.42	Determinación del factor de inflación de varianza en la regresión lineal multivariable, en el puré de tomate en envase de hojalata.	345
Tabla 5.43	Determinación del factor de inflación de varianza en la regresión lineal multivariable, en el puré de tomate en envase de vidrio.	346

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Tomate ( <i>Lycopersicon sculentum mill</i> ).	45
Figura 2.2	Diagrama de flujo de proceso de elaboración del puré de tomate.	48
Figura 2.3	Diagrama de control de calidad en cada proceso.	64
Figura 2.4	Escala de firmeza de frutos de tomate.	70
Figura 2.5	Degradación de los carotenoides.	73
Figura 2.6	Mecanismos de transferencia de calor de alimentos sólidos en envase de vidrio.	99
Figura 2.7	Mecanismos de transferencia de calor de alimentos líquidos en envase de vidrio.	100
Figura 2.8	Mecanismos de transferencia de calor de alimentos mixtos en envase de vidrio.	101
Figura 4.1	Diseño de la investigación.	118
Figura 4.2	Envase de vidrio y hojalata.	120
Figura 4.3	Diseño experimental factorial con puntos céntricos y axiales.	125
Figura 4.4	Unidad de tratamiento térmico.	131
Figura 4.5	Olla de pre-cocción.	132
Figura 4.6	Termoregistrador con sus termopares.	133
Figura 4.7	Potenciómetro digital.	133
Figura 4.8	Disposición de la termocupla dentro del envase.	135
Figura 4.9	Disposición de los envases dentro de autoclave.	136

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1	Efecto del tiempo y temperatura de remojo en la reducción de patógenos	50
Gráfico 2.2	Variación de número de microorganismos a una temperatura constante.	84
Gráfico 2.3	Variación del tiempo de reducción decimal con la temperatura constante.	86
Gráfico 2.4	Variación de temperatura y letalidad con respecto al tiempo.	88
Gráfico 2.5	Diagrama de relación tiempo-temperatura, en la destrucción microbiana F con el valor de cocción.	95
Gráfico 2.6	Gráfica típica de curva de calentamiento.	111
Gráfico 4.1	Obtención de rangos de concentración.	122
Gráfico 4.2	Superficie de respuesta tridimensional.	123
Gráfico 4.3	Ensayos preliminares en el puré de tomate a simple y triple concentración en envase de hojalata.	129
Gráfico 5.1	Análisis de capacidad de proceso respecto al pH de la materia prima.	149
Gráfico 5.2	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°1 en envase de hojalata.	153
Gráfico 5.3	Modelamiento matemático de la curva de penetración de	154

	calor en el envase de hojalata, de la experiencia N°1.	
Gráfico 5.4	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°1 en envase de hojalata.	155
Gráfico 5.5	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°1 en envase de hojalata.	156
Gráfico 5.6	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°1 en envase de vidrio.	158
Gráfico 5.7	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia N°1.	159
Gráfico 5.8	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°1 en envase de vidrio.	160
Gráfico 5.9	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°1 en envase de vidrio.	162
Gráfico 5.10	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia N°1.	163
Gráfico 5.11	Comparativo de letalidad, en la experiencia N°1.	164
Gráfico 5.12	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia N°1.	164
Gráfico 5.13	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema	166

	y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°2 en envase de hojalata.	
Gráfico 5.14	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de hojalata, de la experiencia N°2.	167
Gráfico 5.15	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°2 en envase de hojalata.	168
Gráfico 5.16	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°2 en envase de hojalata.	170
Gráfico 5.17	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°2 en envase de vidrio.	172
Gráfico 5.18	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia N°2.	173
Gráfico 5.19	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°2 en envase de vidrio.	174
Gráfico 5.20	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°2 en envase de vidrio.	175
Gráfico 5.21	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia N°2.	176

Gráfico 5.22	Comparativo de letalidad, en la experiencia N°2.	177
Gráfico 5.23	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia N°2.	177
Gráfico 5.24	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°3 en envase de hojalata.	179
Gráfico 5.25	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de hojalata, de la experiencia N°3.	180
Gráfico 5.26	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°3 en envase de hojalata.	181
Gráfico 5.27	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°3 en envase de hojalata.	182
Gráfico 5.28	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°3 en envase de vidrio.	184
Gráfico 5.29	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia N°3.	185
Gráfico 5.30	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°3 en envase de vidrio.	186
Gráfico 5.31	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia	188

N°3 en envase de vidrio.

Gráfico 5.32	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia N°3.	189
Gráfico 5.33	Comparativo de letalidad, en la experiencia N°3.	190
Gráfico 5.34	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia N°3.	190
Gráfico 5.35	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°4 en envase de hojalata.	192
Gráfico 5.36	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de hojalata, de la experiencia N°4.	193
Gráfico 5.37	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°4 en envase de hojalata.	194
Gráfico 5.38	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°4 en envase de hojalata.	195
Gráfico 5.39	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°4 en envase de vidrio.	197
Gráfico 5.40	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia N°4.	198
Gráfico 5.41	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento	199

	térmico, en la experiencia N°4 en envase de vidrio.	
Gráfico 5.42	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°4 en envase de vidrio.	201
Gráfico 5.43	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia N°4.	202
Gráfico 5.44	Comparativo de letalidad, en la experiencia N°4.	203
Gráfico 5.45	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia N°4.	203
Gráfico 5.46	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°5 en envase de hojalata.	205
Gráfico 5.47	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de hojalata, de la experiencia N°5.	206
Gráfico 5.48	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°5 en envase de hojalata.	207
Gráfico 5.49	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°5 en envase de hojalata.	208
Gráfico 5.50	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°5 en envase de vidrio.	210

Gráfico 5.51	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia N°5.	211
Gráfico 5.52	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°5 en envase de vidrio.	212
Gráfico 5.53	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°5 en envase de vidrio.	214
Gráfico 5.54	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia N°5.	215
Gráfico 5.55	Comparativo de letalidad, en la experiencia N°5.	216
Gráfico 5.56	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia N°5.	216
Gráfico 5.57	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°6 en envase de hojalata.	218
Gráfico 5.58	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de hojalata, de la experiencia N°6.	219
Gráfico 5.59	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°6 en envase de hojalata.	220
Gráfico 5.60	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°6 en envase de hojalata.	221

Gráfico 5.61	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°6 en envase de vidrio.	223
Gráfico 5.62	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia N°6.	224
Gráfico 5.63	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°6 en envase de vidrio.	225
Gráfico 5.64	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°6 en envase de vidrio.	227
Gráfico 5.65	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia N°6.	228
Gráfico 5.66	Comparativo de letalidad, en la experiencia N°6.	229
Gráfico 5.67	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia N°6.	229
Gráfico 5.68	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°7 en envase de hojalata.	231
Gráfico 5.69	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de hojalata, de la experiencia N°7.	232
Gráfico 5.70	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°7 en envase de hojalata.	233

Gráfico 5.71	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°7 en envase de hojalata.	234
Gráfico 5.72	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°7 en envase de vidrio.	236
Gráfico 5.73	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia N°7.	237
Gráfico 5.74	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°7 en envase de vidrio.	238
Gráfico 5.75	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°7 en envase de vidrio.	240
Gráfico 5.76	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia N°7.	241
Gráfico 5.77	Comparativo de letalidad, en la experiencia N°7.	242
Gráfico 5.78	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia N°7.	242
Gráfico 5.79	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°8 en envase de hojalata.	244
Gráfico 5.80	Modelamiento matemático de la curva de penetración de	245

	calor en el envase de hojalata, de la experiencia N°8.	
Gráfico 5.81	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°8 en envase de hojalata.	246
Gráfico 5.82	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°8 en envase de hojalata.	247
Gráfico 5.83	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°8 en envase de vidrio.	249
Gráfico 5.84	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia N°8.	250
Gráfico 5.85	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°8 en envase de vidrio.	251
Gráfico 5.86	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°8 en envase de vidrio.	253
Gráfico 5.87	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia N°8.	254
Gráfico 5.88	Comparativo de letalidad, en la experiencia N°8.	255
Gráfico 5.89	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia N°8.	255
Gráfico 5.90	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema	257

y tiempo de letalidad  $P_0$ , en la experiencia N°9 en envase de hojalata.

Gráfico 5.91	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de hojalata, de la experiencia N°9.	258
Gráfico 5.92	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°9 en envase de hojalata.	259
Gráfico 5.93	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°9 en envase de hojalata.	260
Gráfico 5.94	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°9 en envase de vidrio.	262
Gráfico 5.95	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia N°9.	263
Gráfico 5.96	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°9 en envase de vidrio.	264
Gráfico 5.97	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°9 en envase de vidrio.	266
Gráfico 5.98	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia N°9.	267

Gráfico 5.99	Comparativo de letalidad, en la experiencia N°9.	268
Gráfico 5.100	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia N°9.	268
Gráfico 5.101	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°10 en envase de hojalata.	270
Gráfico 5.102	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de hojalata, de la experiencia N°10.	271
Gráfico 5.103	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°10 en envase de hojalata.	272
Gráfico 5.104	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°10 en envase de hojalata.	273
Gráfico 5.105	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°10 en envase de vidrio.	275
Gráfico 5.106	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia N°10.	276
Gráfico 5.107	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°10 en envase de vidrio.	277
Gráfico 5.108	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia	279

N°10 en envase de vidrio.

Gráfico 5.109	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia N°10.	280
Gráfico 5.110	Comparativo de letalidad, en la experiencia N°10.	281
Gráfico 5.111	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia N°10.	281
Gráfico 5.112	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°11 en envase de hojalata.	283
Gráfico 5.113	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de hojalata, de la experiencia N°11.	284
Gráfico 5.114	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia N°11 en envase de hojalata.	285
Gráfico 5.115	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°11 en envase de hojalata.	286
Gráfico 5.116	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia N°11 en envase de vidrio.	288
Gráfico 5.117	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia N°11.	289
Gráfico 5.118	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento	290

térmico, en la experiencia N°11 en envase de vidrio.

Gráfico 5.119	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia N°11 en envase de vidrio.	292
Gráfico 5.120	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia N°11.	293
Gráfico 5.121	Comparativo de letalidad, en la experiencia N°11.	294
Gráfico 5.122	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia N°11.	294
Gráfico 5.123	Diagrama de Pareto para la estandarización de los efectos de las variables del diseño experimental para el tiempo de calentamiento del puré de tomate en envases de hojalata.	297
Gráfico 5.124	Superficie de respuesta del tiempo de calentamiento del puré de tomate a diferentes concentraciones (%) y temperatura de pasteurización (°C), en envase de hojalata.	302
Gráfico 5.125	Superficie de contorno del tiempo de calentamiento del puré de tomate, en envase de hojalata.	303
Gráfico 5.126	Valores observados y estimados de tiempo de calentamiento del puré de tomate en envase de hojalata.	305
Gráfico 5.127	Simulación de la curva de calentamiento y temperatura para tres concentraciones de sólidos del puré de tomate en envase de hojalata.	306

Gráfico 5.128	Diagrama de Pareto para la estandarización de los efectos de las variables del diseño experimental para el tiempo de calentamiento del puré de tomate en envases de vidrio.	309
Gráfico 5.129	Superficie de respuesta del tiempo de calentamiento del puré de tomate a diferentes concentraciones (%) y temperatura de pasteurización (°C), en envase de vidrio.	314
Gráfico 5.130	Superficie de contorno del tiempo de calentamiento del puré de tomate, en envase de vidrio.	315
Gráfico 5.131	Valores observados y estimados de tiempo de calentamiento del puré de tomate en envase de vidrio.	317
Gráfico 5.132	Simulación de la curva de calentamiento y temperatura para tres concentraciones de sólidos del puré de tomate en envase de vidrio.	318
Gráfico 5.133	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia optimizada en envase de hojalata.	320
Gráfico 5.134	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de hojalata, de la experiencia optimizada.	321
Gráfico 5.135	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia optimizada en envase de hojalata.	322
Gráfico 5.136	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad	324

	de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia optimizada en envase de hojalata.	
Gráfico 5.137	Curva de temperatura de penetración de calor en el sistema y tiempo de letalidad $P_0$ , en la experiencia optimizada en envase de vidrio.	326
Gráfico 5.138	Modelamiento matemático de la curva de penetración de calor en el envase de vidrio, de la experiencia optimizada.	327
Gráfico 5.139	Comportamiento del valor de cocción en el tratamiento térmico, en la experiencia optimizada en envase de vidrio.	328
Gráfico 5.140	Curva de $\log(T_{\text{medio}}-T)$ vs tiempo para el cálculo de velocidad de penetración de calor y factor de inercia en la experiencia optimizada en envase de vidrio.	329
Gráfico 5.141	Comparativo de temperatura de penetración en los envases de hojalata y vidrio, en la experiencia optimizada.	331
Gráfico 5.142	Comparativo de letalidad, en la experiencia optimizada.	331
Gráfico 5.143	Comparativo de valor de cocción, en la experiencia optimizada.	332
Gráfico 5.144	Comparativo del valor de cocción, a diferentes concentraciones en envase de hojalata.	333
Gráfico 5.145	Comparativo del valor de cocción, a diferentes concentraciones en envase de vidrio.	334

Gráfico 5.146	Comparativo de velocidad de transferencia de calor a diferentes concentraciones, en envase de hojalata.	335
Gráfico 5.147	Comparativo de velocidad de transferencia de calor a diferentes concentraciones, en envase de vidrio.	335
Gráfico 5.148	Comparativo del factor de inercia, a diferentes concentraciones en envase de hojalata.	336
Gráfico 5.149	Comparativo del factor de inercia, a diferentes concentraciones en envase de vidrio.	337
Gráfico 5.150	Comparativo de la constante universal de transferencia de calor a diferentes concentraciones, en envase de hojalata.	338
Gráfico 5.151	Comparativo de la constante universal de transferencia de calor a diferentes concentraciones, en envase de vidrio.	338
Gráfico 5.152	Comparativo de la difusividad térmica, a diferentes concentraciones en envase de hojalata.	339
Gráfico 5.153	Comparativo de la difusividad térmica, a diferentes concentraciones en envase de vidrio.	340
Gráfico 5.154	Distribución de residuales en ambos modelamientos.	341
Gráfico 5.155	Probabilidad normal de los residuales en ambos modelamientos.	342
Gráfico 5.156	Distribución normal de los residuales en ambos modelamientos.	344

## RESUMEN

En la actualidad el tomate es considerado una de las hortalizas más importantes del mundo tanto en su consumo fresco como industrializado, esto debido a propiedades nutricionales y altos rendimientos generados en su producción. Entre los principales países productores se encuentran a los Estados Unidos y China con casi el 50% de la producción a nivel mundial. De la producción de tomate para industria, más de dos tercios se destinan a la elaboración de pasta, y el resto a tomates enteros, salsas, jugos y entre otros. En la Unión Europea se observó una tendencia a la menor producción de pasta y un incremento de las salsas y otros productos elaborados (BERNABÉ TAPIA, 2013), esta demanda en el mercado de la elaboración de productos derivados del tomate, lleva plantear técnicas de mejora en los procesos de elaboración enfocándose en el tratamiento térmico del producto, optimizándolo manteniendo las propiedades nutricionales y de calidad.

La investigación consistió en determinar un modelo matemático en el proceso de tratamiento térmico a diferentes condiciones de proceso, tanto en insumos como en propiedades de la materia prima. Con respecto al tipo de envase utilizado se realizaron las corridas experimentales en envase de vidrio con tapa twist off y envase de hojalata, esto en combinación con las variables independientes; grado de concentración de la materia prima y temperatura de pasteurizado. De los valores obtenidos mediante las pruebas

piloto se estableció una superficie de respuesta para cada tipo de envasado, que tuvo como variables independientes la concentración y la temperatura de pasteurizado. La variable de respuesta fue el tiempo óptimo mínimo, en que el concentrado de tomate (puré) llega a la letalidad requerida. De las ecuaciones determinadas, en el caso del envase de hojalata fue el siguiente:

$$\vartheta = 85,235 - 0,137 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) - 16,259 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right)^2 - 139,262 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right) + 100,562 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right)^2 + 1,375 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) \left( \frac{T - 85}{10,60} \right)$$

De donde se establecen los parámetros óptimos: tiempo de pasteurizado de 37.07 min a una temperatura de pasteurizado de 92.34°C, con una concentración de materia prima de 15.65%. De igual manera se establece la ecuación para el envase de vidrio, de donde se establecen los parámetros óptimos: tiempo de pasteurizado de 42.02 min a una temperatura de pasteurizado de 92.4°C, con una concentración de materia prima de 15.30%.

Del punto de vista industrial el proceso puede significar un aumento en la productividad del proceso de pasteurizado para el producto, ya que se limita el consumo de energía térmica, logrando un menor uso en los recursos para obtener un producto de calidad, en donde los nutrientes de la materia prima, sean sometidos en lo más mínimo a efectos de calor que puedan ocasionar alteraciones en la calidad organoléptica del producto.

## **ABSTRACT**

At present, tomato is considered one of the most important vegetables in the world both in its fresh and industrialized consumption, due to nutritional properties and high yields generated in its production. Among the major producing countries are the United States and China with almost 50% of world production. Of the tomato production for industry, more than two thirds are destined to the elaboration of pasta, and the rest to whole tomatoes, sauces, juices and among others. In the European Union, there was a trend towards lower pulp production and an increase in sauces and other processed products (BERNABÉ TAPIA, 2013), this demand in the market for the production of tomato products, suggests techniques for improvement in the Process of elaboration focusing on the thermal treatment of the product, optimizing it maintaining the nutritional and quality properties.

The research was based on determining a mathematical model in the heat treatment process to different process conditions, both in inputs and in properties of the raw material. Regarding the type of packaging used, experimental runs were made in glass containers with twist off lid and tin packaging, this in combination with the independent variables; Degree of concentration of the raw material and pasteurized temperature. From the values obtained through the pilot tests, a response surface was established for each type of packaging, which had the concentration and the pasteurized

temperature as independent variables. The response variable was the minimum optimum time, in which the Tomato concentrate (puree) reaches the required lethality. From the determined equations, in the case of tinplate packaging was the following:

$$\vartheta = 85,235 - 0,137 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) - 16,259 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right)^2 - 139,262 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right) + 100,562 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right)^2 + 1,375 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) \left( \frac{T - 85}{10,60} \right)$$

From where the optimal parameters are established: pasteurized time of 37.07 min at a pasteurized temperature of 92.34 ° C, with a raw material concentration of 15.65%. In the same way, the equation for the glass container is established, from where the optimal parameters are established: pasteurized time of 42.02 min at a pasteurized temperature of 92.4 ° C, with a raw material concentration of 15.30%.

From the industrial point of view the process can mean an increase in the productivity of the pasteurized process for the product, since it limits the consumption of thermal energy, achieving a lower use in the resources to obtain a quality product, where the nutrients Of the raw material, are subjected in the least to heat effects that may cause alterations in the organoleptic quality of the product.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Determinación del problema.**

Actualmente en la industria conservera hace falta plantear sistemas de mejora en la optimización de sus procesos, esto con el fin de hacerlos más eficientes manteniendo la calidad del producto final, en nuestro país se ha observado un sobredimensionado en el proceso de tratamiento térmico sometiendo a un producto a altas temperaturas y tiempos, afectando la calidad nutricional y organoléptica del producto envasado, así como la capacidad del proceso. Se ha elegido realizar el trabajo de investigación con concentrado de tomate (puré) debido a una mayor tendencia de consumo en los últimos periodos de este producto. Por tal motivo se plantea realizar un modelamiento matemático con el fin de optimizar el proceso de tratamiento térmico, logrando la destrucción microbiana deseada y manteniendo las características nutricionales y organolépticas del producto además de incrementar la productividad del proceso.

### **1.1.1. Problema principal.**

¿Cómo conseguir la optimización en el proceso de tratamiento térmico del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata?

### **1.1.2. Problemas secundarios.**

- a. ¿Cuál es el tiempo de calentamiento óptimo, para alcanzar la letalidad requerida, del proceso de tratamiento térmico en la elaboración del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata?
- b. ¿Cuál es el comportamiento del valor de cocción óptimo y los parámetros de transferencia de calor en el tratamiento térmico, para la elaboración del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata?

## **1.2. Objetivos de la investigación.**

### **1.2.1. Objetivo principal.**

Optimizar el proceso de tratamiento térmico en la elaboración del concentrado de tomate (puré) en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata.

### **1.2.2. Objetivos secundarios.**

- a. Determinar el tiempo de calentamiento óptimo, hasta alcanzar la letalidad requerida en el proceso de tratamiento térmico en la elaboración del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata.
- b. Evaluar el valor de cocción y los valores de transferencia de calor, del proceso de tratamiento térmico en la elaboración del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata.

### **1.3. Justificación.**

La importancia de la investigación se basa en optimizar el proceso de tratamiento térmico en la elaboración del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio y hojalata, mediante un modelamiento matemático que permita determinar las variables ideales que permitan un proceso eficiente, manteniendo la calidad del producto final.

Desde el punto de vista de la calidad la importancia radica en la preservación máxima de las características nutricionales y sensoriales del producto, prolongación de la vida útil del alimento envasado mediante la inactivación de enzimas deterioradas y destrucción de microorganismos patógenos.

Desde el punto de vista industrial, la optimización del proceso permite un uso controlado de los recursos en este caso la energía térmica, este factor influye de cierta manera en la productividad del proceso, haciéndolo de mayor viabilidad para procesos donde el costo de los insumos sea un factor de ineficiencia e improductividad.

#### **1.4. Limitaciones y facilidades.**

Entre las principales limitaciones se puede mencionar lo siguiente:

Para el proceso de concentrado en el tomate se debe contar con diversos equipos concentradores que permitan la obtención de un producto elevado en porcentaje de sólidos, para realizar un estudio de mayor amplitud en productos concentrados de tomate. Debido a esto solo nos limitamos a estudiar el puré de tomate, debido a que el equipo en laboratorio nos permitió la obtención de un producto a las concentraciones de 7 a 24%, establecidas para puré.

Para el estudio de tratamiento térmico en el concentrado de tomate (puré), se debe contar con diversos equipos e implementos como empaquetaduras, soportes, cremas disipadoras, entre otros, algunos de los implementos poseen un costo elevado o se tiene cierta dificultad para conseguirlos, este es uno de los principales limitantes de la investigación.

Entre las facilidades tenemos:

Contar con el laboratorio piloto de Operaciones Unitarias de la facultad de Ingeniería Pesquera y Alimentos (LOPU – FIPA), de la Universidad Nacional del Callao, en el cual se puede hacer uso de la autoclave, sensores de temperatura, balanza de peso y humedad, entre otros, para realizar las corridas experimentales necesarias para la investigación.

## **II. FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de estudio.**

Actualmente la industria de alimentos envasados viene desarrollando métodos de mejora en lo que a optimización de procesos se refiere para cada una de sus etapas acentuando un consumo eficiente de los recursos, manteniendo la calidad del producto. Existen investigaciones en donde se optimiza el proceso de tratamiento térmico estimando el tiempo necesario que deben ser sometidas diversas conservas, asegurando la inocuidad del producto, como cita (ALEJANDRO LESPINARD, 2012) en su investigación sobre la optimización de los productos alimentarios en envases de vidrio en donde tiene como principal objetivo analizar los fenómenos termodinámicos en el proceso de tratamiento térmico en diferentes tipos de alimentos (sólidos, mixtos y líquidos), para desarrollar métodos de predicción en cada caso, llevando de manera indefectible a productos de mejor calidad, que los cambios nutricionales, sensoriales y microbiológicos en el proceso de tratamiento térmico posibilita ajustar los tiempos de proceso de acuerdo a las variables, minimizando las pérdidas por calidad.

Sin embargo como cita (HOLLDSWORTH, 1985) los métodos matemáticos para optimizar los efectos en el proceso de tratamiento térmico en productos alimentarios son estudiados en relación a la destrucción microbiana, destrucción de nutrientes, valor de cocción y pérdida de la calidad, algunos valores dependen y se presentan por la cinética del tratamiento, no obstante los resultados obtenidos de varios trabajos tienen como principal referencia la retención de los nutrientes, este factor es de vital importancia ya que la finalidad de aplicar un modelo matemático en esta etapa implica retener la calidad inicial producto.

Otro punto a tener en cuenta es el efecto que puede tener la materia prima sobre el producto elaborado de acuerdo al método de cultivo, en este caso el tomate. LUIS ORDOÑEZ, 2006; en su investigación sobre la influencia del tomate obtenido mediante cultivo convencional y ecológico, diferencia de la materia prima fresca y procesada. Tiene como objetivo específico evaluar las características físico-químicas y nutricionales de las conservas de tomate, comparando la materia prima obtenida en ambos métodos de cultivo. Existiendo variaciones solo en los niveles de sólidos totales, donde el tomate obtenido por cultivo convencional presenta una mayor concentración, estas características iniciales se mantienen durante el proceso de triturado y envasado.

## **2.2. Descripción del producto.**

El concentrado de tomate es un producto secundario del tomate. La producción de concentrados de tomate requiere solo de un amplio y estable aprovisionamiento de tomates frescos y un enorme suministro de agua. Aunque en ciertas oportunidades se obtenga del líquido del residuo de la preparación de los tomates en la industria conservera, que consisten en cascaras y núcleos. El concentrado posee un rendimiento que dependerá enormemente de la calidad de los tomates. Una pasta de tomate refinada y de buena calidad tendrá atributos como: alta concentración en sólidos totales, color rojo brillante, sabor agradable, alto contenido de azúcar y una mediana acidez.

Cabe señalar que EE.UU. es el principal productor de tomates para la industria con el 35% de la producción mundial, seguido por China con el 13% e Italia con el 12%. A nivel sudamericano Brasil y Chile se ubican séptimo y décimo lugar respectivamente. En el caso de la producción de concentrados a partir de tomates, ésta ha ido en aumento desde los '80, sobre todo gracias al aumento de locales de comida rápida y la masificación de la comida italiana. Se estima que la producción de esta pasta llegó a los 5 millones de toneladas durante el 2012, de los cuales el 58% fue transado en los mercados internacionales (BERNABÉ TAPIA, 2013).

Con respecto a la industria nacional, el Perú es esta situado en una zona que va de los 0 a 30 grados de latitud sur, por tal motivo ostenta la condición de ser el país de mayor producción de productos pertenecientes al mismo género que el tomate, mediante un cultivo a la intemperie en escala comercial, a pesar que el tomate es oriundo del Perú, este tipo de cultivo ha resultado un fracaso en las últimas décadas, esto debido a varios factores como el clima particular en la costa peruana que posee un variabilidad en determinados meses, el uso incontrolado de pesticidas y un sistema de riego inadecuado. En la actualidad se viene manejando un riego tecnificado acompañado de un sistema de eliminación de plagas controlado y normado que permite la producción normal del tomate, esto gracias a proyectos como el ASKA los cuales empresas privadas y centros académicos nacionales evaluaron la factibilidad de sembrar tomate industrial en la costa peruana a campo abierto (KOICHI NUMATA, 2010).

El volumen de tomate ha ido creciendo por aumento de la superficie cosechada, este aumento es del 17.41% en el año 2014 respecto al año 2007, este comportamiento se reflejó en los departamentos de Ica, Arequipa, Lambayeque, Tacna y La libertad, que en su conjunto aportaron el 86.9% a la producción nacional (MINISTERIO DE LA PRODUCCION, 2015).

### **2.2.1. Materia Prima.**

#### **a. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)**

El tomate pertenece a la familia solanácea y género *Lycopersicon*, consiste en relativamente pocas especies de plantas herbáceas perennes o de vida corta. El tomate es un capullo de cosecha de la temporada cálida a pesar de su susceptibilidad a climas fríos.

La clasificación taxonómica para este vegetal viene descrita por:

División: *Magnoliophyta*.

Clase: *Magnoliopsida*.

Orden: *Solanales*.

Familia: *Solanaceae*.

Subfamilia: *Solanoideae*.

Tribu: *Solaneae*.

Género: *Lycopersicon*.

Especie: *Esculentum*.

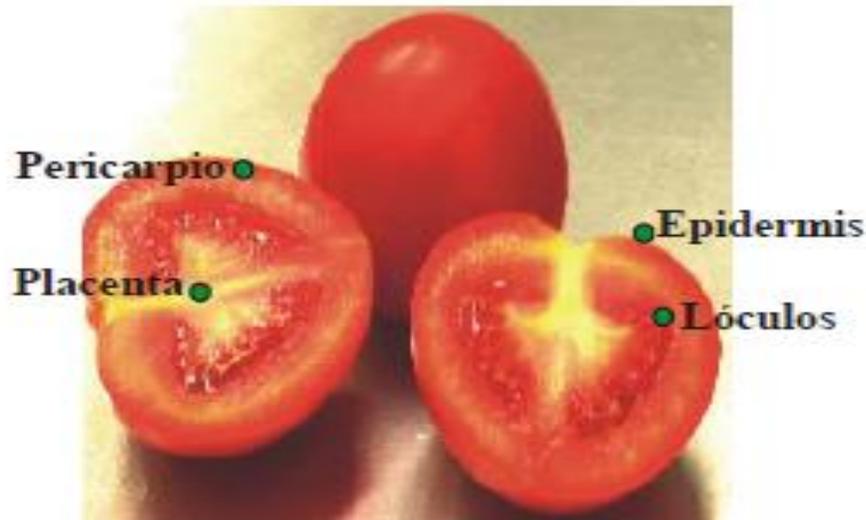
El fruto de tomate maduro es una baya con 2 a 12 estructuras locales constituido, básicamente, por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas, ver figura 2.1. El tomate crece a partir de un ovario de 5 a 10 mg y alcanza,

en la madurez, un peso de 5 a 500 g en función de la variedad y las condiciones de desarrollo. El primer periodo, de crecimiento lento, dura de 2 a 3 semanas y cuando termina el peso del fruto es inferior al 10% del peso final. El crecimiento en este periodo se produce, fundamentalmente, por división celular y, en mucho menor grado, por crecimiento de las células (LUIS ORDOÑEZ, 2006). Cabe resaltar que 100 g de tomate aportan solamente 18 kcal. La mayor parte de su peso es agua y el segundo constituyente en importancia son los hidratos de carbono. Contiene azúcares simples que le confieren un ligero sabor dulce y algunos ácidos orgánicos que le otorgan el sabor ácido característico.

El tomate para uso industrial como el de mesa se desarrollan de manera óptima en climas soleados y cálidos, la temperatura óptima para su desarrollo se da entre 21 y 24 °C como promedio, las máximas no deben sobrepasar los 37 °C, las mínimas no deben ser menos de 15 °C, esto acompañado de un buen suministro de humedad, el pH de crecimiento puede oscilar entre los 5.5 y 6.8, en los suelos ácidos es recomendable la aplicación de materiales a base de calcio antes de la siembra.

FIGURA 2.1

TOMATE (LYCOPERSICON ESCULENTUM MILL)



Fuente: LUIS ORDOÑEZ, 2006.

Con respecto a la composición físico-química y nutricional del fruto puede estar afectada por diversos factores entre ellos: la variedad, la estación de siembra, los nutrientes disponibles en el suelo, la intensidad lumínica, entre otros, la composición nutricional del fruto se puede estandarizar en la tabla 2.1. Resaltando que el tomate sintetiza diversos metabolitos secundarios de importancia en la alimentación humana, entre ellos, los compuestos carotenoides, el ácido ascórbico y las sustancias fenólicas. Este vegetal por lo tanto es fuente de licopeno,  $\beta$ -caroteno, folato, vitamina C, vitamina E y compuestos fenólicos. Estos micronutrientes según estudios epidemiológicos desempeñan un papel preventivo frente a varios tipos de

cáncer, además los compuestos fenólicos forman parte del sistema de defensa de los vegetales estos les permiten hacer frente a ataques de microorganismos patógenos y ayuda a protegerse de radiaciones ultravioleta. La firmeza en los tomate está relacionada con el nivel de los polímeros de carbohidratos presentes en el fruto, especialmente, pectina celulosa y hemicelulosa (LUIS ORDOÑEZ, 2006).

TABLA 2.1

VALOR NUTRICIONAL DEL TOMATE FRESCO

<b>Valor nutricional del tomate por 100 g de sustancia comestible</b>	
Residuos (%)	6
Materia seca (g)	6.2
Energía (kcal)	20
Proteínas (g)	1.2
Fibra (g)	0.7
Calcio (mg)	7
Hierro (mg)	0.6
Caroteno (mg)	0.5
Tiamina (mg)	0.06
Riboflavina (mg)	0.04
Niacina (mg)	0.6
Vitamina C (mg)	23
Valor Nutritivo Medio (VNM)	2.39
VNM por 100 g de materia seca	38.5

Fuente: SIISEX, 2010.

### **b. Manipulación.**

La calidad de los tomates crudos no se puede mejorar después de la cosecha. Sin embargo, se puede mantener o disminuir dependiendo de los métodos de recolección, el manejo de la materia prima durante la cosecha, y los métodos de explotación utilizado. La destrucción de la calidad se puede determinar de varias maneras; el número de bacterias vegetativas, esporas, levaduras, moho y agentes químicos tóxicos como pesticidas presentes en la materia prima.

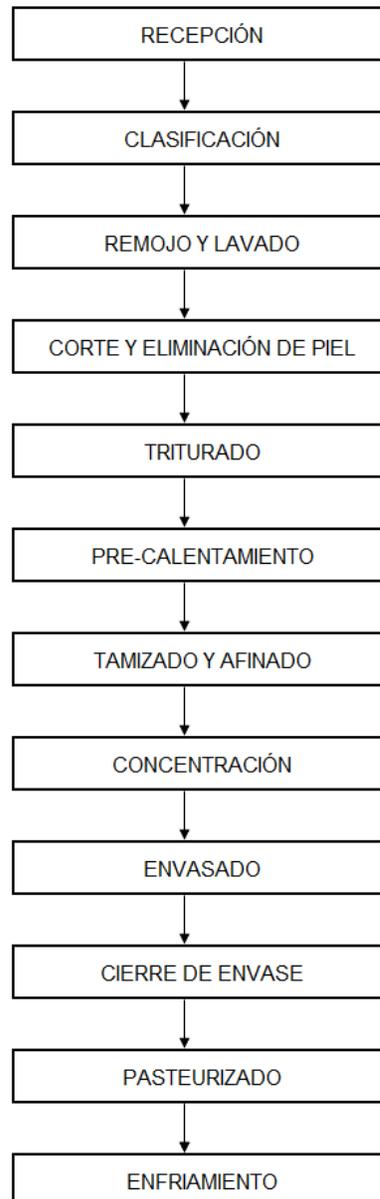
Los tomates se transportan desde la cosecha a la planta de procesamiento, ya sea en cestas, cajas, envases de plástico o contenedores a granel.

#### **2.2.2. Diagrama de flujo de elaboración del puré de tomate.**

La elaboración del concentrado de tomate (puré) a escala industrial, se puede resumir en la figura 2.2.

FIGURA 2.2

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE ELABORACIÓN DEL PURÉ DE  
TOMATE

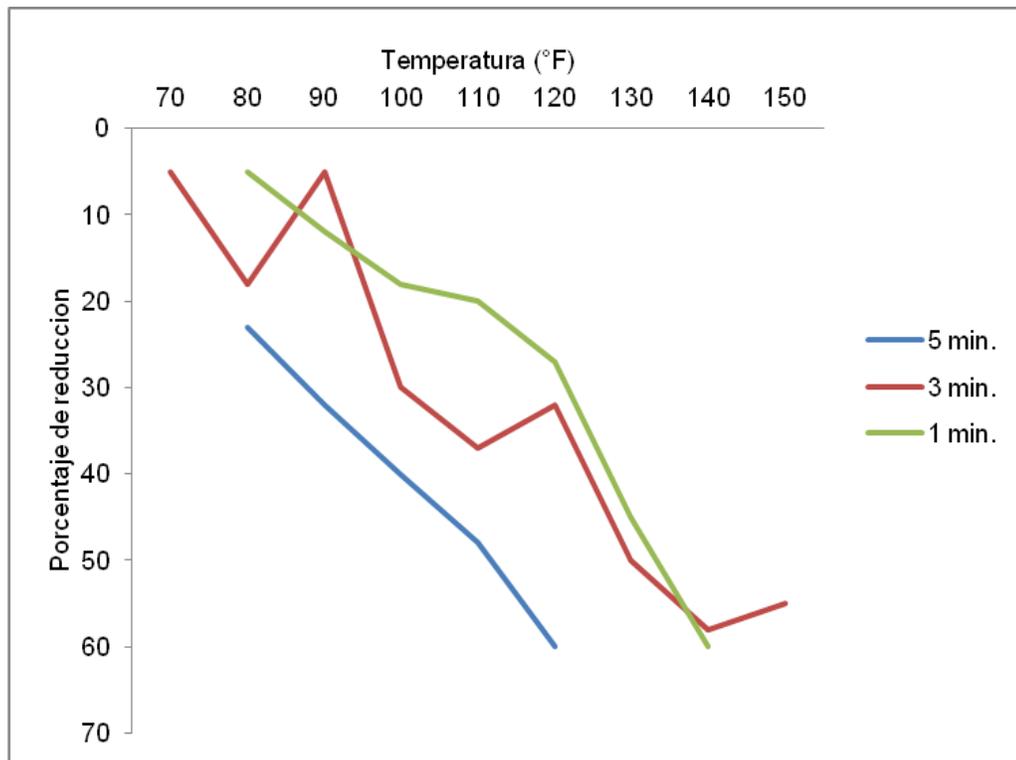


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

En la etapa de recepción de materia prima es muy importante distinguir que los tomates estén bien maduros, esto mayormente se da entre los meses de julio y agosto, deben disponer de la forma, color y el tamaño adecuado, pero las características relativas son más importantes; como la acidez, el contenido en azúcares y la materia seca. Por tal motivo los tomates más utilizados en la industria son los tomates de pera y ensalada, debido a que contienen menos agua, por lo tanto, presentan un mayor rendimiento, además los tomates son clasificados por tamaños mediante un sistema que permite la separación automática, una ventaja de clasificar por tamaño es la estandarización de las propiedades iniciales del fruto. Los frutos aptos son seleccionados para luego ser sometidos a un proceso de remojo, mediante un canal con las dimensiones adecuadas que permita la agitación de los tomates durante este proceso, a su vez debe permitir un aumento progresivo y uniforme de la temperatura, mediante tubos de aire y vapor en la parte inferior del canal (WILBUR A. GOULD, 1983). La finalidad de este proceso es la reducción de larvas, patógenos y otros contaminantes en la cascara del fruto, que de acuerdo a experiencias se obtiene una mayor reducción a 49°C durante un periodo de 5 minutos, la aplicación de este parámetro de energía puede incidir en el costo por el tiempo de exposición, lo cual podría regularse sometiendo al fruto a 60°C durante 3 minutos, este comportamiento puede mostrarse en la gráfica 2.1.

GRÁFICA 2.1

EFFECTO DEL TIEMPO Y TEMPERATURA DE REMOJO EN LA  
REDUCCIÓN DE PATÓGENOS.



Fuente: WILBUR A. GOULD, 1983.

Además el canal de remojo debe tener la propiedad de permitir el uso de detergentes, los cuales deben ser de un compuesto en solución alcalina (pH entre 11 y 12), estudios realizados por la sociedad nacional de envasadores en los E.E.U.U, los detergentes con un pH neutro o ligeramente alcalino dan

como resultado una pobre capacidad de eliminación de larvas y contaminantes, en cambio cuando se utilizan detergentes con un álcali de pH entre 10 y 12 a una concentración de 0.25% en peso y a una temperatura de 54°C, se obtiene una reducción del 86% (WILBUR A. GOULD, 1983).

EL-ASHWAH (1963), estudio el efecto de la utilización en el lavado de tomate en la viabilidad y la resistencia térmica de las esporas de *Bacillus Coagulans*, el agente causante del deterioro agrio en los tomates enlatados y jugos de tomates. Reporto que el lavado del tomate con soluciones de detergentes a 54°C durante 3 minutos, dio como resultado una reducción en el valor de termo resistencia D entre 17 y 25%.

Un detergente a utilizar es la soda caustica concentrada, esta concentración debe ser tal que la remoción de las trazas de este compuestos se den con facilidad después del remojo, a su vez este compuesto no debe afectar el pH acido inicial del fruto.

Luego del proceso de remojo, continúa la etapa de rociado a presión por medio de boquillas ubicadas sobre el fruto, esto permite eliminar contaminantes presentes, así como trazas de componentes utilizados en la etapa de remojo. La presión de lavado varía entre 130 a 150 psi siendo en el valor máximo, donde se da una mayor eliminación de contaminantes pero a

su vez genera mayor pérdida en el fruto por la alta presión que afecta su consistencia, es por eso que la presión ideal de rociado es de 130 psi.

Antes de retirar la piel en el fruto es recomendable cortarlo antes, debido a que este proceso remueve la piel y facilita el trabajo de pelado industrial. El corte puede ser manual o por medio de una máquina, el corte manual es más costoso y riesgoso a nivel industrial en comparación con el corte por máquina debido que en este corte se tiende a cortar la parte superior del fruto perdiendo rendimiento en la eliminación de la piel. El principio básico del corte por máquina es realizar un corte uniforme en el fruto mediante cuchillas regulables manteniendo una presión se agua constante que permitirá la eliminación de cualquier residuo, en la tabla 2.2, se compara la calidad del producto terminado con corte manual y por medio de una máquina.

TABLA 2.2

EFFECTO DEL METODO DE CORTE EN LA CALIDAD DEL TOMATE  
ENVASADO

<b>Atributos de calidad</b>	<b>Metodo de corte</b>	
	<b>Corte manual</b>	<b>Corte por maquina</b>
N° de latas clasificadas*	288	288
<b>Puntaje total</b>	<b>93.4</b>	<b>93.1</b>
Escala de peso escurrido	18	18
Escala de colores	28.2	28.1
Marcador de totalidad	17.7	17.6
Ausencia de defectos	29.5	29.4
Grado U.S	A	A

Fuente: WILBUR A. GOULD, 1983.

\*La clasificación y puntuación de las latas, se realizaron en base a la norma USDA, el cual indica los grados para tomate enlatado.

Luego del corte se realiza la operación de pelado, esta operación es de importancia debido a que influye en la calidad del producto terminado, existen tres métodos de pelado a nivel industrial en el procesamiento del tomate envasado, los cuales son el pelado a vapor, el pelado mediante productos alcalinos y el pelado por rayos infrarrojos. En el caso del pelado por vapor los tomates se escaldan el tiempo suficiente para aflojar la piel pero no tan largo para ablandar la pulpa, la transmisión de vapor se da

mediante caída de vapor vivo, por un tiempo de transmisión de 30 a 120 seg. A una temperatura ideal de 60 a 95°C, cabe mencionar que este tipo de pelado es aplicado para los tomates destinados para puré, pastas y salsas, las variables de pelado dependen mucho de la consistencia final del producto, para obtener una materia prima de baja consistencia se requiere realizar un escaldado próximo a la temperatura mínima, caso contrario ocurre cuando se desea un producto consistente, en ambos procesos se protege la consistencia del tomate pero sobre todo la pectina del cambio enzimático.

Otro tipo de pelado es por medio de productos alcalinos, este método es reciente y usado en algunos frutos. La ventaja de realizar el pelado por medios alcalinos es la simplicidad del proceso y el factor económico, el agente alcalino comercial de mayor uso es la soda caustica (NaOH), cabe mencionar que este agente se debe encontrar en una disolución acuosa entre el 16 a 20 % dependiendo de la temperatura inicial de la disolución. Agentes anionios surfactantes son los permitidos por la FDA para actuar como solución acuosa en combinación con la soda caustica, el principio de acción de este proceso se basa en la inmersión del tomate en la solución alcalina a una temperatura ente 88 a 99 °C por un tiempo de 20 a 30 seg. Este tiempo es suficiente para que al agente alcalino actúe sobre la piel sin dañar la pulpa del fruto, la piel digerida es removida con agua a una determinada presión, además de eliminar la piel digerida la cantidad de agua

utilizada debe ser lo suficiente para eliminar también los residuos de soda caústica.

Por último se tiene el pelado por medio de radiación infrarroja, el cual consiste en someter a la materia prima a rayos infrarrojos con una longitud de onda entre 0.75 a 1000  $\mu\text{m}$ , con un tiempo de exposición entre 4 a 20 seg. Tiempo suficiente para que la radiación degrade las células de la piel en el fruto, la piel removida es eliminada por agua a una determinada presión o por acción de un ligero sobado. En la tabla 2.3, se realiza un análisis comparativo entre los 3 sistemas de pelado en mención, para tomates de diferentes medidas con respecto a la calidad final del producto, de acuerdo a la norma USDA, el cual indica los grados para tomate enlatado.

TABLA 2.3

EFFECTO DEL MÉTODO DE PELADO Y TAMAÑO DE TOMATE EN LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE LOS TOMATES ENVASADOS

	Método de pelado por tamaño de fruto					
	Vapor		Solución alcalina		Infrarrojo	
	frutos pequeños	frutos grandes	frutos pequeños	frutos grandes	frutos pequeños	frutos grandes
Nº de frutos / 25 lb	87.5	57.5	87	56.5	83	53
% corazón	5.2	3.2	4.5	2.8	4.7	3.2
% piel	7.8	7	2.9	2.4	5.7	5
lb peladas / hr	305	352	533	741	232	261
pH	4.28	4.3	4.3	4.32	4.28	4.31
acidez total	0.469	0.461	0.455	0.445	0.445	0.445
peso drenado (oz)	10.77	10.77	10.87	10.88	10.89	10.91
peso drenado (20)	17.3	17.3	17.9	17.9	17.9	17.7
marcador de totalidad (20)	16.1	16.4	16.4	17.2	15.1	16.4
color (30)	27.7	28.7	27.5	28.3	28	28.5
ausencia de defectos (30)	29.6	29.4	29.5	29.6	29.2	29.1
<b>puntaje total</b>	<b>90.7</b>	<b>91.8</b>	<b>91.3</b>	<b>93</b>	<b>90.2</b>	<b>91.7</b>
grado	B	B	B	B	B	B

Fuente: WILBUR A. GOULD, 1983.

El paso siguiente es el concentrado, es en esta etapa donde la industria ha buscado realizar diversas modificaciones en las instalaciones con el objetivo de concentrar a temperaturas bajas y lograr una producción continua realizando un envasado inmediato, esto se logra aumentando el volumen de las cámaras, el diámetro de tuberías de enlace, logrando una temperatura de concentración inferior a los 40 - 45°C, teniendo como resultado concentrados

con características organolépticas parecidas a la de un tomate fresco. La industria opta por la utilización de concentradores continuos, doble efecto y de película descendente, los cuales permiten concentrar evitando que el producto pierda sus características iniciales.

Cuando se concentra, es indispensable conocer el punto final de la salsa, lo cual se logra por la determinación de la densidad, el índice de refracción y la concentración de sólidos (DIEGO ROSERO, 2007). Es recomendable realizar la operación de concentración a presiones mayores de 100 psi, en sistema rotacional de aros tubulares que permitan una concentración uniforme, este sistema es recomendable ya que previene la formación de sólidos en la superficie y la adherencia del producto en las paredes del tanque.

El porcentaje de sólidos totales está comprendido entre el grado de concentración al cual se va a trabajar:

Concentrado simple; Difiere de la salsa en su mayor concentración, su extracto seco ha de estar comprendido entre el 22 y el 28 %.

Concentrado doble; Cuando alcanza hasta un extracto seco mínimo del 28 % sin cloruros, pudiendo llevar del 2 al 3 % de sal. Por lo general, se envasa en caliente a 80-85° C y no se esteriliza, pues la densidad del producto obligaría

a realizar una esterilización muy prolongada que afectaría a sus caracteres organolépticos.

El producto se encuentra casi siempre caliente, es en esa condición que debe darse el llenado. Los envases con la materia prima son transportados a una caja exhaustora o túnel de vapor, es durante esta operación donde se da el vacío suficiente el cual previene el deterioro del producto en el almacenamiento, además se debe tener presente que la transmisión de calor al centro del envase es lento la cual debe llegar alrededor de 54°C, la longitud del exhausting debe ser ajustada para que el producto llegue a esta temperatura, los rangos obtenidos varían de 3 a 10 min.

A lo sumo, se puede efectuar una breve esterilización de 10 minutos a 100° C, para esterilizar la lata y la conserva que esté adherida a ella y que puede infectarse durante el envasado.

Concentrado triple; En este producto, la concentración se realiza hasta obtener un extracto seco no menor del 36 %. Para su preparación es necesario seleccionar muy bien los tomates, buscando que estén bien maduros, sean ricos en jugo y con poca celulosa.

En el caso del producto a evaluar en esta investigación, se encuentra en un rango comprendido entre 7% a 24% de sólidos totales, la concentración no debe ser inferior al valor mencionado. Es en este intervalo de concentración

donde el puré de tomate recibe las siguientes denominaciones, mostradas en la tabla 2.4.

TABLA 2.4  
RELACIÓN DIRECTA DE LECTURA DEL REFRACTOMETRO PARA  
SÓLIDOS Y DENSIDAD RELATIVA DEL JUGO DE TOMATE, PULPA Y  
PASTA.

<b>Concetración</b>	<b>Pulpa - puré</b>	
	<b>% Sólidos</b>	<b>Densidad relativa (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
Tomate puro	4.0	1.0163
Ligero	8.0	1.0332
Medio	10.1	1.0421
Espeso	11.3	1.0472
Extra denso	15.0	1.0635
Concentrado jugo de tomate	20.0	1.0965

Fuente: WILBUR A. GOULD, 1983.

En la etapa de pasteurizado es recomendable la utilización de un intercambiador de calor (pasteurizador tubular), es necesario elevar la pasta a una temperatura de 90 a 100°C, sin que se produzcan alteración en los caracteres organolépticos ni transformaciones químicas en los azucares

(PASCUAL SALMERÓN, 1970), cabe mencionar que este parámetro de temperatura es el óptimo a trabajar, ya que el rango de pasteurizado es de 70 a 100°C, cuyo tiempo dependerá de la concentración de la materia prima y dimensiones del envase , que influyen en la penetración de calor al envase.

Es una buena técnica, la seguida por algunas industrias, de enlatar los concentrados directamente apenas terminada la concentración. Para esto es necesario que los envases hayan sido previamente lavados y esterilizados con agua hirviendo o vapor, en estas condiciones, la humedad del bote no ejerce influencia sobre la conservación de la pasta.

### **2.3. Control y Aseguramiento de la calidad en el proceso de elaboración del puré de tomate.**

El concepto de calidad viene dado por el principio de elaborar un producto, el cual es la combinación de sus atributos, los cuales tienen significancia en la aceptabilidad, en la industria este concepto envuelve al grado, grado de pureza, grado de fuerza, grado de madurez, grado de sabor y otros grados característicos del producto. Los consumidores reconocen a las industrias cuyos productos mantienen su calidad, de acuerdo a la aceptabilidad del mismo.

Este factor es importante ya que las industrias pueden gestionar su posición dentro del mercado, ya que el aseguramiento y control de calidad no solo brinda información sobre la condición de que un producto va a ser empacado, además nos da información de la tendencia de industria.

### **2.3.1. Métodos de determinación de la calidad.**

- **Métodos subjetivos.**

Este tipo de evaluación viene relacionada por una opinión de investigador, usualmente relacionada con una reacción psicológica de una experiencia, preferencia personal, poder de percepción, etc. Esta evaluación es subjetiva ya que se requiere de un proceso mental para obtener una opinión en valores cualitativos y cuantitativos de características de estudio. Este método usualmente involucra órganos sensoriales, por tal motivo es llamado métodos sensoriales e incluye sabor, olor, color, tacto y textura.

- **Métodos objetivos.**

La evaluación objetiva de la calidad se basa en la exclusión de la actitud del investigador, como test de reconocimiento científico estándar. Son

aplicables para muestra de un producto sin referencia de un historial previo o un último uso, son representados como el control de calidad moderno por que el elemento humano es excluido. Comprende:

**Método físico de medición,** es el método que quizá necesita menor tiempo de entrenamiento, ya que se miden atributos como calidad, medida, textura, color, consistencia o imperfecciones, llenado, peso drenado o vacío. Los instrumentos pueden por lo general ser encontrados o adaptados por la evaluación física de la calidad del producto.

**Método químico de medición,** para un mejor estándar de producto alimentario, este método de análisis se utilizan para la evaluación cuantitativa de los valores nutritivos y niveles de calidad. Sin embargo el análisis químico es largo, tedioso y costoso, como resultado la industria y otras partes interesadas tienen desarrollados métodos que son pruebas rápidas así como enzimas, sólidos, vitaminas, pH o acidez.

**Métodos microscópicos,** este método tiene excelente aplicación en el programa de control de calidad, pero requiere de entrenamiento para la interpretación adecuada de los resultados, los cuales son divididos en dos categorías.

Pruebas de adulteración y contaminación indica la presencia de bacterias, levadura, moho, excremento de insectos, materiales extraños, etc. La

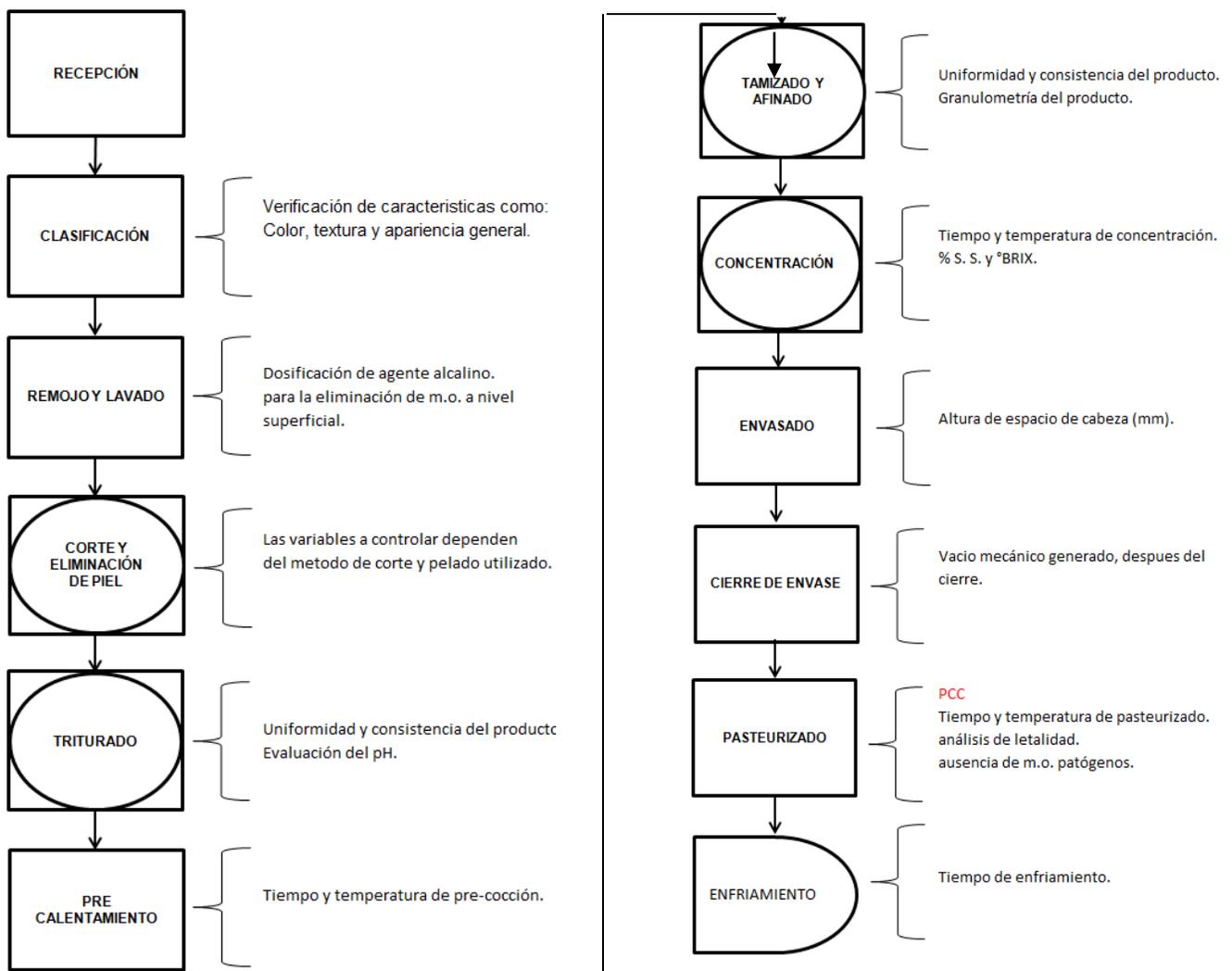
tecnología utilizada debe tener las condiciones necesarias que permitan diferenciar la presencia de agentes adulterantes y contaminantes en el producto.

La diferenciación entre tipos de células, tipos de tejidos y microorganismos almacenados en los alimentos, son usados para pruebas de deficiencia de fertilización de nutrientes almacenados en los tejidos de las planta, materiales y así como microorganismos que causan degradación o fermentación indeseable en alimentos.

**2.3.2. Diagrama de flujo y análisis de calidad de cada etapa, en la elaboración de puré de tomate.**

FIGURA 2.3

DIAGRÁMA DE CONTROL DE CALIDAD EN CADA PROCESO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Como se observa en la fig. 2.3, se menciona los parámetros evaluados en cada una de las etapas de proceso, demarcando aquellos que son evaluados en la materia prima entera durante la recepción, clasificación y lavado, como son: apariencia general, color, textura y presencia de contaminación superficial.

Por otra parte se tienen los parámetros evaluados durante el proceso de transformación de la materia prima y estos mismos requieren un mayor control ya que van a demarcar las características físicas, químicas y biológicas del producto final, estos parámetros son: grado de concentración, tiempos, temperatura, pH, control de ausencia en m.o. patógenos.

### **2.3.3. Parámetros que determinan la calidad externa del fruto.**

- **Medidas morfométricas.**

Sirven para dimensionar y caracterizar el tamaño y la forma del fruto. Son considerados: peso, longitud y dimensionalidad, todos son parámetros que van a conformar y caracterizar la geometría del fruto u hortaliza en estudio (JUAN ESCOBAR, 2014) es decir, masa, forma, calibre y homogeneidad en el tamaño. A su vez nos da una tendencia de las características finales del producto procesado como: concentración, color y apariencia general.

- **Color.**

Los tres aspectos principales para la aceptación de un alimento son el color, sabor y textura, siendo el color la propiedad óptica más importante en los alimentos. Muchos colorimetristas opinan que el color es el más relevante, puesto que si un producto no tuviese una buena presencia colorimétrica, el consumidor no podría llegar nunca a juzgar los otros dos aspectos. El color es una propiedad física, tal y como lo percibe el ojo, es una interpretación por parte del cerebro del carácter de la luz procedente de un objeto. El ojo contiene en la retina dos tipos de células sensibles: los bastones que son sensibles a la claridad y a la oscuridad y los conos al color. Vemos que para la interpretación del color se relaciona al mismo tiempo la psicología del observador, la fisiología de la visión y la energía radiante espectral de la fuente de luz.

La evaluación del color se puede realizar de 2 formas: evaluación visual análisis instrumental. La evaluación visual del color está incluida, dentro del análisis sensorial, para lo cual se han llegado a utilizar distintas metodologías, entre las que se citan:

- ✓ El sistema Munsell, los colores se establecen en función de la claridad ( $L^*$ ) (eje vertical), el matiz (círculo perpendicular al eje) y la saturación para cada tonalidad (distancia con respecto al eje central).

- ✓ El sistema de DIN, similar al Munsell pero en este caso, las líneas de saturación no son circulares y no hay la misma separación entre ellas.
- ✓ La OSA-UCS, que consiste en un cubo octaedro, que se basa en 3 ejes: la claridad ( $L^*$ ), amarillo-azul ( $b^*$ ) y verde-rojo ( $a^*$ ).
- ✓ Para determinarlo se pueden recurrir a cartas de colores, pero su determinación no es muy rigurosa pues su determinación siempre estará condicionada por el ojo del observador que realice la clasificación, además será una clasificación poco útil a la hora de establecer diferencias entre tratamientos de un mismo fruto o a la hora de automatizar una línea industrial de clasificación por color.

En el análisis instrumental, la determinación es más rigurosa y científica. Se hace con un cromómetro, que realiza tres disparos de luz sobre la superficie de cada fruto para promediar un valor, previa calibración con un blanco, es decir, emite una fuente de luz blanca interna que ilumina la superficie, absorbiendo a continuación la luz reflejada en el fondo y procesándola. El color normalmente viene definido por un sistema cartesiano tridimensional y como esto no es fácil representarlo en el plano, se sustituye por representaciones geométricas planas llamadas diagramas cromáticos. Una de las propiedades más importantes que se le va a exigir a cualquier espacio de color utilizado para representar o nombrar colores es la uniformidad. Es

decir, todas las diferencias de color igualmente percibidas deben representarse en tal espacio uniforme por las mismas distancias (JUAN ESCOBAR, 2014).

El factor que contribuye al color característico del tomate se puede encontrar en la presencia de carotenes y carotenol, los pigmentos carotenoides derivan su nombre del caroteno. El carotenoide más abundante del tomate es el licopeno y comprende el 83% de los pigmentos presentes, estos pigmentos son más estables en comparación de otros pigmentos de origen vegetal y animal como la clorofila, hemoglobina, antocianina y miohemoglobina. Sin embargo los carotenoides pueden ser destruidos bajo la presencia de una baja concentración de agua, presencia de iones metálicos o la presencia de oxígeno, ya que el tomate se vuelve discolore ante la reducción de licopeno, este factor debe ser prevenido.

- **Firmeza.**

La firmeza es un parámetro indicativo de la calidad de los tomates frescos y procesados y está relacionada con la estructura de la pared celular y con el estado de madurez, su determinación es fundamental para aceptabilidad y almacenamiento de frutas y hortalizas. La firmeza de las frutas y hortalizas depende de la turgencia, cohesión, forma y tamaño de las células que

conforman la pared celular, la presencia de tejidos de sostén o soporte y de la composición del fruto. Los componentes de las paredes celulares que contribuyen a la firmeza son la hemicelulosa, la celulosa y la pectina.

La firmeza va disminuyendo con el tiempo y no todos los frutos evolucionan con igual velocidad, por lo que es fundamental el seguimiento de cada uno por separado. Las curvas características nos definirán:

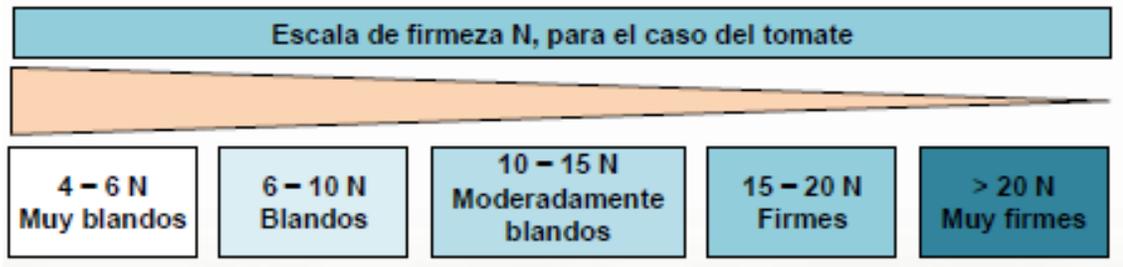
- ✓ Periodos óptimos de almacenamiento, midiendo firmeza y temperatura de almacenamiento. Esto nos permitirá definir el periodo máximo de almacenamiento.
- ✓ Momento óptimo de venta del producto.
- ✓ Según temperatura, prever periodo máximo de venta.

El ablandamiento de la pulpa de los vegetales es uno de los mecanismos bioquímicos que plantea más problemas a la hora de optimizar la comercialización de estos productos, ya que además de producir una pérdida de calidad (sobre maduración) aumenta la sensibilidad a los daños mecánicos y al ataque fúngico.

Para su determinación se utiliza un penetrómetro y su medida se basa en la presión necesaria para insertar un puntal de tamaño específico en la superficie o pulpa, a profundidad dada, véase figura 2.4.

FIGURA 2.4

ESCALA DE FIRMEZA DE FRUTOS DE TOMATE



Fuente: JUAN ESCOBAR, 2014.

**2.3.4. Parámetros que determinan la calidad interna del producto.**

Las características ideales de los productos de tomate están relacionadas con un color rojo intenso, niveles altos de consistencia y un sabor, olor y/o aroma característico del fruto de tomate. El color rojo tal como se ha indicado en el fruto es un importante factor de calidad en los derivados de tomate siendo uno de los atributos que más influye en el consumidor en el momento de adquirir este tipo de producto. El responsable del color rojo en los productos de tomate, es el licopeno unido al color, la consistencia, es otro parámetro de calidad importante en los productos de tomate. Los sólidos insolubles de la pared celular (celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina) se encuentran estrechamente relacionados con este parámetro. El sabor, el olor y/o el aroma son también parámetros de reconocida importancia en este tipo

de productos. El sabor en los tomates y sus derivados es una relación entre los azúcares glucosa, fructosa y los ácidos cítrico y málico. El dimetil sulfuro es el más importante compuesto responsable del aroma a cocido en los productos de tomate. Los sólidos totales, los sólidos solubles, la acidez y el pH, son igualmente parámetros relacionados con la calidad final de los productos de tomate. Estas variables influyen en el sabor, la consistencia, el crecimiento de los microorganismos y el pardeamiento no enzimático (reacciones de Maillard), (LUIS ORDOÑEZ, 2006). El valor nutricional del producto terminado se puede resumir en la tabla 2.5.

TABLA 2.5

VALOR NUTRICIONAL EN LA PASTA DE TOMATE

<b>Composición por 100 g de alimento</b>	
Energia (Kcal)	73.0
Energia (KJ)	305.0
Agua (g.)	75.3
Proteinas (g.)	2.7
Grasa Total (g.)	1.0
Carbohidratos Totales (g.)	16.8
Carbohidratos Disponibles (g.)	17.8
Fibra cruda (g.)	1.3
Fibra dietaria (g.)	-
Cenizas (g.)	4.2

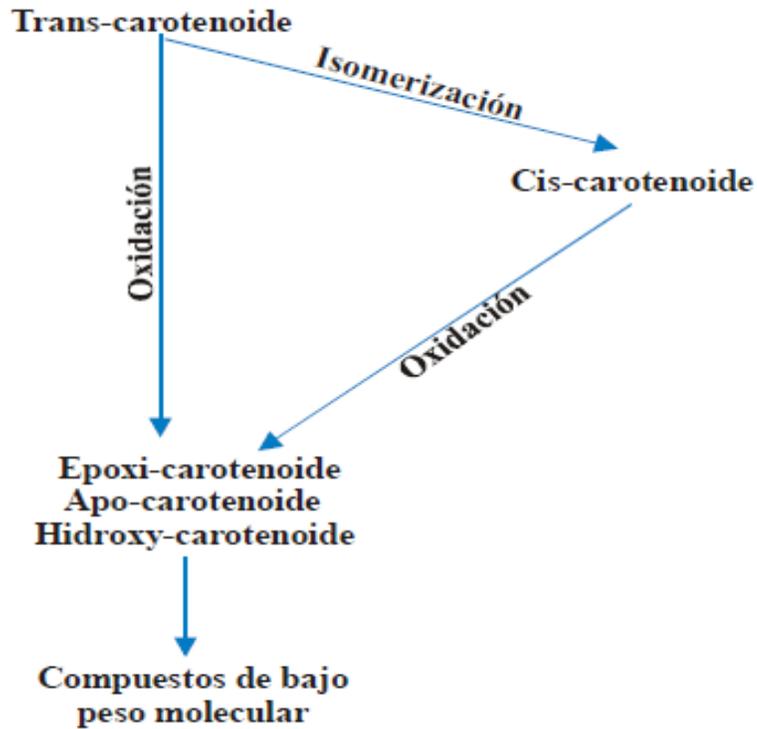
Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE SALUD, 2009.

Los tratamientos térmicos al destruir microorganismos patógenos e inactivar los sistemas enzimáticos, desencadenan considerables cambios que afectan a los atributos nutricionales y organolépticos de los productos alimenticios, estas modificaciones continúan aún durante el almacenamiento. La temperatura, el oxígeno, el nivel de iluminación, la humedad y el pH son los principales catalizadores de la cinética de destrucción de los parámetros de calidad en los alimentos. Durante el tratamiento térmico y el almacenamiento de los productos de tomate, la pérdida de la intensidad del color rojo es el cambio más importante. Esta reducción del color, está relacionada con los cambios físicos y químicos de los carotenoides, especialmente el licopeno. Diferentes mecanismos se han descrito, para explicar estos cambios en los carotenoides: isomerización de las formas trans a las formas cis, reacciones de oxidación de carotenoides catalizadas por enzimas oxidativas y modificación del estado físico de los carotenoides.

La degradación del licopeno se inicia con la isomerización de la forma trans a la forma cis, causando fragmentaciones subsecuentes que presumiblemente formarán compuestos de bajo peso molecular que contribuirán al aroma, en la figura 2.3, se describe en términos generales la degradación de los carotenoides.

FIGURA 2.5

DEGRADACIÓN DE LOS CAROTENOIDES



Fuente: LUIS ORDOÑEZ, 2006

La eliminación del agua durante los procesos de concentración en productos como la pasta de tomate permite incrementar la concentración de los carotenoides. En cuanto al almacenamiento informan que después de 12 semanas de almacenamiento de zumo de tomate a 25 °C se redujo más del 60% el contenido de  $\beta$ -caroteno y más del 80% el contenido de licopeno. Aunque la isomerización es una de las etapas iniciales de la degradación de

los carotenoides, esta modificación permite aumentar la biodisponibilidad de estas moléculas en los derivados de tomate frente a los tomates frescos. Un incremento en el plasma sanguíneo del 17.85% de licopeno y un 31.57% de  $\beta$ -caroteno, en sujetos que han consumido puré de tomate frente a los que han consumido tomate fresco (LUIS ORDOÑEZ, 2006).

- **Viscosidad y consistencia.**

La viscosidad y consistencia es uno de los parámetros más importantes en la determinación de la calidad general del producto y define una tendencia de aceptabilidad del consumidor, definiendo así a la viscosidad como la medición de la fricción interna de un determinado fluido (WILBUR A. COULD, 2010). El consumidor probablemente evalúe la consistencia y apariencia de producto para definir si este es de alta calidad, por lo tanto la evaluación de estos parámetros es de vital importancia.

De acuerdo al Codex alimentarios (CODEX STAN 57, 1981) el puré de tomate debe presentar una concentración de 7 a 24% de sólidos solubles naturales totales.

- **Acidez y pH.**

En los alimentos envasados este es un factor muy importante que afecta los tiempos y temperatura de esterilización, los cuales van a depender del pH actual presente en el alimento. En el caso de los productos derivados del tomate, el rango de pH está comprendido entre 4.1 y 4.4 de acuerdo a la clasificación, se está trabajando con un producto ácido, como se puede observar en la tabla 2.6.

TABLA 2.6

CLASIFICACIÓN DE FRUTOS Y VEGETALES DE ACUERDO A SU ACIDEZ

<b>Nº Grupo</b>	<b>Descripción de grupo</b>	<b>pH</b>	<b>Ejemplo de productos alimenticios</b>
I	No ácidos	7.0 - 5.3	maiz, arveja y guizantes.
II	semi ácidos	5.3 - 4.6	remolacha y calabaza.
III	ácidos I	4.6 - 3.7	albaricoque, pera y tomate.
IV	ácidos II	3.7 a menos	jugo de frutas, encurtidos y uva.

Fuente: WILBUR A. GOULD, 1983.

En forma general se puede reducir la variabilidad, en los parámetros generales de diversos productos derivados del tomate, como se resume en la tabla 2.7, basado en la norma USDA, el cual indica los grados para tomate enlatado.

TABLA 2.7

ATRIBUTOS DE CALIDAD POR PRODUCTO DERIVADO DEL TOMATE

	Puntaje					
	Jugo	Ketchup	Salsa	Pulpa	Pasta	Tomate
Color	30	25	25	50	50	30
Ausencia de defectos	15	25	25	50	50	30
Consistencia	15	25	25	-	-	-
Sabor	40	25	25	-	-	-
Peso drenado	-	-	-	-	-	20
Total	-	-	-	-	-	20

Fuente: WILBUR A. GOULD, 1983.

#### 2.4. Estudio del procesamiento térmico.

Los alimentos por lo general no son estables y por lo tanto, debe emplearse algún método de procesamiento para preservarlos y lograr mayores tiempos de almacenamiento. Entre las técnicas empleadas para la conservación de los alimentos se encuentra el tratamiento térmico que permite eliminar microorganismos e inactivar las enzimas que pudiesen alterar el producto y hacerlo inapropiado para su consumo. Sin embargo, este tipo de tratamiento presenta algunos inconvenientes, por los cambios que ocurren en el producto y que afectan a la calidad sensorial y al valor nutritivo del mismo, como la destrucción de vitaminas, desnaturalización de proteínas, caramelización de azúcares, gelificación de almidones, destrucción de pigmentos, modificación

de sabores y texturas, pérdidas y cambios de aroma e incluso producción de sustancias tóxicas.

Un tratamiento térmico debe diseñarse de forma que se consigan resultados deseables como son la inactivación enzimática, el ablandamiento de tejidos, la mejora de la digestibilidad, etc., y se minimicen los indeseables (destrucción de nutrientes, pérdida de calidad sensorial, etc.).

La elección del tratamiento térmico más apropiado dependerá de los siguientes factores: estado físico del alimento (líquido, sólido, pastoso, mixto), pH, estabilidad requerida en el producto final y susceptibilidad al deterioro. El tratamiento térmico debe ser capaz de destruir los microorganismos patógenos y a su vez conservar lo máximo posible sus atributos de calidad. Esto se consigue diseñando las condiciones de tiempo y temperatura que satisfagan ambos requerimientos.

A los efectos de tratar térmicamente un alimento con el objeto de destruir los microorganismos presentes en el mismo, se puede recurrir a diferentes procedimientos como son: el escaldado, la pasteurización, la esterilización, la cocción, el horneado con calor directo a alta humedad y el freído, entre otros (ALEJANDRO R. LESPINARD, 2012). A continuación se describen los tratamientos térmicos mayormente empleados en la industria alimenticia para la producción de conservas.

- **Pasteurización.**

Es un tratamiento térmico que utiliza temperaturas inferiores a 100°C, y tiene por objetivo disminuir significativamente la carga microbiana del producto. Se aplica a productos ácidos o poco ácidos, que se desean conservar por un período corto tiempo, o en alimentos poco ácidos en combinación con otros métodos de conservación (conservación química, radiación UV, etc).

- **Esterilización industrial.**

Es un tratamiento térmico de alta intensidad realizado a temperaturas superiores a 100°C, que se aplica para conseguir la esterilización comercial permitiendo que el producto sea suficientemente estable como para permanecer inalterable durante un largo período de almacenamiento a temperatura ambiente. En este proceso se busca eliminar los microorganismos patógenos y aquellos que ponen en riesgo la estabilidad del producto en condiciones normales de almacenamiento. Generalmente, se aplica a productos poco ácidos en los que puede desarrollarse el *Clostridium botulinum*. Por su parte, la esterilización puede ser aplicada antes o después del envasado según las características del alimento.

- **Tindalización.**

Este tratamiento es también denominado esterilización intermitente, y consiste básicamente en tratamientos térmicos repetitivos con descansos entre ellos de aproximadamente 24 horas. En el primer tratamiento se destruyen las formas vegetativas, mientras que las esporuladas que sobreviven vuelven a la forma vegetativa durante el reposo, para luego ser tratadas nuevamente con calor. En general se efectúan tres tratamientos en este tipo de método.

#### **2.4.1. Factores que afectan la transferencia de calor en el proceso de tratamiento térmico.**

La manera en que el calor es transferido hacia el interior del envase va a depender de factores como la naturaleza del producto, el tipo de envase, la velocidad de penetración de calor en su acción en la destrucción de microorganismos y el tipo de insumos utilizados. Se requiere un conocimiento de las propiedades intrínsecas, así como los factores externos que puedan afectar, los cuales se detallan en la tabla 2.8.

TABLA 2.8

FACTORES QUE AFECTAN LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Relativos al proceso		Relativos al producto		Relativos al envase	
<b>Tipo y perfil de temperatura del autoclave</b>	Autoclaves estáticas: la temperatura aumenta lentamente y existe un retardo importante en el calentamiento del producto con respecto a la temperatura del autoclave.	<b>Consistencia</b>	La composición , la consistencia y el comportamiento reologico controlan la velocidad de penetración de calor.	<b>Material del envase</b>	Entre ellos podemos mencionar: aluminio, hojalta, vidrio, plastico y materiales laminados. La conductividad térmica y el espesor del material determinan la velocidad de penetración de calor. Una menor conductividad térmica y mayor espesor como se presenta en los envases de vidrio, producen un retardo considerable.
	Autoclaves rotativas: el calentamiento comienza instantaneamente y este es mas uniforme.	<b>Temperatura inicial</b>	El proceso es muy sensible a la temperatura inicial especialmente en productos que se calientan por conducción.		
<b>Tiempo de proceso</b>	A mayor tiempo de proceso mayor penetración de calor, y la temperatura del producto tiende a alcanzar la temperatura del medio de calentamiento.	<b>Contenido microbiológico inicial.</b>	La severidad del proceso depende de la carga microbiana inicial, el empleo de materias primas con menor contaminación disminuye el tiempo de proceso.	<b>Forma del envase</b>	La superficie externa y el espesor del envase determinan la velocidad de penetración de calor.
<b>Medio de calentamiento</b>	La tempertaura en la superficie del envase depende de coeficiente de transferencia de calor externo. El vapor tiene un alto valor, pero para el agua o mezcla de aire con vapor este depende de la velocidad y de factores geométricos.	<b>Propiedades termofísicas</b>	La difusividad térmica es el factor de control mas importante. Esta es aproximadamente igual al agua en la mayoría de los productos, y menor a esta en aquellos productos basados en aceite o que tienen baja actividad acuosa.		
<b>Agitación del envase</b>	La agitación y rotación del envase mejoran la transferencia de calor interna , dependiendo de la velocidad con la que se realicen y del espacio de cabeza.	<b>Acidez (pH)</b>	La severidad del proceso depende del pH del producto. Productos con pH mayores a 4.5 requieren de procesos mas severos que aquellos con pH menores 4.5 los cuales pueden ser pasteurizados.		
		<b>Aditivos</b>	El agregado de ciertos aditivos como por ejemplo nitrito, sal y azucar pueden reducir el tiempo de proceso.		

Fuente: DONALD HOLDSWORTH, 1997.

#### **2.4.2. Consideraciones microbiológicas para el proceso de tratamiento térmico en productos derivados del tomate.**

La resistencia térmica de los microorganismos está relacionada con su temperatura óptima de crecimiento. Los microorganismos psicrófilos son más sensibles al calor, seguidos por los mesófilos y los termófilos. Las bacterias no formadoras de esporas tienen menos resistencia al calor que las formadoras de esporas y de estas últimas las termófilas son más termorresistentes que las mesófilas.

La consideración fundamental en el procesamiento de alimentos enlatados es el control del *Clostridium botulinum*; un valor de pH de 4.6 o inferior inhibe completamente el crecimiento de esta bacteria, de ahí que los alimentos enlatados sean clasificados en alimentos ácidos (pH 4.6 o inferior) y alimentos de baja acidez (pH mayor a 4.6); (A. I. GOMEZ – SANCHEZ, 2007).

En el caso de los productos derivados del tomate, el rango de pH está comprendido entre 4.1 y 4.4 de acuerdo a la clasificación se está trabajando con un producto ácido, en la tabla 2.9, se mencionan bacterias termófilas aerobias como el *Bacillus thermoacidurans* (*Bacillus Coagulans*) y el *Clostridium Pasterianum*, responsables del deterioro agrio y abombamiento de los productos envasados derivados.

TABLA 2.9

CARACTERÍSTICAS DE MICROORGANISMOS CONTAMINANTES DE  
ALIMENTOS DE ALTA ACIDEZ

TIPO DE MICROORGANISMO	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	DAÑO EN LATA Y PRODUCTO	ALIMENTOS
Bacterias formadoras de esporas.	<i>Bacillus thermoacidurans</i>	Aerobio, termófilo	Flat sour, poco cambio en vacío, ligero cambio en pH del producto, mal olor y sabor.	Jugo de tomate
	<i>C. pasterianum</i>	Formador de esporas, anaerobio, sacarolítico, productor de gas.	Abombamiento de lata	
Bacterias butíricas anaeróbicas.			Abombamiento de lata. Producto fermentado con olor butírico.	Tomates, jugo de tomate.
Bacterias no formadoras de esporas.	<i>Lactobacillus sp.</i>	Algunas especies son productoras de gas.	Abombamiento de lata	
Productoras de ácido láctico.	<i>Leucomostoc sp.</i>	Se desarrollan mejor bajo tensión de oxígeno reducido.	Olor ácido del producto.	
Levaduras.			Por infiltración de agua de enfriamiento en la lata por microruptura de esta.	
Mohos.	<i>Byssochlamys fulva</i>	Causa ruptura de pectina; productor de gas. Resistente al calor, 30 min. A 190°F, ó 16 min a 212°F. Valores D recomendados: 1 a 12 min a 194°F.	En frutas causa desintegración de la fruta.	Frutas enlatadas.

Fuente: A. I. GOMEZ – SANCHEZ, 2007.

- **Termo destrucción de los microorganismos causantes de las alteraciones.**

La estabilidad microbiológica, así como el contenido de nutrientes se ven afectados por la temperatura aplicada y la duración del tratamiento térmico los insuficientemente tratados pueden sufrir alteraciones microbiológicas y los tratados en exceso ven alterado su valor nutritivo y calidad organoléptica. Los parámetros de un tratamiento térmico adecuado se pueden calcular

basándose en postulados generales, relacionados con la termorresistencia de los microorganismos alterantes y el historial térmico del alimento a lo largo del tratamiento.

En general cuando una determinada población de microorganismos es calentada a una temperatura constante, la concentración de microorganismos  $N$ , sufre una disminución variable de acuerdo a la ecuación de primer orden:

$$\frac{dN}{dt} = -kN \quad (2.1)$$

En donde  $k$  es la constante de destrucción microbiana de primer orden, además, integrando la ecuación y considerando a  $t=0$ ,  $N=N_0$ .

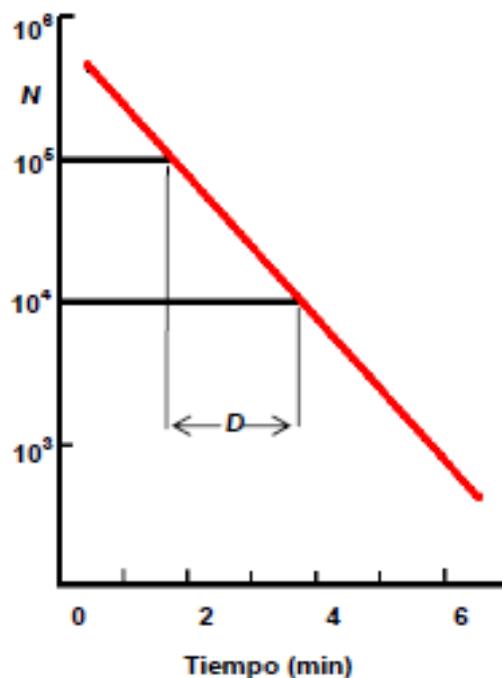
$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -kt \quad (2.2)$$

Transformando el término en logaritmo decimal, se obtiene la siguiente expresión:

$$\log\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\frac{k}{2,303}t \quad \text{ó} \quad \log\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\frac{t}{D} \quad (2.3)$$

Donde D es definido como el “tiempo de reducción decimal” o “valor D”, siendo este el tiempo de calentamiento, en minutos, necesario para lograr la destrucción del 90% de los microorganismos presentes (reducción del número de microorganismos por un factor de 10). Como se muestra en la gráfica 2.2, el valor del parámetro D puede obtenerse mediante ensayos de resistencia microbiana, determinando el recíproco negativo de la pendiente de la recta que resulta de graficar el log N vs. t.

GRÁFICA 2.2  
VARIACIÓN DEL NÚMERO DE MICROORGANISMOS A UNA  
TEMPERATURA CONSTANTE



Fuente: ALEJANDRO LESPINARD, 2012.

Hasta ahora solo se ha considerado los casos en donde el proceso de tratamiento térmico es constante, sin embargo en la mayoría de los tratamientos el producto es sometido a diversas temperaturas, las cuales están comprendidas por etapas las cuales son; etapa de calentamiento, temperatura constante y enfriamiento. Como sabemos la velocidad de destrucción microbiana incrementa con la temperatura, y para describir esta dependencia habitualmente se emplea un parámetro denominado temperatura de reducción decimal ( $z$ ). Este se define como el número de grados centígrados necesarios para reducir a la décima parte el tiempo de reducción decimal ( $D$ ) y se calcula a partir de la pendiente de la recta que se obtiene de representar los valores de  $D$ , para un rango limitado de temperaturas (ALEJANDRO LESPINARD, 2012), como se representa en la gráfica 2.3.



Si el valor D es medido en una temperatura de referencia entonces la ecuación anterior puede referirse:

$$\log\left(\frac{D}{D_{\text{ref}}}\right) = \frac{(T - T_{\text{ref}})}{z} \quad (2.5)$$

La relación entre  $D/D_{\text{ref}}$  es conocida como tasa letal, y es una medida cuantitativa de la velocidad de inactivación de una población de microorganismos a una temperatura dada (DONALD HOLLDSWORTH, 2007).

$$L = \frac{D}{D_{\text{ref}}} = 10^{\frac{(T-T_{\text{ref}})}{z}} \quad (2.6)$$

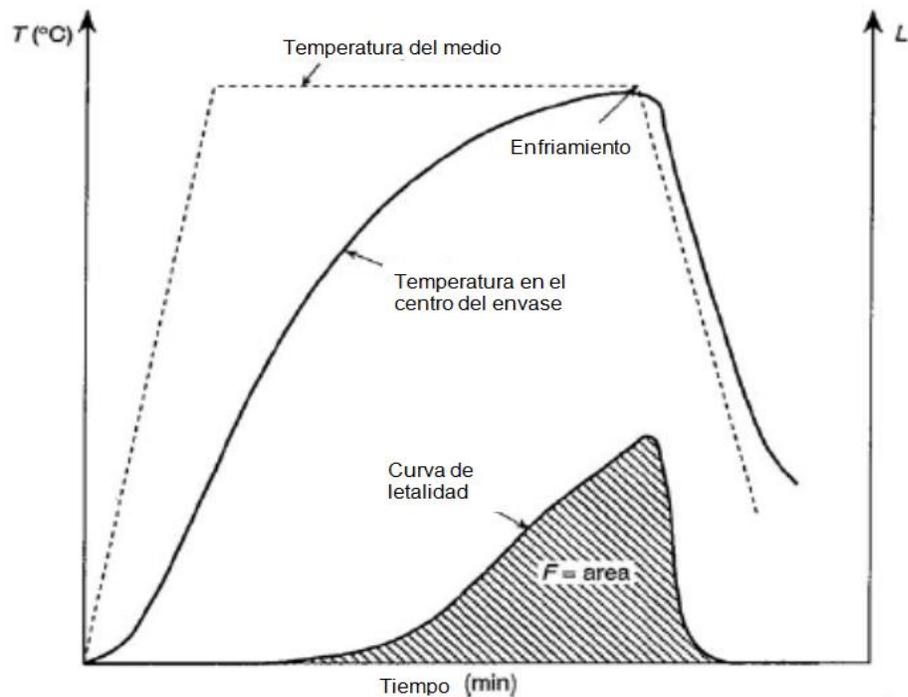
Además se debe tener presente que el valor de  $z$  varía a medida de cómo cambia el valor de  $D$  con la temperatura (GARY TUCKER, 2010). Una propiedad importante de la letalidad es que es aditiva, por lo que es posible cuantificar el proceso en todo el rango de temperaturas utilizado. El valor de letalidad integrado es conocido como F-valor (letalidad acumulativa).

$$F = \int_0^t L dt = \int_0^t 10^{\frac{(T-T_{\text{ref}})}{z}} dt \quad (2.7)$$

Para una temperatura constante el calor  $F$  es igual a la letalidad, pero cuando existe una variación de temperatura, como es lo que ocurre habitualmente, se debe realizar un cálculo de la letalidad integrada. En la gráfica 2.4, se muestra la representación de las curva a analizar.

GRÁFICA 2.4

VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y LETALIDAD CON RESPECTO AL  
TIEMPO



Fuente: DONALD HOLLDSWORTH, 2007

Con la ecuación integrada de letalidad, se puede utilizar para estimar el valor F de cualquier proceso, siempre que la relación entre el tiempo y la temperatura es conocida o se puede calcular usando las ecuaciones de transferencia de calor con la adecuada condición, utilizando los valores de la literatura, el tiempo requerido para procesar un producto y lograr una reducción específica de la carga microbiana, se puede calcular con el método que utiliza la ecuación general de letalidad acumulativa, pero se sustituye el valor de P para la pasteurización (GARY TUCKER, 2010).

El valor obtenido entonces puede ser comparado con el del proceso mínimo necesario determinado a partir del número de reducciones decimales D, requiere sobre una base de probabilidad de supervivencia de las esporas, si en el proceso se tiene como objetivo una supervivencia de no más de 1 de cada  $10^n$ , es decir n reducciones decimales, entonces es posible utilizar nD, como el valor mínimo de F, en donde D es el tiempo de reducción decimal en minutos (S. D. HOLDSWORTH, 1985). Es decir esta relación puede expresarse también como la relación logarítmica ente la carga microbiana inicial y la carga microbiana obtenida luego del tratamiento térmico.

$$F = D \log\left(\frac{N_0}{N}\right) \quad (2.8)$$

Por lo general en un proceso de pasteurización es recomendable que la población de microorganismos patógenos sea de 6 reducciones logarítmicas (GARY TUCKER, 2010), los datos de resistencia térmica y parámetros de operación industrial para determinados microorganismos son mostrados en la tabla 2.10.

TABLA 2.10

DATOS DE REASISTENCIA TÉRMICA PARA *BACILLUS* Y *CLOSTRIDIUM*

Organismo	Sustrato de calentamiento	Temperatura de calentamiento (° C)	D-value (min)	z-value (°C)
Bacillus cereus	Buffer (pH 7.0)	100	8.00	10.5
Bacillus coagulans	Pimiento rojo (pH 4.5)	100	5.50	-
Bacillus licheniformis	Buffer (pH 4.0)	100	1.05	10.2
Bacillus polymixa	Buffer (pH 7.0)	100	18 (aprox.)	-
Clostridium botulinum	Agua	80	3.30	9.4
Clostridium butyricum	Buffer (pH 7.0)	85	23.00	-
Clostridium pasterianum	Buffer (pH 4.5)	95	3.95	-
Clostridium tyrobutyricum	Buffer (pH 7.0)	90	18.00	-

Fuente: GARY TUCKER, 2010

Muchos alimentos pasteurizados, tales como frutas y verduras, son muy sensibles al calor y por lo tanto los procesos son a menudo muy cerca de los requerimientos mínimos de valor p. éstos a menudo se establecen por ensayo y error, debido a que el pH bajo de la mayoría de las frutas se

asegura de que la intoxicación alimentaria no es un riesgo con estos productos. Por lo tanto, los procesos se basan en el deterioro y hay más variaciones en la orientación que se encuentran con los alimentos totalmente esterilizados que debe alcanzar el valor  $f$  en 3.

Procesamiento de frutas fue una de las primeras aplicaciones de pasteurización. Productos de diferente pH puede apoyar el crecimiento de diferentes organismos de descomposición, por lo que diferentes valores de  $p$  se utilizan a menudo. Las recomendaciones de la tabla se tomaron de Eisner. Esta es una de las pocas fuentes de información que proporciona procesos para productos a través de una amplia gama de pH.

Otra fuente de información es la asociación nacional de los procesadores de alimentos que dan las siguientes recomendaciones para los productos ácidos de procesamiento que pueden contener microorganismos anaerobios butíricos.

Para los productos entre pH 4.3 y 4.6 el proceso debe ser equivalente a 10 min a una temperatura de 93.3 °C,  $P_{\text{value}} \geq 5\text{min}$ , ( $T_{\text{ref}} = 93.3^{\circ}\text{C}$ ,  $z = 8.3^{\circ}\text{C}$ ), véase tabla 2.11.

*E*

TABLA 2.11

VALORES RECOMENDADOS DE P<sub>VALUES</sub>, PARA FRUTAS Y VEGETALES

<b>Producto</b>	<b>pH</b>	<b>P-valor (minutos a 93.3 °C)</b>
Jugo de limón	2.5	0.1
Ciruela	2.8	0.2
Grosella	3.0	0.5
Encurtidos vegetales	3.0	0.5
Ciruelas	3.2	0.8
Ruibarbo	3.2	0.2 - 0.4
Mandarinas	3.2 - 3.4	1.0 - 2.0
Jugo de uva	3.2	0.2 - 0.4
Albaricoque	3.2 - 4.0	1.0 - 8.0
Manzana	3.3	0.2 - 0.6
Mora	3.3	
Jugo de naranja	3.5 - 3.8	0.2 - 0.6
Piña	3.5	0.6 - 0.8
Fresa	2.3 - 4.0	0.8
Mermelada	3.5	0.8
Cereza	3.5	0.2 - 0.4
Chucrut	3.5 - 3.9	0.5
Pepinillo encurtido	3.5 - 3.8	0.5 - 1.0
Arándanos	3.7	0.5
Cerezo dulce	3.8	0.6 - 2.5
Guayabas	3.8	0.8
Nectarinas	4.0	1.5 - 8.0
Melocoton	4.0	1.5 - 8.0
Pera	4.0	1.3 - 10.0
Pepinillos agridulces	3.6 - 4.1	0.5 - 1.0
Tomate	4.2 - 4.5	2.0 - 10.0
Pasta de tomate	4.2 - 4.5	1.0 - 5.0

Fuente: GARY TUCKER, 2010

- **Valor de cocción.**

Como se mencionó la aplicación de calor durante la operación de procesamiento no solo provoca destrucción microbiana sino también la degradación de nutrientes, cambios de textura (por lo general de ablandamiento) e inactivación de la enzima. La calidad final del producto enlatado depende así de la cantidad de calor que ha recibido. Las reacciones bioquímicas proceden sustancialmente a un ritmo más lento que la inactivación microbiana, y esto se refleja en los altos  $z$  - valores, que se dan en la Tabla 2.4. El grado de tratamiento térmico con respecto a estos factores se puede representar por  $C$  –valor cuya ecuación es similar a la  $F$ -valor, a partir de:

$$C = \int_0^t 10^{\frac{T-T_{ref}}{z_c}} dt \quad (2.9)$$

Donde  $Z_c$  es la tasa de destrucción térmica análoga a la  $z$  -factor para la inactivación microbiana (DONALD HOLDSWORTH, 2007), véase tabla 2.12.

TABLA 2.12

VALORES DE  $Z_{\text{VALUE}}$  PARA COMPONENTES VULNERABLES AL CALOR

COMPONENTE	RANGO APROXIMADO DE Z-valor (°C)
<b>Especies bacterianas</b>	7.0 - 12.0
<b>Células vegetativas</b>	4.0 - 8.0
<b>Enzimas</b>	10.0 - 50.0
<b>Vitaminas</b>	25 - 30
<b>Proteínas</b>	15 - 37
<b>Factores sensoriales</b>	
Textura y ablandamiento	25 - 47
Color	25 - 47

Fuente: DONALD HOLDSWORTH, 2007.

De acuerdo al factor cinético proteico, se toma como referencia los datos referidos por Williams y Nelson (1974), quienes sugieren un  $Z_c$  de 21.6°C para análisis de proteínas en el tomate.

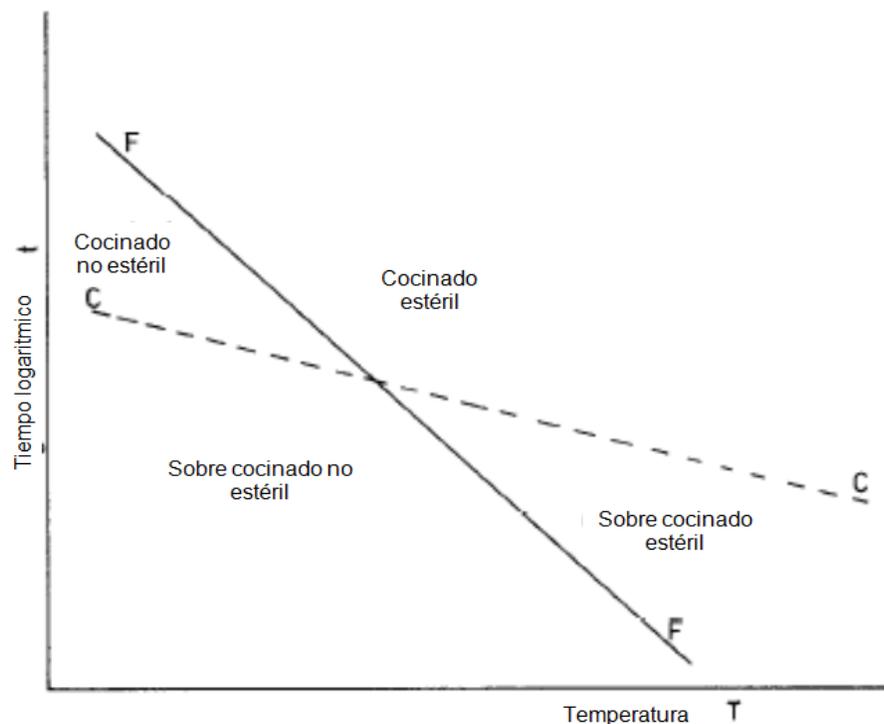
- **Representación gráfica combinada.**

La grafica 2.5, muestra la relación entre el tiempo y la temperatura para la destrucción de esporas microbianas (línea FF) y para la cocción de un alimento producto a un grado específico (línea CC). De esto se puede ver que las únicas combinaciones aceptables de tiempo y de temperatura deben caer dentro de la zona 'cocinado estéril', todas las demás combinaciones de

tiempo y temperatura están establecidas en una zona no estéril, siendo inaceptables. Greenwood et al. (1944) fueron los primeros en publicar esta técnica que se utilizan para estudiar la destrucción de tiamina en el almuerzo de carne de cerdo curada en tres niveles, 50%, 20% y 10% comparado con la destrucción microbiana. Desde entonces muchas publicaciones se han referido a esta técnica para optimizar condiciones de procesamiento (DONALD HOLDSWORTH, 1985).

GRÁFICA 2.5

DIAGRÁMA DE RELACIÓN TIEMPO – TEMPERATURA, EN LA DESTRUCCIÓN MICROBIANA F CON EL VALOR DE COCCIÓN C



Fuente: DONALD HOLDSWORTH, 1985.

### **2.4.3. Análisis de transferencia de calor y modelado matemático.**

- **Mecanismos de transferencia de calor.**

Existen tres modos transferencia de calor durante el proceso de esterilización de alimentos envasados, los cuales se producen en diferentes proporciones: conducción, convección y radiación.

La conducción es la transferencia de calor que se presenta a través del intercambio de energía cinética entre las moléculas, sin desplazamiento de las mismas, es decir existe una transmisión de energía calorífica de las moléculas con mayores niveles de energía a aquellas con menor nivel con las cuales está en contacto. En el caso del tratamiento térmico de alimentos envasados, predomina el mecanismo conductivo cuando se esterilizan materiales sólidos o muy viscosos, los cuales presentan velocidades de calentamiento lento y por ende son necesarios tiempos de proceso prolongados.

En la transferencia del calor convectiva la energía se transmite por una combinación de conducción de energía almacenada y por el movimiento del fluido, debido a diferencias en las densidades entre las zonas de mayor y menor temperatura.

La convección se presenta en alimentos fluidos no pastosos que no desarrollan importantes cambios en la viscosidad durante el tratamiento. Este tipo de transferencia calórica se caracteriza por velocidades de calentamiento rápido y tiempos reducidos para elevar la temperatura del producto.

Por su parte, la radiación es la transferencia de energía electromagnética entre dos cuerpos a diferentes temperaturas.

De los mecanismos mencionados anteriormente, los dos primeros son los que participan fundamentalmente en la esterilización de alimentos envasados (ALEJANDRO LESPINARD, 2012).

- **Análisis de mecanismos de transferencia de calor.**

La penetración del calor en productos envasados depende básicamente de la naturaleza del producto, que determina el mecanismo de transmisión del calor. Así, se pueden clasificar estos productos en:

Líquidos de baja viscosidad: en este caso el calentamiento se lleva a cabo, predominantemente, por convección; generándose corrientes convectivas que producen un calentamiento rápido del producto.

Sólidos o líquidos de alta viscosidad: el calor se transmite por conducción y ocurre en forma más lenta que en alimentos fluidos.

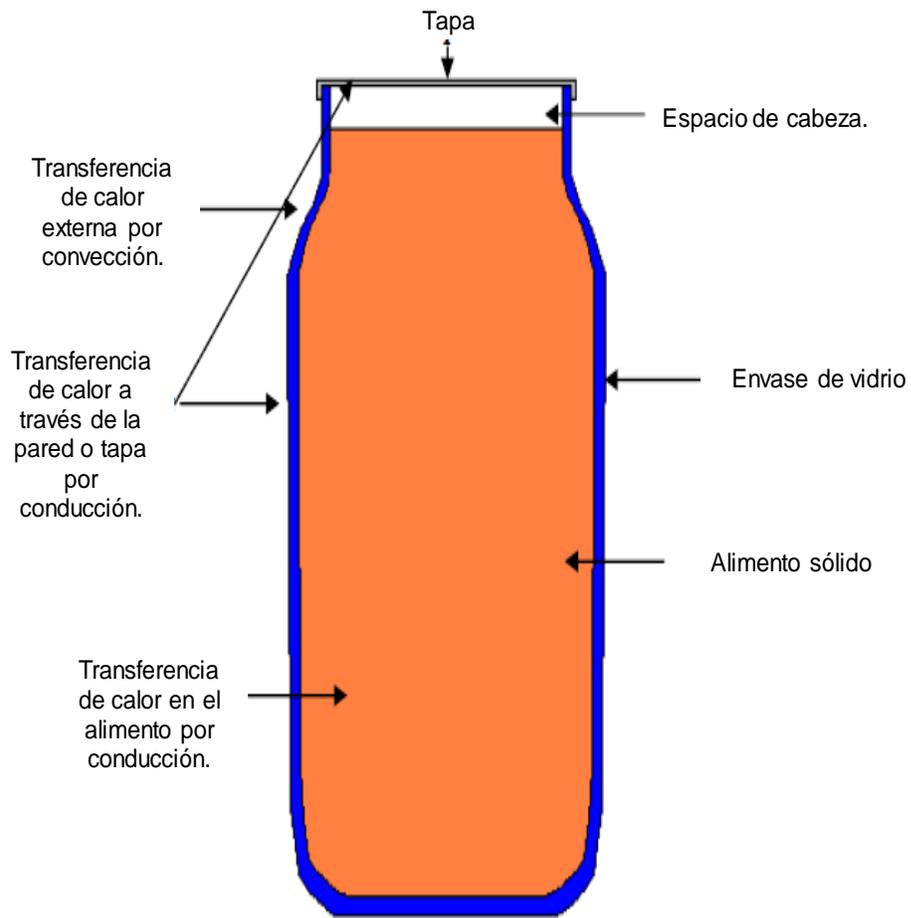
Sólido en medio líquido: en este caso el líquido se calienta por convección y el sólido por conducción, siendo la velocidad de penetración del calor determinada por la movilidad del líquido.

Otra clase la constituyen aquellos productos que empiezan a calentarse por conducción y que, por cambios en su estructura y propiedades reológicas, terminan el proceso calentándose por convección.

En las Figuras 2.6, 2.7 y 2.8, se identifican los diferentes modos de transferencia de calor que pueden llevarse a cabo durante el procesamiento térmico de conservas de alimentos sólidos, líquidos y mixtos, respectivamente.

FIGURA 2.6

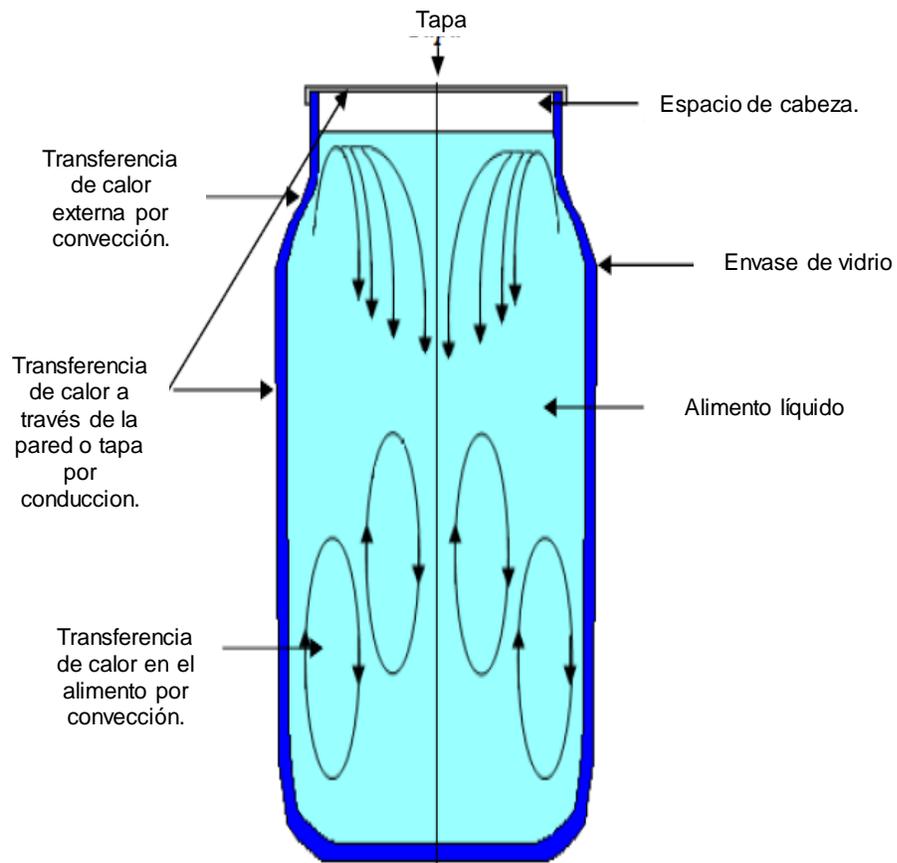
MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE ALIMENTOS  
SÓLIDOS EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ALEJANDRO LESPINARD, 2012

FIGURA 2.7

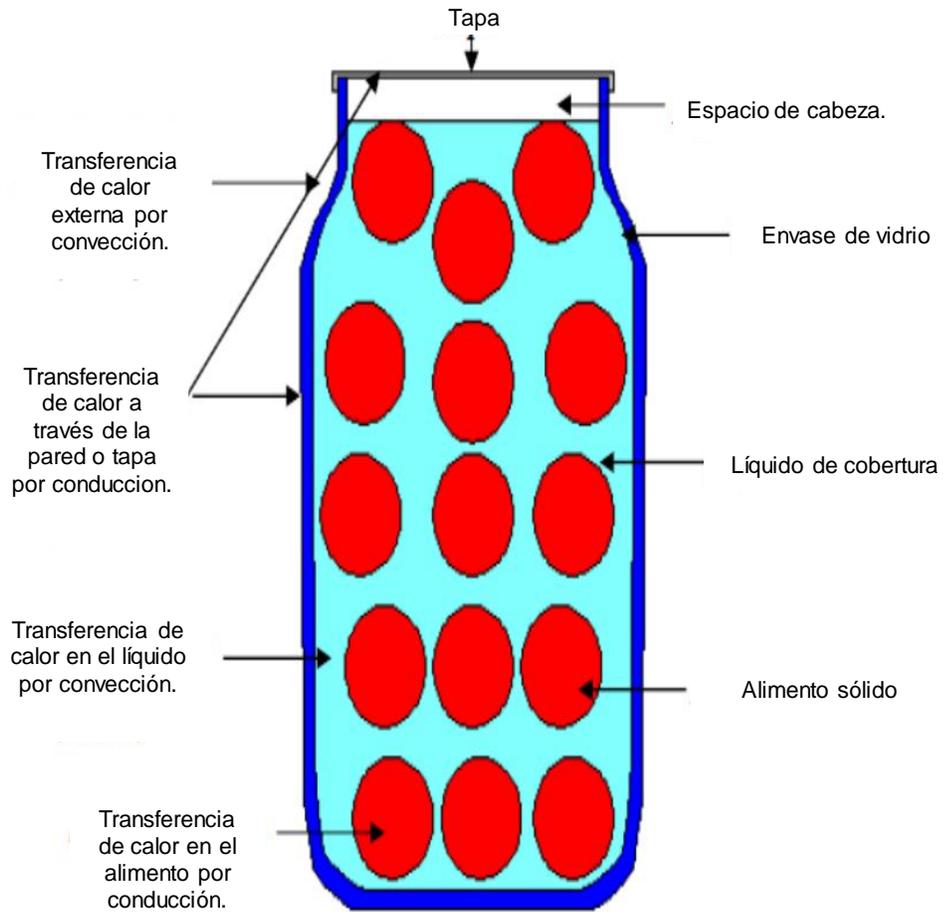
MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE ALIMENTOS  
LIQUIDOS EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ALEJANDRO LESPINARD, 2012

FIGURA 2.8

MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE ALIMENTOS MIXTOS  
EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ALEJANDRO LESPINARD, 2012

- **Modelado matemático.**

Para el calentamiento del alimento por conducción, la transmisión de calor en envases de conserva tiene lugar siempre en estado no estacionario, es decir, que la temperatura en un punto del alimento es función de su posición geométrica y del tiempo transcurrido.

A medida que aumenta el tiempo de calentamiento, el gradiente térmico entre el centro del envase y su periferia va disminuyendo hasta alcanzarse en todo el envase una temperatura prácticamente igual a la del medio calefactor. En la mayoría de casos prácticos no se llega alcanzar ese momento.

La ecuación general que describe la transmisión de calor por conducción, en régimen no estacionario en las tres dimensiones de un sistema cartesiano de coordenadas y a través de un elemento volumétrico de dimensiones dx, dy, dz en un sólido isotrópico, es la siguiente (M. RODRIGO, 1981).

$$\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\delta u}{\delta t} \quad (2.10)$$

Siendo u la temperatura reducida o canónica  $= \frac{T - T_M}{T_0 - T_M}$

$\alpha$  = La difusividad térmica (cm<sup>2</sup>/min).

t = El tiempo.

$T_0$  = La temperatura inicial del producto.

$T$  = La temperatura en un punto del producto en cada momento.

$T_M$  = La temperatura del medio.

La difusividad térmica  $\alpha$  se define como:

$$\alpha = \frac{K}{C_p \rho} \quad (2.11)$$

En donde:

$K$  = Conductividad térmica (cal / min cm °C).

$C_p$  = Calor específico a calor constante (cal / g°C).

$\rho$  = Densidad (g / cm<sup>3</sup>).

La ecuación general, puede integrarse para determinados casos que permiten resolver problemas específicos. Al estudiar la transferencia de calor desde un fluido caliente hasta el interior de un sólido en estado no estacionario, hay que considerar en primer lugar, una resistencia térmica al paso del calor desde el fluido hasta la superficie del sólido y otra resistencia al paso de calor desde la superficie del sólido hasta su centro. La importancia relativa de estas dos resistencias se expresa mediante un número adimensional llamado el número de Biot, que se define:

$$Bi = \frac{h_c I}{K_s} \quad (2.12)$$

Donde:

$h_c$  = Coeficiente de transferencia de calor convectiva (cal / min cm<sup>2</sup> °C).

$I$  = Dimensión característica (cm).

$K_s$  = Conductividad térmica del sólido (cal / min cm °C).

Cuando el número de Biot es inferior a 0.1, la resistencia interna es mucho menor que la resistencia superficial y puede despreciarse, cuando el número de Biot es mayor de 40, la resistencia interna es la más importante y puede considerarse la externa despreciable, es decir se puede considerar que la superficie del cuerpo se encuentra en todo momento a la temperatura del fluido calefactor. Cuando el número de Biot esta entre 0.1 y 40 hay que considerar en el cálculo las dos resistencias por lo tanto la solución se complica.

Para cada uno de estos casos se han deducido las ecuaciones teóricas que constituyen la solución de la ecuación diferencial, con la que se representa la evolución de temperaturas canónicas o reducidas, en alimentos sólidos envasados en recipientes cilíndricos o planos.

Los métodos numéricos para el calentamiento por conducción, tienen la ventaja de no exigir una distribución de la temperatura inicial homogénea y constante para el tiempo cero. Estos métodos se basan en descomponer el objeto en un número muy grande de capas de espesor muy pequeño y aplicar un balance energético a cada una de estas capas durante un intervalo de tiempo también muy pequeño. La mayor dificultad de los métodos numéricos estriba en la enorme cantidad de cálculos que hay que realizar cuando se toman incrementos de espesor y de tiempo suficientemente pequeños, cosa necesaria para obtener resultados precisos.

El uso de estos métodos es prometedor al disponer de computadoras digitales de enorme capacidad de cálculo (M. RODRIGO, 1981).

Uno de los parámetros que se obtiene con las herramientas computacionales mencionadas, es la difusividad térmica ( $\alpha$ ) con la cual se puede calcular el mencionado término  $f_h$  el cual es fundamental para el diseño de procesos térmicos. La relación entre la difusividad y el valor de  $f_h$  en calentamiento conductivo, se presenta en la siguiente ecuación, y refleja el efecto de las dimensiones del envase, radio (R) y altura (H).

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h} \quad (2.13)$$

Uno de los propósitos de obtener la difusividad térmica del alimento de la curva de penetración de calor es precisamente para hacer uso de los parámetros de penetración de calor como  $f_h$  (velocidad de transferencia de calor),  $j_h$  (factor de inercia), etc., y con ello simular la transferencia de calor en los alimentos envasados. Los avances que muestran el uso de un simulador que básicamente se han enfocado en la predicción de la historia de la relación tiempo-temperatura del producto en cualquier zona o punto del envase para diferentes condiciones de proceso y para diferentes tamaños de recipientes (WELTI CHANES, 2005).

En el calentamiento por convección, es el caso más complejo de transferencia de calor, entre otras razones porque la intensidad de las corrientes de convección depende del gradiente térmico entre los distintos puntos de la masa del alimento, gradiente que a su vez, depende de la agitación producida por las corrientes de convección. Por otra parte, intervienen variables tales como el coeficiente de expansión térmica (variación de densidad con la temperatura) y la viscosidad.

La dificultad de analizar matemáticamente este tipo de calentamiento, llegando a soluciones de sencilla aplicación, hace que existan pocos trabajos publicados sobre este tema.

Una solución simple es la propuesta por Schultz y Olson (1989) y que parte de las siguientes hipótesis:

- ✓ La temperatura del medio calefactor, o refrigerador se mantiene constante.
- ✓ La temperatura es la misma en todos los puntos del producto en cada momento.
- ✓ La superficie del envase alcanza instantáneamente la temperatura del medio calefactor o refrigerador.

En este caso la representación en papel semilogarítmico, de la evolución de las temperaturas obtenidas experimentalmente en función del tiempo es una recta que pasa por el origen. Esto es válido tanto para el calentamiento como para el enfriamiento.

Las hipótesis mencionadas solo se cumplen en la práctica, cuando el producto es agitado con suficiente intensidad para que la temperatura sea en todo momento uniforme en toda su masa.

La transferencia de calor puede describirse aplicando la ecuación general del balance térmico y haciendo uso de un coeficiente global de transferencia térmica convectiva que llamaremos U. La ecuación de describe entonces:

$$mC_p \frac{dT}{dt} = UA(T_M - T) \quad (2.14)$$

Integrando para una temperatura constante del medio y pasando a logaritmos decimales resulta:

$$\log u = \log \frac{T - T_M}{T_0 - T_M} = - \frac{U A t}{m C_p 2.303} \quad (2.15)$$

Donde  $u$  es la temperatura reducida y  $T_0$  la temperatura inicial del producto (uniforme en toda la masa de éste).

El interés de esta ecuación se pone de manifiesto al compararla con la ecuación de una curva de calentamiento obtenida experimentalmente.

En efecto la ecuación integrada del balance térmico corresponde en coordenadas semilogartítmicas, a una recta que pasa por el origen cuya pendiente es  $1/f_h$ .

$$f_h = \frac{m C_p 2.303}{U A} \quad (2.16)$$

Como  $m = \text{densidad } (\rho) \cdot \text{volumen } (V)$  se llega a qué:

$$f_h = \frac{V \rho C_p 2.303}{U A} \quad (2.17)$$

Esto significa que si se determina experimentalmente el valor de  $f_h$  para cualquier otro formato.

Para la predicción de la evolución de temperaturas en el interior de alimentos enlatados sometidos a un medio calefactor, cuya temperatura varía a lo largo

del proceso (caso de esterilizadores continuos) ha desarrollado un procedimiento numérico basado en formulas experimentales, deducidas bajo el mismo criterio, y que es aplicable a envases de cualquier formato y a diferentes tipos de alimentos. Posteriormente Hayakawa (1974) deriva unas formulas analíticas y elabora una serie de gráficos para estimar la temperatura en el centro y la temperatura media másica de un alimento sólido en un envase cilíndrico de diferentes formatos. Bimbenet y Michiels (1974) han realizado también un interesante trabajo para predecir las temperaturas en alimentos que transmiten el calor por convección y están sometidos a temperaturas de calentamiento variables (M. RODRIGO, 1981).

En uno de los estudios recientes Sablami y Krishnamurthy (2003), realizaron una evaluación detallada de los factores que influyen en la transferencia de calor de alimentos enlatados que contienen partículas y que son sometidos a agitación. Encontraron que cuando el líquido del envase era newtoniano su viscosidad y la velocidad de rotación del envase eran los factores que tenían mayor efecto sobre el valor  $f_h$  y sobre el parámetro  $C_0/F_0$ , en donde  $C_0$  es el denominado factor de cocción y  $F_0$  la letalidad del proceso. En ese mismo tipo de fluidos, el factor de inercia de la curva de calentamiento  $j_h$  era afectado fundamentalmente por la concentración de partículas y la velocidad de rotación. Con los fluidos no newtonianos el valor  $f_h$  era afectado fundamentalmente por la concentración de goma usada en la formulación de

los sistemas modelo y por la velocidad de rotación, mientras que  $j_h$  se veía afectado principalmente por la concentración de las partículas (WELTI CHANES, 2005).

Para el calentamiento de estado inestable de alimentos sólidos y semisólidos en envases es expresado por la siguiente ecuación empírica.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{j_h(T_M - T_0)}\right) = -\frac{t}{f_h} \quad (2.18)$$

En esta expresión la temperatura  $T$  se refiere a la temperatura más lenta de calentamiento (centro) en el envase. Donde el tiempo de inercia es presado de la siguiente manera:

$$j_h = \frac{T_M - T_A}{T_M - T_0} \quad (2.19)$$

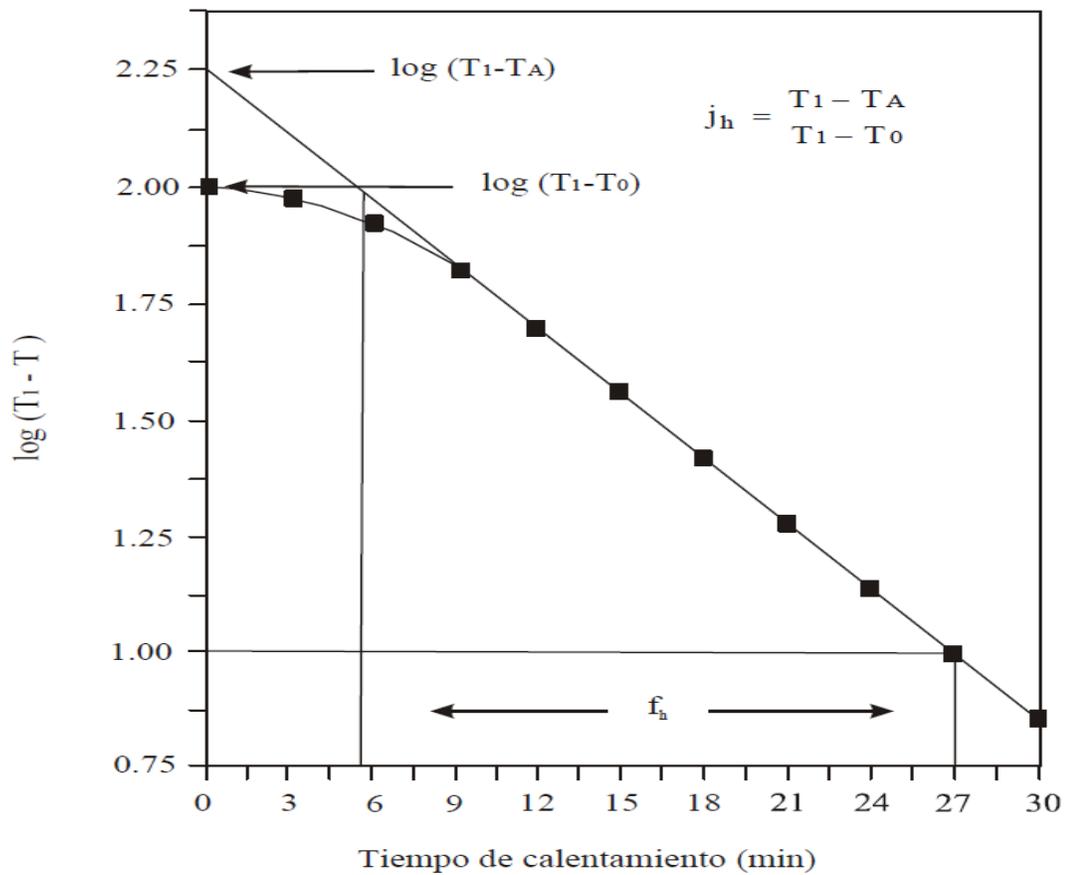
Se sabe que los parámetros  $j_h$  y  $f_h$ , definen la curva de penetración, son estimados por evaluación de datos experimentales de “penetración de calor” de  $\log(T_M - T)$  vs  $t$ .

El parámetro del tiempo de calentamiento es determinado desde la pendiente inversa de la curva y el tiempo de inercia ( $j_h$ ), desde la temperatura  $T_0$  y  $T_A$ . La temperatura “pseudo inicial” es estimada por la extrapolación de la línea de calentamiento por el tiempo cero.

En el procesamiento térmico de alimentos, la curva de penetración de calor, es tradicionalmente presentado como  $\log (T_M - T)$  vs  $t$ . Como se muestra en la gráfica 2.6. Estos son parámetros a considerar en la operación de una autoclave (CARLOS ORREGO, 2003).

GRÁFICA 2.6

GRÁFICA TÍPICA DE UNA CURVA DE CALENTAMIENTO



Fuente: CARLOS ORREGO, 2003

### **III. VARIABLES E HIPÓTESIS**

#### **3.1. Definición de las variables.**

Las variables a analizar se pueden clasificar en variables independientes y dependientes, las cuales se utilizarán en la formulación del modelamiento matemático, en el proceso de tratamiento térmico en envase de vidrio y envase de hojalata.

##### **3.1.1. Variables independientes.**

$X_1$ = Cantidad de sólidos totales (%), en el concentrado de tomate (puré).

$X_2$ = Temperatura de pasteurizado ( $^{\circ}\text{C}$ ), en el proceso de tratamiento térmico del concentrado de tomate (puré).

##### **3.1.2. Variables dependientes.**

$Y$ = Tiempo de calentamiento hasta alcanzar la letalidad microbiana acumulativa ( $P_0$ ) recomendada, en el proceso de tratamiento térmico (pasteurizado), del concentrado de tomate (puré).

### **3.2. Relación entre las variables de investigación**

Por la naturaleza de la investigación las variables independientes  $X_1$  y  $X_2$  y la variable dependiente  $Y$ , son del tipo cuantitativas. Debido a que se evaluó parámetros de proceso, concentraciones, temperaturas de proceso y tiempo de calentamiento hasta alcanzar la letalidad ideal ( $P_0$ ).

Por su dependencia, la variable  $Y$ , dependiente de las variables  $X_1$  y  $X_2$  independientes, es decir:

$$Y = f(X_1, X_2) \quad (3.1)$$

### 3.3. Operacionalización de variables.

TABLA 3.1

#### OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
Tiempo de calentamiento hasta alcanzar la letalidad microbiana acumulativa (P <sub>0</sub> ) recomendada, en el proceso de tratamiento térmico (pasteurizado), del concentrado de tomate (puré).	Optimizar	características	Relacionando X <sub>1</sub> y X <sub>2</sub> con el grado de destrucción microbiana, expresado en la tiempo de calentamiento hasta alcanzar la letalidad acumulativa P <sub>0</sub> recomendada.
	Modelar	características	
	Analizar	características	
VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
Cantidad de sólidos totales (%), en el concentrado de tomate (puré).	análisis de materia prima.	Características.	Análisis de materia prima y producto en proceso, estableciendo rangos de concentración para el proceso de elaboración de puré de tomate, en envase de vidrio y envase de hojalata.
	Control de proceso y operación.	Características.	
Temperatura de pasteurizado (°C), en el proceso de tratamiento térmico del concentrado de tomate (puré).	Control de procesos y operación.	Características.	Establecer rangos de temperatura de pasteurizado para la obtención de la curva de penetración de calor en el proceso de pasteurizado de concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio y envase de hojalata.

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### **3.4. Hipótesis general e hipótesis específica.**

#### **3.4.1. Hipótesis general.**

La optimización del proceso de tratamiento térmico, este se puede obtener mediante un modelamiento matemático, el cual permita estimar el tiempo óptimo necesario de tratamiento térmico al cual necesita ser sometido la conserva de puré de tomate, hasta obtener el valor letal ( $P_0$ ) deseado, con respecto a la concentración de la materia prima y temperatura de proceso.

#### **3.4.2. Hipótesis secundarias.**

Las esporas del *Bacillus coagulans*, normalmente son utilizadas como un indicador en el diseño de los procesos de pasteurización de los productos derivados del tomate, debido a su termorresistencia. La pasteurización es un tratamiento térmico que usualmente utiliza valores de letalidad alrededor de  $P_0 = 3$  minutos entre 70 - 100°C. El objetivo de este proceso es destruir microorganismos termosensibles, alcanzando una reducción decimal de  $n=6$ , estos microorganismos son capaces de sobrevivir en condiciones de alta acidez (bacterias no esporuladas, levaduras y mohos) e inactivar enzimas (fosfatasas). Los productos pasteurizados poseen una flora termófila que es capaz de desarrollarse entre 30-60 °C y aún puede multiplicarse a

temperatura ambiente. Por lo tanto, este método va acompañado de otros tratamientos de conservación tales como la refrigeración y la fermentación (LUIS ORDOÑEZ, 2006).

Así como los parámetros de transferencia de calor, otro parámetro de evaluación a tener en cuenta es el valor de cocción, análogo al valor letal, dependerán de las dimensiones y capacidad del envase a utilizar, además de modificaciones en los tiempos de proceso, cambios en la calidad final del alimento procesado (ALEJANDRO LESPINARD, 2010).

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1. Tipo de investigación.**

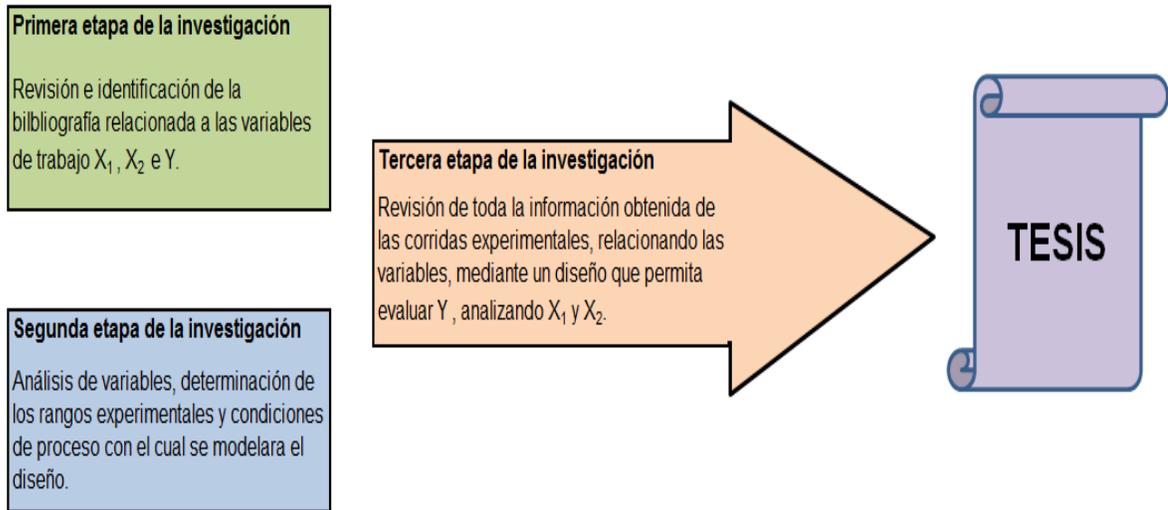
El presente trabajo de investigación es de tipo experimental, puesto que consiste en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular.

### **4.2. Diseño de la investigación.**

El diseño que se ha considerado para la presente investigación, muestra tres momentos demarcados, los cuales se muestran en la figura 4.1.

FIGURA 4.1

## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

### 4.2.1. Etapas de la investigación.

Las variables a analizar son cuantitativas por tal motivo el método que se propone para la investigación es cuantitativo, demarcando las siguientes etapas:

### **a. Primera etapa de la investigación.**

La primera etapa de la investigación se centrara en la revisión de la teoría con respecto a las variables de estudio, fuentes bibliográficas, normas técnicas y publicaciones científicas. Esto con el fin de tener argumentos científicos y técnicos con el cual trabajar cada una de ellas, a su vez nos dará un panorama general en la segunda etapa de la investigación.

### **b. Segunda etapa de la investigación.**

Análisis de variables, establecer condiciones de proceso, rangos experimentales y metodología de la investigación.

### **Determinación de X<sub>1</sub>.**

Para la concentración de sólidos se toma como referencia la NORMA DEL CODEX PARA EL CONCENTRADO DE TOMATE ELABORADO (CODEX STAN 57-1981), referente a puré y pasta de tomate. Además cabe mencionar que la investigación ha sido realizada con el producto envasado en dos tipos de envases, tanto en vidrio como en hojalata, véase la figura 4.2. Con las características dimensionales mencionadas en la tabla 4.1.

FIGURA 4.2

ENVASE DE VIDRIO Y HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

TABLA 4.1

DIMENSIONADO DEL ENVASE DE VIDRIO Y HOJALATA

	<b>HOJALATA</b>	<b>VIDRIO</b>
Diametro interior (mm)	72.5	73.6
Altura de cuerpo interior (mm)	108.2	115.2
Espesor de pared (mm)	0.18	3.2
Altura total (mm)	112.2	120
volumen de llenado (ml)	400	412

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

De la tabla 4.1, se puede observar que el volumen de ambos envases es muy parecido, resaltando la altura y el diámetro interior, estas características nos permitió una mejor comparación de los efectos de transferencia de calor y penetración de temperatura.

**“Puré de tomate”** - es el concentrado de tomate que contiene por lo menos el 7%, pero no más del 24% de sólidos solubles naturales totales.

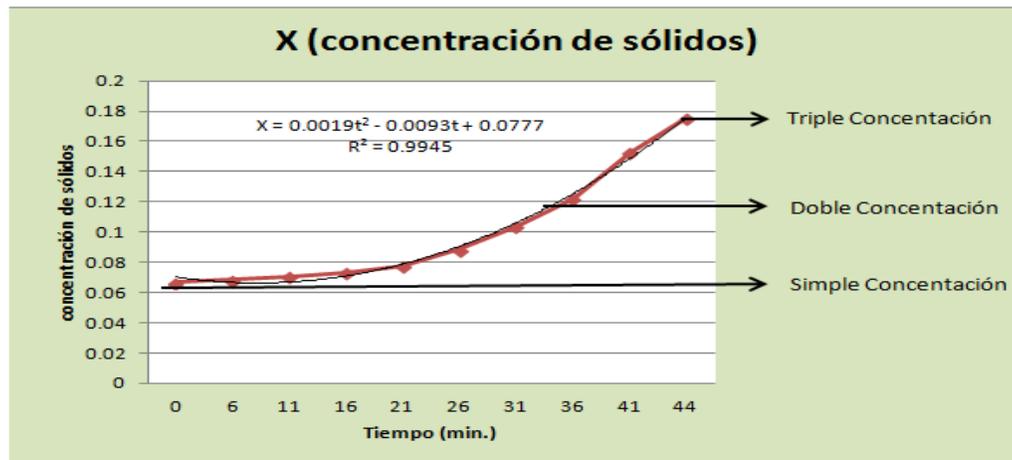
**“Pasta de tomate”** - es el concentrado de tomate que tiene un contenido igual o mayor al 24% de sólidos solubles naturales totales.

Para el diseño experimental se determina aplicar un concentrado para puré de tomate debido a que el modelo se planteara desde una evaluación piloto en donde los equipos no permiten obtener un concentrado mayor a 24%, trabajar a valores mayores a este valor altera la calidad nutricional y organoléptica del producto.

Se realizó una corrida experimental previa, para la obtención de los valores de concentración operables a escala piloto (grafica 4.1).

GRAFICA 4.1

OBTENCIÓN DE RANGOS DE CONCENTRACIÓN



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015

**Determinación de X<sub>2</sub>.**

Se determinó una temperatura de pasteurizado, debido a la naturaleza de la materia prima los rangos fluctúan entre 70°C a 100°C. Deduciendo este valor de experiencias en el procesamiento industrial del producto.

**c. Tercera etapa de la investigación.**

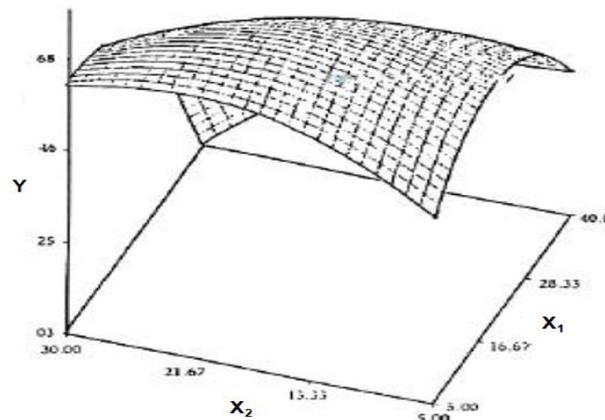
Identificación de las variables Y, relacionando mediante una función polinomial las variables X<sub>1</sub> y X<sub>2</sub>. El éxito de la investigación, depende en que la variable Y se pueda ajustar a un polinomio de primer o segundo grado.

En este caso se obtuvo una gráfica de contorno que facilita la visualización de la forma de una superficie de respuesta en tres dimensiones. En esta gráfica, las curvas de los valores iguales de respuesta se grafican en un plano donde los ejes coordenados representan los niveles de los factores. Cada curva representa un valor específico de la altura de la superficie, es decir un valor específico de Y.

La región experimental, especifica la región de valores para los niveles de los factores. Esto se puede hacer empleando los niveles actuales de operación para cada factor, si se desea explorar el vecindario se incrementa y disminuye el valor del nivel en una cantidad determinada, véase la gráfica 4.2.

GRAFICA 4.2

SUPERFICIE DE RESPUESTA TRIDIMENSIONAL



Fuente: UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS DE PUEBLA, 2010.

Generalmente se desconoce la relación entre la respuesta y las variables independientes, por ello requerimos un modelo que aproxime la relación funcional entre Y, y la variables independientes. Este modelo provee las bases para un nuevo experimento que nos lleva hacia un nuevo modelo y el ciclo se repite. Si la respuesta se describe adecuadamente por una función lineal de las variable independientes se realiza un modelo de primer orden.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + E \quad (4.1)$$

Los parámetros del modelo se estiman mediante el método de mínimos cuadrados. Una vez que se tienen los estimadores se sustituyen en la ecuación y obtenemos el modelo ajustado.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (4.2)$$

Este método se utiliza cuando queremos estudiar el comportamiento de la variable de respuesta únicamente en la región y cuando no conocemos la forma de la superficie (JHON CORNELL, 1990).

#### **4.2.2. Determinación de la relación entre variables y operatividad del sistema.**

La metodología a seguir es mediante la superficie de respuesta el cual consiste en un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas utilizadas

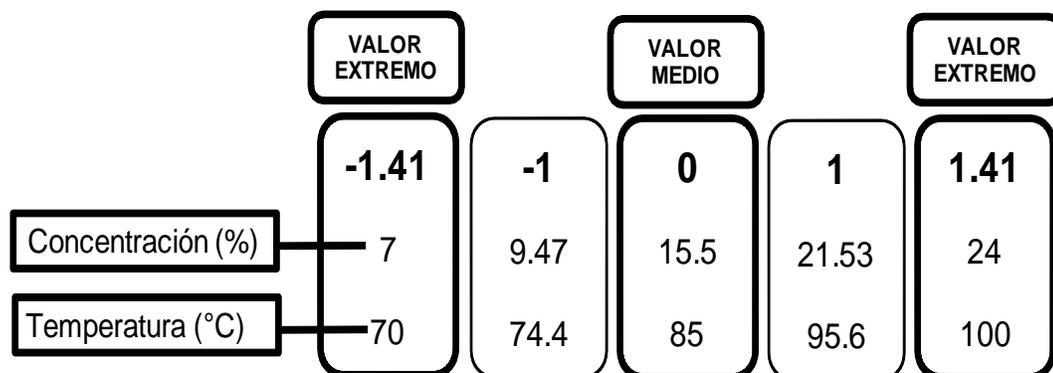
para modelar y analizar problemas en los que una variable de interés es influenciada por otras. El objetivo es optimizar la variable de interés, eso se logra al determinar las condiciones óptimas de operación del sistema (UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS DE PUEBLA, 2010).

Las variables establecidas se relacionan mediante un diseño experimental, el cual permitirá evaluar el comportamiento de la variable dependiente, en las situaciones dadas por las variables independientes.

El diseño experimental a considerar es el siguiente: “Diseño experimental factorial con puntos céntricos y axiales”. Véase la figura 4.3.

FIGURA 4.3

DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL CON PUNTOS CENTRICOS Y AXIALES.



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

De la figura 4.3, se conjuga los diferentes valores de las variables, estableciendo así la matriz de la investigación. La cual nos va a servir como punto de partida en el proceso de obtención de datos experimentales e interpretación de los mismos. Véase la tabla 4.2.

TABLA 4.2

APLICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA INVESTIGACIÓN

<b>N° de diseño experimental</b>	<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>Concentracion % (X<sub>1</sub>)</b>	<b>Tempetarura °C (X<sub>2</sub>)</b>
<b>1</b>	-1	-1	9.47	74.4
<b>2</b>	1	-1	21.53	74.4
<b>3</b>	-1	1	9.47	95.6
<b>4</b>	1	1	21.53	95.6
<b>5</b>	0	0	15.5	85
<b>6</b>	0	0	15.5	85
<b>7</b>	0	0	15.5	85
<b>8</b>	-1.41	0	7	85
<b>9</b>	1.41	0	24	85
<b>10</b>	0	-1.41	15.5	70
<b>11</b>	0	1.41	15.5	100

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

### 4.3. Población y muestra.

El criterio de población y muestra será aplicado en la segunda etapa de la investigación.

#### **4.3.1. Población.**

La población está conformada por los siguientes factores:

**La materia prima;** actualmente se cuenta con una gran variedad de tipos de tomate, los cuales varían en sus propiedades y características, se puede mencionar al tipo beef, marmande, vemone, moneymaker, cocktail, cereza, larga vida, ramillete.

**El sistema de envasado;** el derivado del tomate puede ser envasado en envases de vidrio, hojalata, plástico, entre otros que se encuentran en el mercado dependiendo el costo y naturaleza del producto y la influencia de ambos en la productividad del proceso.

**El proceso de tratamiento térmico;** los procesos que pueden darse para este producto son el pasteurizado y el autoclaveado.

#### **4.3.2. Muestra.**

Del universo de la población se elige como materia prima el tomate tipo liso, esto por la concentración del fruto, la cual permite trabajarlo a las características requeridas.

Con respecto al sistema de envasado se opta por el envasado en vidrio y en hojalata, ambos muy comerciales, con el fin de hacer un comparativo de

proceso para cada material. Mediante un sistema de tratamiento el cual es el pasteurizado debido a la naturaleza de la materia prima con respecto a su alta acidez, la unidad de tratamiento térmico utilizada será del laboratorio de operaciones unitarias de la Facultad de Ingeniería Pesquera y Alimentos de la Universidad Nacional del Callao y así como todo implemento que permita la obtención de los datos y parámetros necesarios para la determinación final de la correlación entre variables.

#### **4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

##### **4.4.1. Técnicas.**

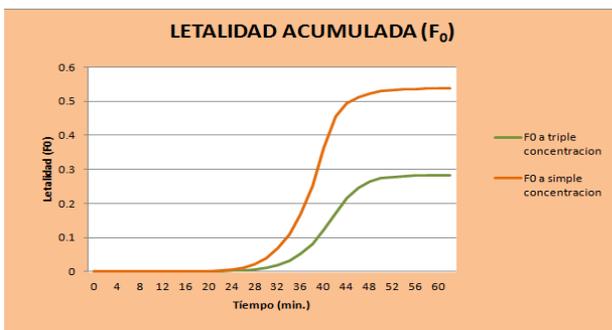
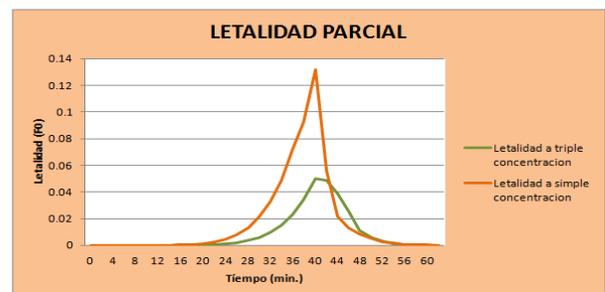
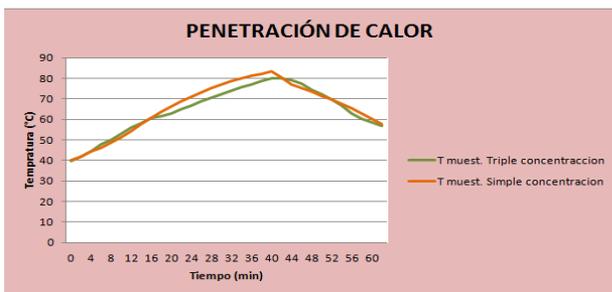
En la primera etapa de investigación se utilizó fuentes bibliográficas, fuentes de internet y revistas, así como de personas que puedan brindar asesoría externa, estas deben estar ligadas a la industria de la elaboración de productos derivados del tomate.

La segunda etapa de investigación, estuvo conformada por dos sub etapas demarcadas, primero la obtención de valores y parámetros previos de trabajo con el fin de realizar un proyectado del experimento, obtención de los valores de concentración (°Brix) tanto de la materia prima fresca de acuerdo a su origen, así como la concentración después de la pre-cocción, antes del

pasteurizado teniendo en cuenta que debe estar sujeto a una escala piloto sin afectar la calidad nutricional y organoléptica de la materia prima. Realizar corridas previas de obtención de valores de letalidad y valor de cocción con respecto a cada rango de concentración y sistema de envasado, este con el fin de validar el proceso. Algunos resultados de los ensayos previos realizados se dan a conocer en la gráfica 4.3, en donde se compara el proceso a simple concentración y triple concentración a una temperatura de pasteurizado, envasado en hojalata.

GRÁFICA 4.3

ENSAYOS PRELIMINARES EN EL PURÉ DE TOMATE A SIMPLE Y TRIPLE CONCENTRACIÓN EN ENVASE DE HOJALATA.



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

Estos análisis nos dan una tendencia de las variables dependientes, en donde van a ir disminuyendo mientras aumente el valor en la concentración del producto, ambos procesos sometidos al mismo tiempo, temperatura de pasteurizado y material de envasado.

Una vez realizadas las pruebas preliminares, se realizan los ensayos experimentales conjugando cada variable independiente, correlacionando con los valores de calidad obtenidos, de acuerdo a la matriz del diseño experimental, aplicando cada uno de los principios de regresión lineal propuestos el cual nos permita obtener la gráfica de superficie de respuesta que nos lleva a la ecuación y valores óptimos en el trabajo de investigación.

#### **4.4.2. Instrumentos.**

Para la segunda etapa de la investigación se contó con los siguientes instrumentos:

Unidad de tratamiento térmico, conformada por una autoclave vertical y una cerradora manual, como se aprecia en la figura 4.4.

FIGURA 4.4

UNIDAD DE TRATAMIENTO TÉRMICO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

Equipo de pre-cocción, se menciona la olla de calentado, de un diseño sencillo con el fin de obtener una pasta uniforme en donde no se altere la materia prima por efecto de calor, figura 4.5.

FIGURA 4.5.  
OLLA DE PRE-COCCIÓN.



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

Equipos de medición; entre ellos: balanza de gramos, balanza de humedad, termocuplas de toma de temperatura y un potenciómetro digital. En la figura 4.6 y 4.7, se pueden observar algunos de los equipos mencionados.

FIGURA 4.6

TERMOREGISTRADOR CON SUS TERMOPARES



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

FIGURA 4.7

POTENCIÓMETRO DIGITAL



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

#### **4.5. Procedimiento de recolección de datos.**

El proceso para llevar a cabo la ejecución de la investigación, fue el siguiente:

- ✓ Se establecieron los parámetros de operación de las variables independientes, mediante la revisión de fuentes bibliográficas, ensayos preliminares de la investigación, para establecer rangos de operación y realizando entrevistas a profesionales expertos en el área. Con respecto al valor de operación de la variable dependiente este se determinó mediante la revisión de fuentes bibliográficas y analizando experiencias dadas en algunas industrias.
- ✓ Mediante el diseño experimental establecido (Diseño experimental factorial con puntos céntricos y axiales), se determinaron los rangos de operación cada variable independiente evaluada, es decir los valores extremos y centrales del diseño, conjugando cada parámetro, se obtuvo un total de 11 corridas experimentales realizadas en el producto en envase de vidrio y en envase de hojalata.
- ✓ Se realizó cada una de las corridas experimentales, en donde se evaluó cada diseño en dos envases de hojalata y dos envases de vidrio, registrando la temperatura de calentamiento y enfriamiento promedio para cada tipo de envase, esto para evitar márgenes de error e imprecisión, análogamente se determinó el tiempo de

calentamiento necesario en la etapa de pasteurizado, para alcanzar el valor  $P_0$  requerido, donde se estableció una matriz de datos que nos permito una evaluación eficiente a la optimización del producto. Además se determinó en cada una de las experiencias, cálculos de transferencia de calor, el cual nos permitió una mejor interpretación y análisis de los resultados. Por último se debe tener presente, la disposición de las termocuplas en los envases, esta se ha ubicado en el centro geométrico de cada uno de ellos, a su vez la disposición de los envases dentro de la autoclave ha sido de tal manera, que se permitió una transferencia uniforme en toda el área superficial del mismo. Véase figura 4.8 y 4.9.

FIGURA 4.8

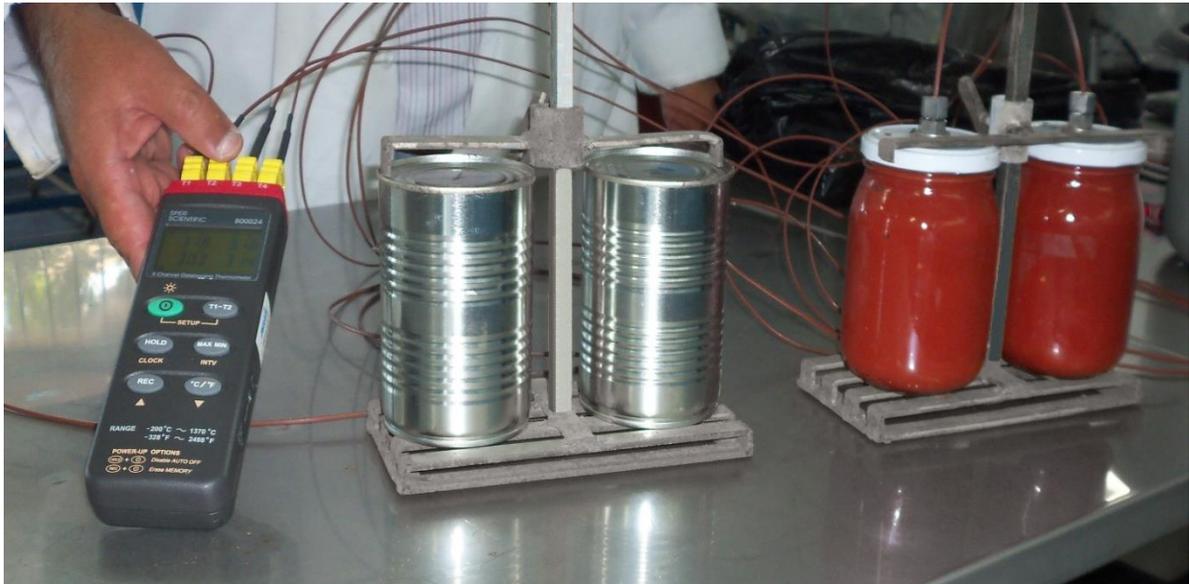
DISPOSICIÓN DE LA TERMOCUPLA DENTRO DEL ENVASE



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

FIGURA 4.9

DISPOSICIÓN DE LOS ENVASES DENTRO DEL AUTOCLAVE



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2015.

- ✓ De la matriz obtenida, en base a las experiencias, se evaluó el modelo matemático mediante un análisis de regresión lineal, el cual estableció una gráfica de superficie de respuesta, de donde se calculó los parámetros de optimización para el producto en envase de vidrio y en envase de hojalata.
- ✓ Los valores de optimización calculados, son validados mediante una corrida experimental, en donde no solo se valida los parámetros de operación establecidos, sino también que la calidad microbiológica del producto sea la adecuada, se adjunta el anexo 3 de la página 408.

#### **4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.**

Se necesita asegurarla confiabilidad de los parámetros en evaluación, así como de las propiedades de la materia prima en evaluación, en este caso se evaluó si el pH de la materia prima se encuentra en el rango establecido donde se asegure la supervivencia del *Bacillus Coagulans*, para este caso se debe de determinar que la capacidad de proceso en este punto, debe ser la adecuada. Establecido mediante un análisis estadístico descriptivo haciendo uso del programa MINITAB versión 15.

Respecto a la evaluación de los datos obtenidos, la ecuación de regresión cuadrática multivariable y las gráficas de control se calculó haciendo uso del programa STATISTICA versión 12, y para los cálculos de diagnóstico de validez se hace uso del programa MINITAB versión 15.

##### **4.6.1. Análisis de capacidad de proceso.**

El análisis de la capacidad requiere del conocimiento o la estimación de la distribución. Adicionalmente, según se han diseñado los límites de tolerancia naturales, la suposición de normalidad debe contrastarse para una interpretación adecuada de los índices de capacidad. Por tanto, en el análisis de la capacidad del proceso se suelen utilizar las siguientes

herramientas: Histogramas, Diagramas de probabilidades, Gráficos de control y Diseño de experimentos.

Una razón importante para cuantificar la capacidad del proceso es poder calcular la capacidad del proceso de mantener las tolerancias del producto. Para procesos que se encuentran un estado de control estadístico, una comparación de la variación entre  $6\sigma$  de la habilidad del proceso dentro de la amplitud de tolerancia. Una medida de esta relación es la tasa de capacidad:

$$C_p = \frac{\text{Rango\_especificación}}{\text{capacidad\_proceso}} = \frac{LES - LEI}{6S} \quad (4.3)$$

Donde:

LES : Limite de especificación superior.

LEI : Limite de especificación inferior.

Un proceso que cumple bien con los límites de especificación (rango de especificación) tiene un  $C_p$  de 1. Lo crítico de muchas aplicaciones y la realidad de que el promedio del proceso no permanecerá en el punto medio del rango de especificación sugiere que  $C_p$  debe ser al menos 1.33, ver tabla 4.3.

TABLA 4.3

ESPECIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PROCESO

<b>CP</b>	<b>Decisión</b>
<b>1,33&lt;CP&lt;2,22</b>	<b>Más adecuado, incluso puede exigirse más en términos de su capacidad. Posee capacidad de diseño.</b>
<b>1&lt;CP&lt;1,33</b>	<b>Adecuado para lo que fue diseñado. Requiere control estrecho se acerca al valor 1.</b>
<b>0,67&lt;CP&lt;1</b>	<b>Requiere monitoreo constante.</b>
<b>CP&lt;0,67</b>	<b>No es adecuado para cumplir con el diseño inicial.</b>

Fuente: ELODIA VIVES, 2011

La capacidad del proceso según se mide con  $C_p$ , se refiere a la variación en un proceso alrededor del valor promedio.

Así, el índice  $C_p$  mide la capacidad potencial, suponiendo que el promedio del proceso es igual al punto medio de los límites de especificación y que el proceso está operando bajo control estadístico; como con frecuencia el promedio no se encuentra en el punto medio, es útil tener un índice de habilidad que refleje ambas variaciones y la localización del promedio del proceso. Tal índice es  $C_{pk}$ .

El índice de Cpk refleja la proximidad de la media actual del proceso al límite de especificación superior (LES) o bien, al límite de especificación inferior (LEI). Cpk se estima mediante:

$$Cpk = \min\left\{\frac{X - LEI}{3s}, \frac{LES - X}{3s}\right\} \quad (4.4)$$

Si el promedio actual es igual al punto medio del rango de especificación, entonces Cpk= Cp. Entre más alto sea el valor de Cpk, más baja será la cantidad de producto que esté fuera de los límites de especificación (ELODIA VIVES, 2011).

Por otro lado, en la evaluación y determinación del modelo matemático óptimo del proceso se tiene una ecuación, cuyas constantes son estimadas mediante una regresión lineal de primer orden, la ecuación a tabular es la siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (4.5)$$

Los métodos de aproximación y estimación son detallados con los siguientes métodos estadísticos aplicativos.

#### 4.6.2. Prueba de significancia de los coeficientes estimados en el método ajustado.

De acuerdo a JHON CORNELL (1990), para estimar los coeficientes se requieren  $N \geq k+1$  valores de respuesta  $Y$ . El análisis de los datos de las corridas se presenta en una tabla de análisis de varianza. La tabla presenta las diferentes fuentes de variación que contribuyen a la variación total de los datos.

La variación total recibe el nombre de Cua de cuadrados SST, se calcula de la siguiente manera:

$$SST = \sum_{u=1}^N (Y_u - \bar{Y})^2 \quad (4.6)$$

Donde  $Y_u$  es el valor observado en la  $u$ -ésima corrida.

La suma de cuadrados se compone por la suma de cuadrados debido a la regresión y suma de cuadrados no tomada en cuenta por el modelo ajustado.

La fórmula de la suma de cuadrados debido a la regresión es:

$$SSR = \sum_{u=1}^N (Y_u - \bar{Y})^2 \quad (4.7)$$

La suma de cuadrados residual, que corresponde a la muestra, tomada en cuenta, se calcula de la siguiente forma:

$$SSE = \sum_{u=1}^N (Y_u - \bar{Y}_u)^2 \quad (4.7)$$

En la tabla 4.4, se observa en análisis de varianza, en ella p representa el número de términos del modelo ajustado.

TABLA 4.4

ANÁLISIS DE VARIANZA

<b>Fuente</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media de cuadrados</b>
Regresión	p-1	SSR	SSR/p-1
Residuo	N-p	SSE	SSE/N-p
Total	N-1	SST	

Fuente: JHON CORNELL, 1990.

La prueba de significancia de la ecuación de regresión ajustada tiene la siguiente hipótesis nula  $H_0$ : Todas las  $\beta_s$  (excluyendo  $\beta_0$ ) son cero contra la alternativa  $H_A$ : al menos una de las  $\beta_s$  (excluyendo  $\beta_0$ ) es diferente de cero. La prueba supone que el error se comporta normalmente, en esta se utiliza el estadístico de prueba F, cual se calcula:

$$F = \frac{SSR/(p - 1)}{SSE/(N - p)} \quad (4.8)$$

Este se compara con una  $F_{(p-1, N-p)}$ , si F calculada excede este valor la hipótesis nula se rechaza con un nivel de confianza de  $\alpha$ . Esto significa que la variación explicada por el modelo es significativamente mayor que la variación inexplicable.

Además de esta prueba se puede hacer un análisis de ajuste de modelo con la  $R^2$ , que es la proporción total de la variación de las  $Y_{iS}$  con respecto a la media que se puede explicar con la ecuación de regresión ajustada. Esta se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{SSR}{SST} \quad (4.9)$$

#### **4.6.3. Prueba de falta de ajuste.**

La falta de ajuste requiere que el diseño del experimento satisfaga, lo siguiente:

El número de los distintos puntos del diseño. N debe exceder el número de términos en el modelo ajustado, es decir  $n > k - 1$ .

Al menos 2 réplicas deben recolectarse en uno o más puntos del diseño para estimar la varianza del error.

Además, los valores del error aleatorio ( $E_u$ ) deben asumir una distribución normal e independiente con una varianza común  $\sigma^2$ .

Al cumplirse estas condiciones, la suma de cuadrados residual se compone de dos fuentes de variación, la primera es la falta de ajuste del modelo ajustado (debido a la exclusión de términos de mayor orden) y la segunda es la variación del error puro. Para calcularlas necesitamos la suma de cuadrados calculada de las réplicas que recibe el nombre de error puro de la suma de cuadrados y sustraer de la suma de cuadrados residual éste para obtener la suma de cuadrados de la falta de ajuste, es decir:

$$SS_{\text{Error Puro}} = \sum_{l=1}^n \sum_{u=1}^{r_l} (Y_{lu} - \bar{Y}_l)^2 \quad (4.10)$$

Donde  $Y_{lu}$  es la  $u$ -ésima parte observación del  $l$ -ésimo punto del diseño.

$u = 1, 2, \dots, r_l$

$l = 1, 2, \dots, n$

$\bar{Y}_l$  es el promedio de las  $r_l$  observaciones del  $l$ -ésimo punto del diseño.

$$SS_{\text{Falta de ajuste}} = SSE - SS_{\text{Error Puro}} \quad (4.11)$$

$$SS \text{ Falta de ajuste} = \sum_{l=1}^n r_l (\hat{Y}_l - \bar{Y}_l)^2 \quad (4.12)$$

Donde  $\hat{Y}_l$  es el valor predicho de la respuesta en el l-ésimo punto del diseño.

La prueba de adecuación del modelo ajustado es:

$$F = \frac{SS \text{ Falta de Ajuste}/(n - p)}{SS \text{ Error Puro}/(N - n)} \quad (4.13)$$

La hipótesis de suficiencia de ajuste con un nivel  $\alpha$  de significancia se rechaza cuando el valor calculado del estadístico es mayor a  $F_{(n-p, N-n, \alpha)}$ .

Cuando la F calculada no es mayor el cuadrado medio residual es utilizado para estimar  $\sigma^2$  y también es usa para probar la significancia del modelo ajustado.

Cuando la hipótesis de suficiencia de ajuste se rechaza, se debe de elevar el grado del modelo aumentando términos de producto cruzado y/o términos de mayor grado en  $x_1, x_2, \dots, x_k$ . Si se requieren puntos adicionales para estimar todos los coeficientes estos se añaden. Se colectan los datos y se vuelve hacer el análisis.

Si no se rechaza la hipótesis podemos inferir que la superficie es plana. Una vez que se tiene la ecuación y se ha probado el ajuste se buscan niveles que mejoren los valores de respuesta (JHON CORNELL, 1990).

#### **4.6.4. Método de la máxima pendiente en ascenso.**

Frecuentemente la estimación inicial de las condiciones de operación óptimas está alejada de óptimo real, en este caso se desea moverse rápidamente a la vecindad del óptimo. El método de máxima pendiente en ascenso es un procedimiento para recorrer secuencialmente la trayectoria de la máxima pendiente, que nos lleva en dirección del máximo aumento de la respuesta. Cuando se desea la minimización se habla de mínima pendiente en descenso.

De acuerdo a MONTGOMERY (1991), la dirección de ascenso máximo es en la que  $\hat{Y}$  aumenta más rápido, esta es paralela a la normal de la superficie de respuesta ajustada. Los incrementos a lo largo de la trayectoria son proporcionales a los coeficientes de regresión  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ .

Los experimentos se llevan a cabo hasta que deje de observarse un incremento en la respuesta, entonces se ajusta en nuevo modelo de primer orden con el que se determina una nueva trayectoria y se continúa con el procedimiento. Finalmente, se consigue llegar a la cercanía del óptimo, esto ocurre cuando existe falta de ajuste del modelo de primer orden.

- **Algoritmo para determinar las coordenadas de un punto en la trayectoria de máxima pendiente en ascenso.**

Un algoritmo propuesto por MONTGOMERY, 1991. Es el siguiente:

Supóngase que el punto  $x_1 = x_2 = \dots = x_k = 0$

1. Se elige un tamaño de incremento o “escalón” en una de las variables del proceso, digamos  $\Delta x_i$ , usualmente se elige la variable de la que más se sabe, o la que mayor coeficiente de regresión absoluto  $|\beta_j|$ .
2. El tamaño de incremento en las otras variables es:

$$F = \frac{SS \text{ Falta de Ajuste}/(n - p)}{SS \text{ Error Puro}/(N - n)} \quad (4.14)$$

Donde  $i = 1, 2, \dots, k$ . Además  $i$  es diferente que  $j$ .

3. Se convierte  $\Delta x_i$  de variables codificadas a variables naturales.

La hipótesis será nula, cuando no contrasten con los resultados de la operación matemática realizada, ni sean validados en el análisis de calidad microbiológica.

## V. RESULTADOS.

### 5.1. Resultados en la validación de la materia prima en la experiencia.

Para asegurar la supervivencia del *Bacillus Coagulans*, se debe validar los datos de pH, mediante el cálculo de capacidad de proceso en todas las experiencias, por especificación técnica del producto, el rango de pH debe encontrarse entre los valores de 4.1 a 4.4, para asegurar la supervivencia del microorganismo objetivo, en la tabla 5.1, se observa los valores de pH de la materia prima en cada una de las experiencias realizadas.

TABLA 5.1

#### VALORES DE pH EN CADA EXPERIENCIA

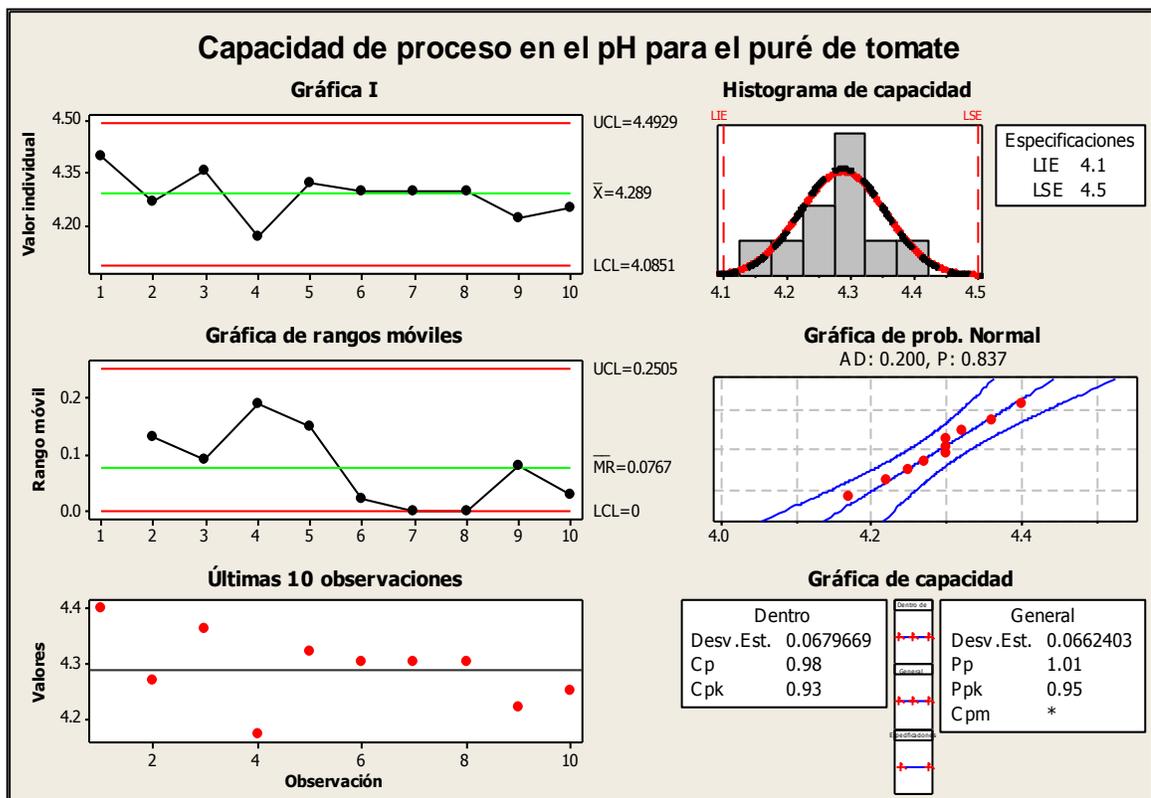
ITEM	CONCENTRACIÓN (%)	pH
1	21.6	4.4
2	7	4.27
3	8.22	4.36
4	20.77	4.17
5	15.5	4.32
6	23.9	4.3
7	23.9	4.3
8	23.9	4.3
9	14.48	4.22
10	23.14	4.25

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

En la tabla 5.1, se observa que los valores se encuentran dentro del rango, sin embargo se necesita validar mediante el análisis de capacidad, en la gráfica 5.1, muestra los cálculos realizados para la obtención del  $C_p$  estadístico el cual permitió la determinación de la capacidad del proceso.

GRÁFICA 5.1

ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PROCESO RESPECTO AL pH DE LA  
MATERIA PRIMA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

De la graficas determinadas, se observa que el  $C_p$  es de 0.98, se encuentra en el rango de capacidad, aunque el diseño refleja la necesidad de un monitoreo constante en la medición de este parámetro, de esta manera se asegura la capacidad del proceso en toda la investigación.

## **5.2. Resultados de las corridas experimentales, establecidas del diseño experimental.**

En cada experiencia se realizaron dos evaluaciones, la primera es con respecto al valor de letalidad del microorganismo objetivo (*Bacillus coagulans*), en donde se determinó el tiempo en que el tratamiento térmico alcanza la letalidad acumulativa deseada que es de 1 min, los parámetros de termo resistencia del microorganismo objetivo, necesarios para realizar el cálculo son especificados en la tabla 5.2.

TABLA 5.2

### PARÁMETROS DE TERMORESISTENCIA EN EL *BACILLUS COAGULANS*

<b><math>T_{ref}</math> (°C)</b>	93.3
<b>Z (°C)</b>	8.3
<b>D (min)</b>	0.1 - 0.5

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Además se realizó el cálculo respectivo del valor de cocción donde se determina tiempo análogo en el cual las proteínas del producto son sometidas al tratamiento térmico, es decir el tiempo en que ocurre una reacción bioquímica. Los parámetros de cocción para el cálculo, con respecto a la proteína del tomate, son presentados en la tabla 5.3.

TABLA 5.3  
PARÁMETROS DE REACCIÓN BIOQUÍMICA EN LAS PROTEÍNAS DEL  
TOMATE

<b>T<sub>ref</sub> (°C)</b>	93.3
<b>Z<sub>c</sub> (°C)</b>	21.6
<b>D<sub>c</sub> (min)</b>	12.5

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Las ecuaciones para la valoración de las variables mencionadas, son enunciados en el capítulo 2 del marco teórico.

La segunda evaluación realizada, son los valores de transferencia de calor, para la tabulación de las mismas, solo va a depender de las características físicas del producto y de los insumos. Condiciones dimensionales, de peso y temperatura de proceso.

### 5.2.1. Análisis de la experiencia N°1 ( $X_1= 74.4^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 9.47\%$ ).

En esta experiencia se trabaja a una temperatura de pasteurizado de  $74.4^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de 9.47%.

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.4.

TABLA 5.4  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA N°1 EN  
ENVASE DE HOJALATA

<b>Peso neto de producto (g)</b>	426
<b>Peso del envase (g)</b>	79.88
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

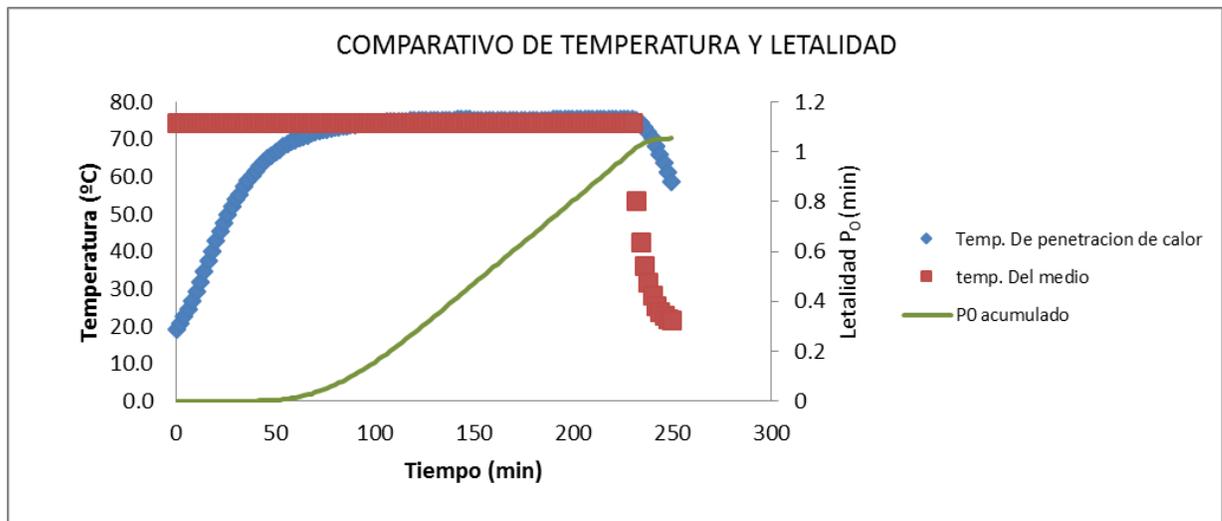
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.2, en donde se detalla la

curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.2

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°1 EN ENVASE DE HOJALATA



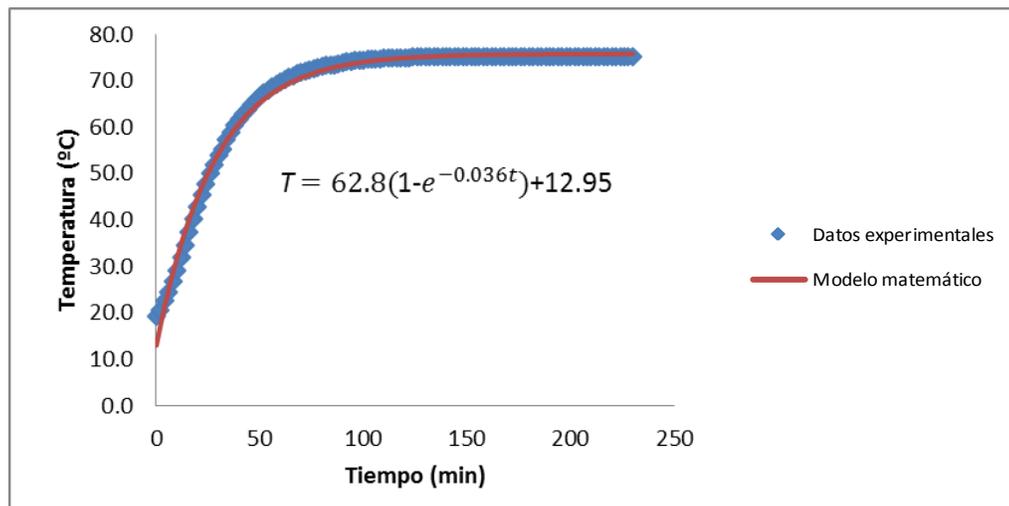
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual

se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.3.

GRÁFICA 5.3

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA N°1



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.4.

GRÁFICA 5.4

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA N°1 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

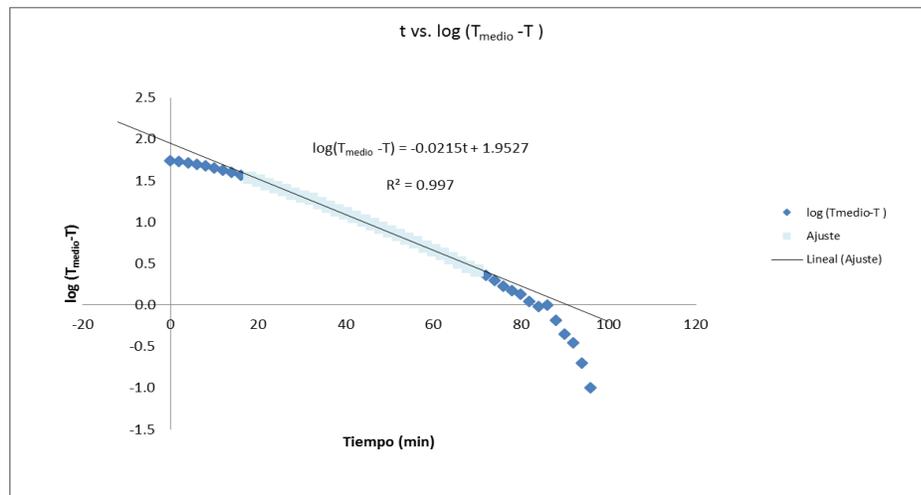
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 230 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0029 min, y un valor de cocción de 24.96331 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.4 de la página 152, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 426 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.5, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

#### GRÁFICA 5.5

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}} - T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°1 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.5, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 41.67 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.62, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 46.757 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.91x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.5.

TABLA 5.5  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°1 EN  
ENVASE DE VIDRIO

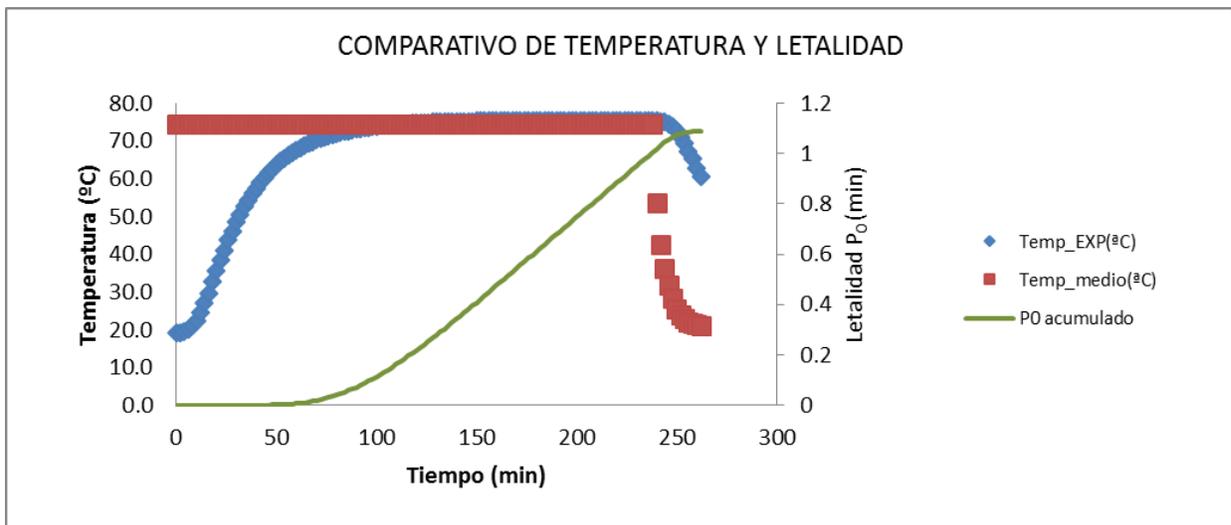
<b>Peso neto de producto (g)</b>	433
<b>Peso del envase (g)</b>	260.22
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.6, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.6

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°1 EN ENVASE DE VIDRIO

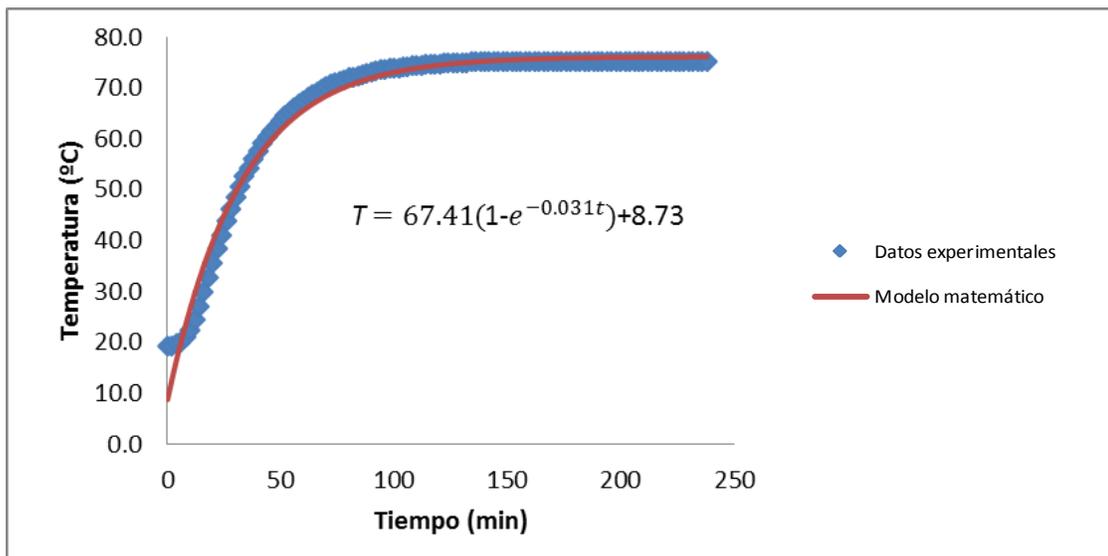


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.7.

GRÁFICA 5.7

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA N°1



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.8.

GRÁFICA 5.8

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA N°1 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

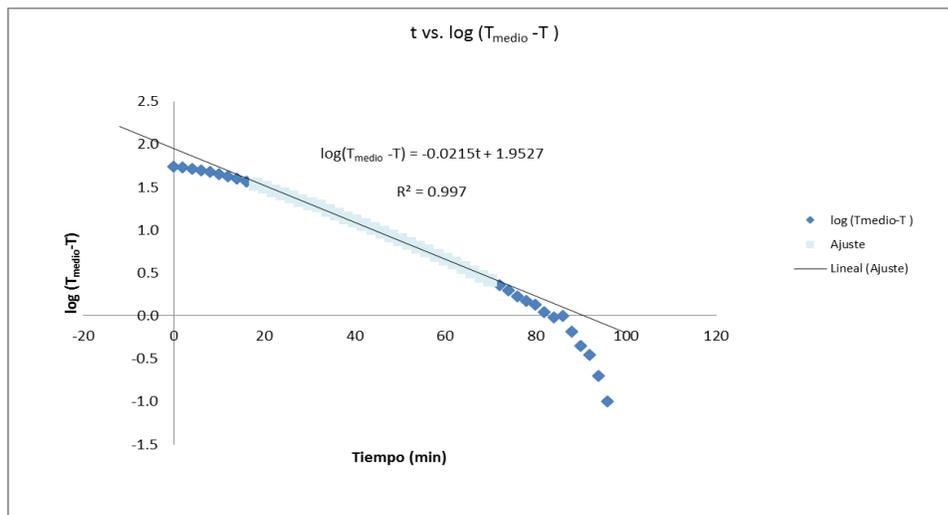
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 238 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0046 min, y un valor de cocción de 25.06768 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.5 de la página 157, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 426 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.9, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

## GRÁFICA 5.9

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°1 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

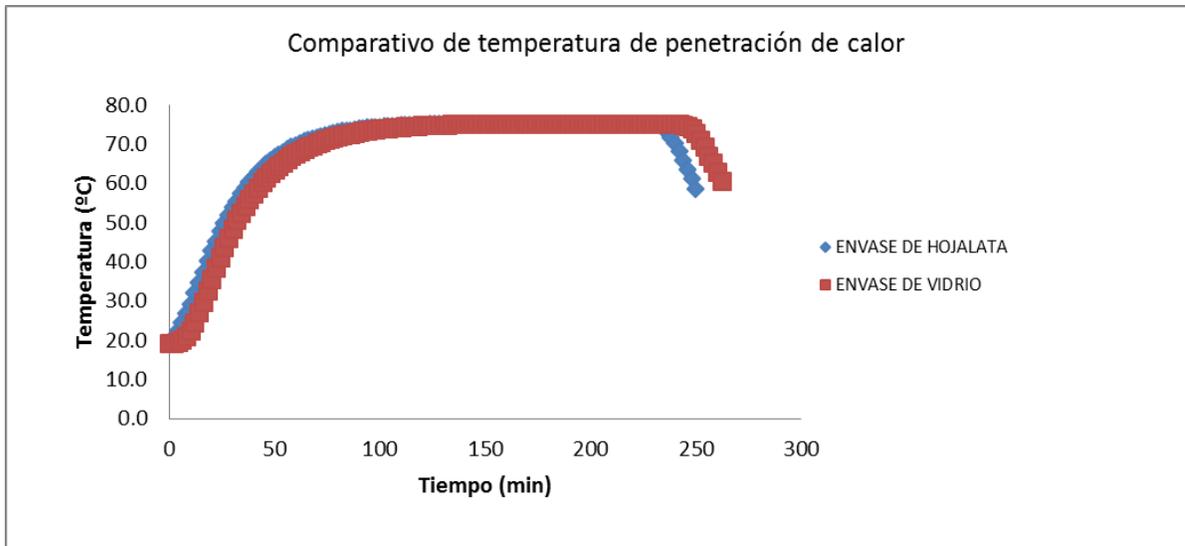
De la gráfica 5.9, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 45.45 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.82, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 40.782 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 3.01x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.10, 5.11 y 5.12, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.10

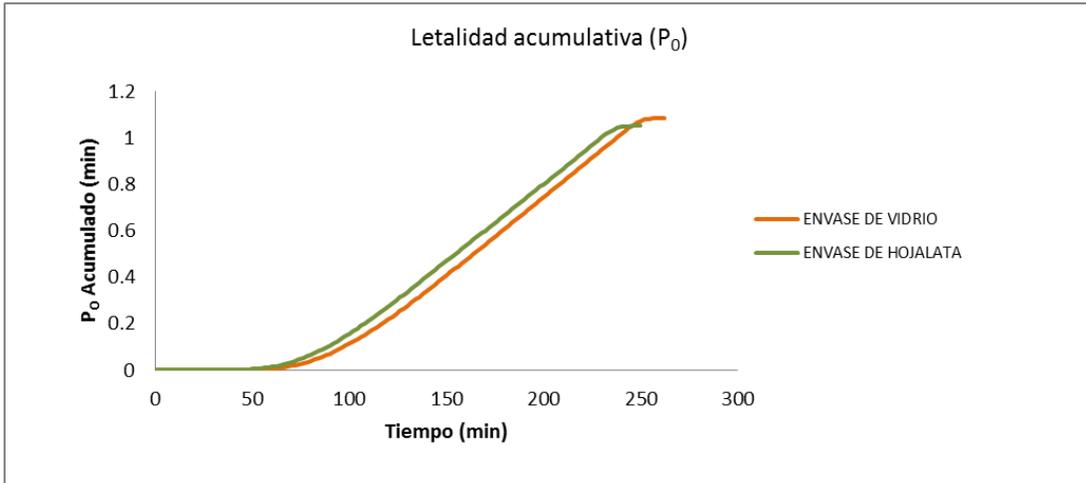
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS ENVASES DE HOJALATA Y VIDRIO, EN LA EXPERIENCIA N°1



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.11

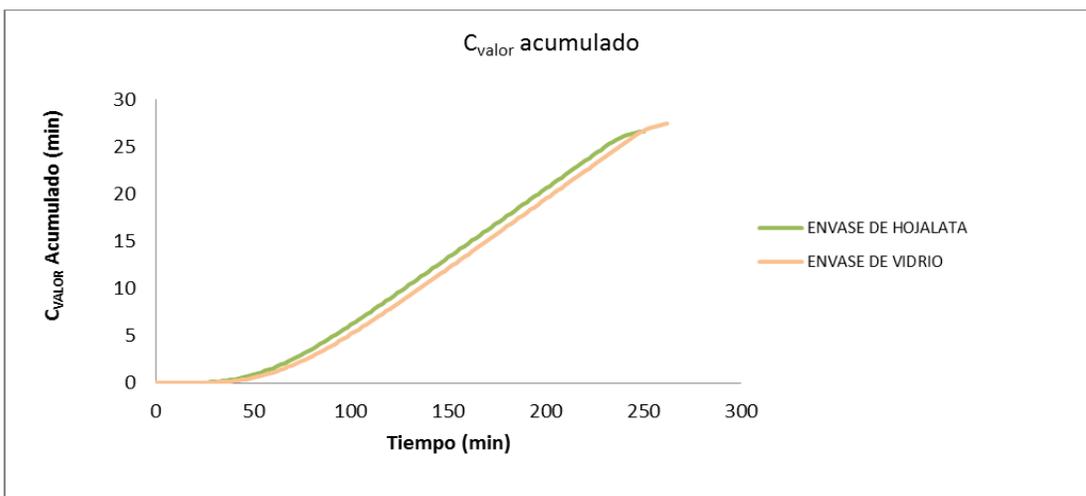
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA N°1



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.12

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA N°1



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### 5.2.2. Análisis de la experiencia N°2 ( $X_1= 74.4^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 21.53\%$ ).

En esta experiencia se trabaja a una temperatura de pasteurizado de  $74.4^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de  $21.53\%$ .

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.6.

TABLA 5.6  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA N°2 EN  
ENVASE DE HOJALATA

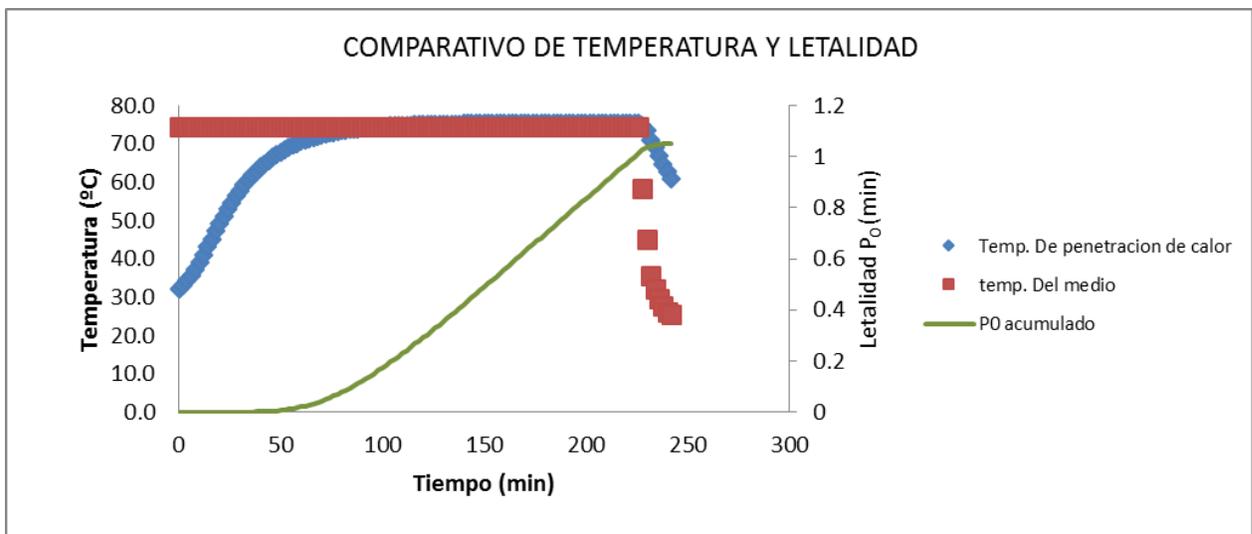
<b>Peso neto de producto (g)</b>	429.35
<b>Peso del envase (g)</b>	80.37
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.13, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.13

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°2 EN ENVASE DE HOJALATA

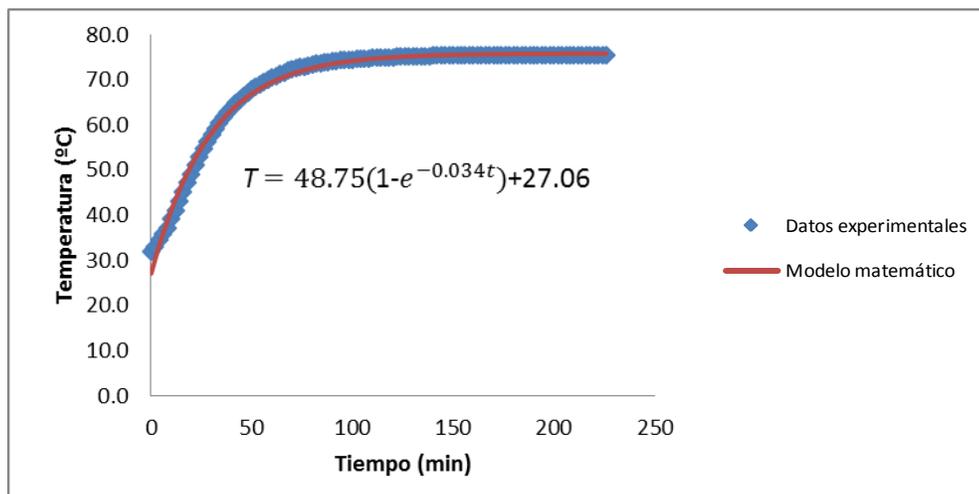


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.14.

GRÁFICA 5.14

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA N°2



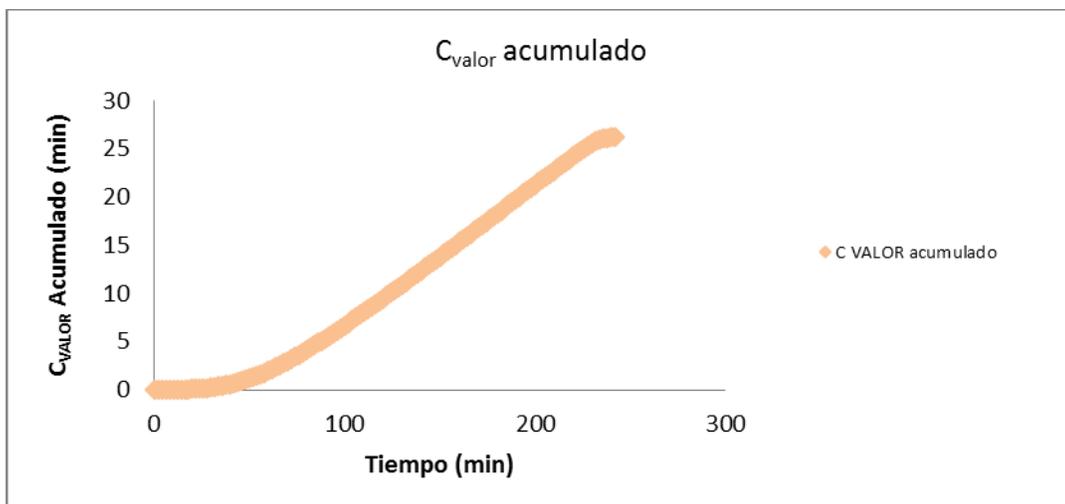
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.15.

GRÁFICA 5.15

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA N°2 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

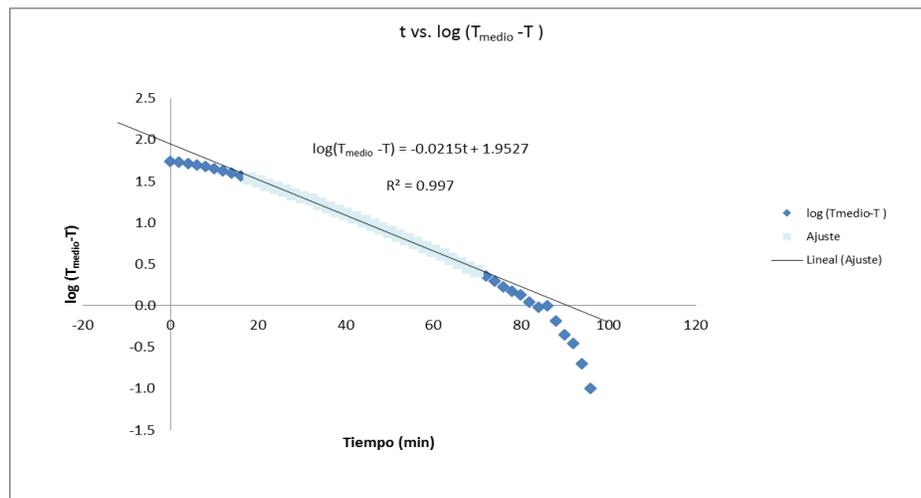
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 226 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0132 min, y un valor de cocción de 25.0551 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.6 de la página 165, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 429.35 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.16, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

## GRÁFICA 5.16

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°2 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.16, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 40.32 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 2.28, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 48.695 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de  $2.97 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.7.

TABLA 5.7  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°2 EN  
ENVASE DE VIDRIO

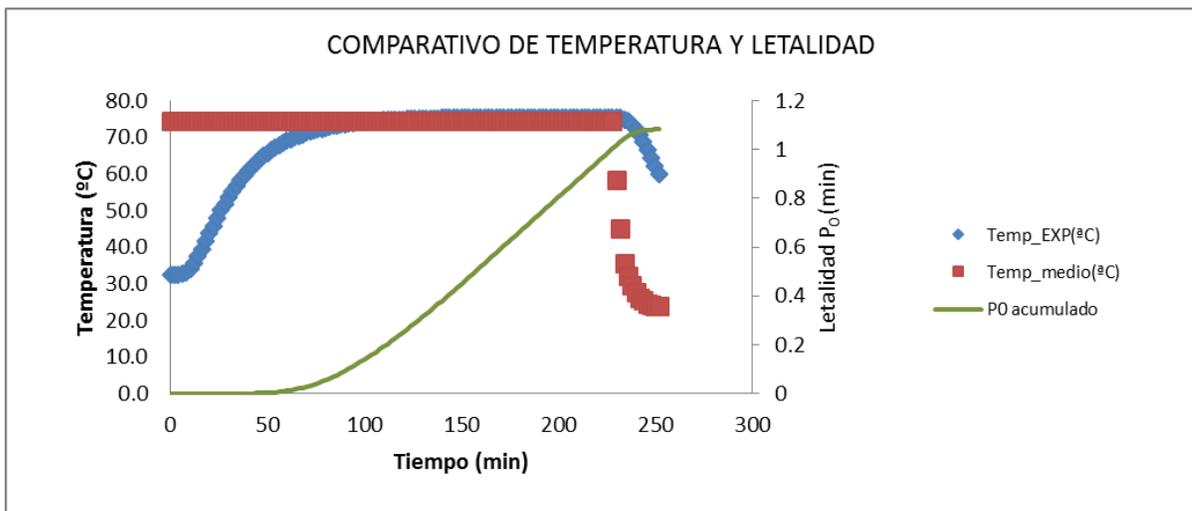
<b>Peso neto de producto (g)</b>	435.94
<b>Peso del envase (g)</b>	260.47
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.17, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.17

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_{O_2}$ , EN LA EXPERIENCIA N°2 EN ENVASE DE VIDRIO

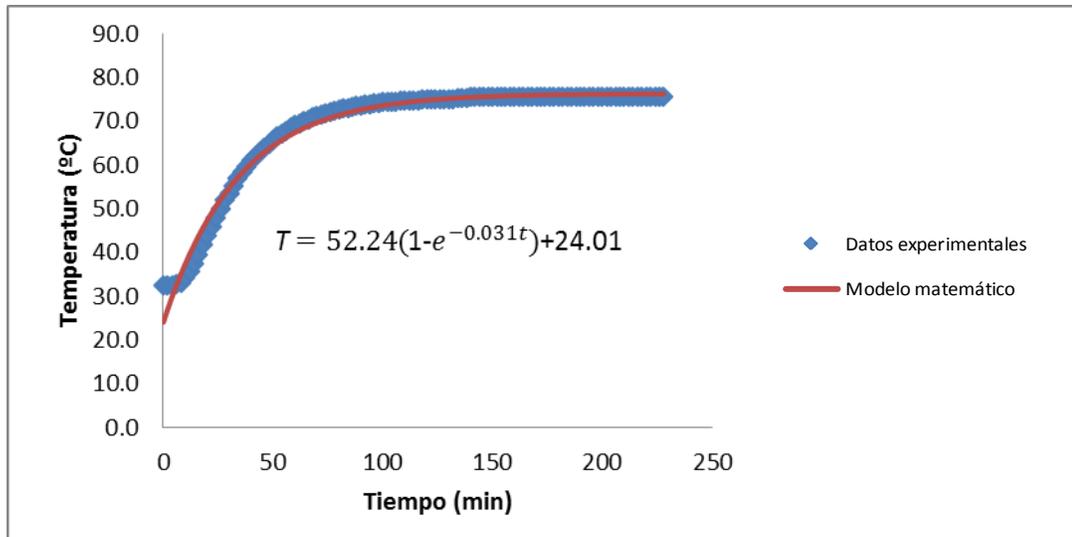


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.18.

GRÁFICA 5.18

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA N°2



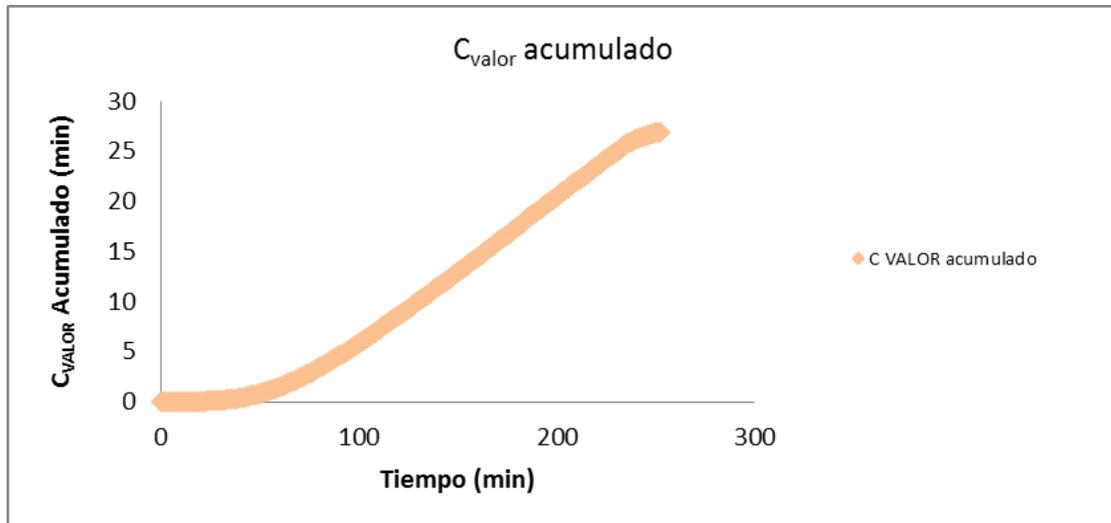
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.19.

GRÁFICA 5.19

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA N°2 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

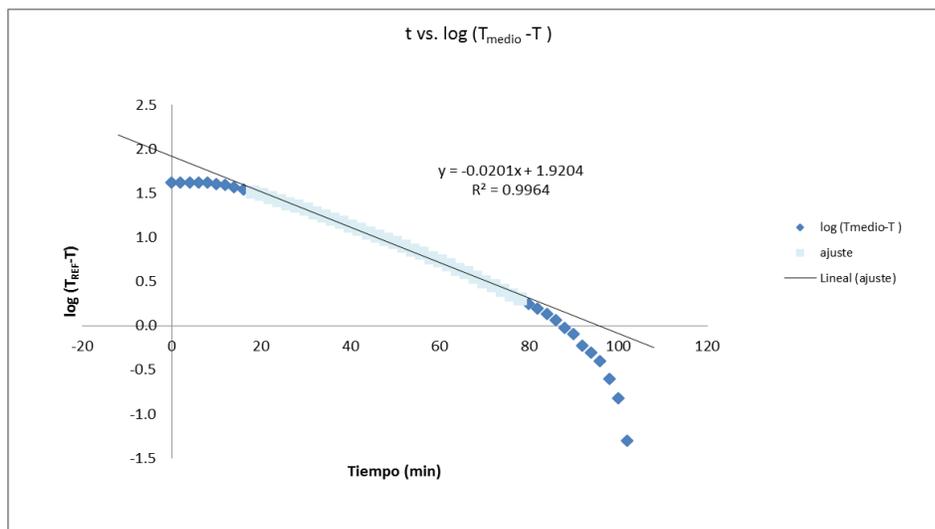
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 228 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0029 min, y un valor de cocción de 24.6245 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.7 de la página 171, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 435.94 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.20, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.20

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}} - T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°2 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.20, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 43.86 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.99, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante

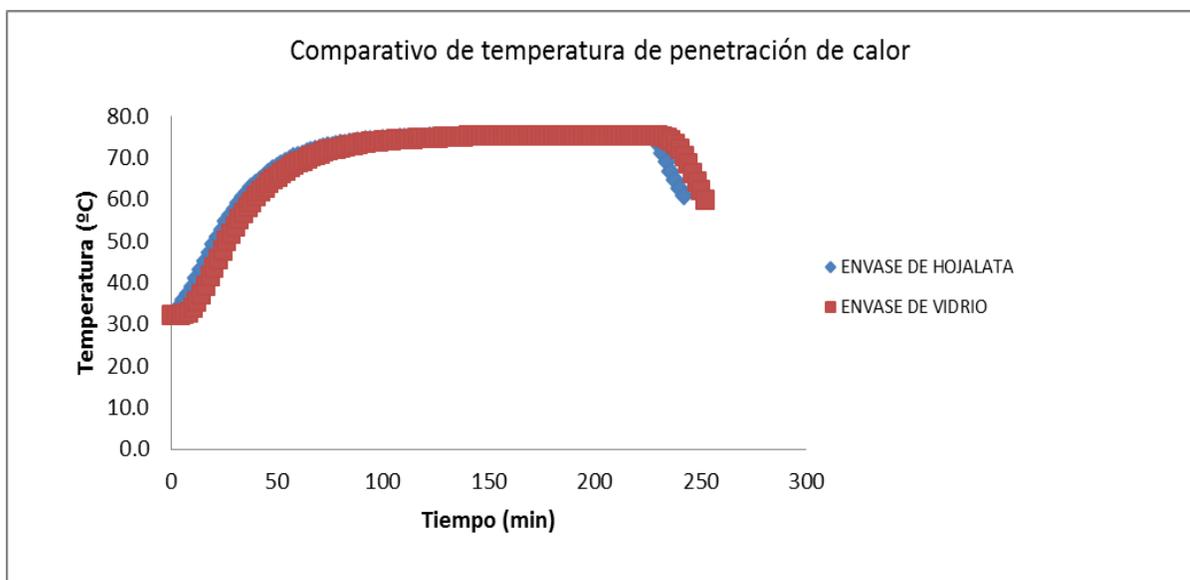
universal de transferencia de calor (U), que resulta  $42.552 \text{ W/m}^2\text{K}$  y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de  $3.09 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.21, 5.22 y 5.23, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.21

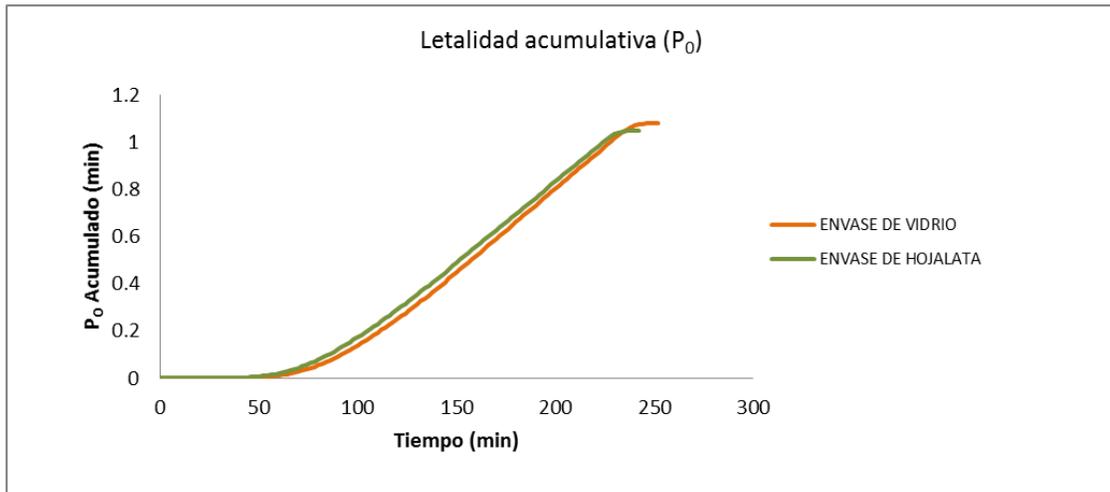
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS ENVASES DE HOJALATA Y VIDRIO, EN LA EXPERIENCIA N°2



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.22

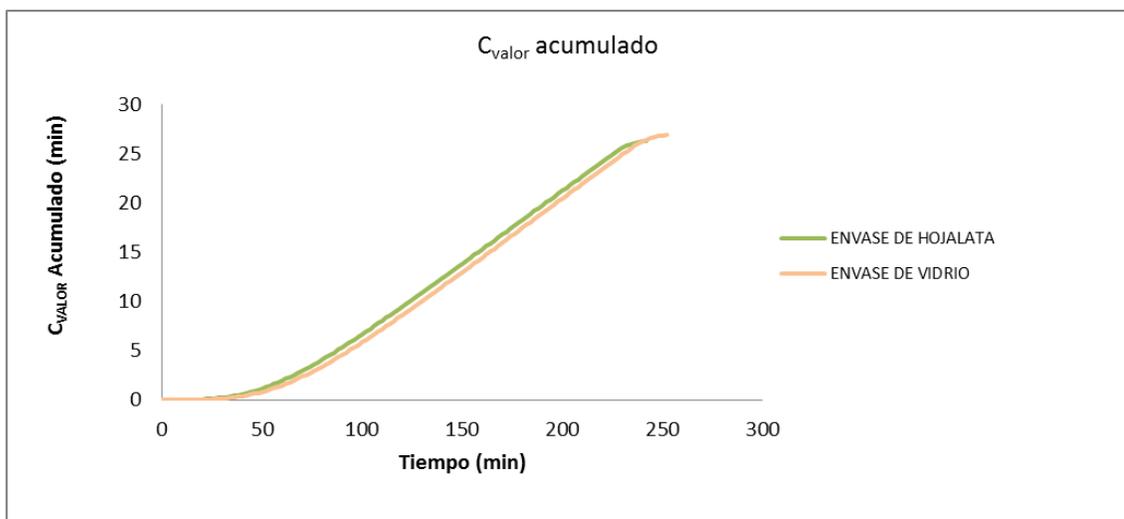
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA N°2



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.23

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA N°2



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### 5.2.3. Análisis de la experiencia N°3 ( $X_1= 95.6^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 9.47\%$ ).

En esta experiencia se trabaja a una temperatura de pasteurizado de  $95.6^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de 9.47%.

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.8.

TABLA 5.8  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA N°3 EN  
ENVASE DE HOJALATA

<b>Peso neto de producto (g)</b>	425.9
<b>Peso del envase (g)</b>	80.4
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

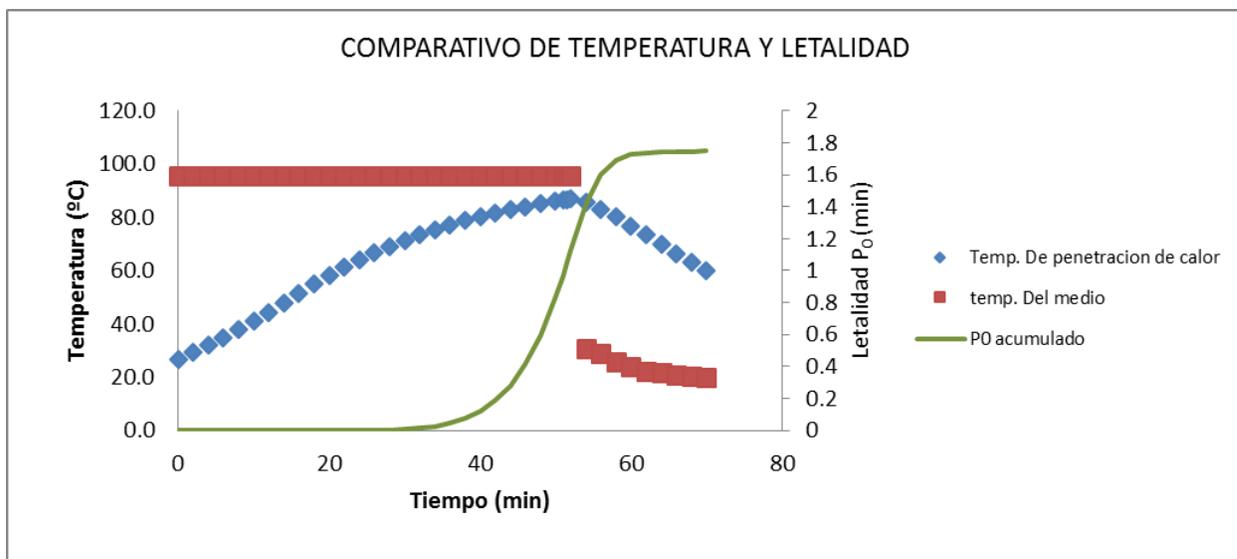
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.24, en donde se detalla la

curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.24

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°3 EN ENVASE DE HOJALATA



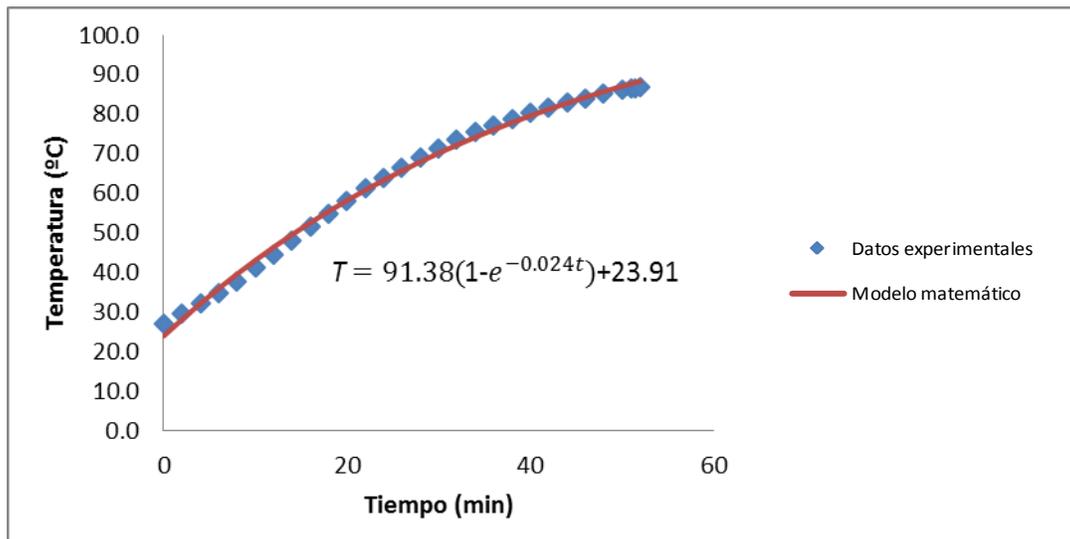
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual

se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.25.

GRÁFICA 5.25

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA N°3



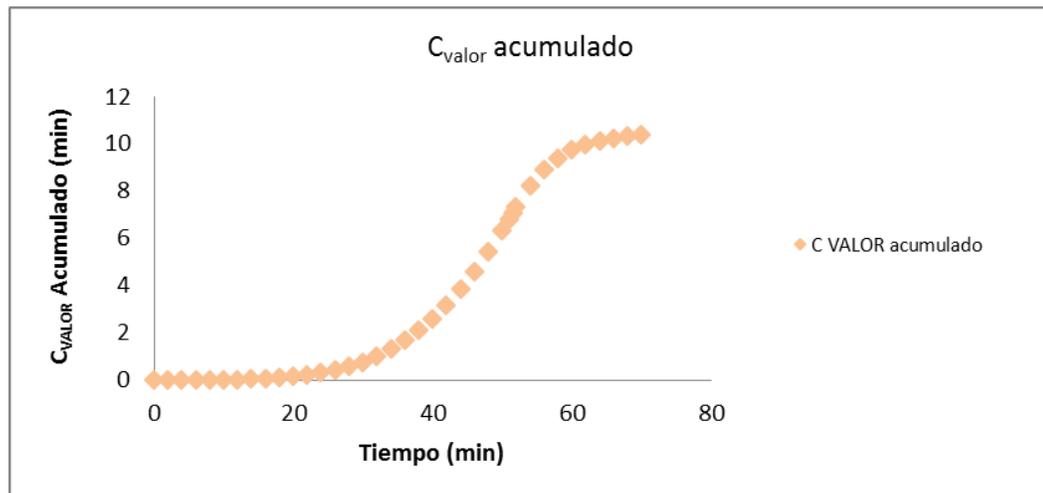
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.26.

GRÁFICA 5.26

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA N°3 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 51.5 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.04895 min, y un valor de cocción de 7.0739 min.

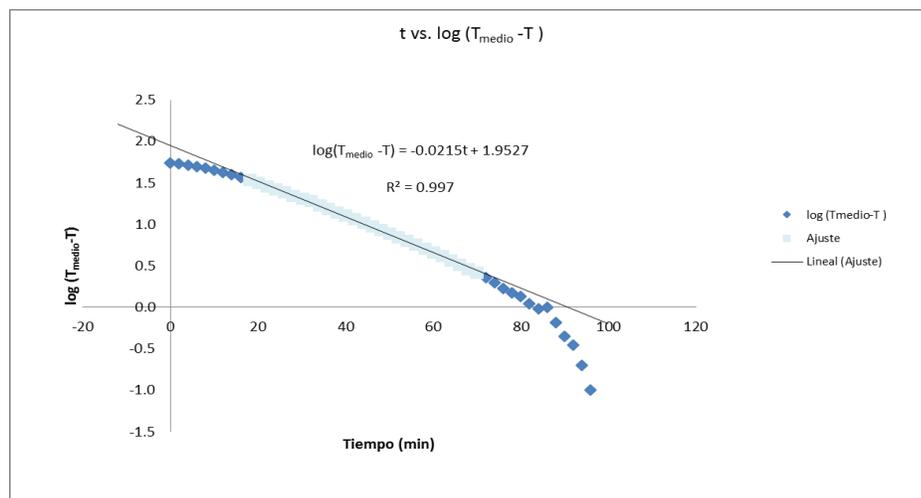
Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.8 de la página 178,

la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 425.9 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.27, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

### GRÁFICA 5.27

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}} - T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°3 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.27, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 55.25 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.35, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 35.254 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.39x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.9.

TABLA 5.9  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°3 EN  
ENVASE DE VIDRIO

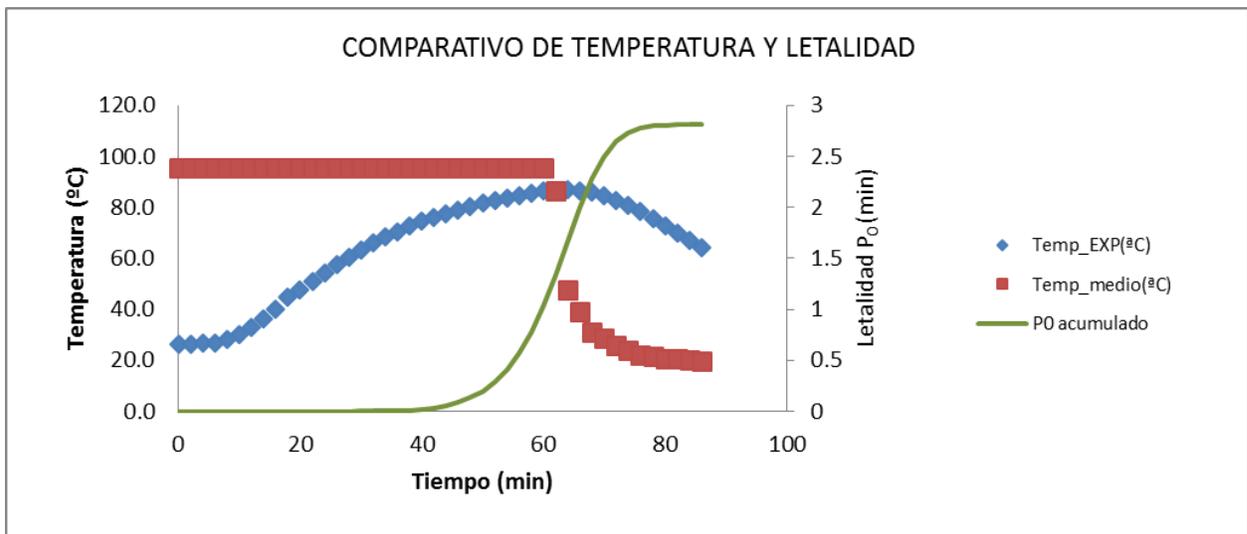
<b>Peso neto de producto (g)</b>	432.74
<b>Peso del envase (g)</b>	260.5
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.28, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.28

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°3 EN ENVASE DE VIDRIO

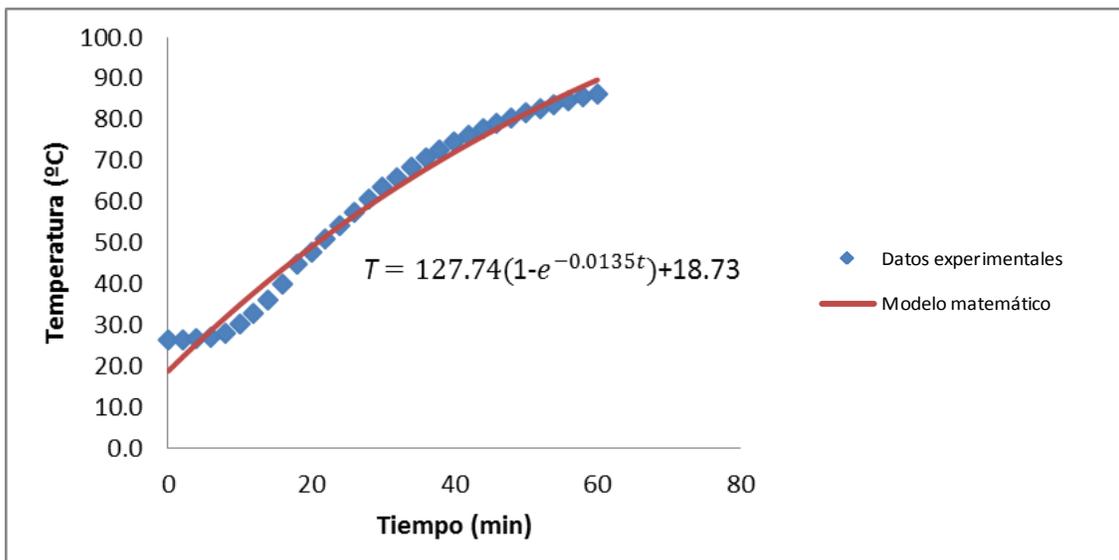


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.29.

GRÁFICA 5.29

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA N°3



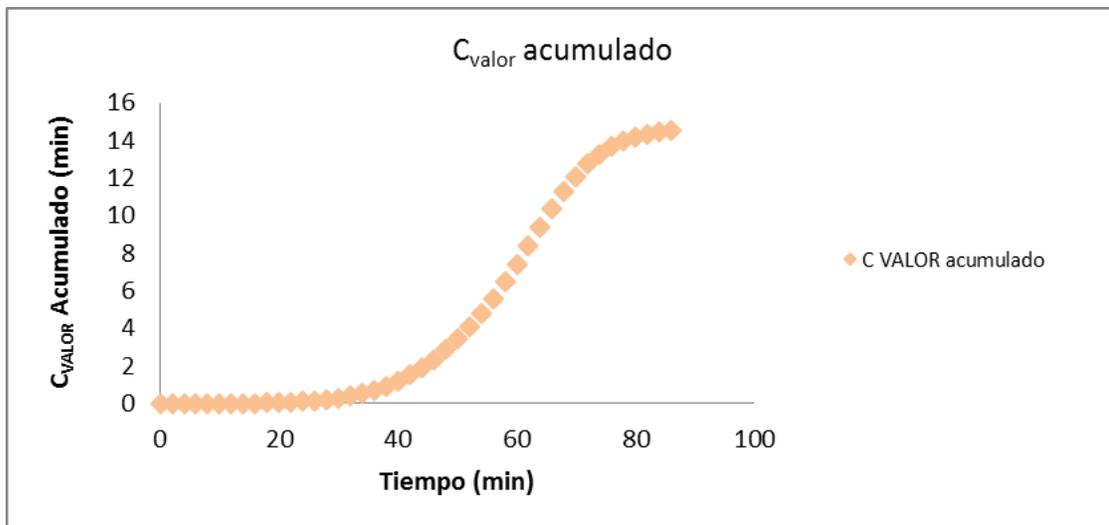
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.30.

GRÁFICA 5.30

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA N°3 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

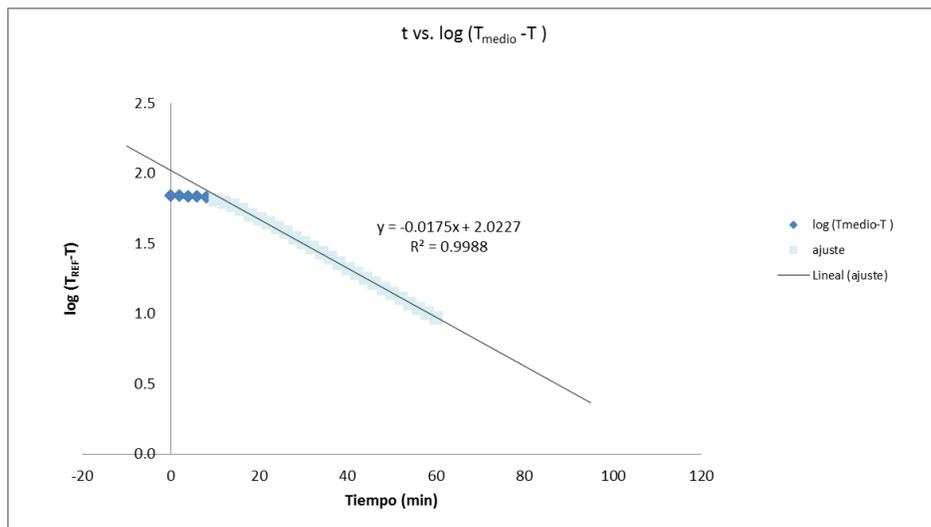
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 60 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0354 min, y un valor de cocción de 7.394 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.9 de la página 183, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 432.74 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.31, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.31

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°3 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

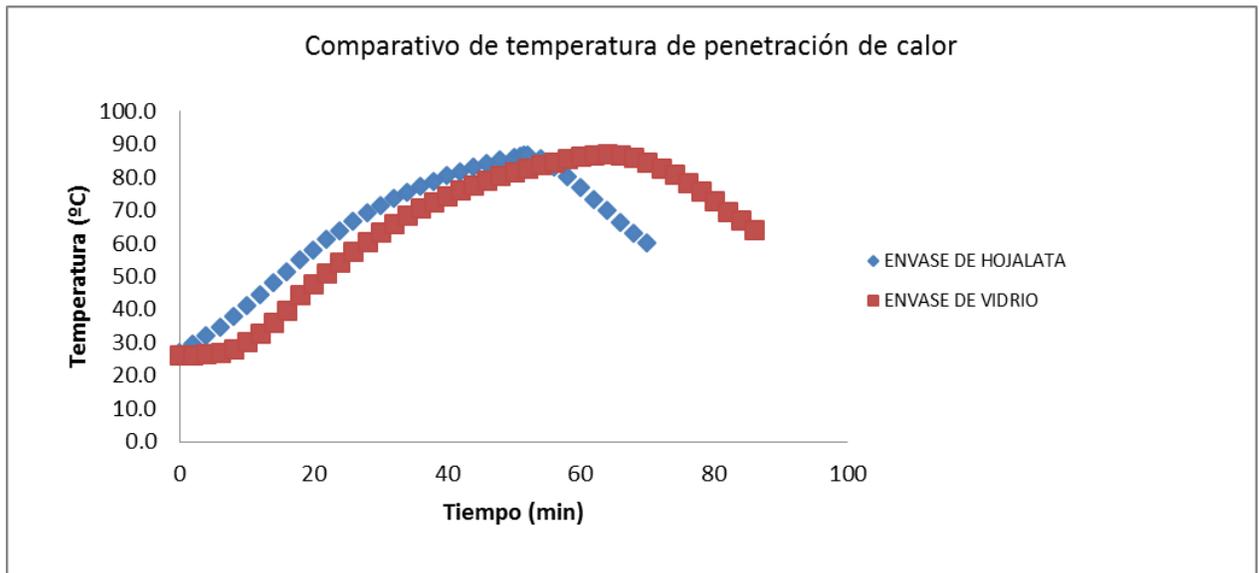
De la gráfica 5.31, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 62.89 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.52, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 29.457 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de  $2.4 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.21, 5.22 y 5.23, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.32

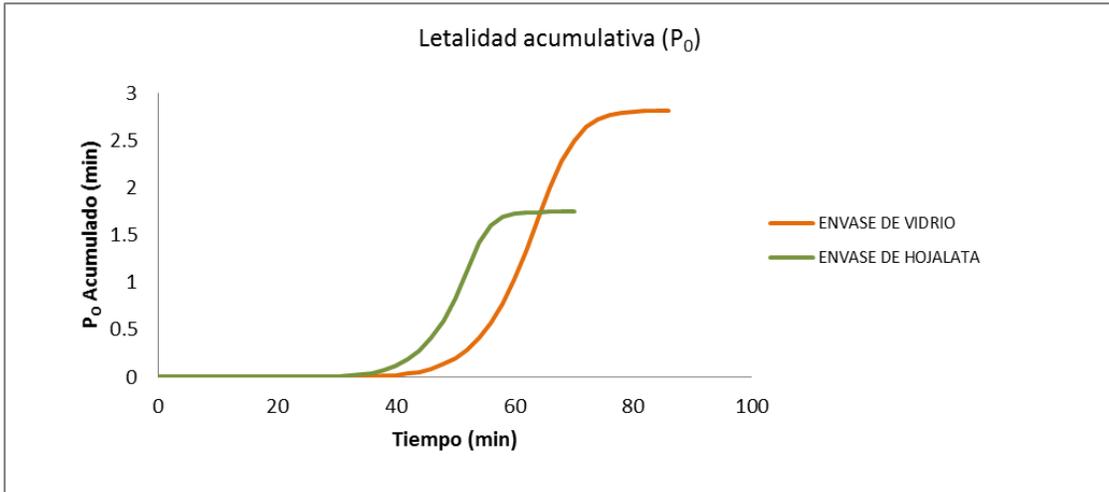
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS  
ENVASES DE HOJALATA Y VIDRIO, EN LA EXPERIENCIA N°3



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.33

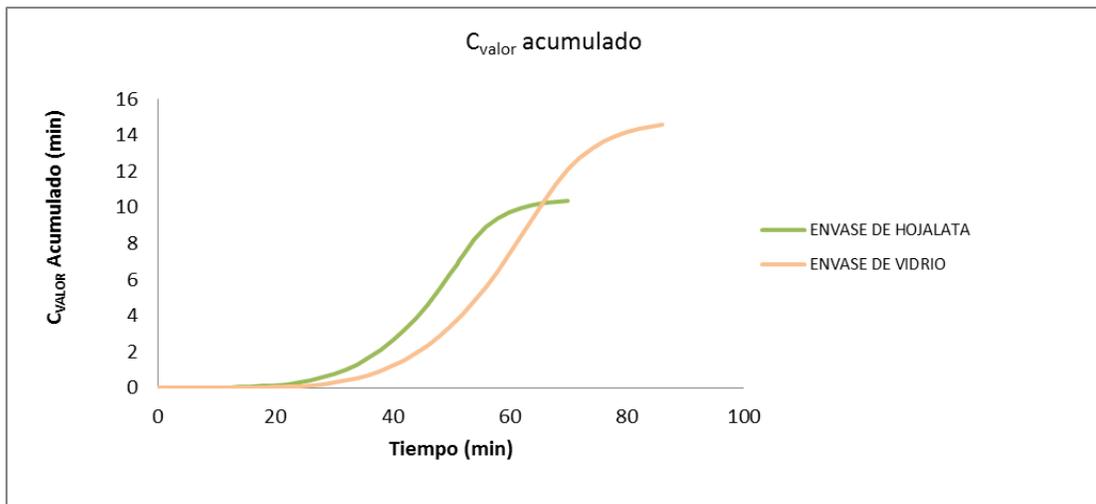
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA N°3



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.34

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA N°3



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

#### 5.2.4. Análisis de la experiencia N°4 ( $X_1= 95.6^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 21.53\%$ ).

En esta experiencia se trabaja a una temperatura de pasteurizado de  $95.6^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de 21.53%.

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.10.

TABLA 5.10  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA N°4 EN  
ENVASE DE HOJALATA

<b>Peso neto de producto (g)</b>	436.79
<b>Peso del envase (g)</b>	79.085
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

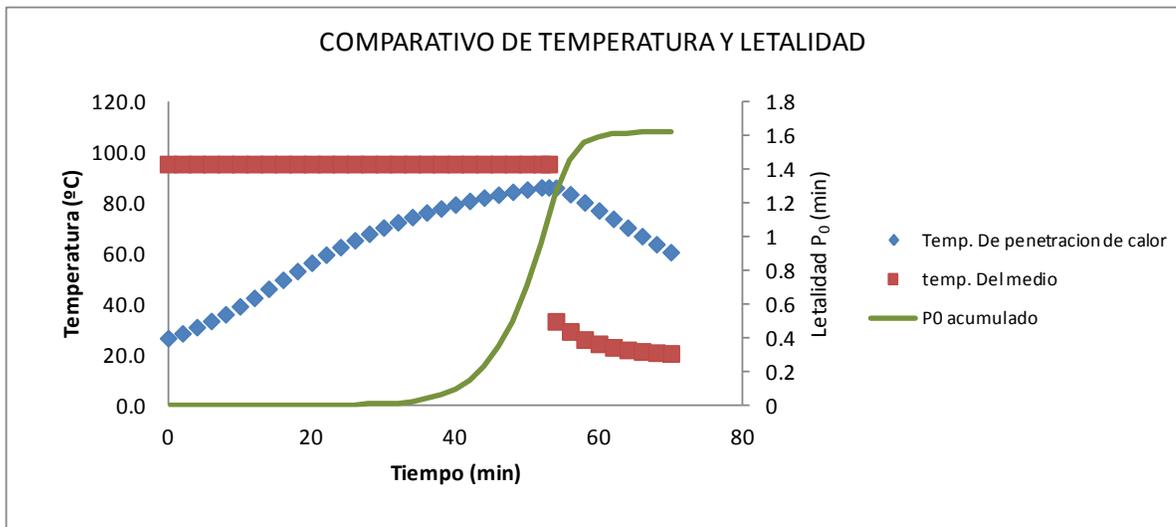
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.35, en donde se detalla la

curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.35

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°4 EN ENVASE DE HOJALATA



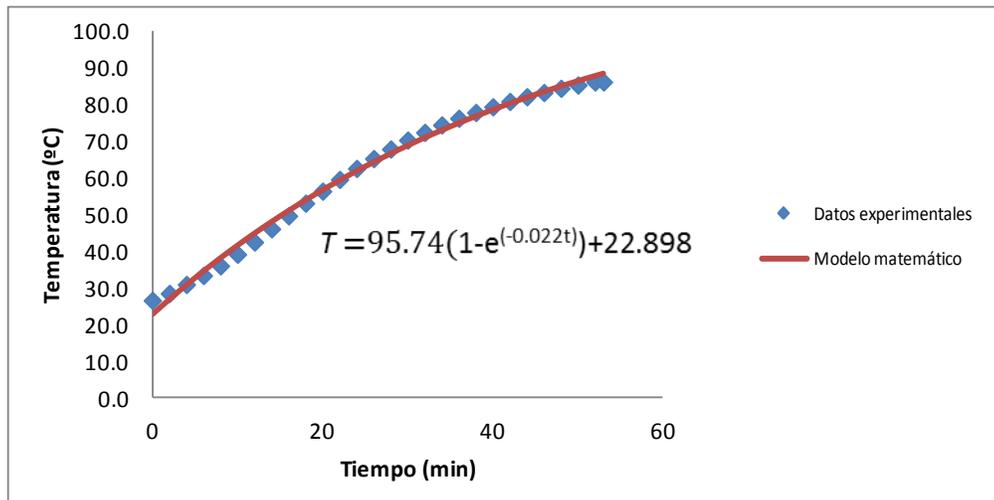
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual

se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.36.

GRÁFICA 5.36

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA N°4



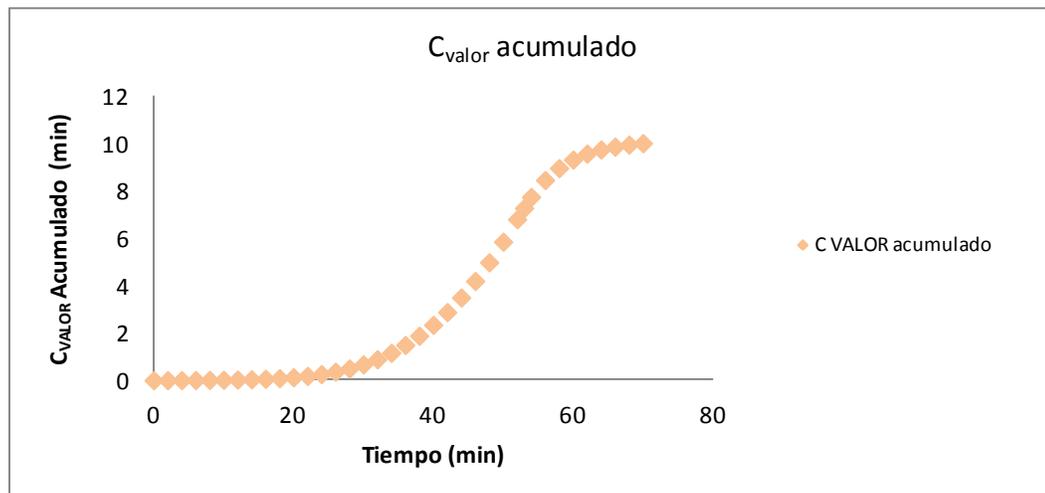
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.37.

GRÁFICA 5.37

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA N°4 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 53 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.10579 min, y un valor de cocción de 7.2967 min.

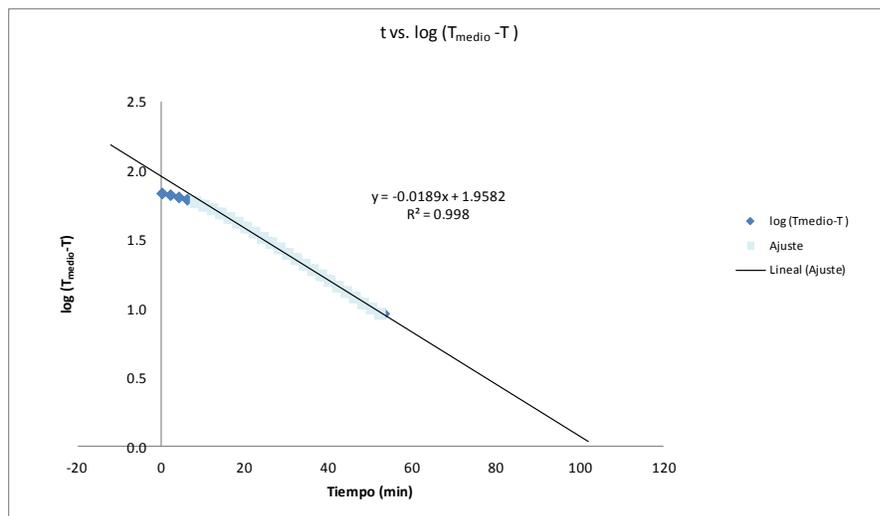
Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.10 de la página 191,

la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 437.79 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.38, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.38

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}} - T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°4 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.38, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 56.50 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.32, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 35.357 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.35x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.11.

TABLA 5.11  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°4 EN  
ENVASE DE VIDRIO

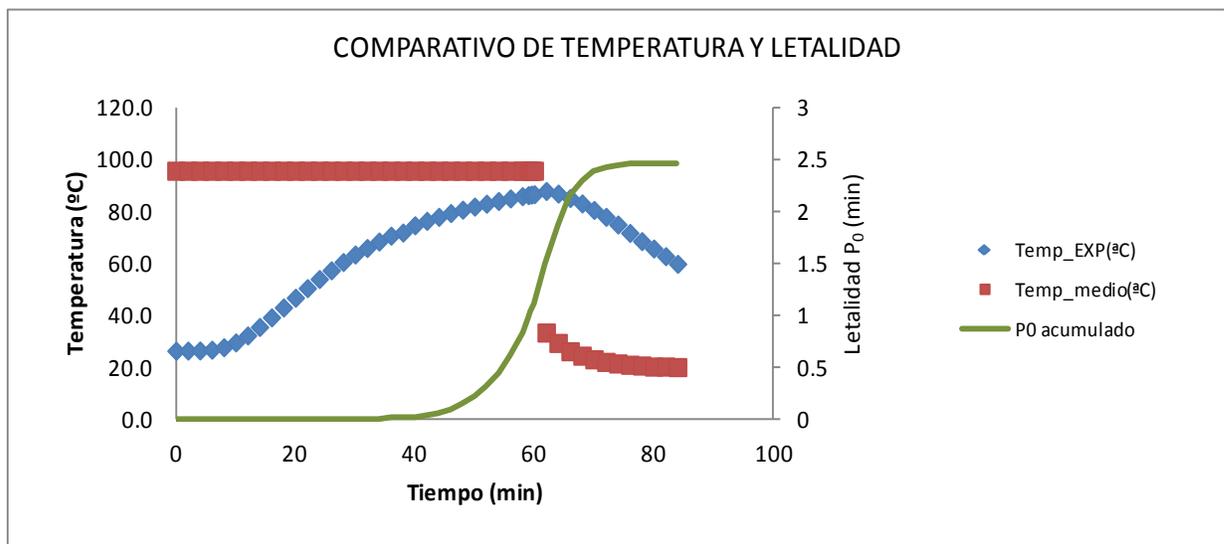
<b>Peso neto de producto (g)</b>	432.33
<b>Peso del envase (g)</b>	260.405
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.39, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.39

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°4 EN ENVASE DE VIDRIO

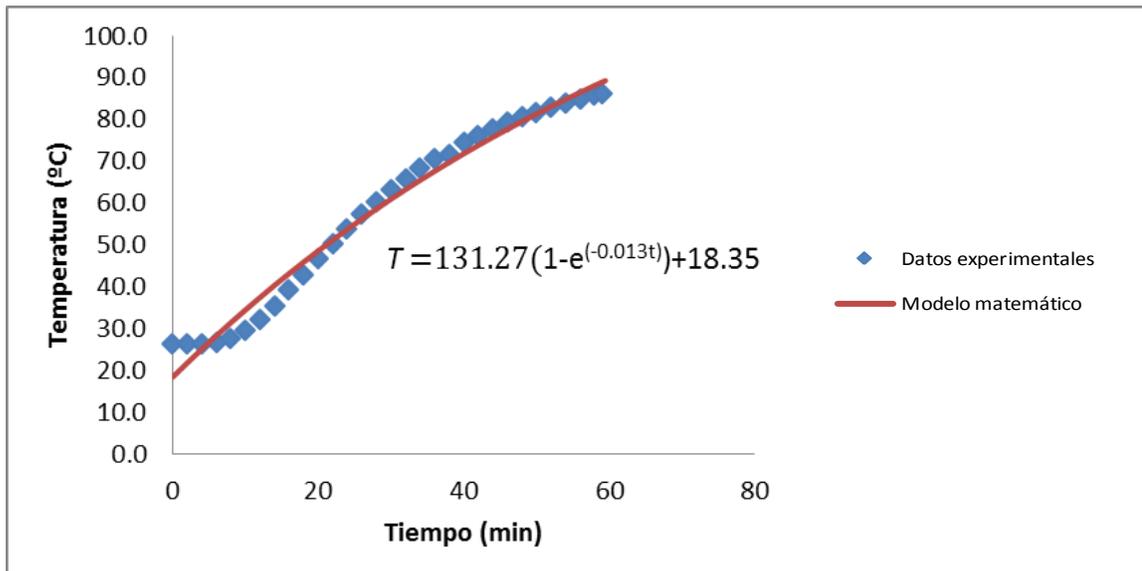


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.40.

GRÁFICA 5.40

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA N°4



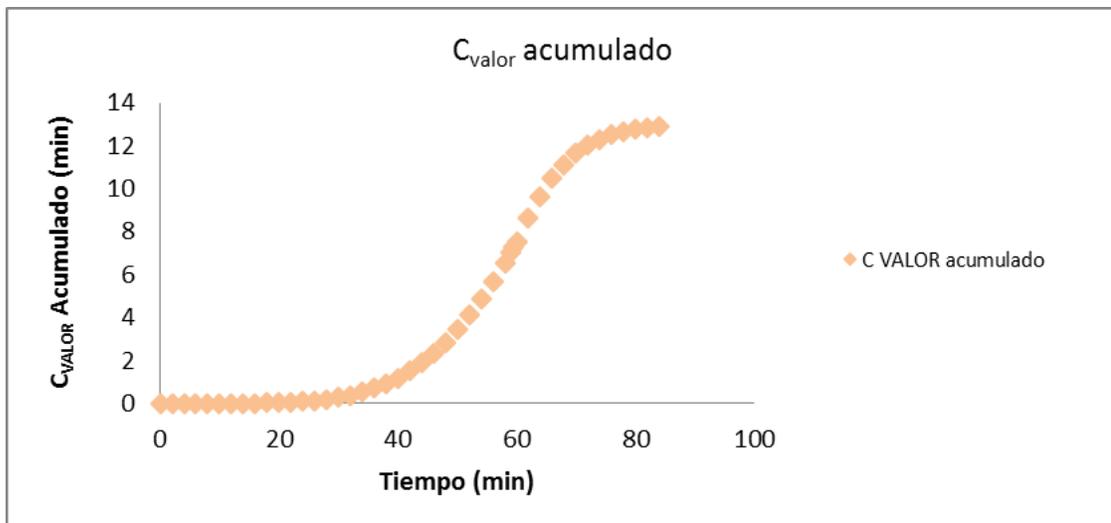
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.41.

GRÁFICA 5.41

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA N°4 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

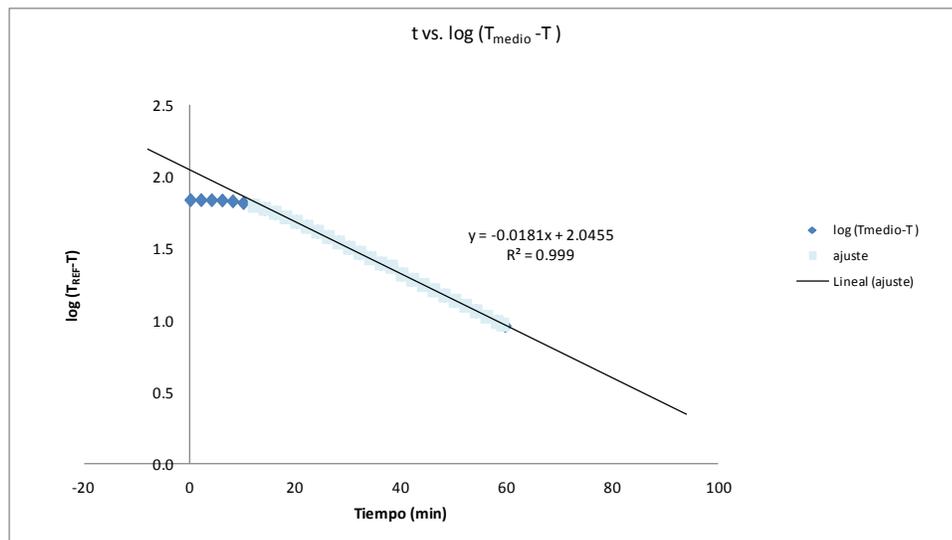
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 59.5 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0388 min, y un valor de cocción de 7.273 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.11 de la página 196, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 432.33 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.42, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.42

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°4 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

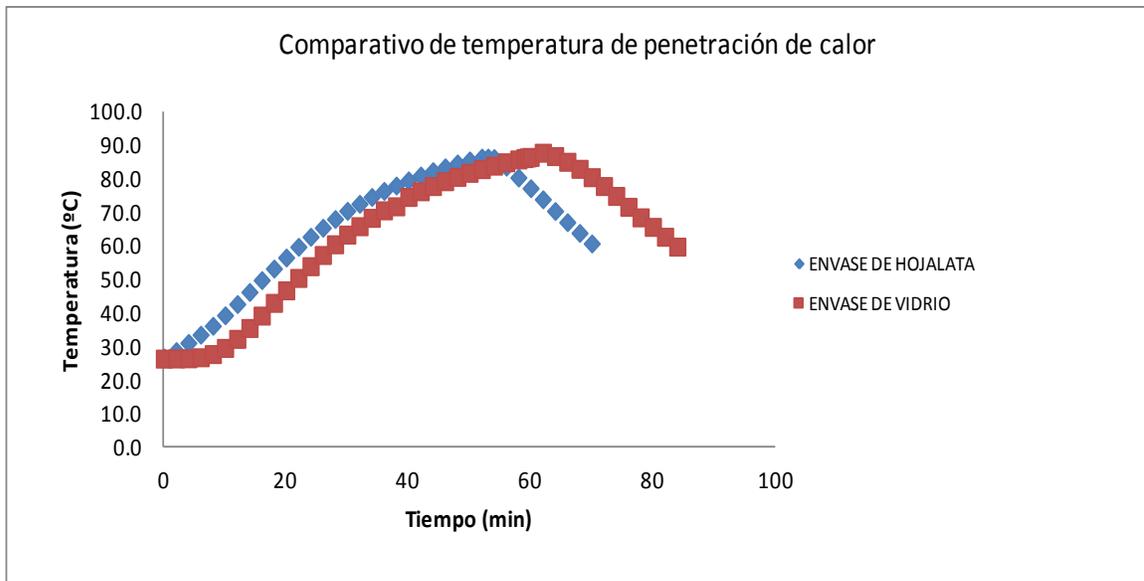
De la gráfica 5.42, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 61.73 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.60, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 29.984 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.43x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.43, 5.44 y 5.45, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.43

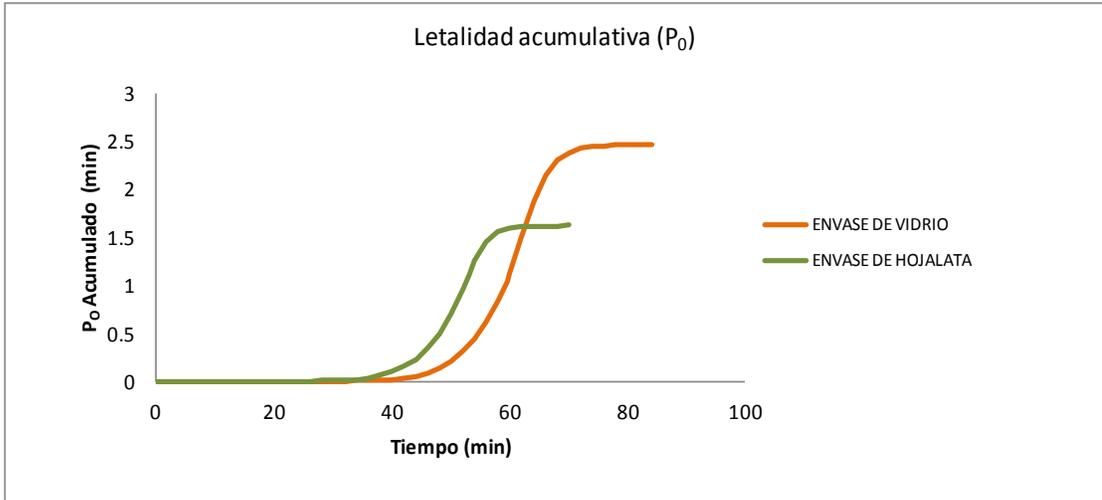
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS ENVASES DE HOJALATA Y VIDRIO, EN LA EXPERIENCIA N°4



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.44

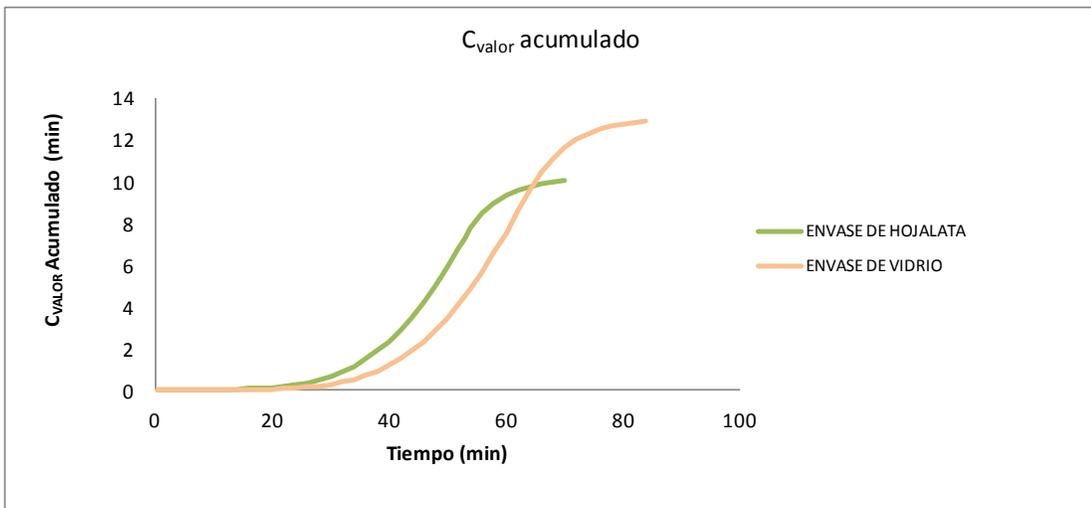
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA N°4



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.45

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA N°4



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### 5.2.5. Análisis de la experiencia N°5 ( $X_1= 85^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 15.5\%$ ).

En esta experiencia se trabaja a una temperatura de pasteurizado de  $85^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de 15.5%.

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.12.

TABLA 5.12  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA N°5 EN  
ENVASE DE HOJALATA

<b>Peso neto de producto (g)</b>	433.97
<b>Peso del envase (g)</b>	79.82
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

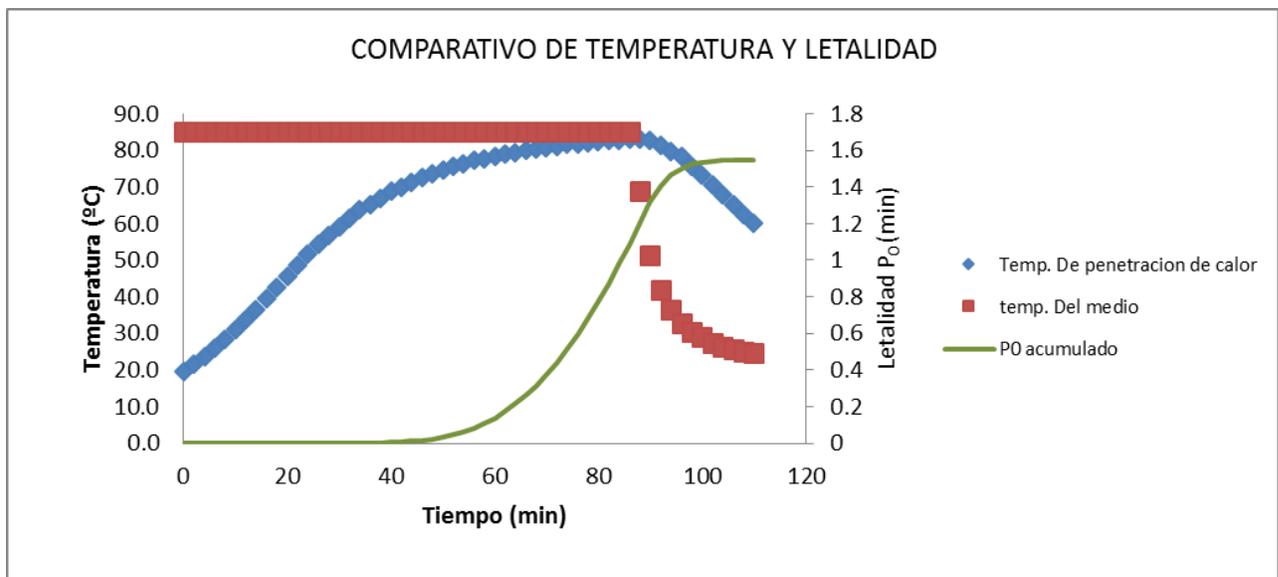
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.46, en donde se detalla la

curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.46

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°5 EN ENVASE DE HOJALATA



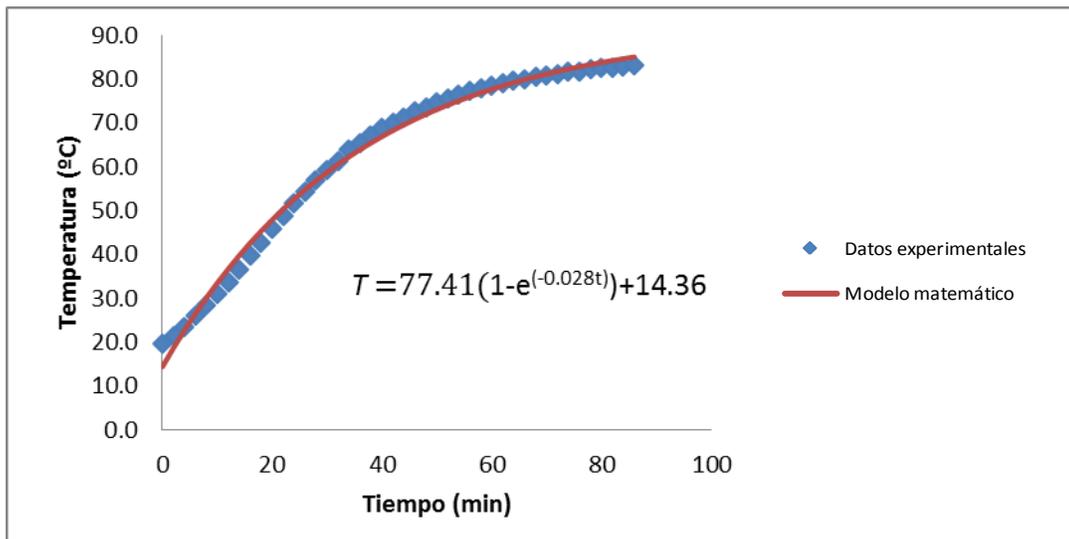
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual

se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.47.

GRÁFICA 5.47

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA N°5



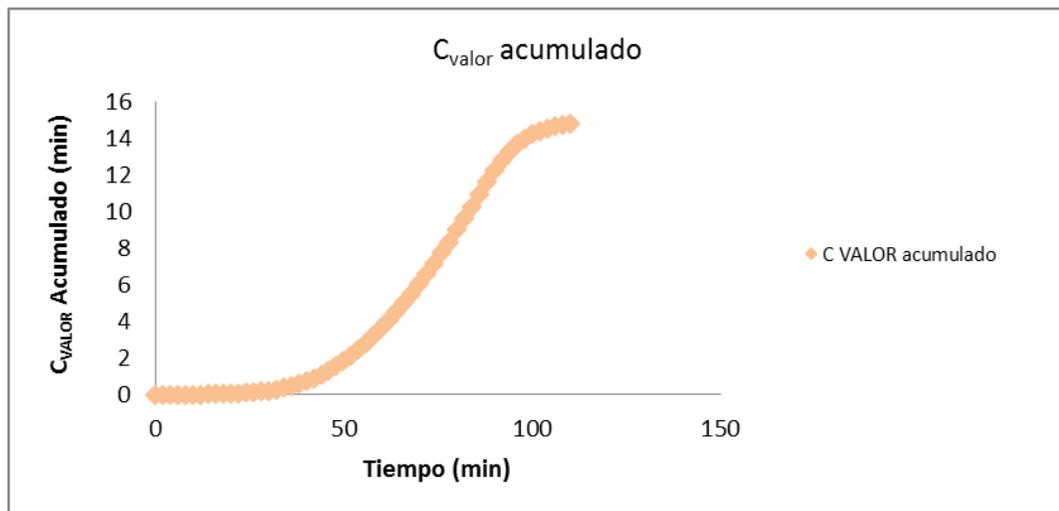
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.48.

GRÁFICA 5.48

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA N°5 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 86 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.09099 min, y un valor de cocción de 10.9301 min.

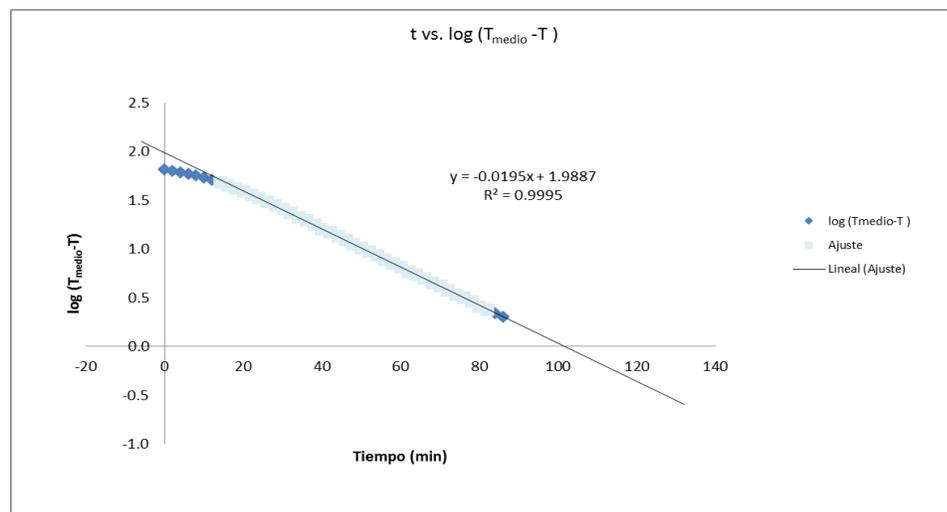
Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.12 de la página 204,

la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 433.97 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.49, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.49

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}} - T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°5 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.49, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 53.76 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.49, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 36.914 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.44x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.13.

TABLA 5.13  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°5 EN  
ENVASE DE VIDRIO

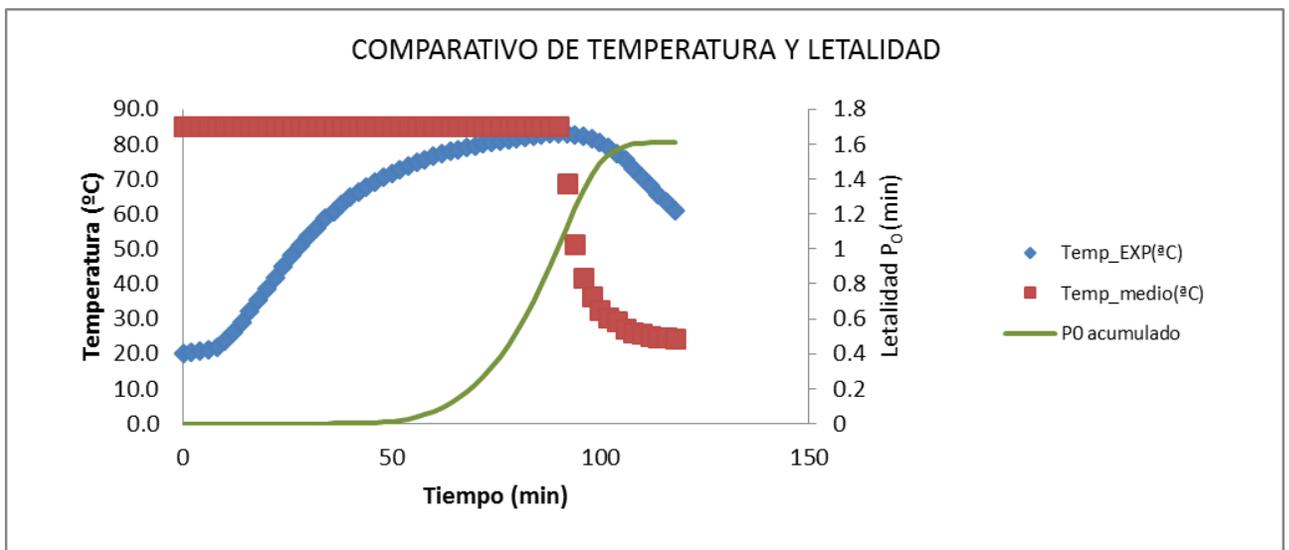
<b>Peso neto de producto (g)</b>	439.32
<b>Peso del envase (g)</b>	259.98
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.50, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.50

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°5 EN ENVASE DE VIDRIO

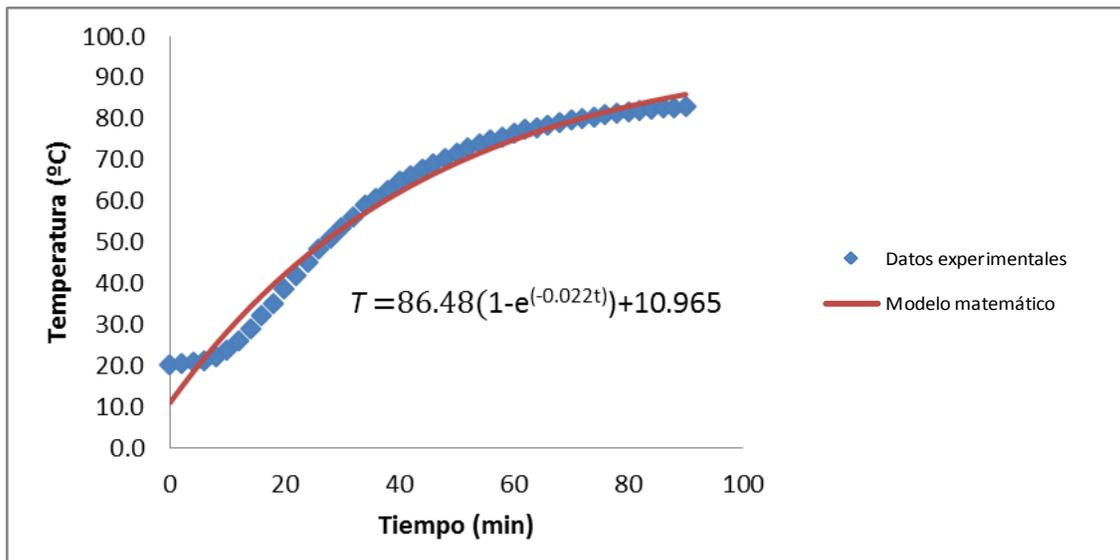


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.51.

GRÁFICA 5.51

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA N°5



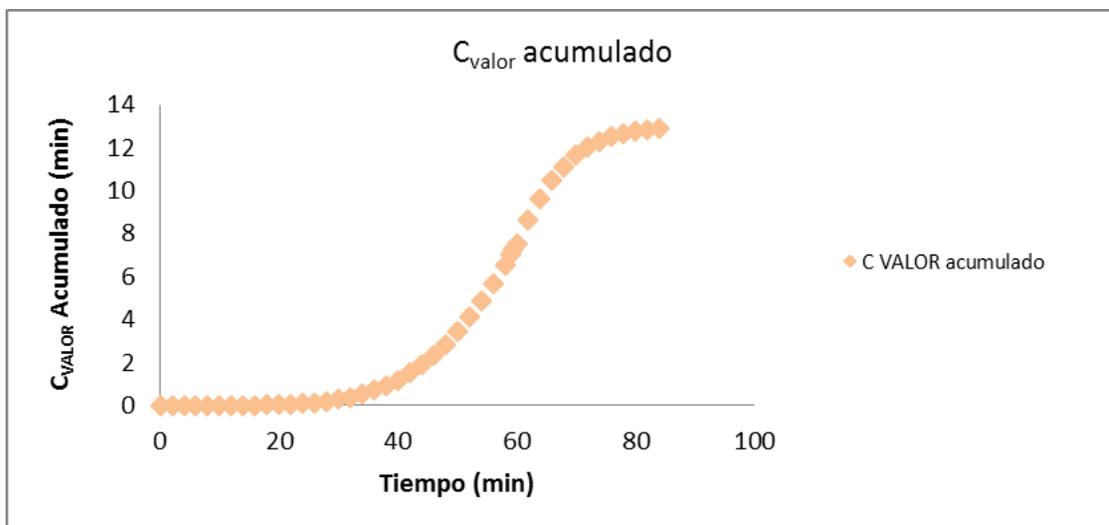
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.52.

GRÁFICA 5.52

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA N°5 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

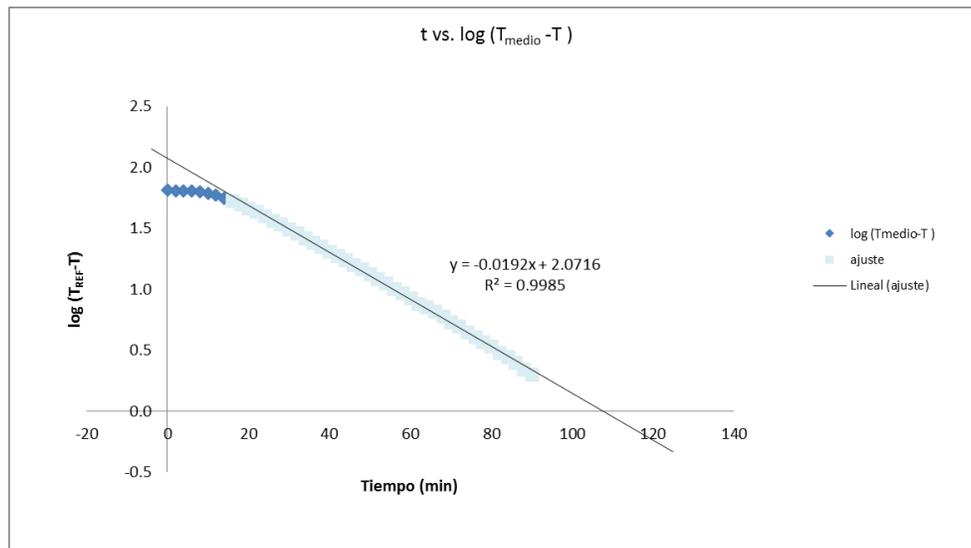
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 90 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.00953 min, y un valor de cocción de 10.475 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.13 de la página 209, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 439.32 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.53, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.53

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°5 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

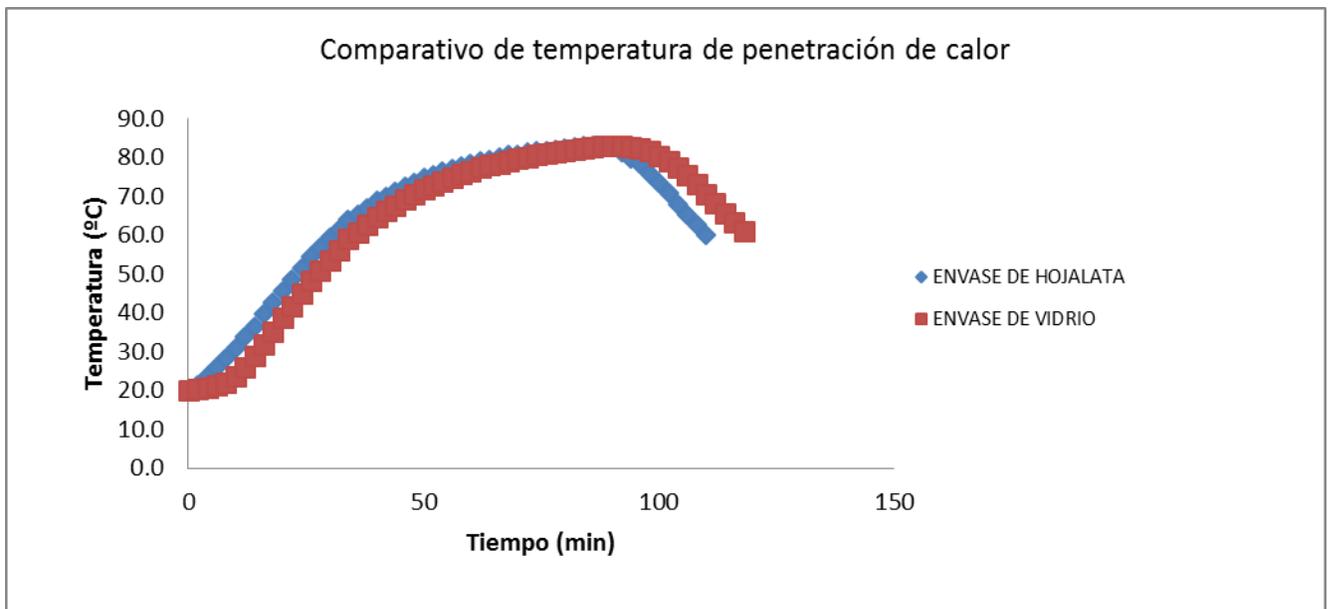
De la gráfica 5.53, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 56.18 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.82, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 33.48 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.61x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.54, 5.55 y 5.56, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.54

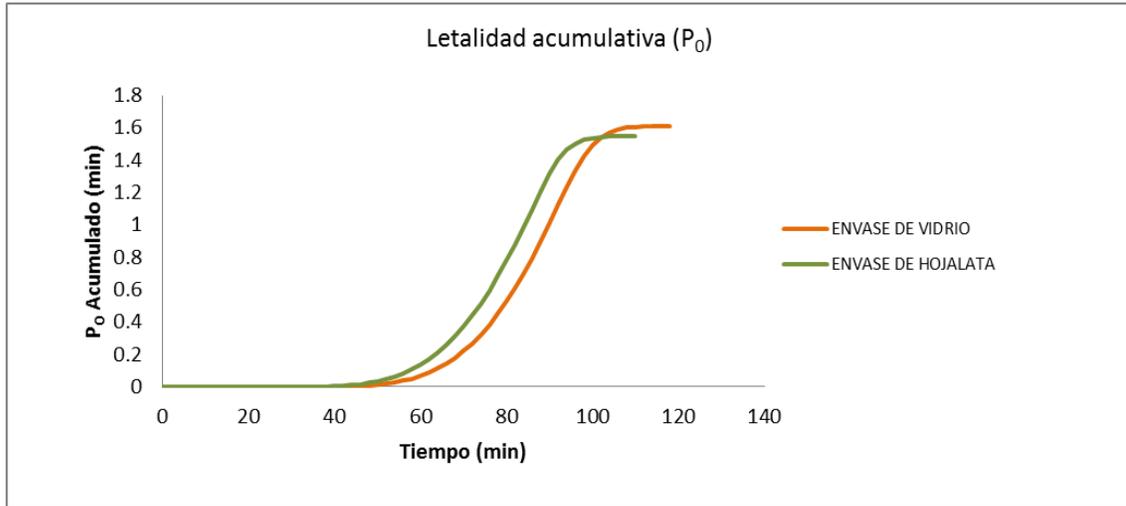
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS ENVASES DE HOJALATA Y VIDRIO, EN LA EXPERIENCIA N°5



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.55

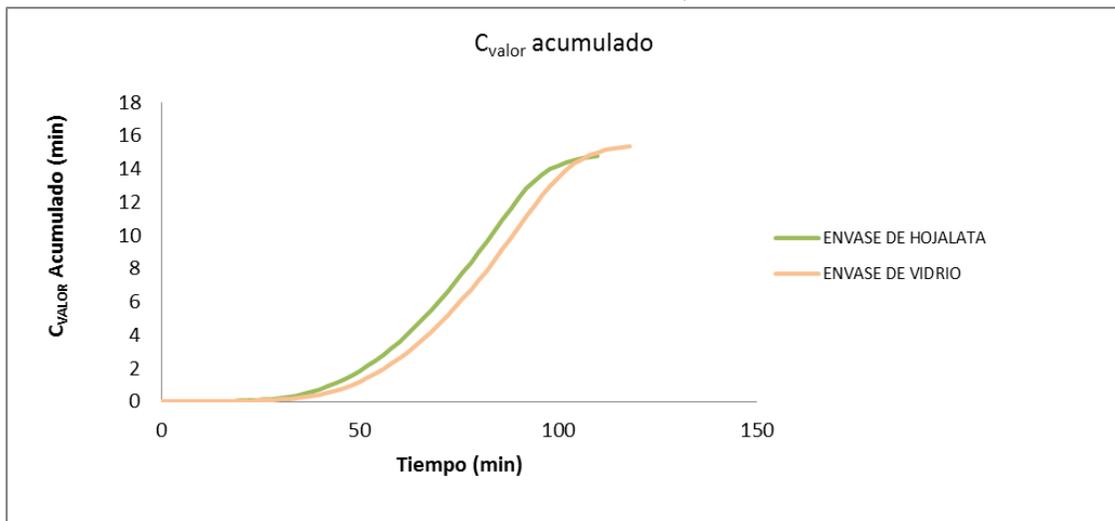
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA N°5



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.56

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA N°5



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### 5.2.6. Análisis de la experiencia N°6 ( $X_1= 85^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 15.5\%$ ).

En esta experiencia se trabaja a una temperatura de pasteurizado de  $85^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de 15.5%.

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.14.

TABLA 5.14  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA N°6 EN  
ENVASE DE HOJALATA

<b>Peso neto de producto (g)</b>	433.97
<b>Peso del envase (g)</b>	79.82
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

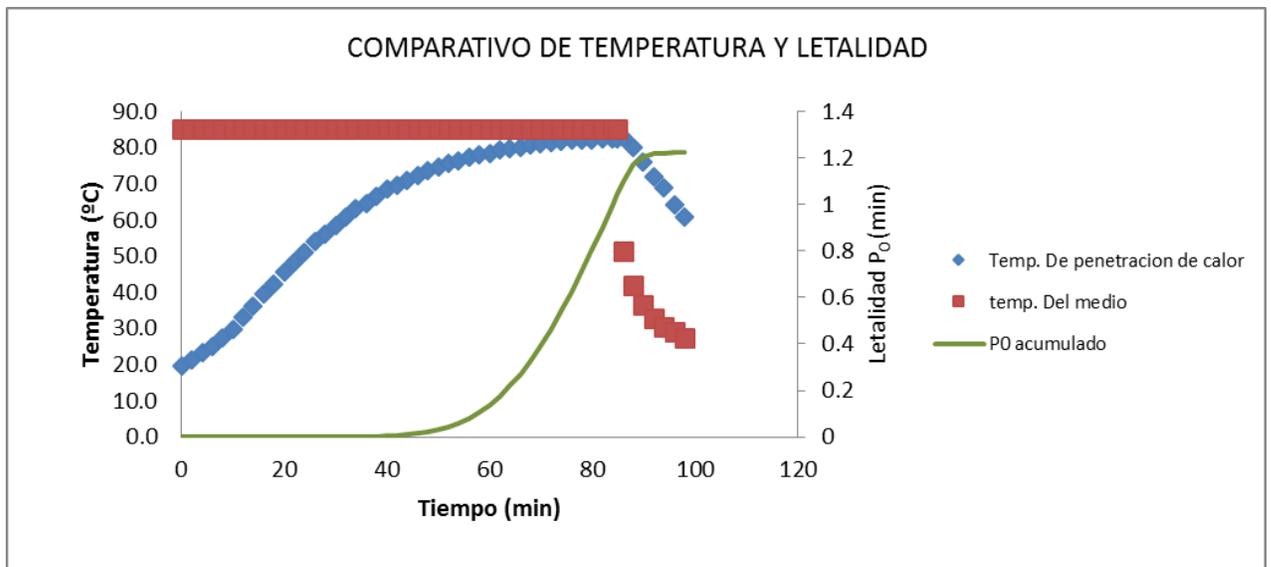
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.57, en donde se detalla la

curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.57

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°6 EN ENVASE DE HOJALATA



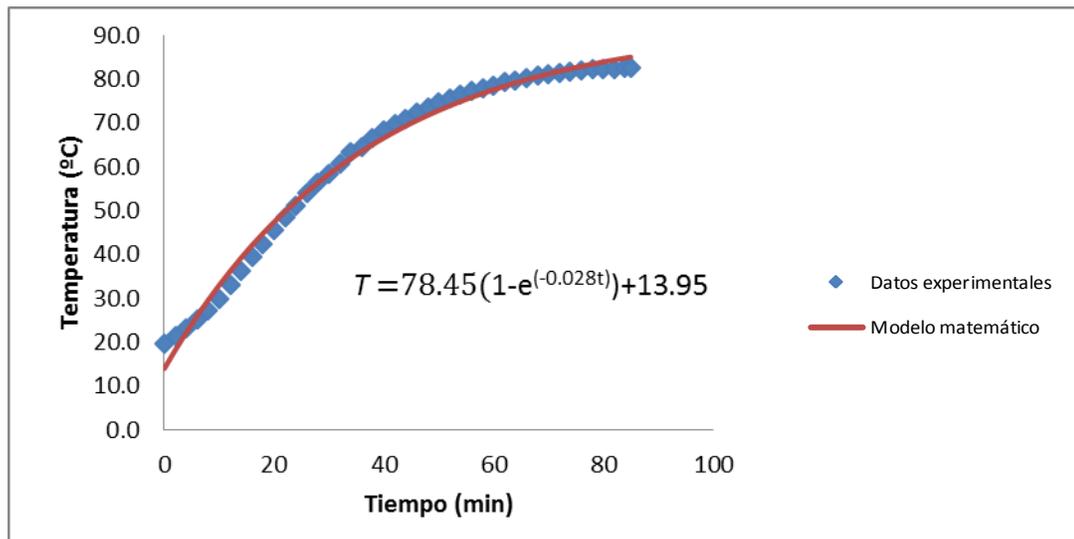
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual

se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.58.

GRÁFICA 5.58

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA N°6



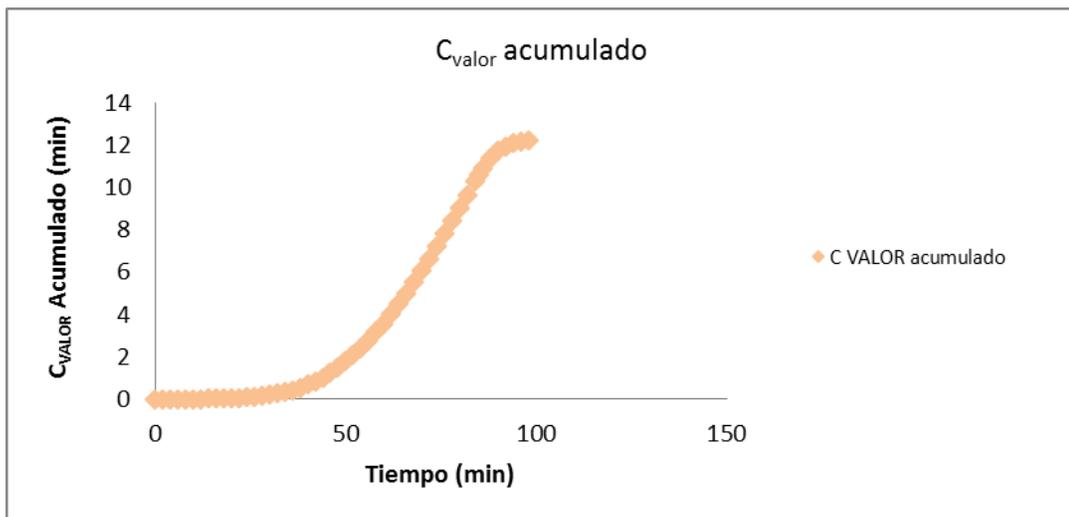
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.59.

GRÁFICA 5.59

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA N°6 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 85 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.04478 min, y un valor de cocción de 10.5849 min.

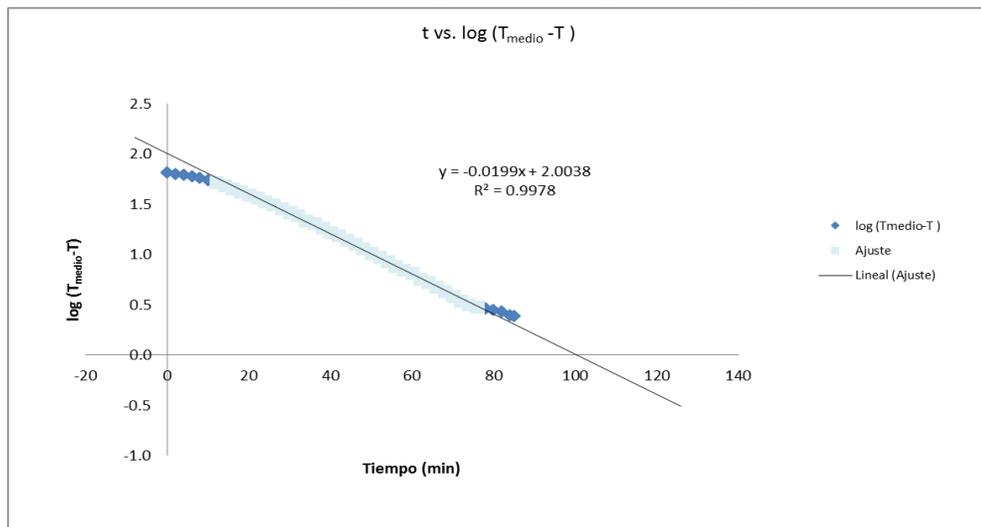
Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.14 de la página 217,

la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 433.97 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.60, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.60

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}}-T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°6 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.60, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 53.76 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.54, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 36.914 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.44x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.15.

TABLA 5.15  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°6 EN  
ENVASE DE VIDRIO

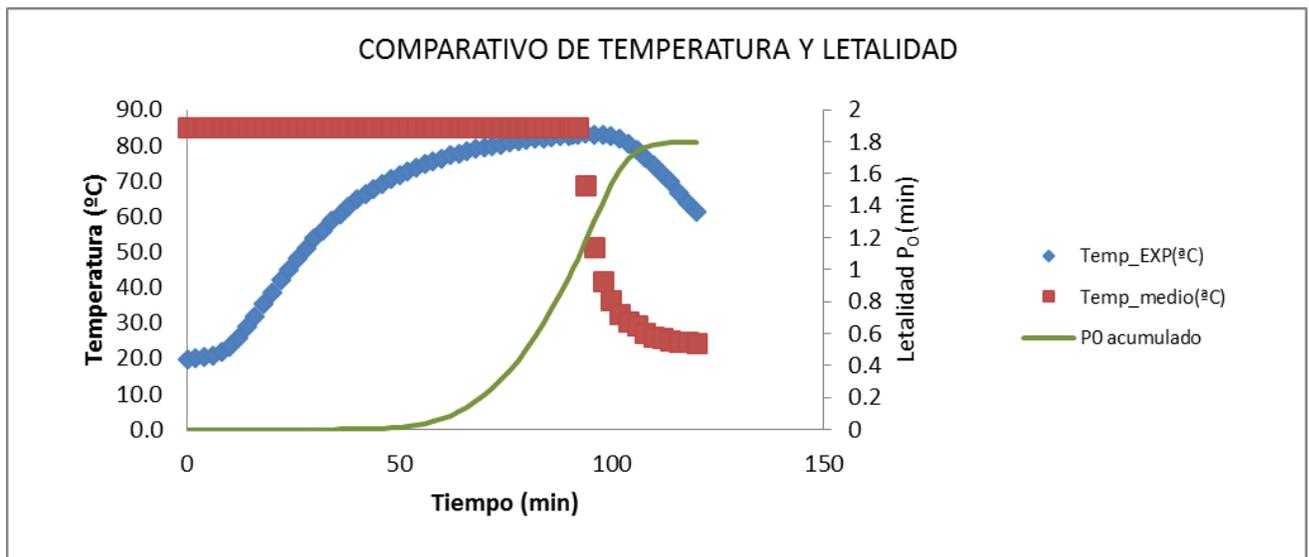
<b>Peso neto de producto (g)</b>	439.32
<b>Peso del envase (g)</b>	259.98
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.61, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.61

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°6 EN ENVASE DE VIDRIO

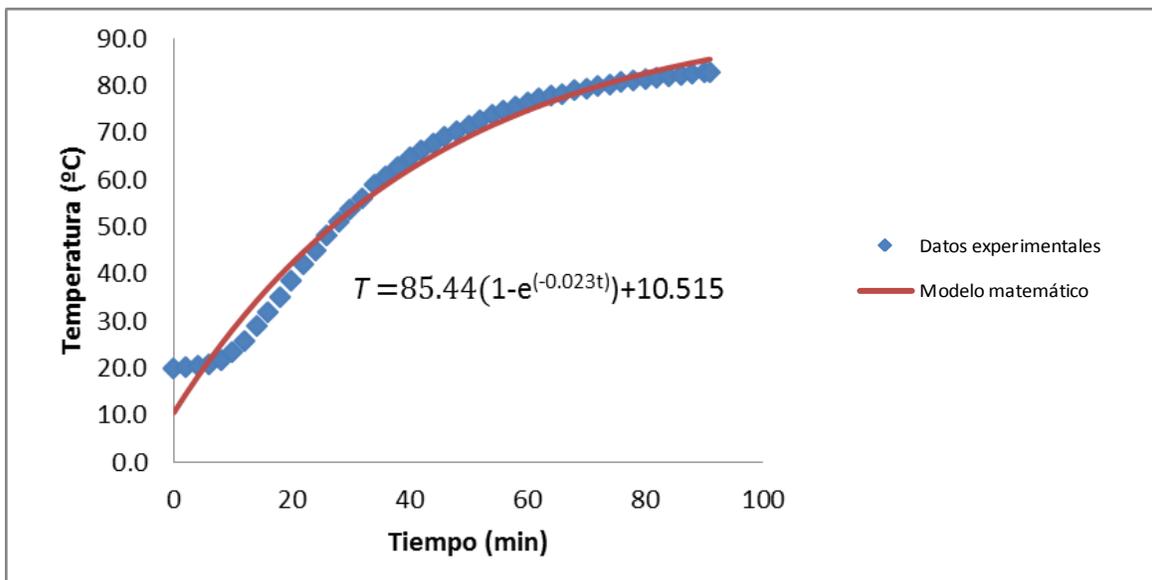


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.62.

GRÁFICA 5.62

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA N°6



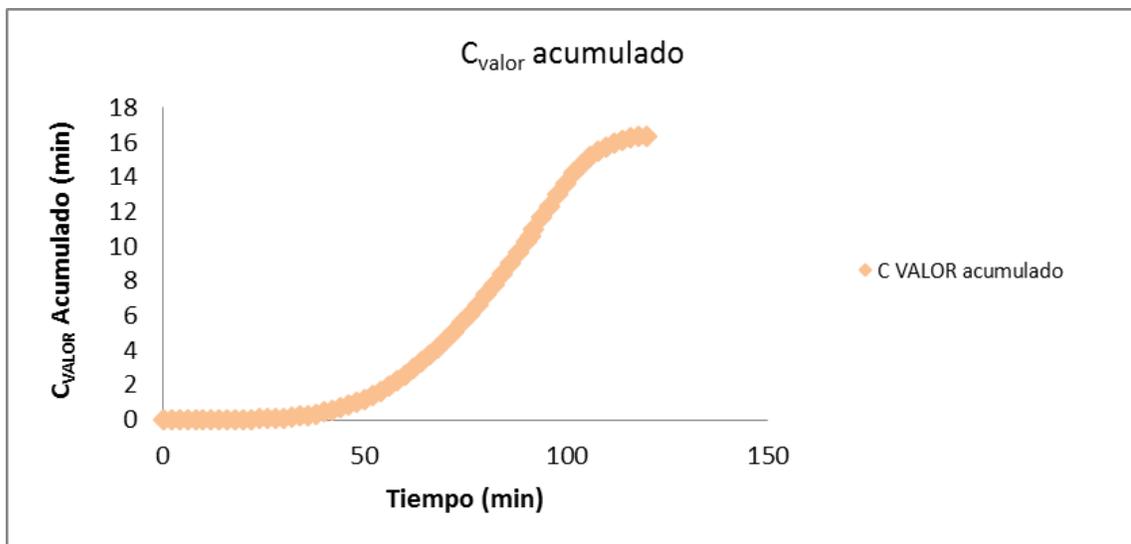
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.63.

GRÁFICA 5.63

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA N°6 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

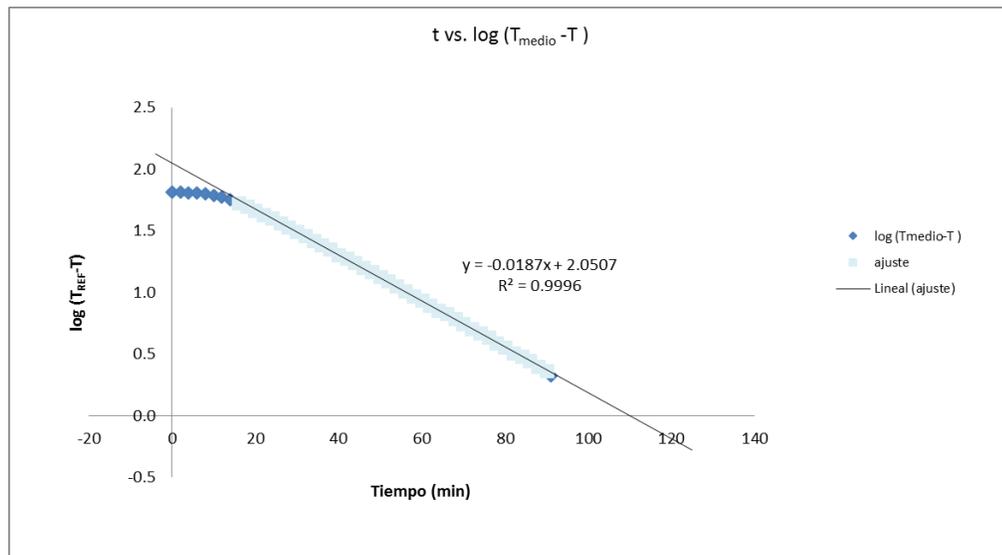
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 91 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.00917 min, y un valor de cocción de 10.624 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.15 de la página 222, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 439.32 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.64, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.64

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°6 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

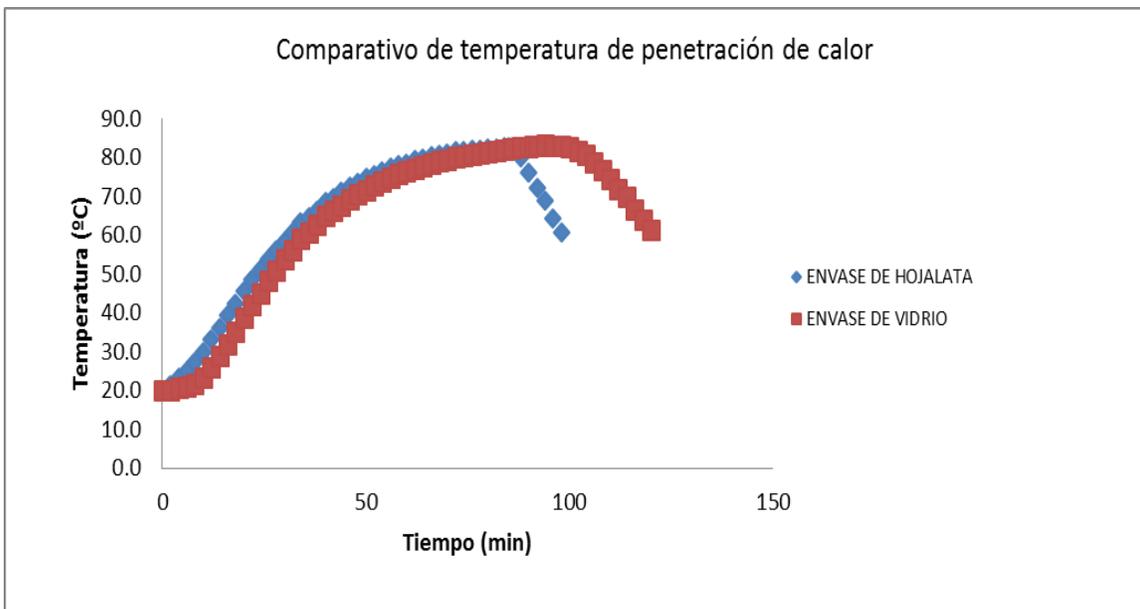
De la gráfica 5.64, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 57.14 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.73, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 32.914 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.57x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.65, 5.66 y 5.67, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.65

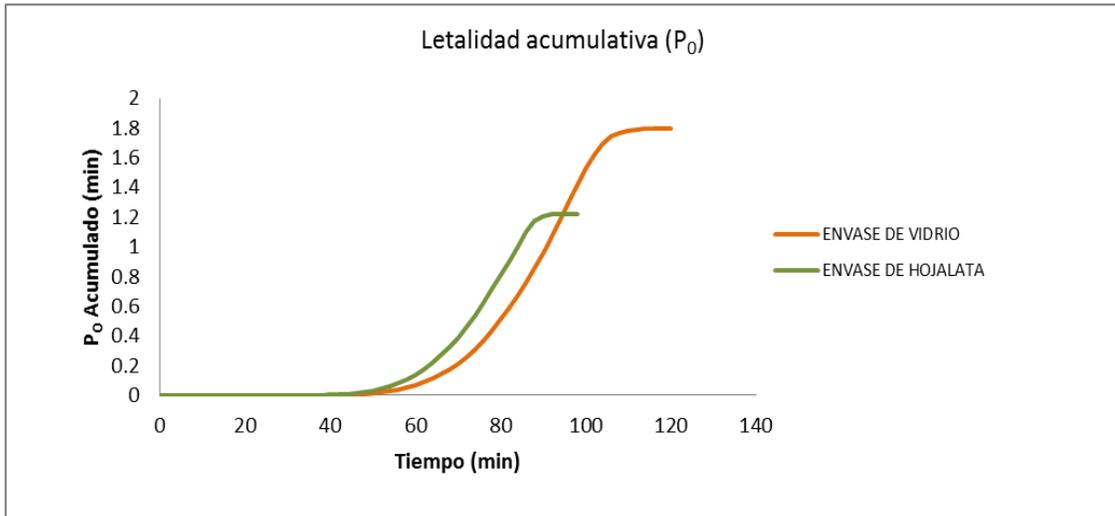
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS ENVASES DE HOJALATA Y VIDRIO, EN LA EXPERIENCIA N°6



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.66

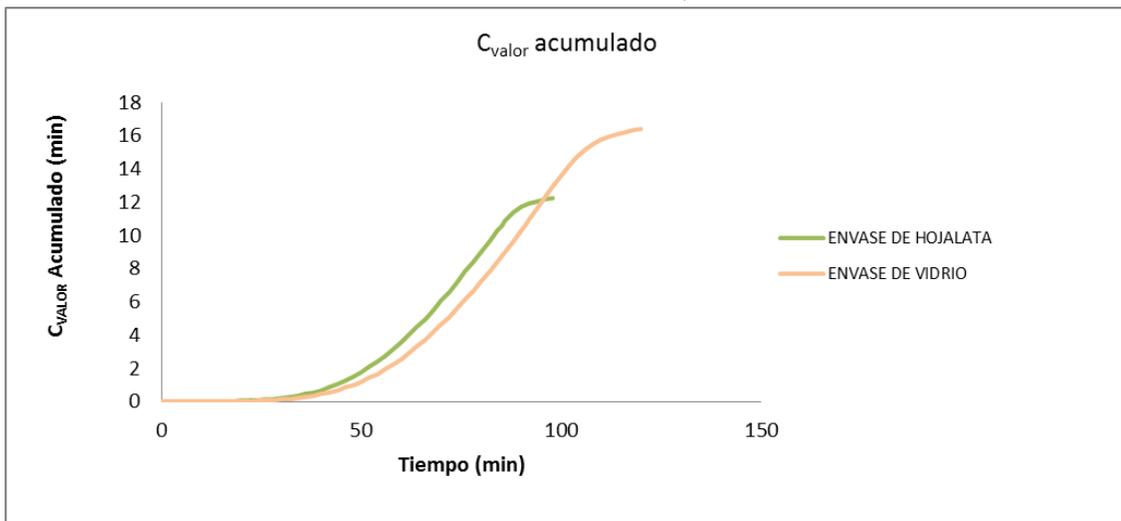
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA N°6



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.67

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA N°6



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### 5.2.7. Análisis de la experiencia N°7 ( $X_1= 85^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 15.5\%$ ).

En esta experiencia se trabaja a una temperatura de pasteurizado de  $85^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de 15.5%.

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.16.

TABLA 5.16  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA N°7 EN  
ENVASE DE HOJALATA

<b>Peso neto de producto (g)</b>	433.965
<b>Peso del envase (g)</b>	79.815
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

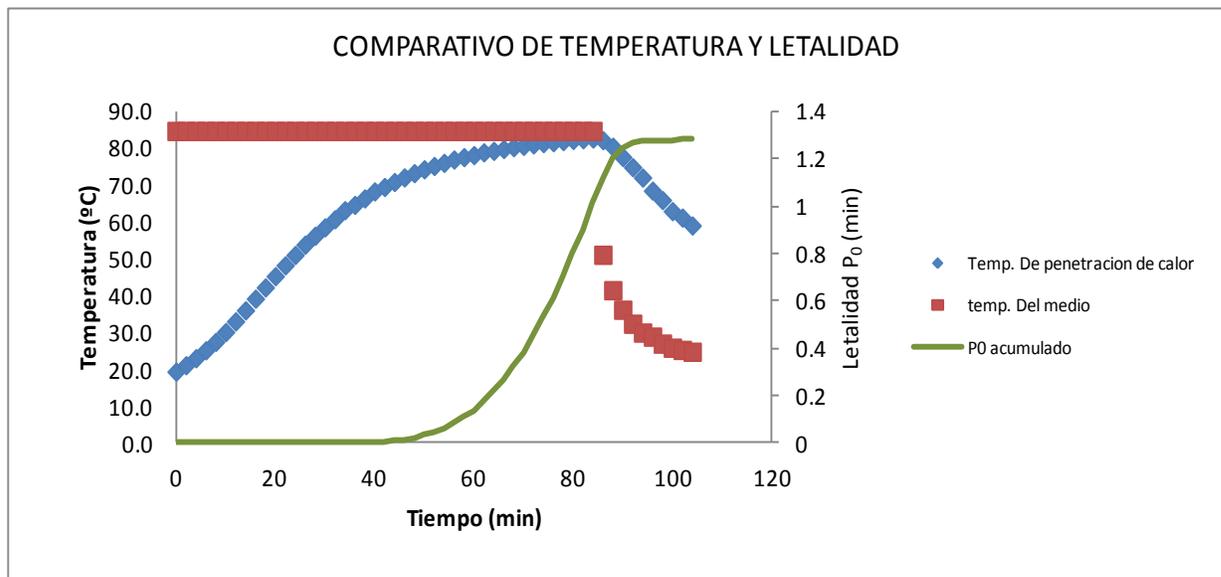
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.68, en donde se detalla la

curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.68

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°7 EN ENVASE DE HOJALATA



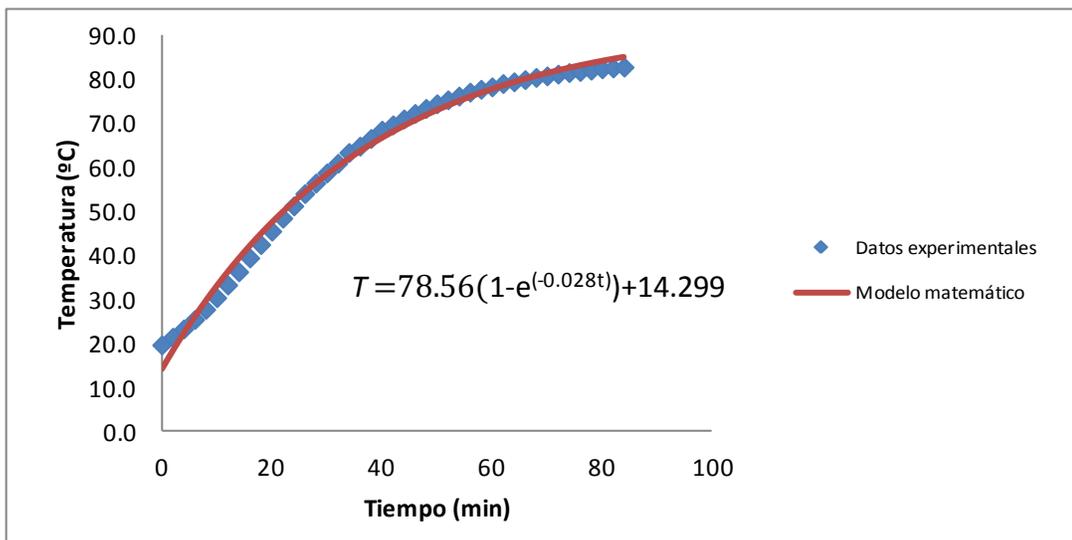
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual

se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.69.

GRÁFICA 5.69

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA N°7



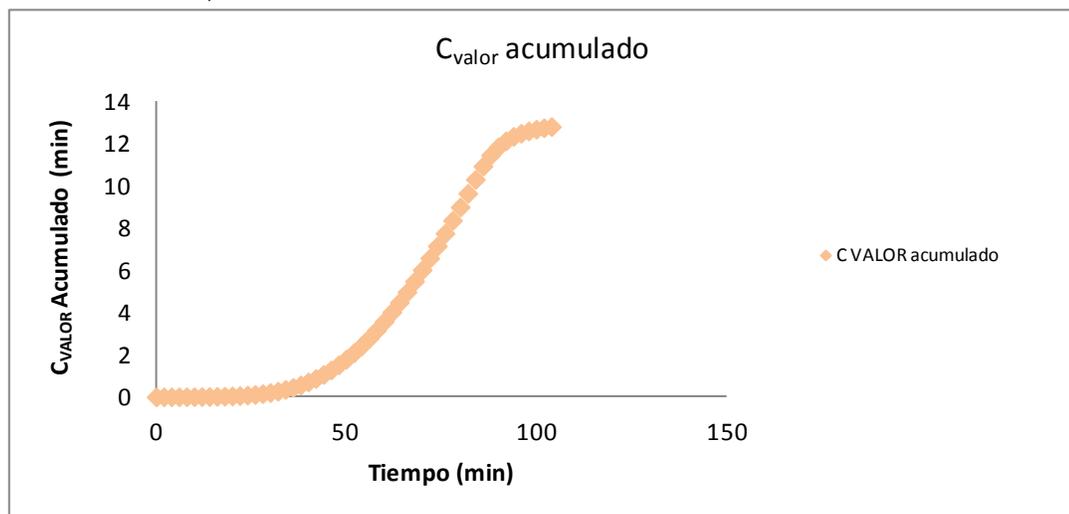
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.70.

GRÁFICA 5.70

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA N°7 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 84 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.01124 min, y un valor de cocción de 10.3350 min.

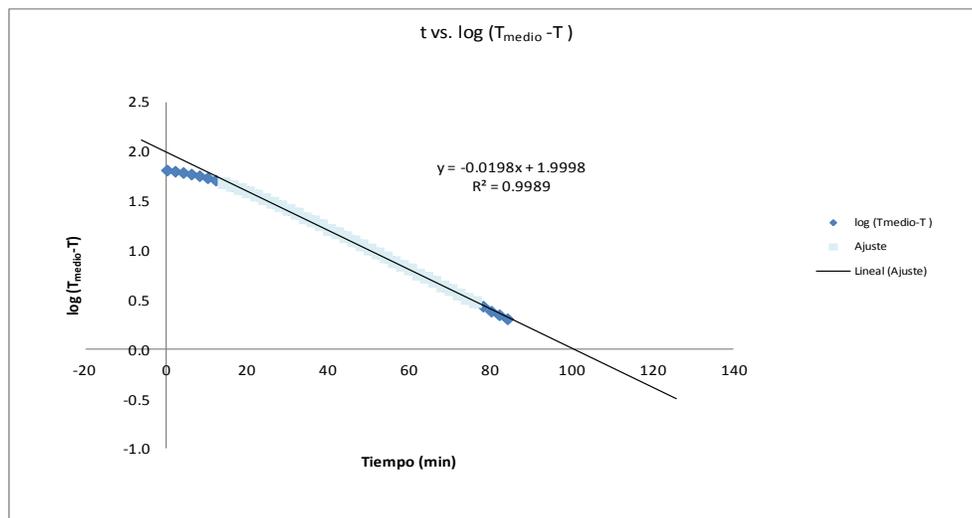
Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.16 de la página 230,

la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 433.965 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.71, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.71

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}} - T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°7 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.71, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 53.19 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.53, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 37.311 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.46x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.17.

TABLA 5.17  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°7 EN  
ENVASE DE VIDRIO

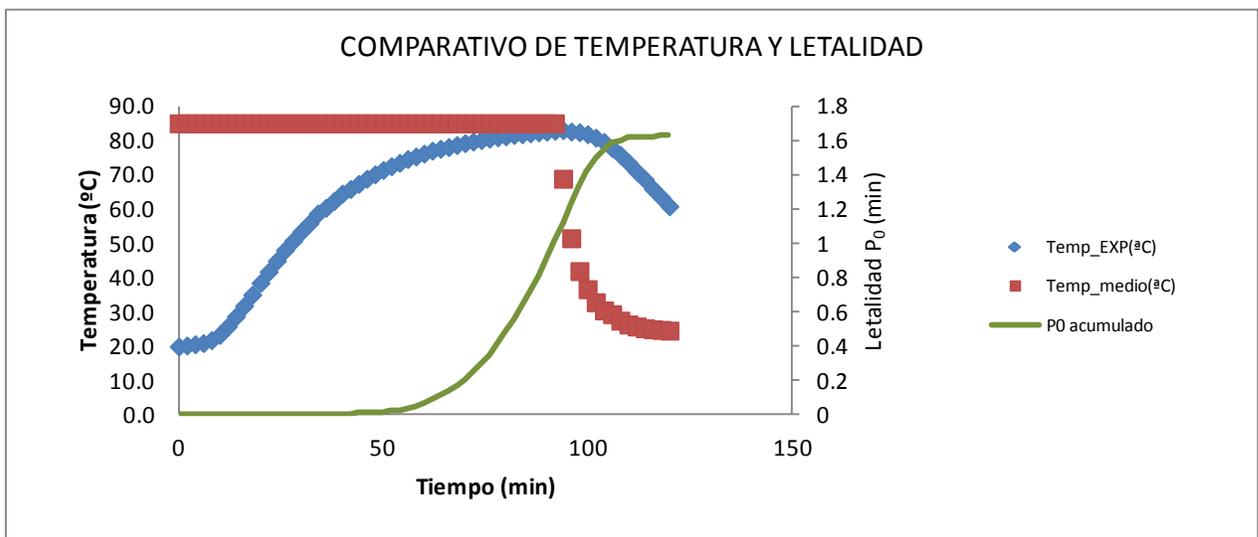
<b>Peso neto de producto (g)</b>	439.315
<b>Peso del envase (g)</b>	259.975
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.72, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.72

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°7 EN ENVASE DE VIDRIO

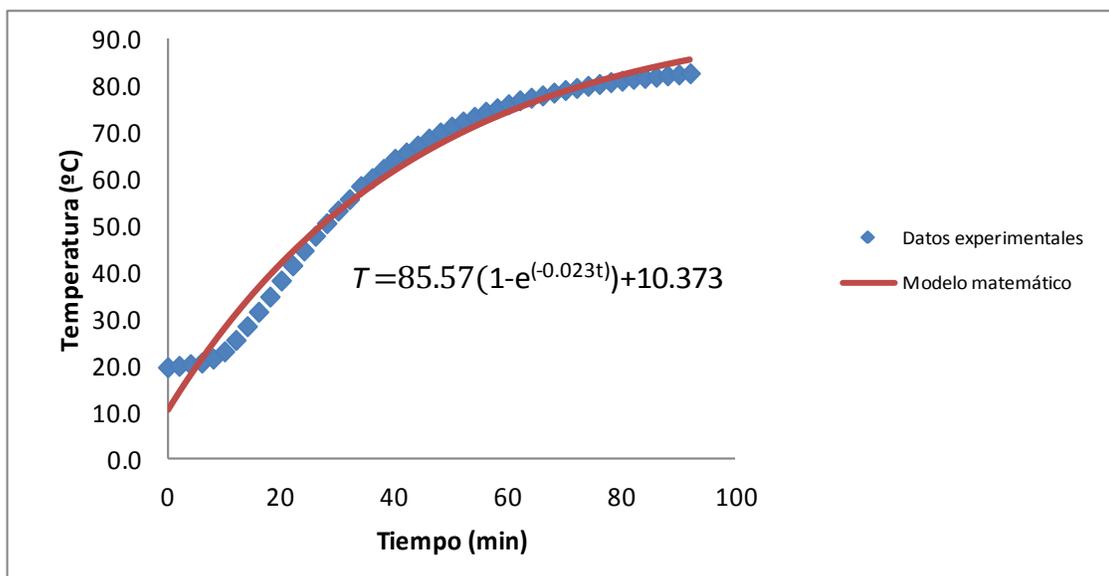


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.73.

GRÁFICA 5.73

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA N°7



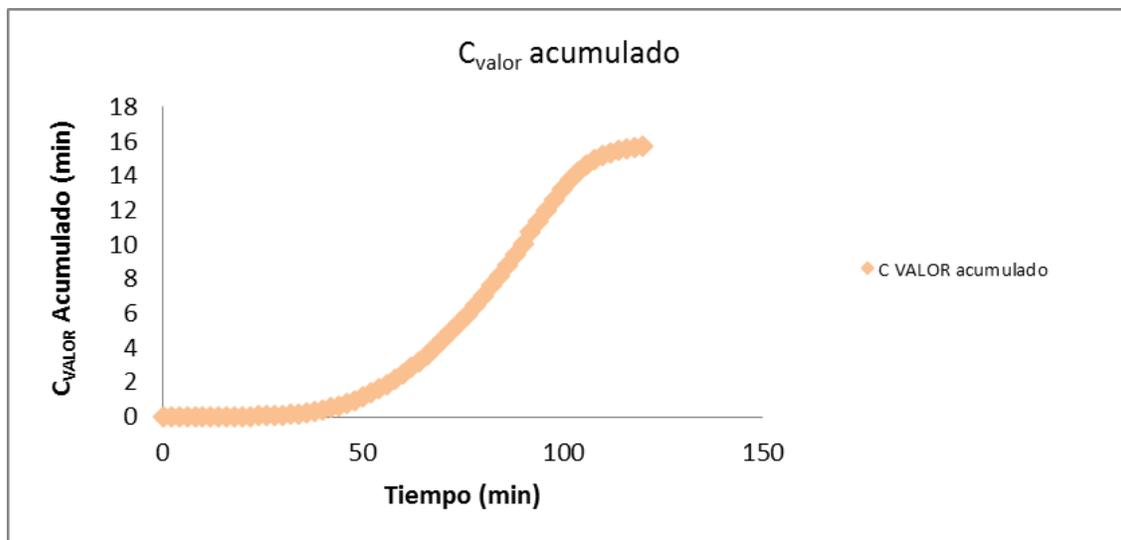
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.74.

GRÁFICA 5.74

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA N°7 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

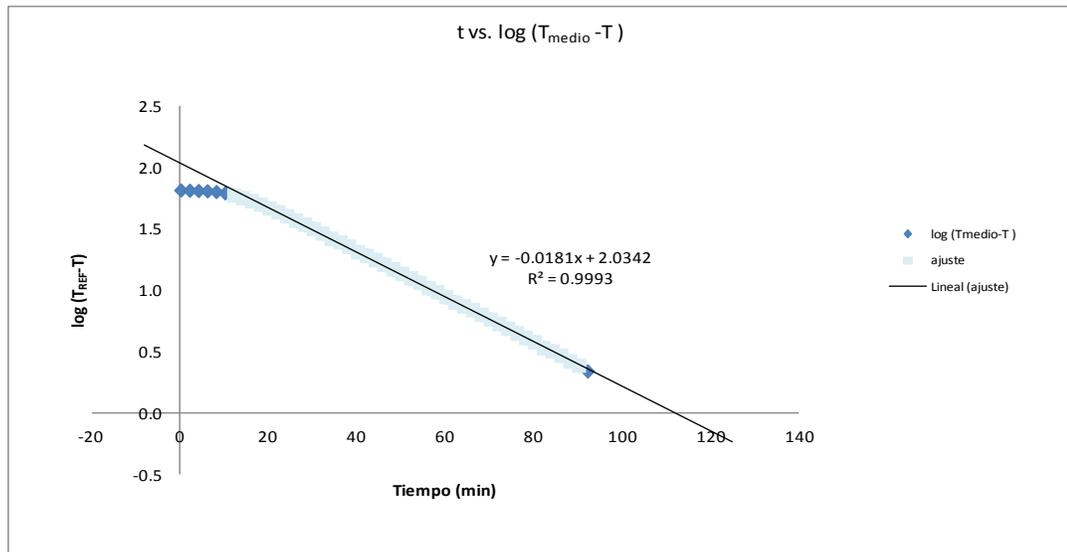
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 92 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.00834 min, y un valor de cocción de 10.710 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.17 de la página 235, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 439.315 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.75, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.75

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°7 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

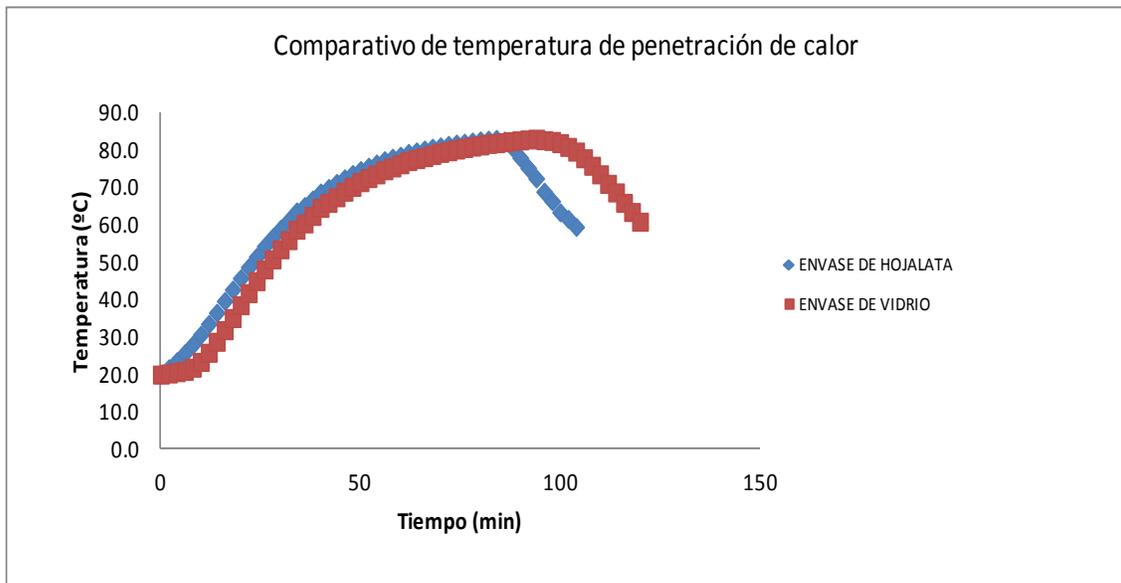
De la gráfica 5.75, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 58.14 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.66, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 32.349 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.54x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.76, 5.77 y 5.78, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.76

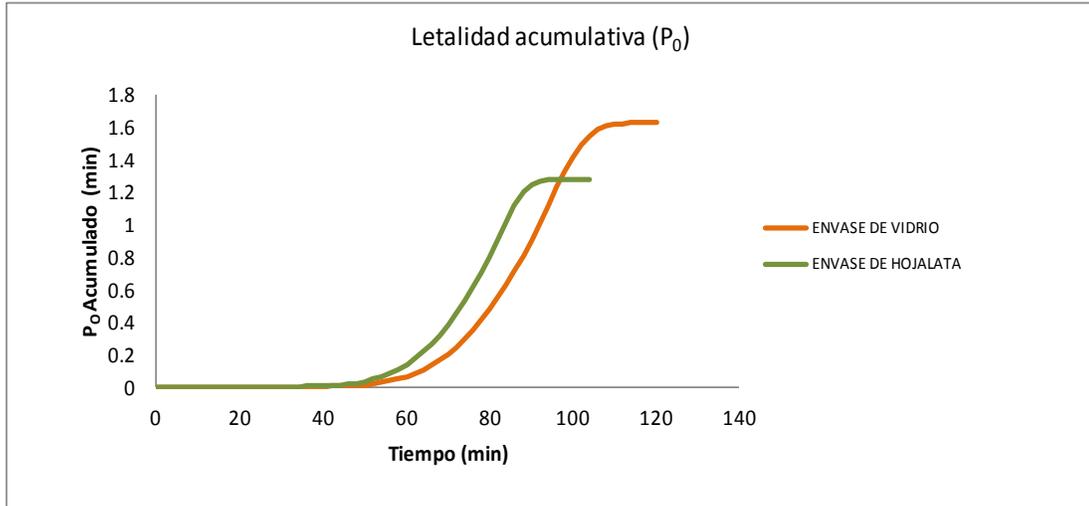
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS ENVASES DE HOJALATA Y VIDRIO, EN LA EXPERIENCIA N°7



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.77

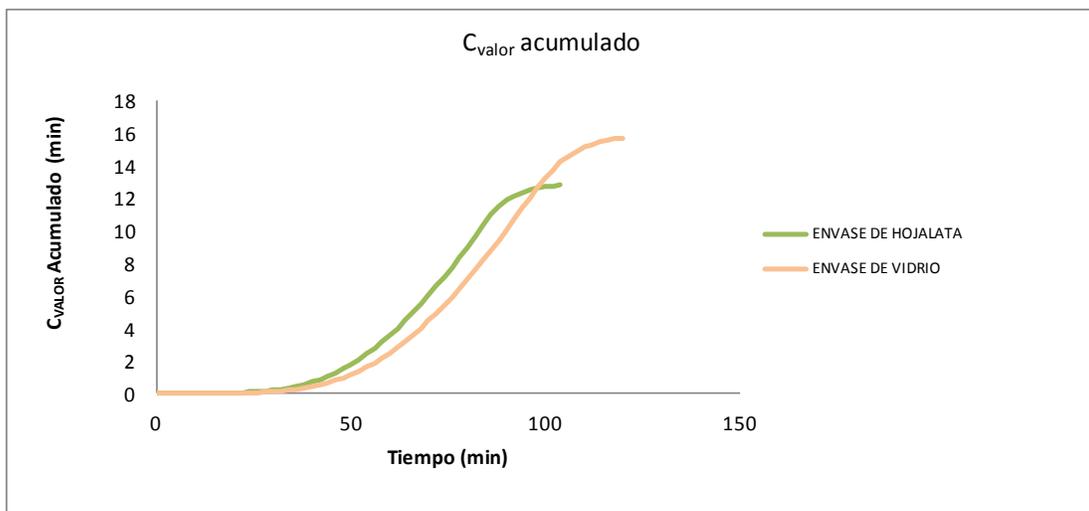
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA N°7



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.78

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA N°7



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### 5.2.8. Análisis de la experiencia N°8 ( $X_1= 85^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 7\%$ ).

En esta experiencia se trabaja a una temperatura de pasteurizado de  $85^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de 7%.

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.18.

TABLA 5.18  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA N°8 EN  
ENVASE DE HOJALATA

<b>Peso neto de producto (g)</b>	422.74
<b>Peso del envase (g)</b>	79.88
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

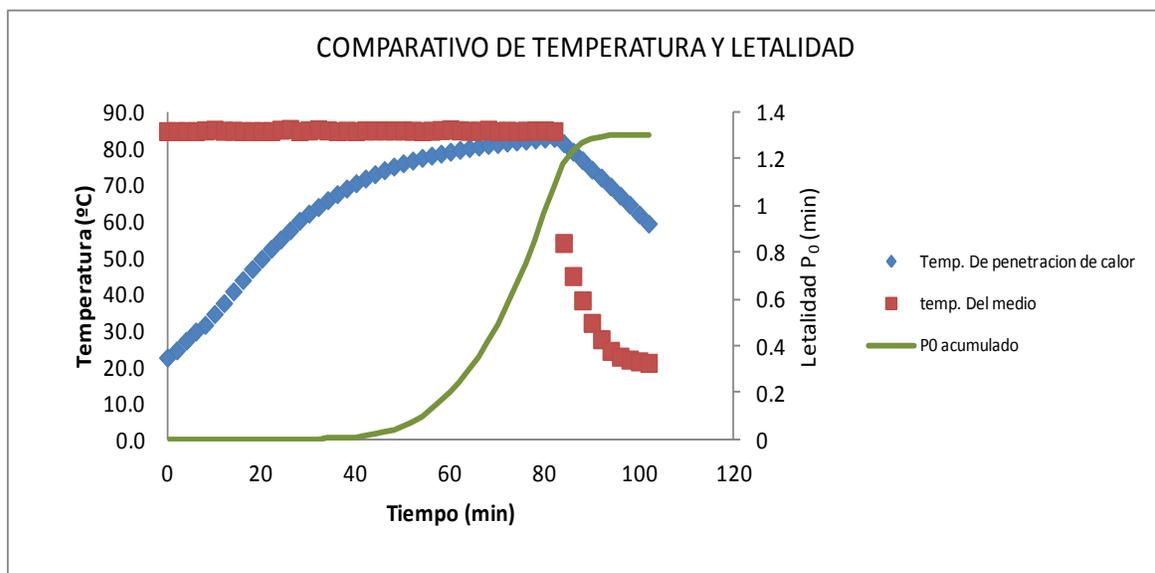
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.79, en donde se detalla la

curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.79

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°8 EN ENVASE DE HOJALATA



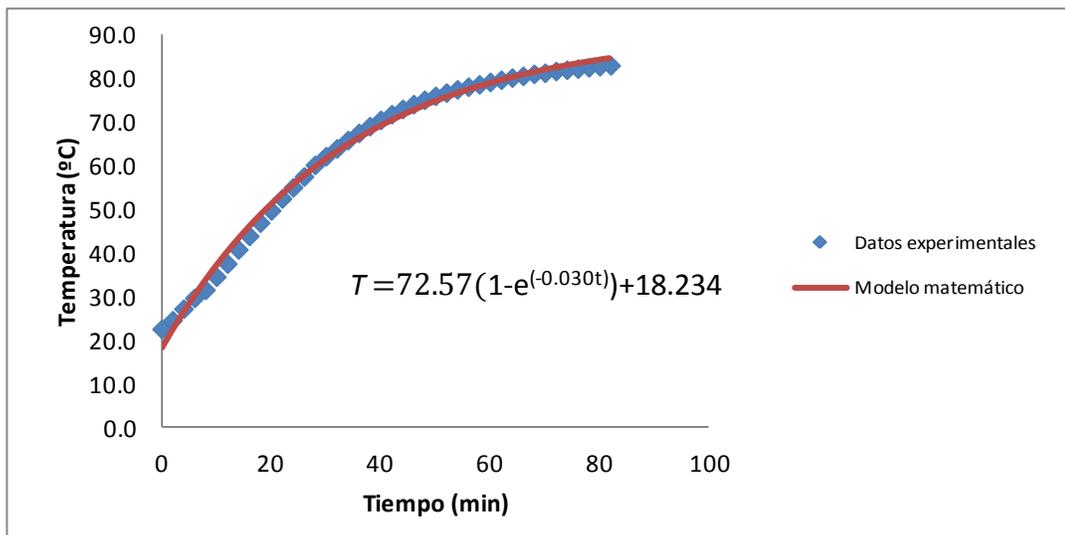
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual

se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.80.

GRÁFICA 5.80

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA N°8



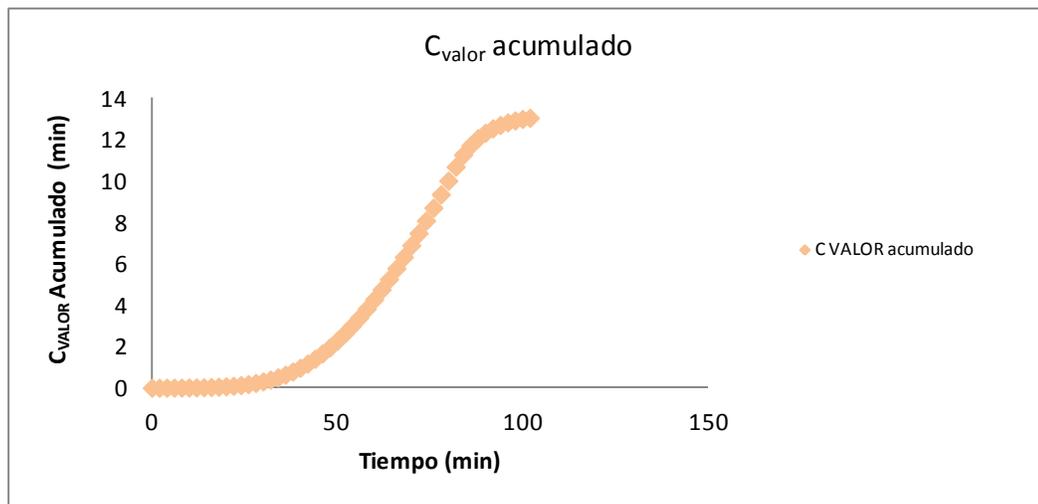
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.81.

GRÁFICA 5.81

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA N°8 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 82 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.07828 min, y un valor de cocción de 10.7205 min.

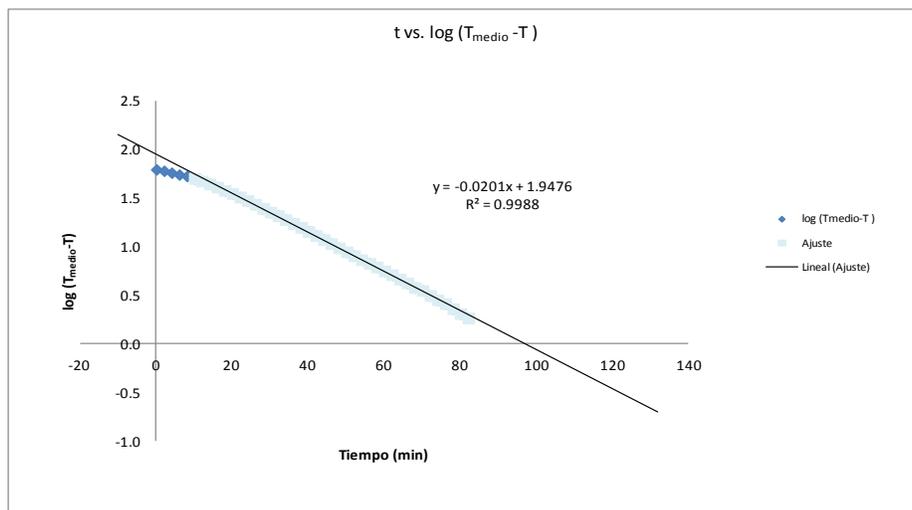
Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.18 de la página 243,

la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 422.74 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.82, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

### GRÁFICA 5.82

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}} - T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°8 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.82, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 51.81 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.42, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 37.312 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.5x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.19.

TABLA 5.19  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°8 EN  
ENVASE DE VIDRIO

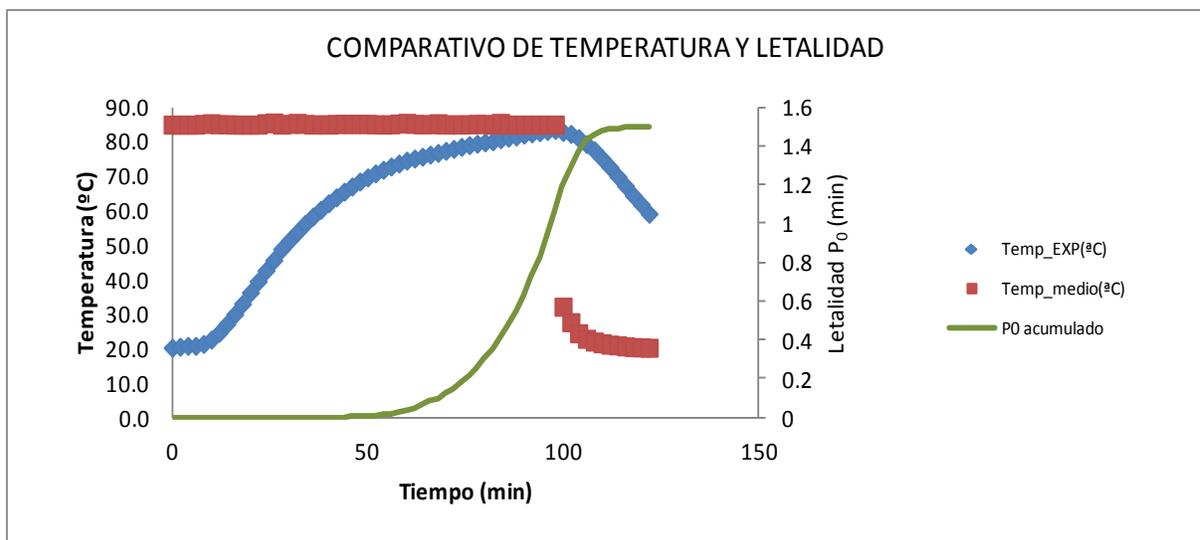
<b>Peso neto de producto (g)</b>	431.15
<b>Peso del envase (g)</b>	260.22
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.83, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.83

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°8 EN ENVASE DE VIDRIO

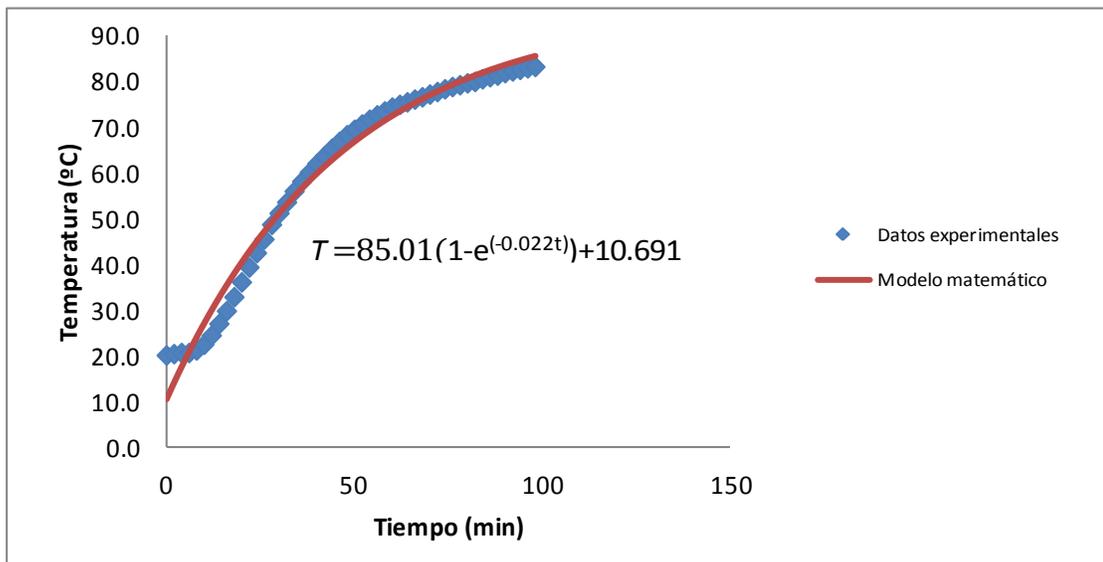


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.84.

GRÁFICA 5.84

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA N°8



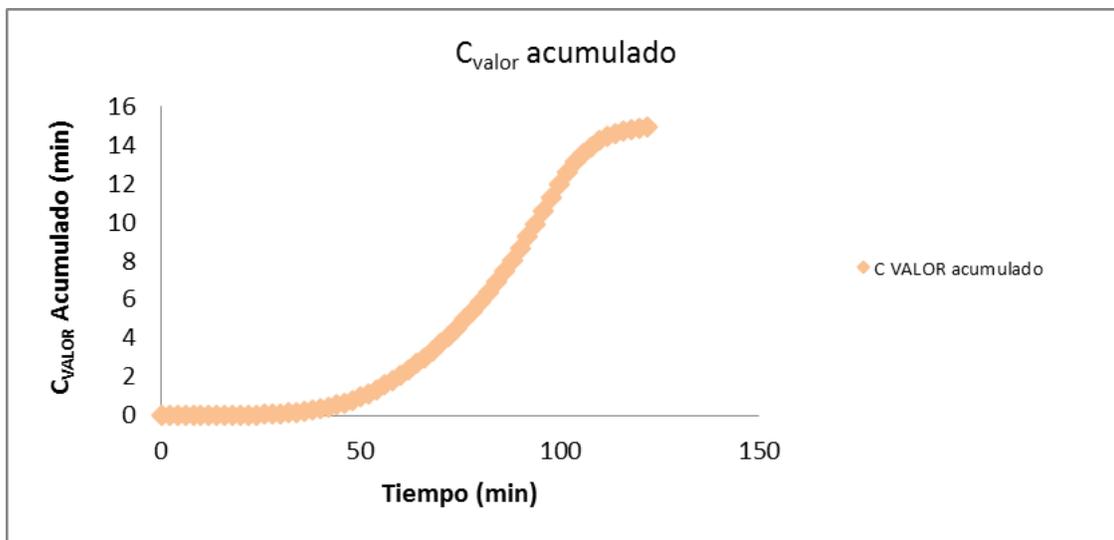
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.85.

GRÁFICA 5.85

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA N°8 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

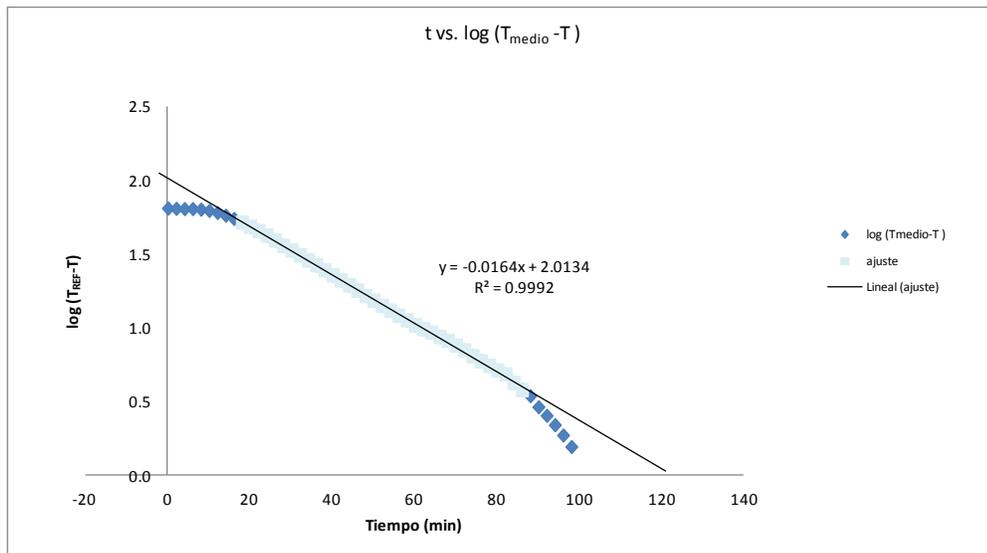
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 98 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0675 min, y un valor de cocción de 11.297 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.19 de la página 248, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 431.15 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.86, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.86

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°8 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

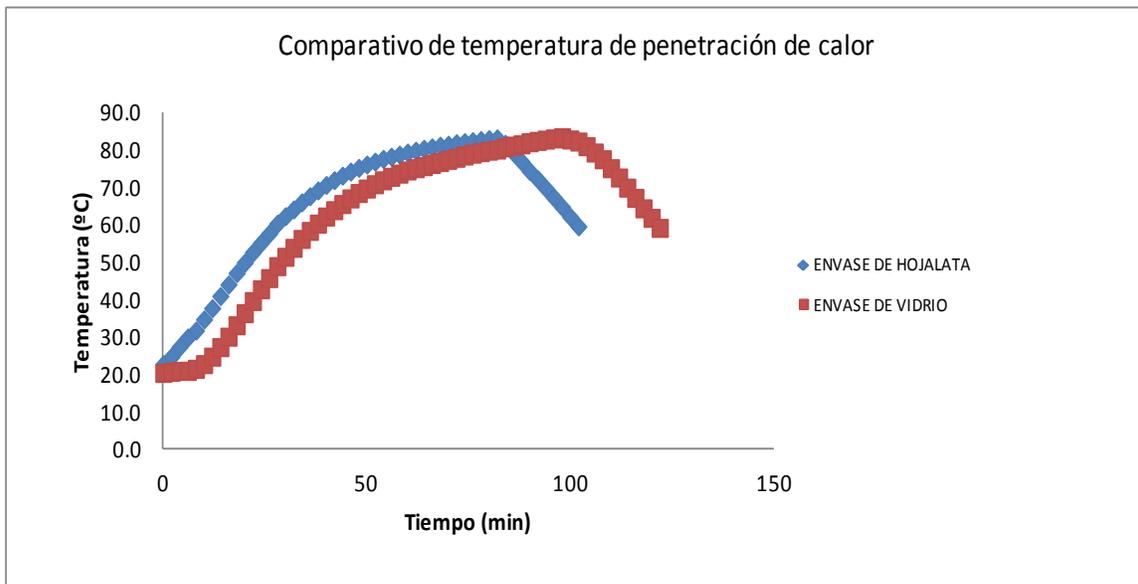
De la gráfica 5.86, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 61.35 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.59, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 30.087 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.45x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.87, 5.88 y 5.89, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.87

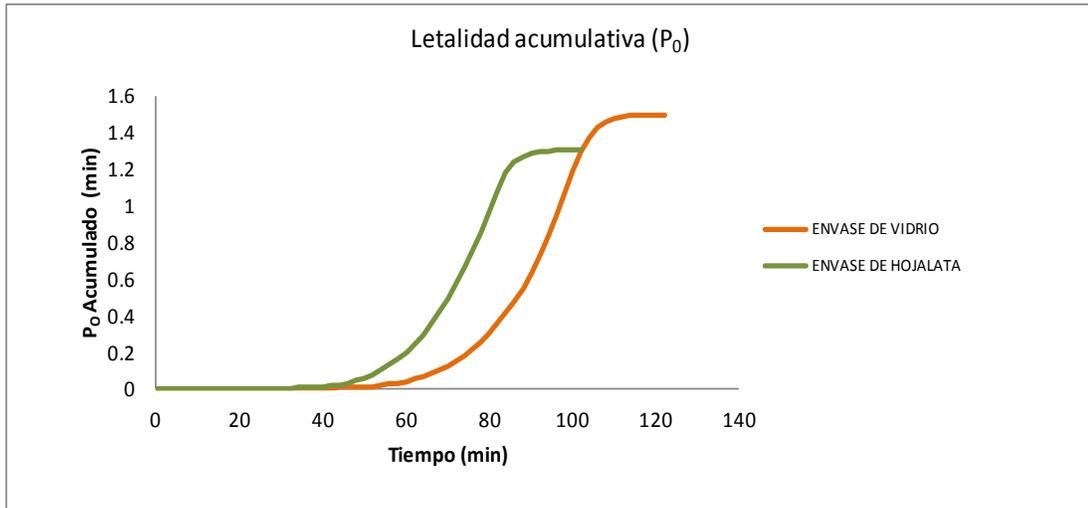
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS  
ENVASES DE HOJALATA Y VIDRIO, EN LA EXPERIENCIA N°8



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.88

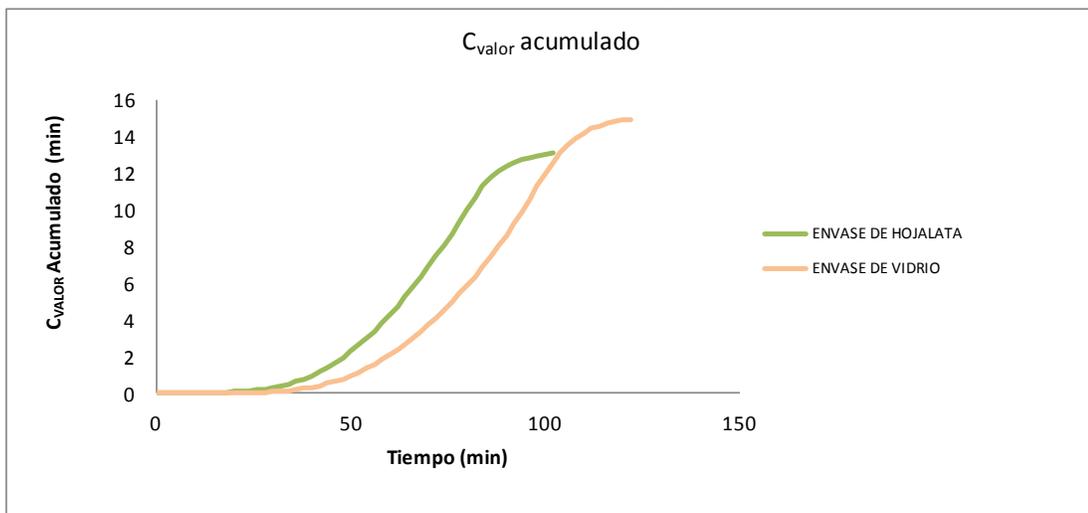
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA N°8



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.89

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA N°8



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### 5.2.9. Análisis de la experiencia N°9 ( $X_1= 85^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 24\%$ ).

En esta experiencia se trabaja a una temperatura de pasteurizado de  $85^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de 24%.

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.20.

TABLA 5.20  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA N°9 EN  
ENVASE DE HOJALATA

<b>Peso neto de producto (g)</b>	438.26
<b>Peso del envase (g)</b>	79.88
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

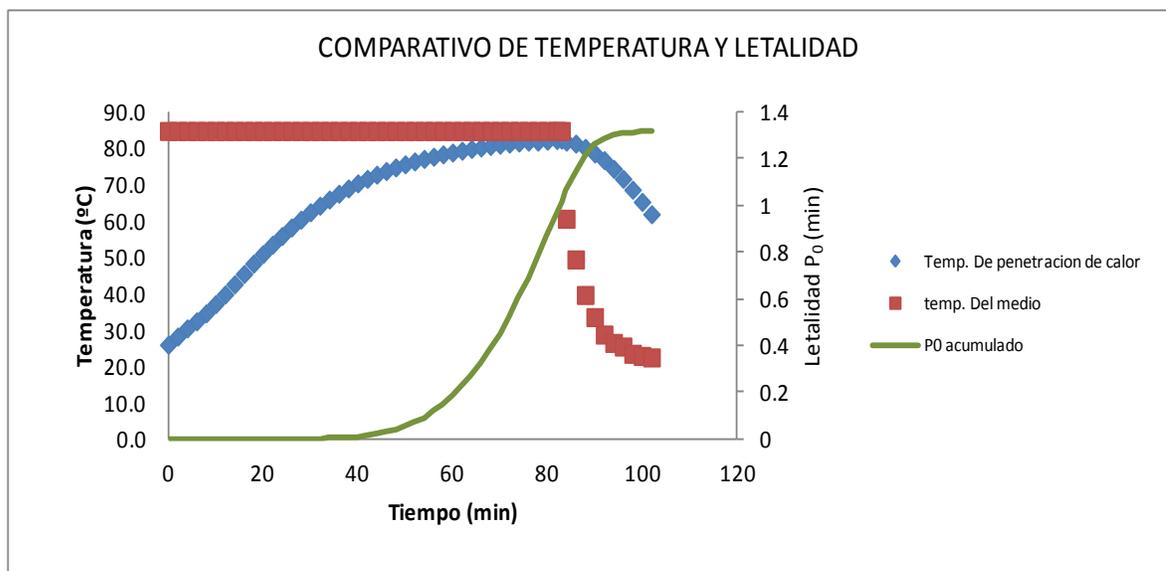
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.90, en donde se detalla la

curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.90

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°9 EN ENVASE DE HOJALATA



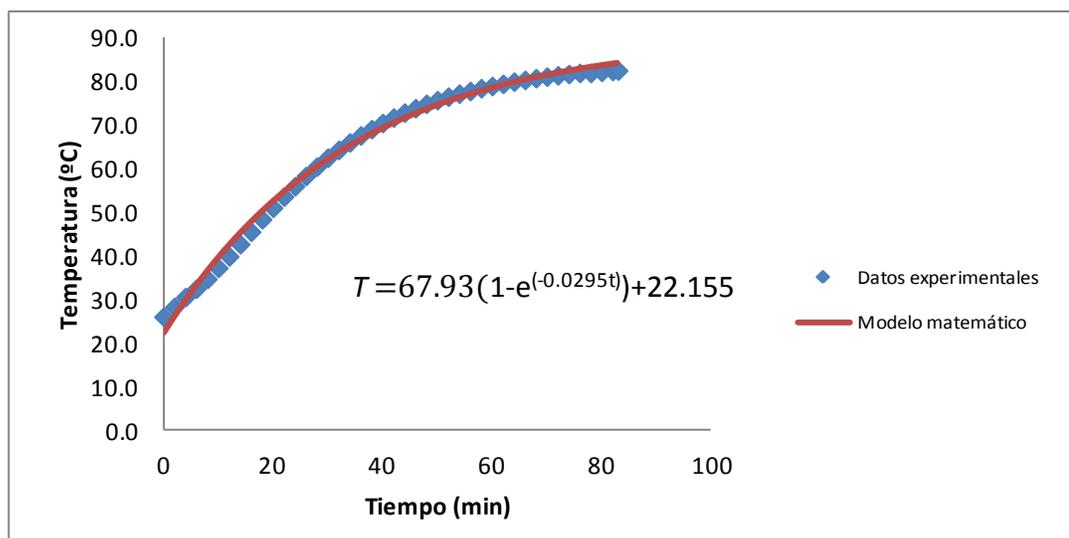
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual

se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.91.

GRÁFICA 5.91

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA N°9



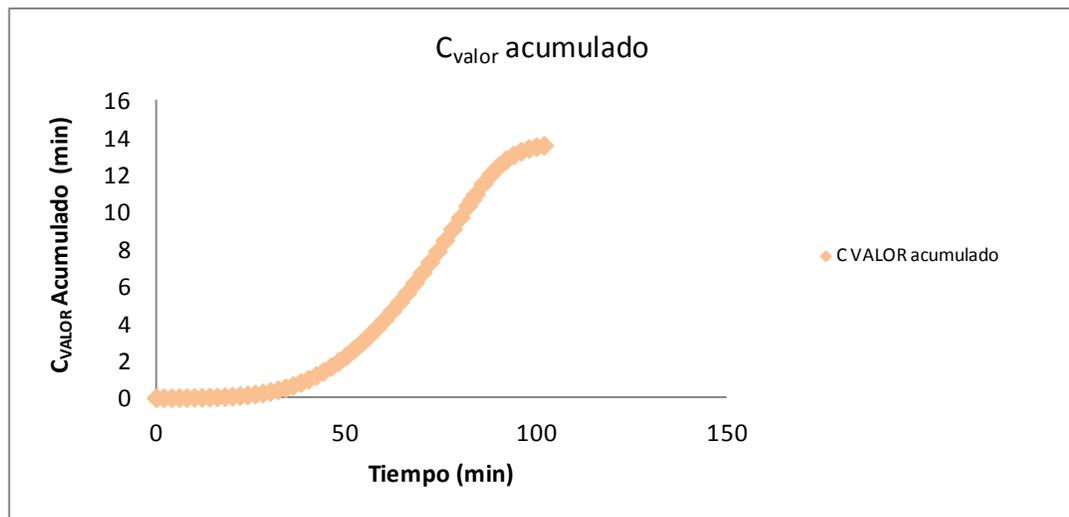
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.92.

GRÁFICA 5.92

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA N°9 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 83 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0166 min, y un valor de cocción de 10.686 min.

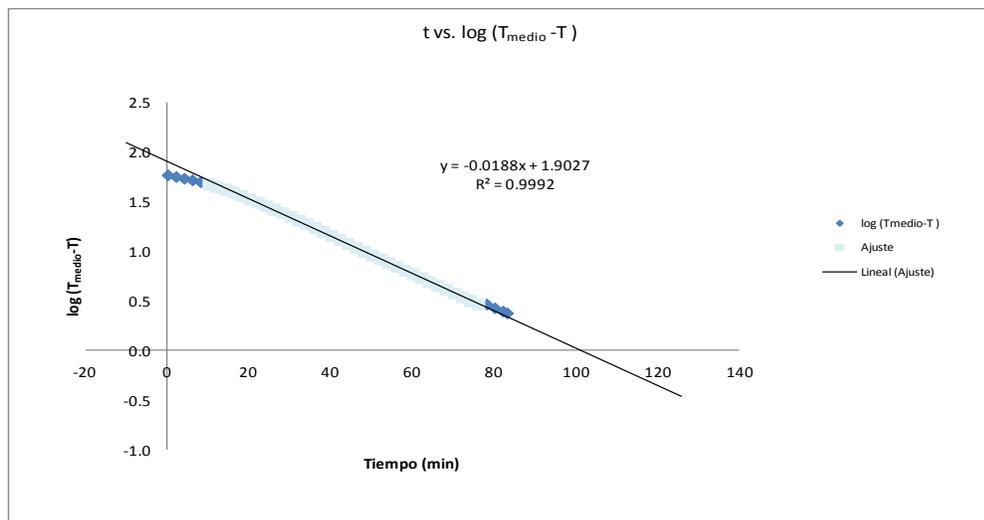
Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.20 de la página 256,

la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 438.26 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.93, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

### GRÁFICA 5.93

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}} - T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°9 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.93, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 55.87 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.36, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 35.876 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.37x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.21.

TABLA 5.21  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°9 EN  
ENVASE DE VIDRIO

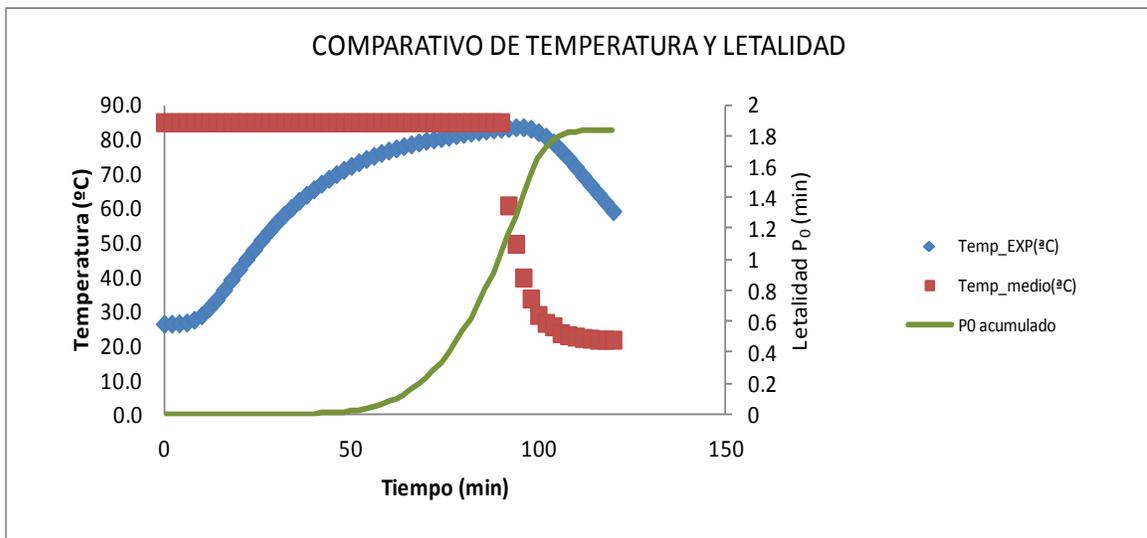
<b>Peso neto de producto (g)</b>	437.605
<b>Peso del envase (g)</b>	260.22
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.94, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.94

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°9 EN ENVASE DE VIDRIO

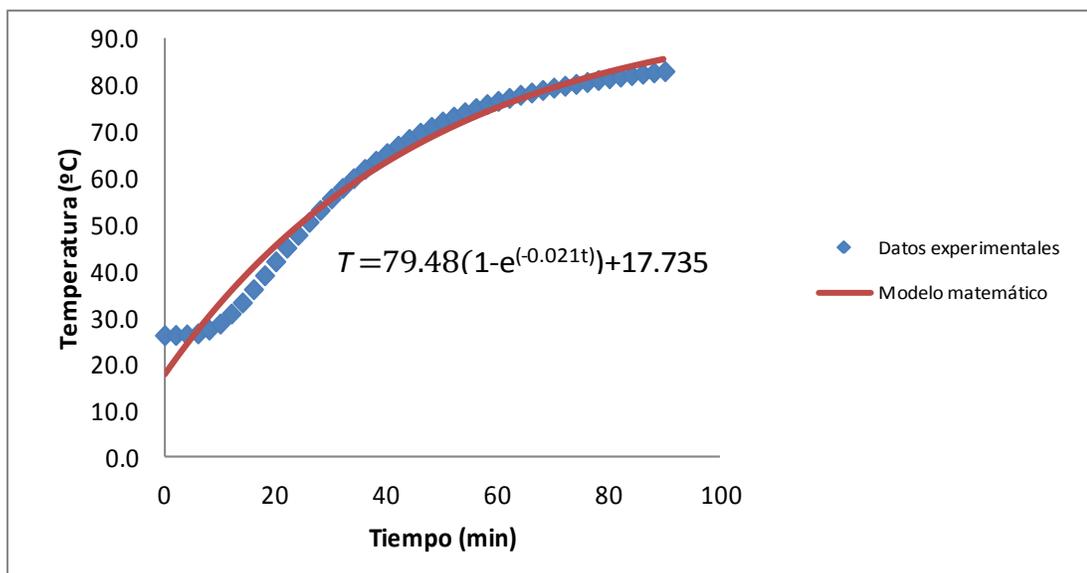


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.95.

GRÁFICA 5.95

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA N°9



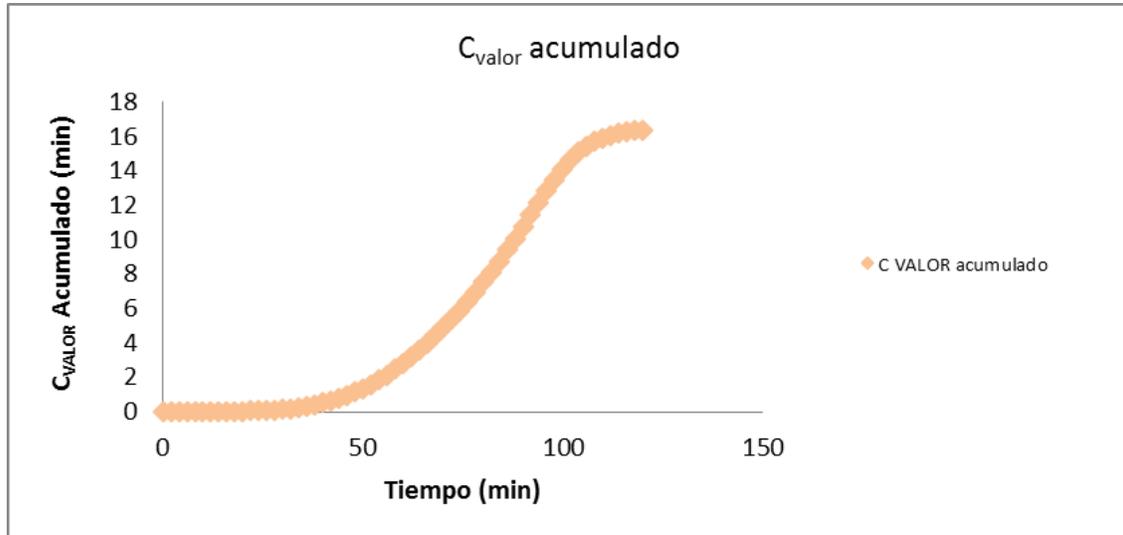
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.96.

GRÁFICA 5.96

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA N°9 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

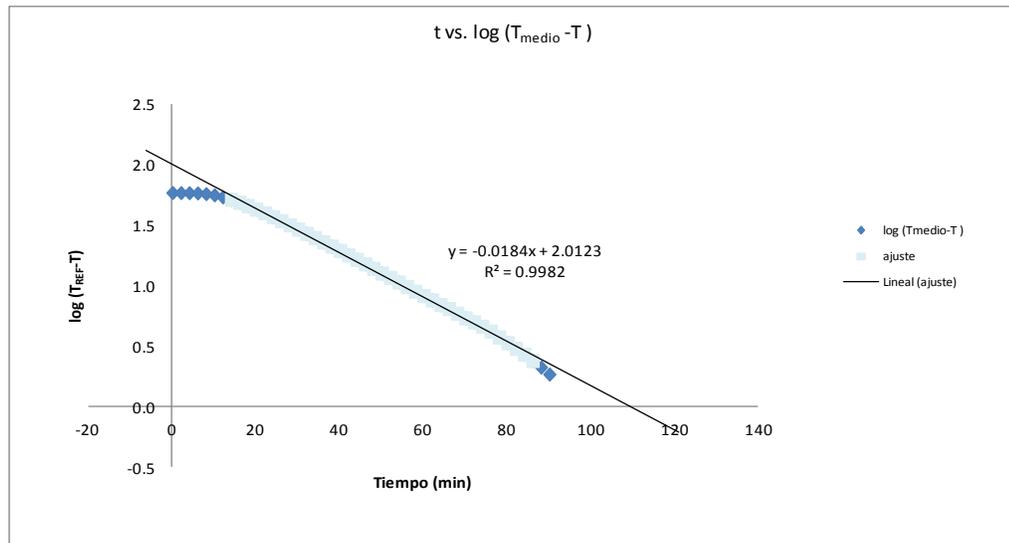
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 90 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0296 min, y un valor de cocción de 10.7198 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.21 de la página 261, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 437.605 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.97, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.97

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°9 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

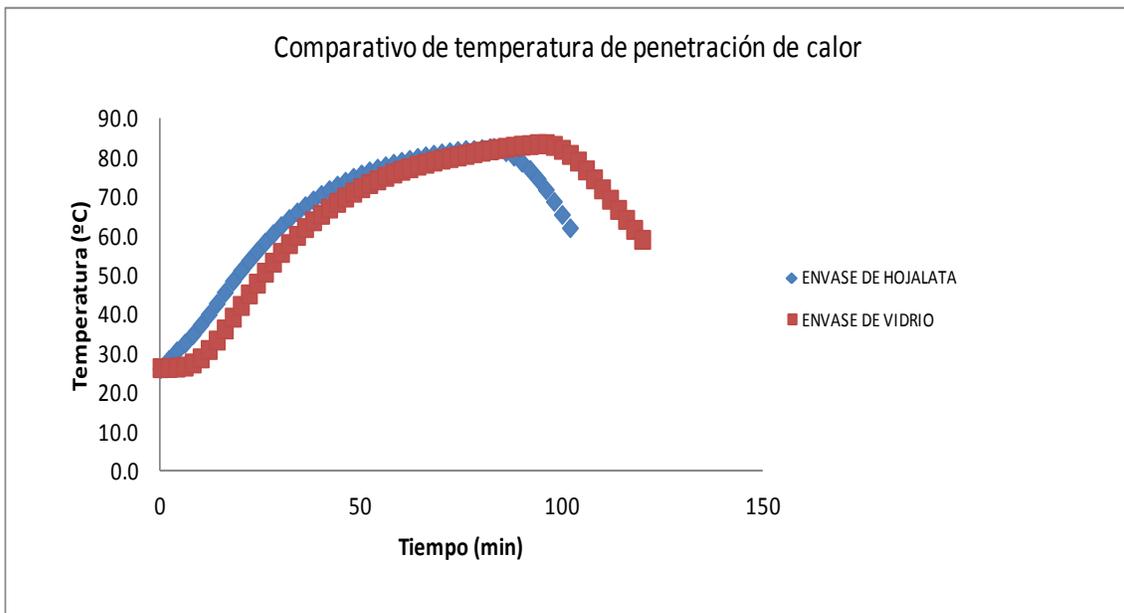
De la gráfica 5.97, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 57.80 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.75, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 33.411 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.55x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.98, 5.99 y 5.100, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.98

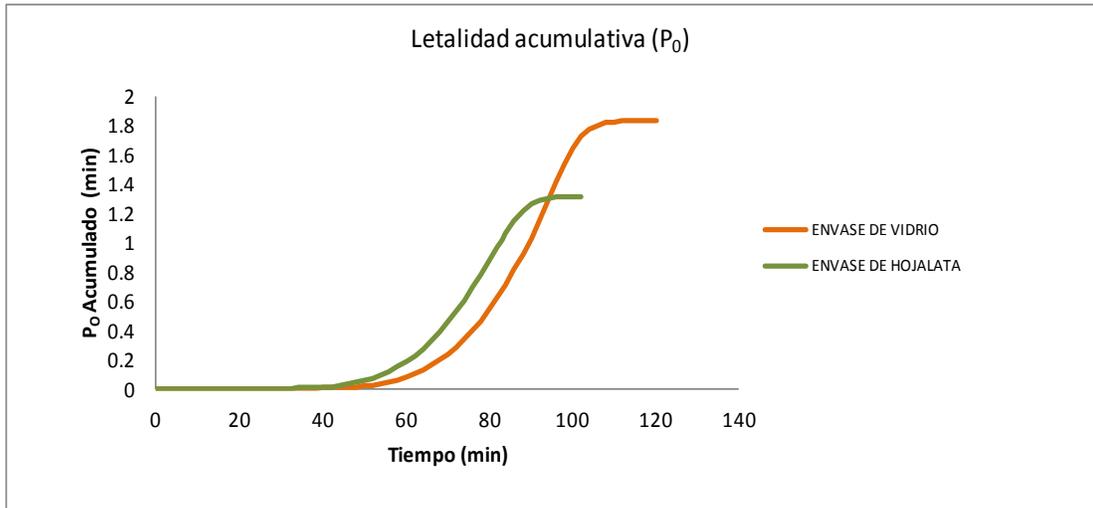
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS  
ENVASES DE HOJALATA Y VIDRIO, EN LA EXPERIENCIA N°9



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.99

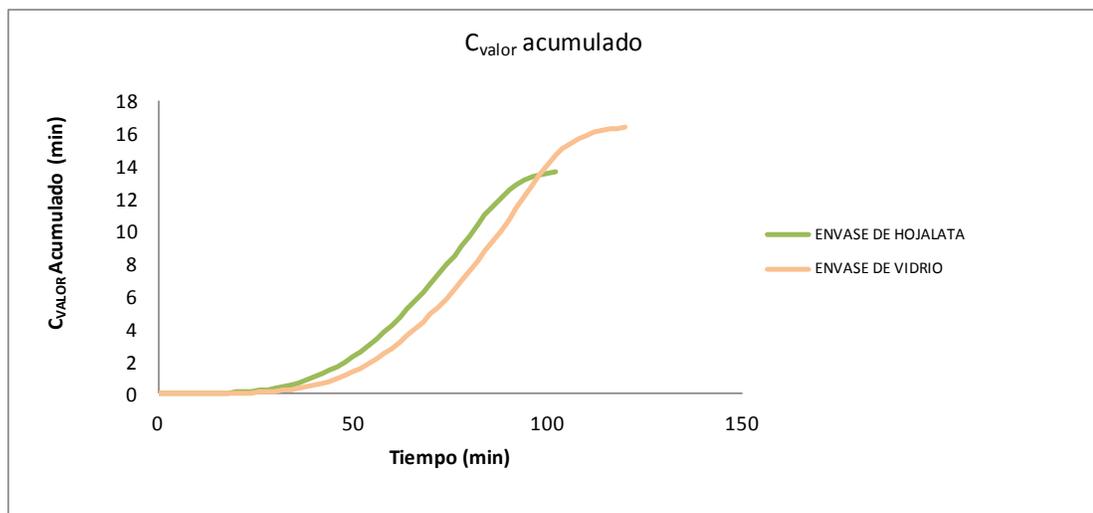
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA N°9



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.100

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA N°9



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### 5.2.10. Análisis de la experiencia N°10 ( $X_1= 70^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 15.5\%$ ).

En esta experiencia se trabaja a una temperatura de pasteurizado de  $70^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de 15.5%.

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.22.

TABLA 5.22  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA N°10 EN ENVASE DE HOJALATA

<b>Peso neto de producto (g)</b>	435.41
<b>Peso del envase (g)</b>	80.265
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

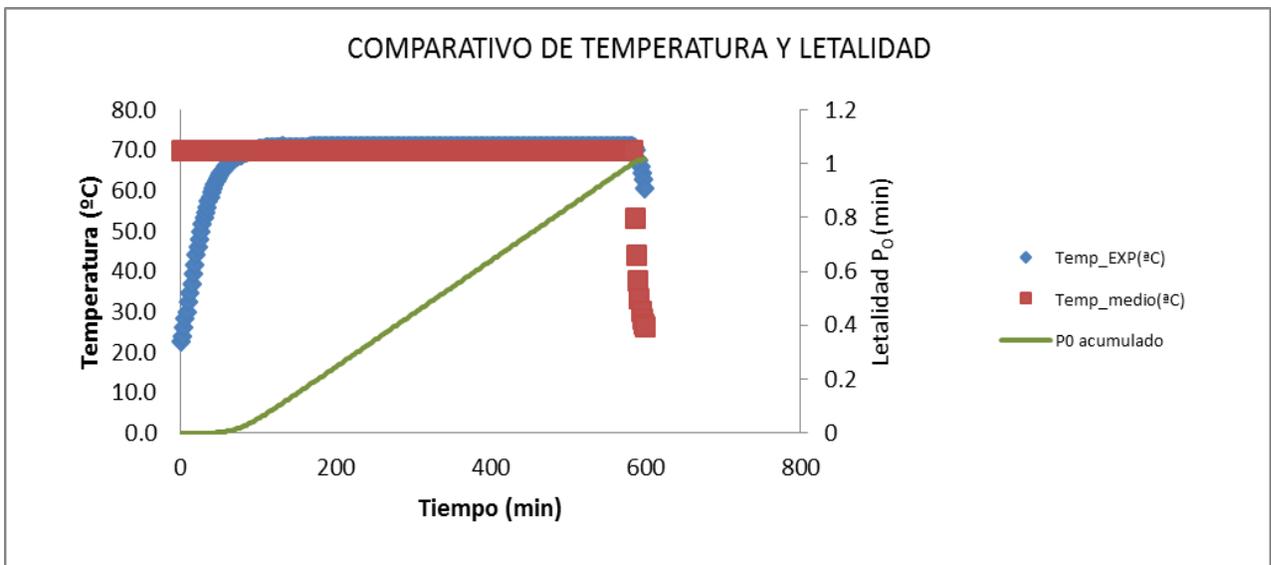
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.101, en donde se detalla la

curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.101

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°10 EN ENVASE DE HOJALATA



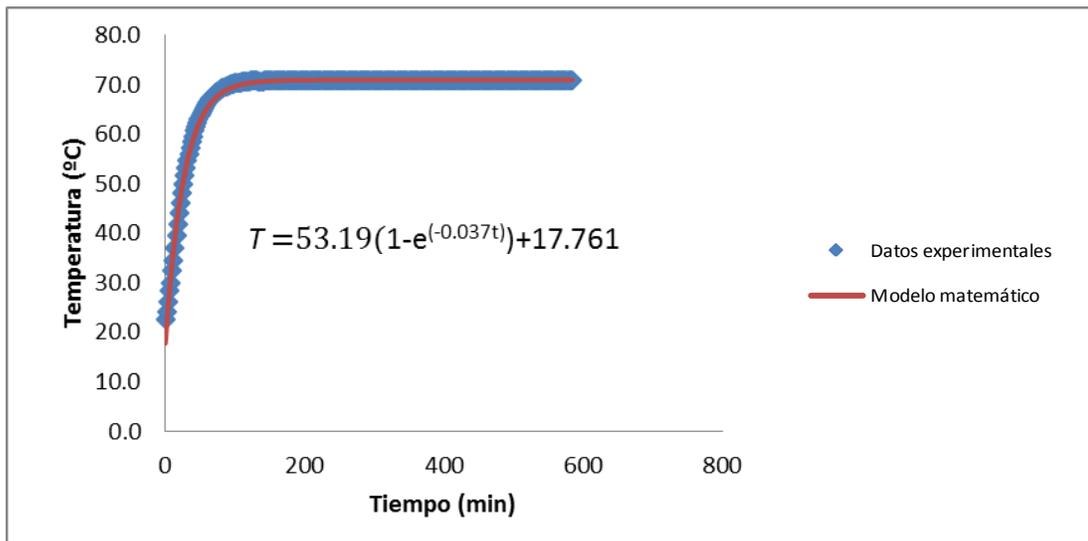
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual

se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.102.

GRÁFICA 5.102

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA N°10



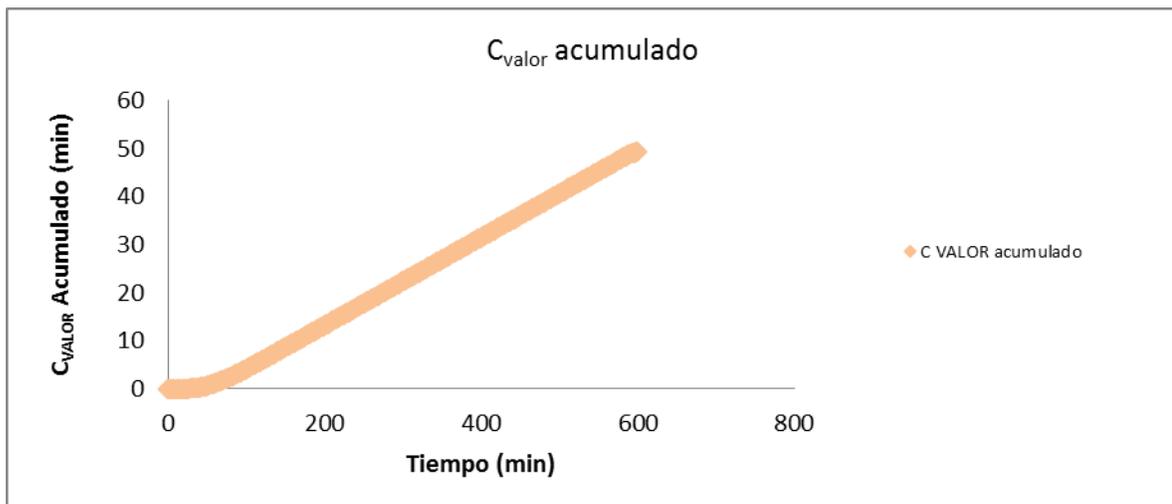
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.103.

GRÁFICA 5.103

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA N°10 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 584 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.001449 min, y un valor de cocción de 48.3164 min.

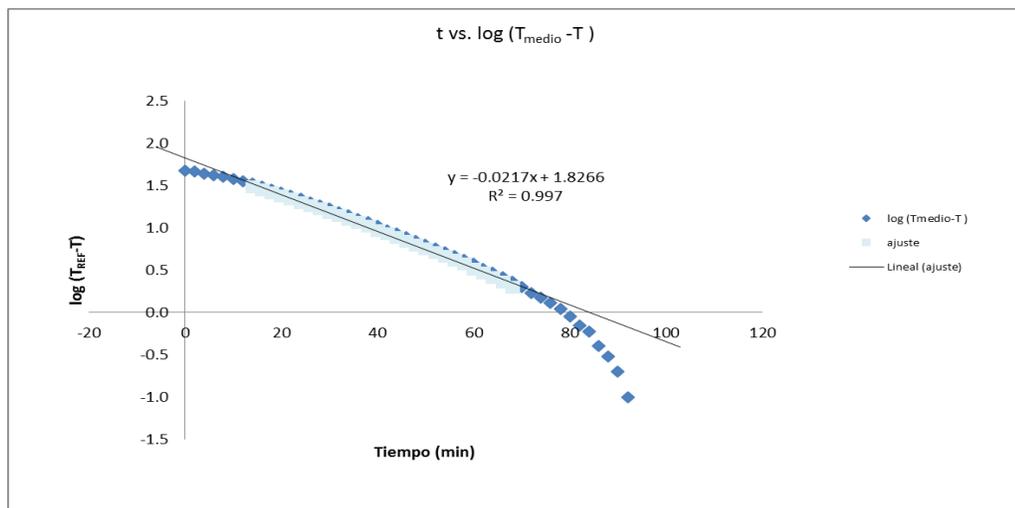
Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.22 de la página 269,

la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 435.41 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.104, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.104

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}} - T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°10 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.104, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 40.49 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.42, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor (U), que resulta 49.183 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.96x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.23.

TABLA 5.23  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°10 EN  
ENVASE DE VIDRIO

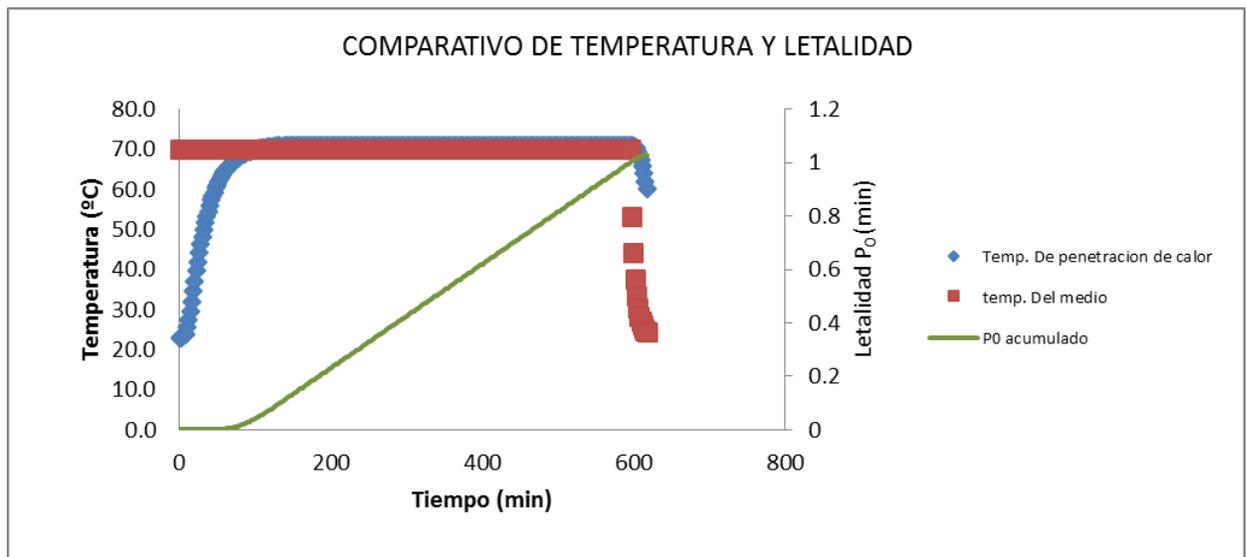
<b>Peso neto de producto (g)</b>	437.51
<b>Peso del envase (g)</b>	259.97
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.105, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.105

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°10 EN ENVASE DE VIDRIO

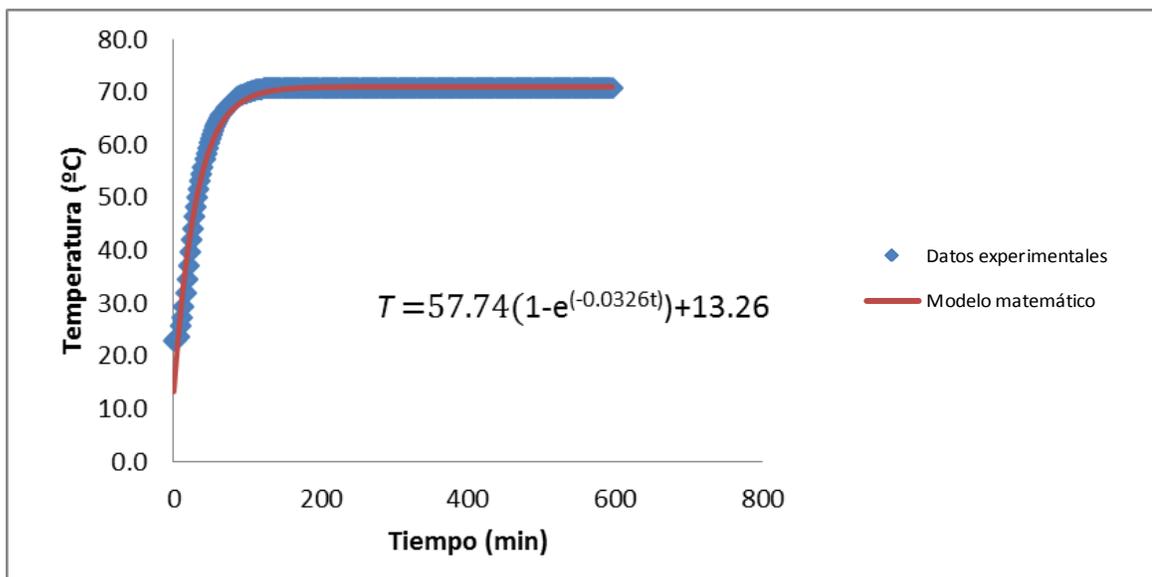


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.106.

GRÁFICA 5.106

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA N°10



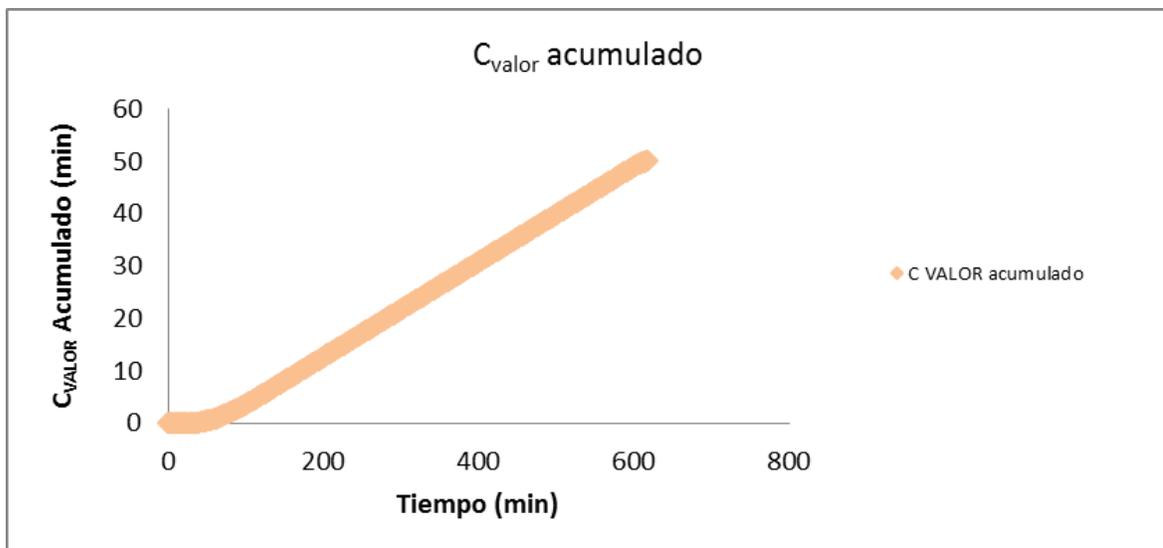
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.107.

GRÁFICA 5.107

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA N°10 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

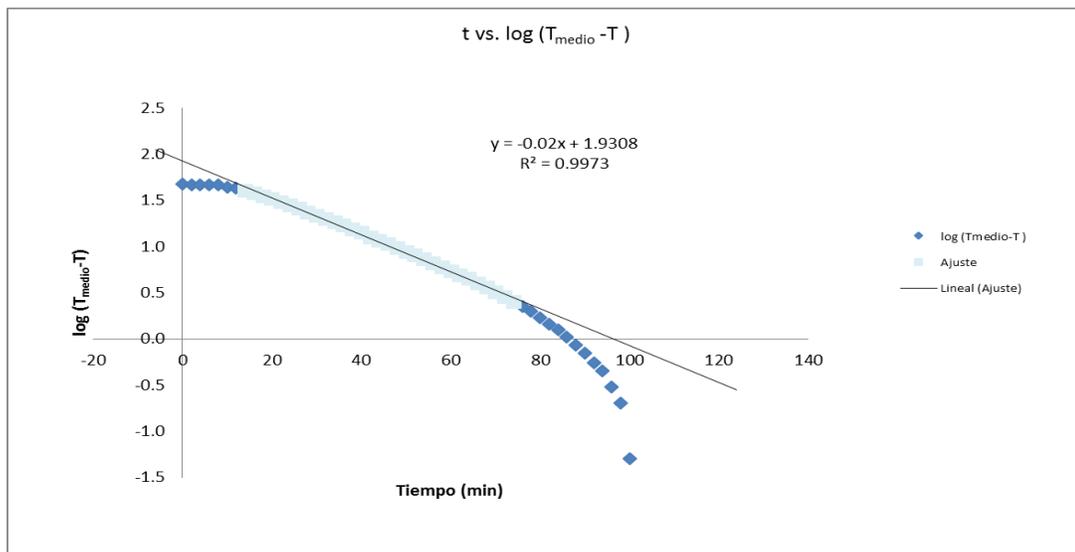
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 596 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.00137 min, y un valor de cocción de 48.618 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.23 de la página 274, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 437.51 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.108, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.108

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°10 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

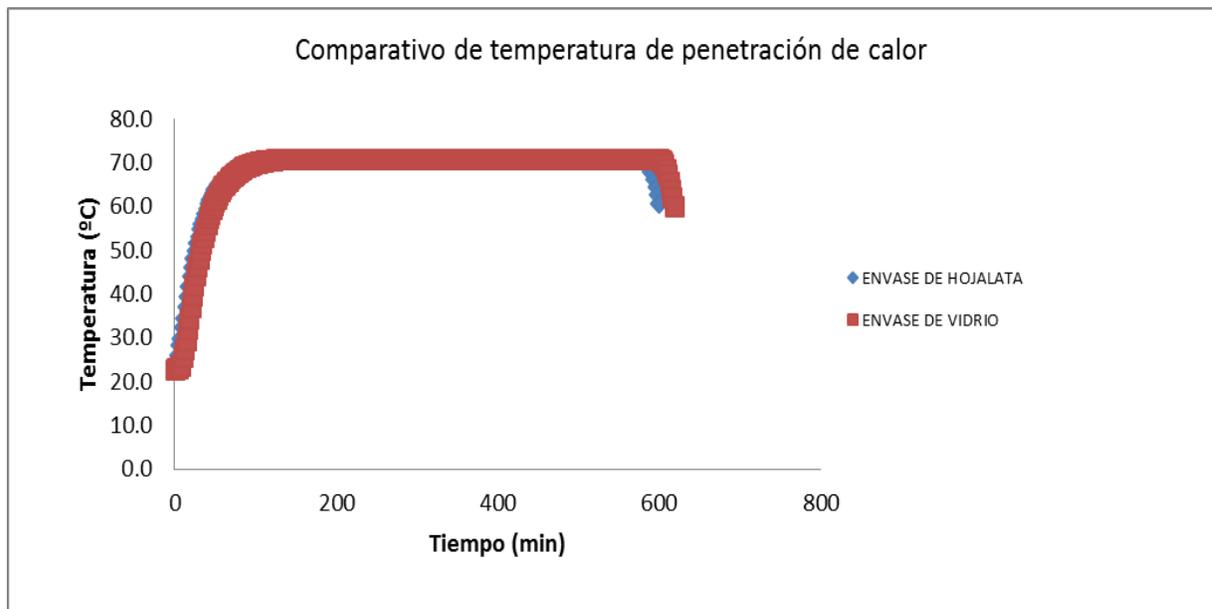
De la gráfica 5.108, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 42.92 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.81, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 43.642 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 3.13x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.109, 5.110 y 5.111, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.109

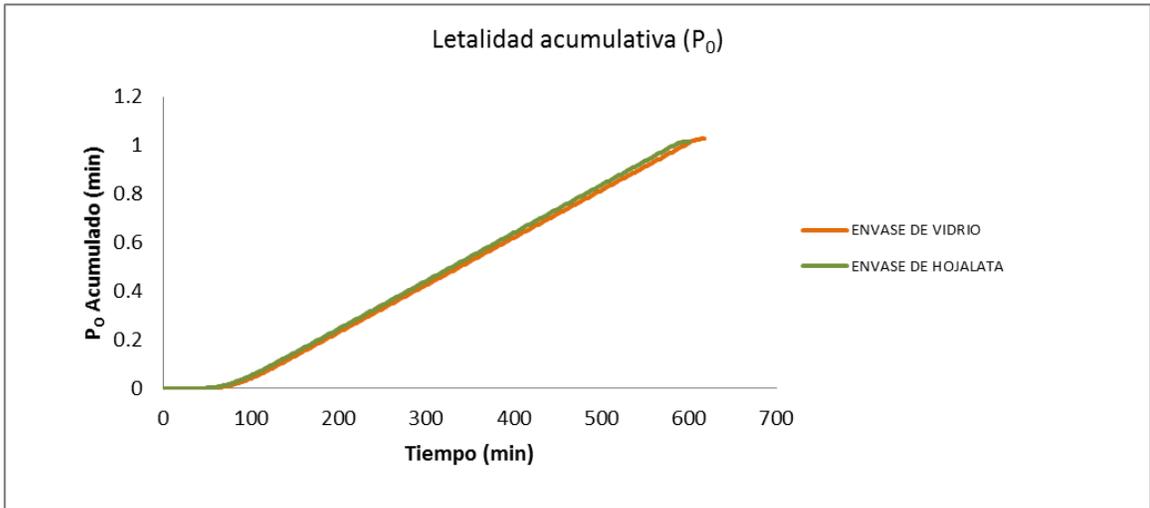
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS ENVASES DE HOJALATA Y VIDRO, EN LA EXPERIENCIA N°10



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.110

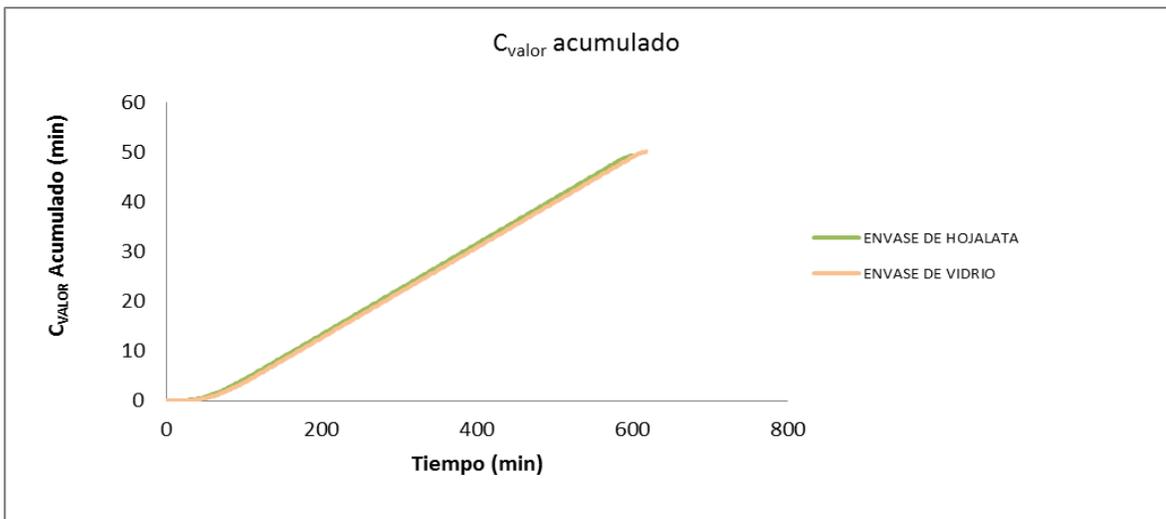
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA N°10



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.111

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA N°10



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### 5.2.11. Análisis de la experiencia N°11 ( $X_1= 100^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 15.5\%$ ).

En esta experiencia se trabaja a una temperatura de pasteurizado de  $100^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de 15.5%.

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.24.

TABLA 5.24  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA N°11 EN ENVASE DE HOJALATA

<b>Peso neto de producto (g)</b>	419.805
<b>Peso del envase (g)</b>	79.89
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

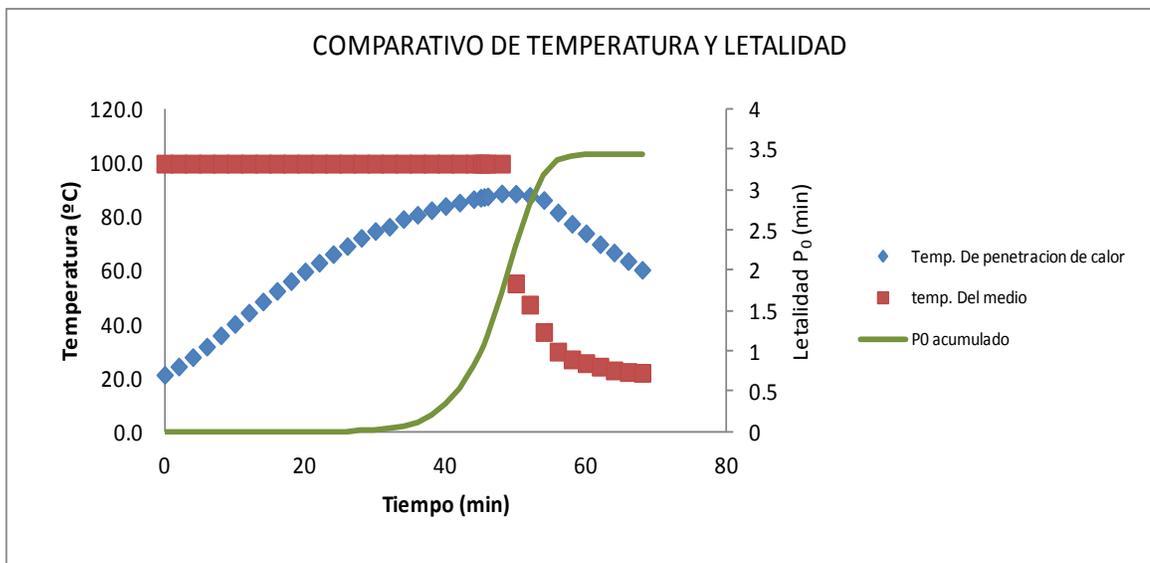
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.112, en donde se detalla la

curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.112

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°11 EN ENVASE DE HOJALATA



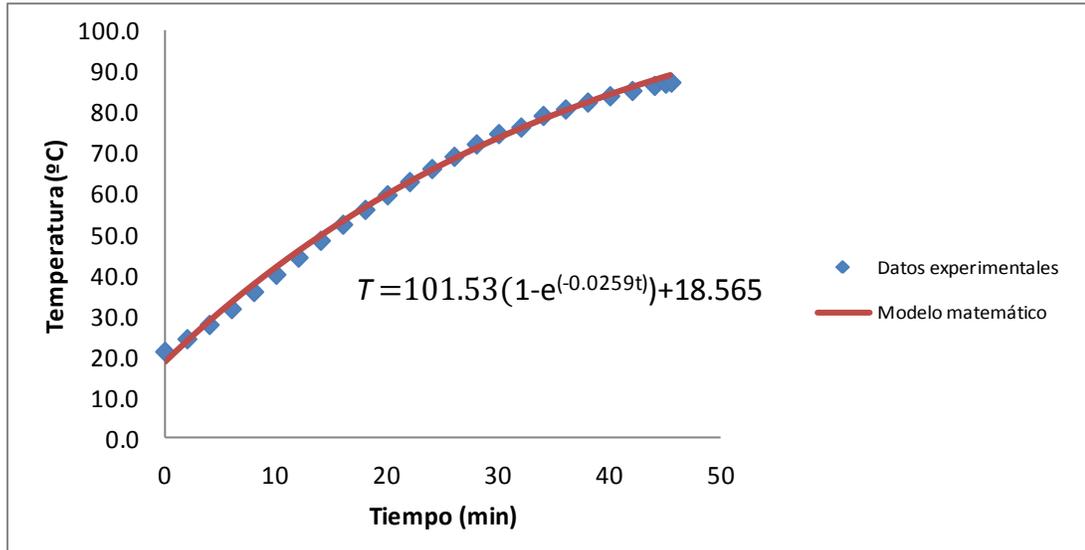
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual

se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.113.

GRÁFICA 5.113

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA N°11



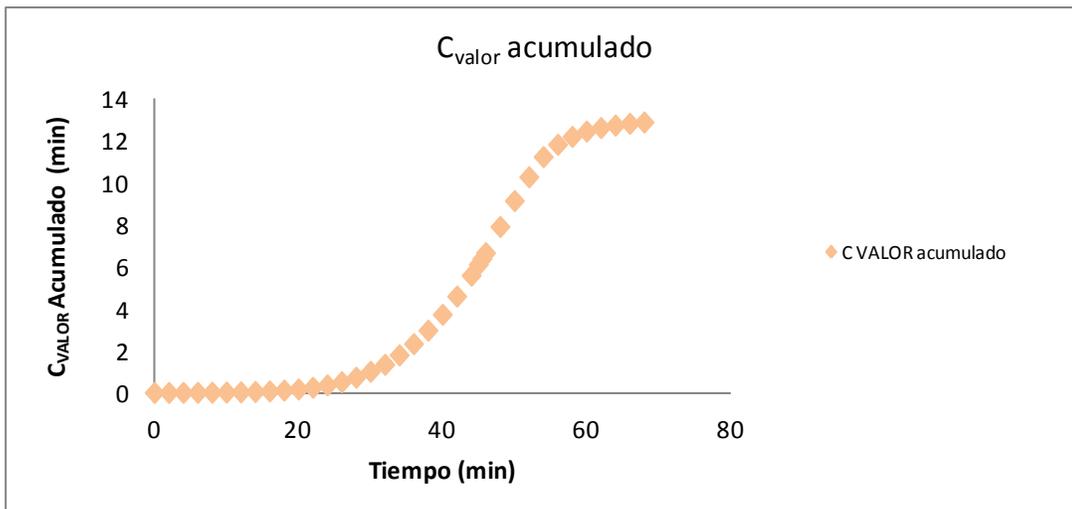
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.114.

GRÁFICA 5.114

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA N°11 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 45.5 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0788 min, y un valor de cocción de 6.3965 min.

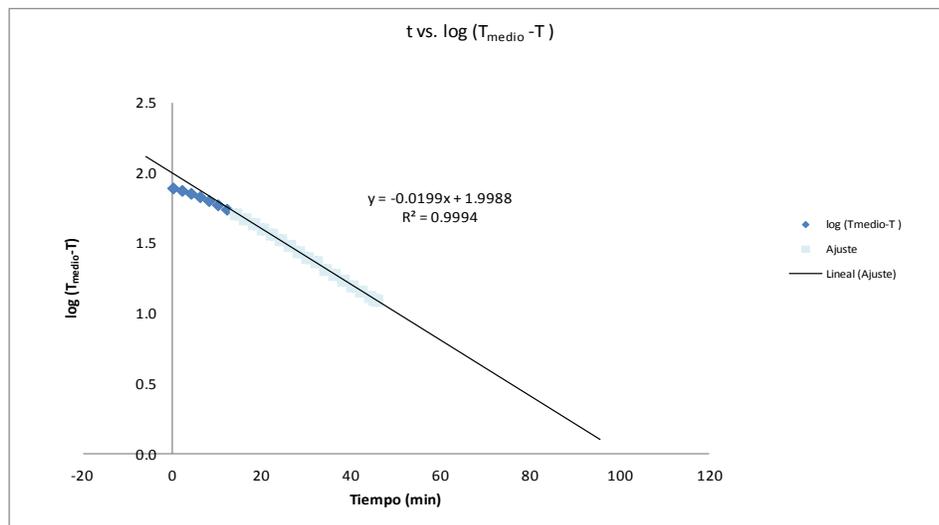
Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.24 de la página 282,

la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 419.805 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.115, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.115

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}} - T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°11 EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.115, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 54.05 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.27, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 35.518 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.43x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.25.

TABLA 5.25  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°11 EN  
ENVASE DE VIDRIO

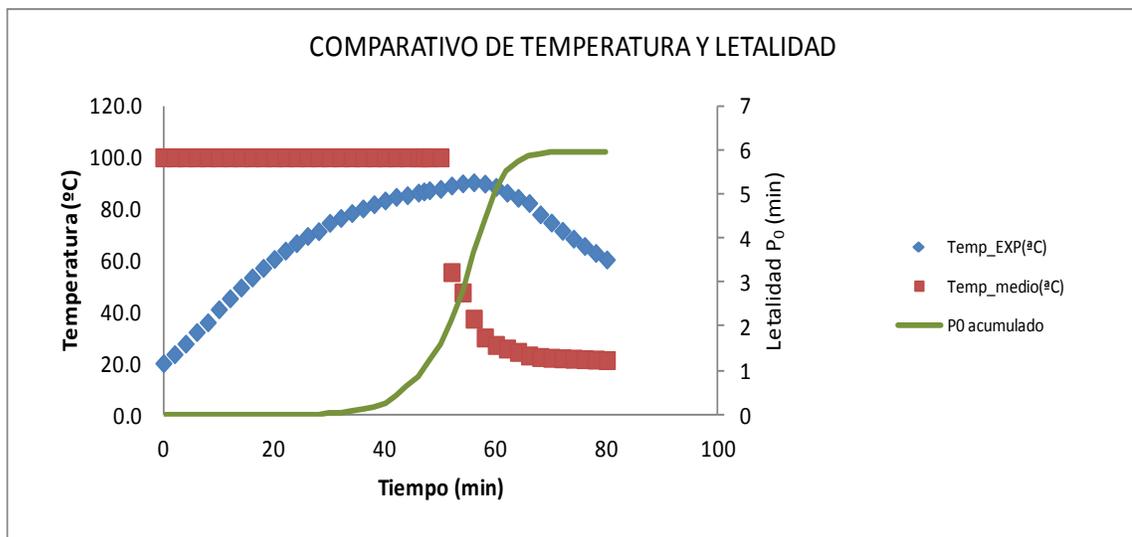
<b>Peso neto de producto (g)</b>	437.51
<b>Peso del envase (g)</b>	260.22
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.116, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.116

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA N°11 EN ENVASE DE VIDRIO

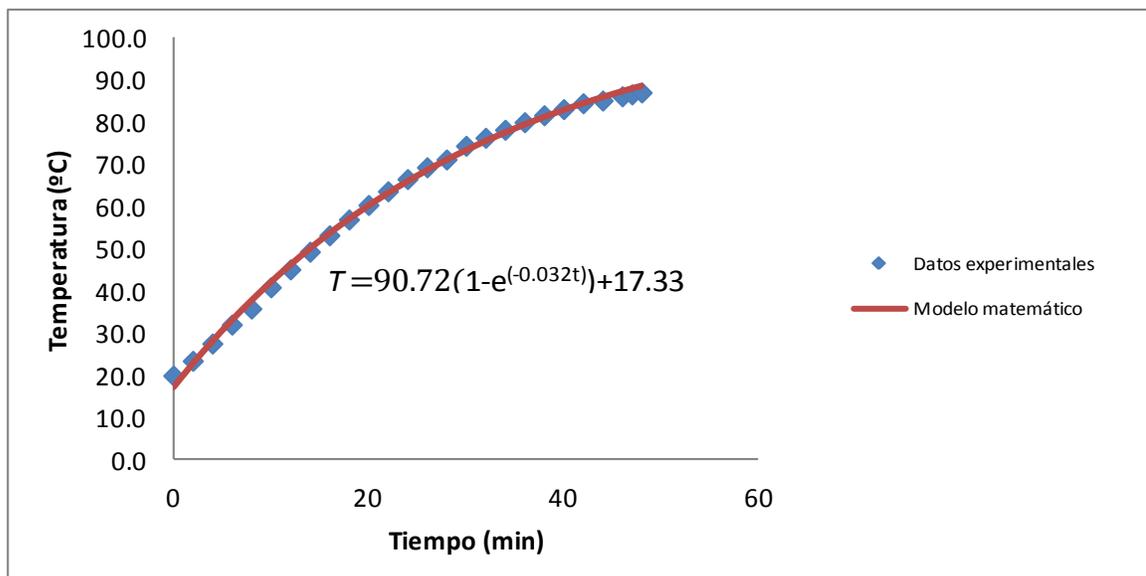


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.117.

GRÁFICA 5.117

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA N°11



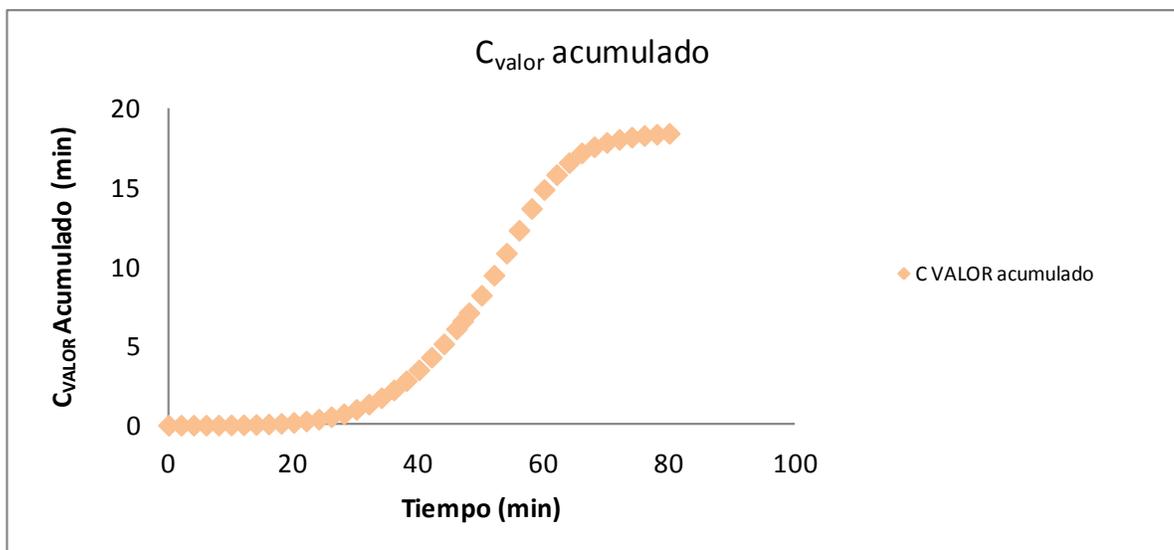
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.118.

GRÁFICA 5.118

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA N°11 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

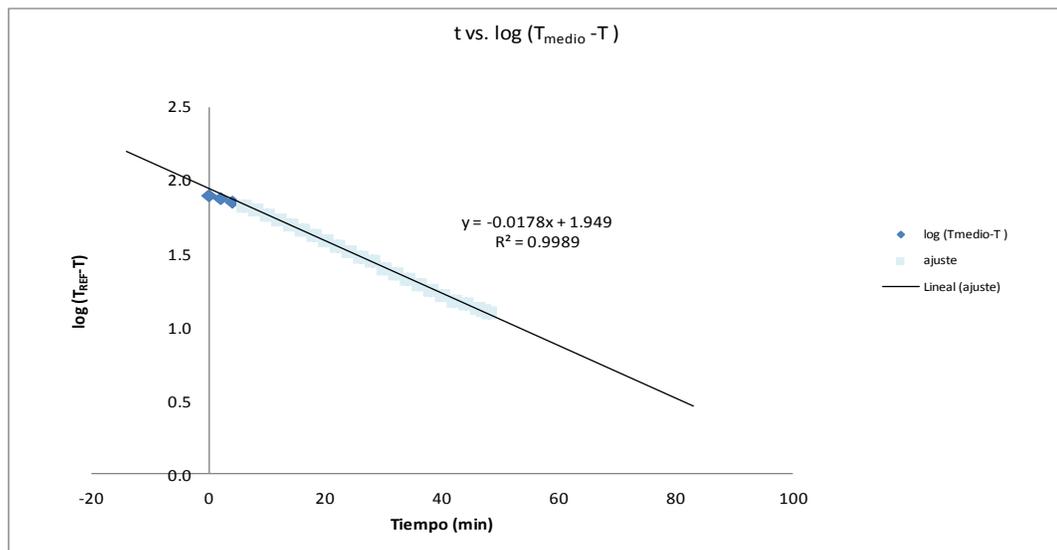
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 47 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0232 min, y un valor de cocción de 6.598 min.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.25 de la página 287, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 430.865 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.119, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.119

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA N°11 EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

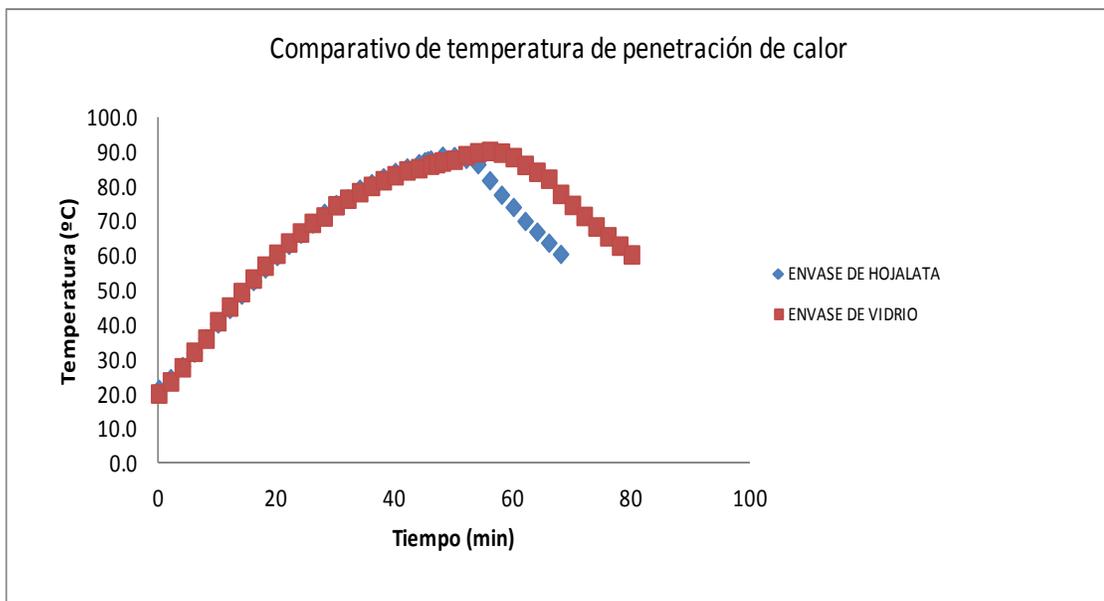
De la gráfica 5.119, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 57.14 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.11, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 32.280 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 2.57x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.120, 5.121 y 5.122, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.120

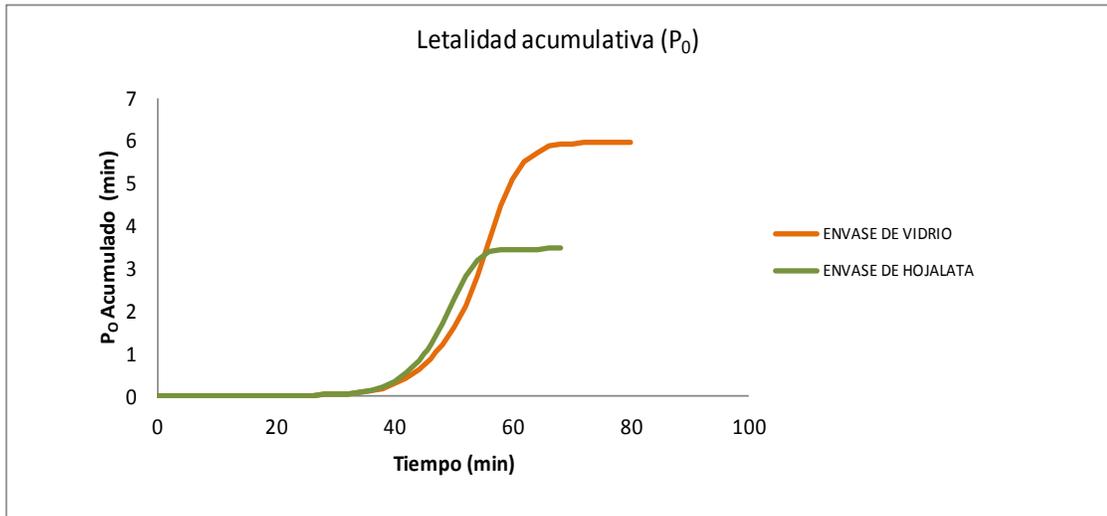
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS ENVASES DE HOJALATA Y VIDRIO, EN LA EXPERIENCIA N°11



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.121

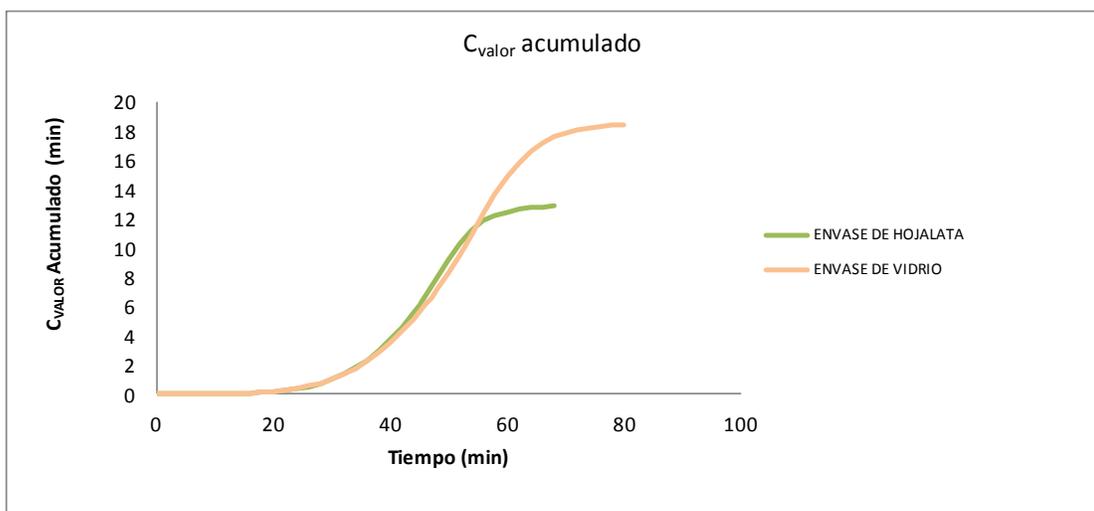
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA N°11



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.122

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA N°11



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

**5.3. Análisis de resultados y modelamiento matemático de los valores obtenidos en el diseño experimental.**

**5.3.1. Envase de hojalata**

En la Tabla 5.26, se presenta los resultados de la variable de respuesta del tiempo de calentamiento del diseño experimental para el puré de tomate en los envases de hojalata.

TABLA 5.26

VARIABLES CODIFICADAS Y VARIABLE DE RESPUESTA DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASES DE HOJALATA

N° de diseño experimental	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	t-calent promedio_hojalata (min)
1	-1	-1	230
2	1	-1	226
3	-1	1	51,5
4	1	1	53
5	0	0	86
6	0	0	85
7	0	0	84
8	-1,41	0	82
9	1,41	0	83
10	0	-1,41	584
11	0	1,41	45,5

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

En la tabla 5.27, se presenta los resultados de los efectos estimados de las variables que conforman en planeamiento experimental sobre la variable de respuesta que es el tiempo de calentamiento del puré de tomate. Se observa que el efecto lineal de la concentración del puré de tomate analizado no es significativo ( $p > 0,05$ ) así como la interacción de las variables de la concentración lineal y temperatura lineal ( $p > 0,05$ ). Se tiene un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,88837$  es aceptable, significa que el 88,84% de la variable de respuesta está siendo explicada por las variables independientes de concentración y temperatura ( $p < 0,05$ ).

TABLA 5.27

EFFECTOS ESTIMADOS DEL PLANEAMIENTO EXPERIMENTAL PARA EL  
TIEMPO DE CALENTAMIENTO EN ENVASES DE HOJALATA

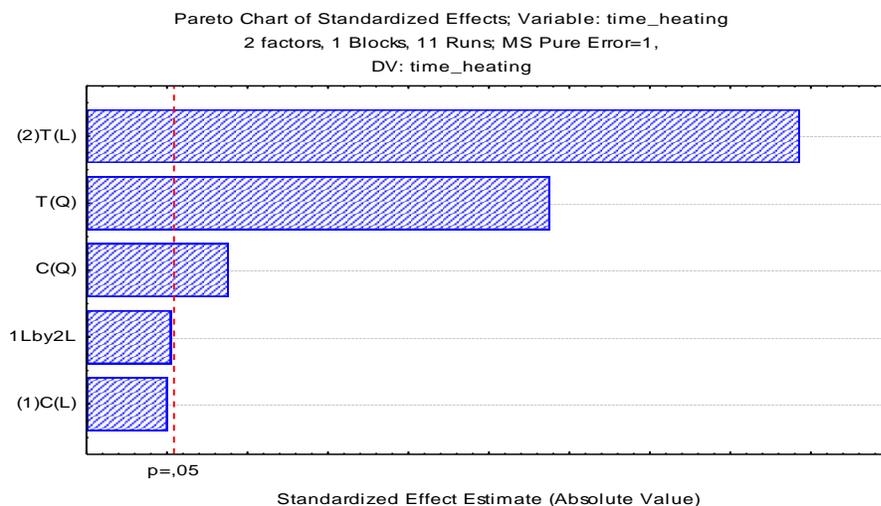
Effect Estimates; Var.:time_heating; R-sqr=,88837; Adj:,77673 (Spreadsheet8) 2 factors, 1 Blocks, 11 Runs; MS Pure Error=1, DV: time_heating										
Factor	Effect	Std.Err. Pure Err	t(2)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
<b>Mean/Interc.</b>	<b>85,235</b>	<b>0,577343</b>	<b>147,633</b>	<b>0,000046</b>	<b>82,751</b>	<b>87,719</b>	<b>85,235</b>	<b>0,577343</b>	<b>82,751</b>	<b>87,719</b>
(1)C (L)	-0,273	0,708161	-0,386	0,736722	-3,320	2,774	-0,137	0,354080	-1,660	1,387
C (Q)	-32,517	0,845020	-38,481	0,000675	-36,153	-28,881	-16,259	0,422510	-18,076	-14,441
(2)T (L)	-278,525	0,708161	-393,307	0,000006	-281,572	-275,478	-139,262	0,354080	-140,786	-137,739
T (Q)	201,123	0,845020	238,010	0,000018	197,487	204,759	100,562	0,422510	98,744	102,379
1L by 2L	2,750	1,000000	2,750	0,110703	-1,553	7,053	1,375	0,500000	-0,776	3,526

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la misma forma, en la gráfica 5.123, se presenta el diagrama de Pareto que confirma la significancia de los efectos de las variables en el planeamiento experimental. Obsérvese que muy a pesar que no presentan efectos significantes (C(L) y C(L)xT(L)) con respecto al tiempo de calentamiento, serán considerados dentro de la ecuación polinómica, para evitar que caiga el valor del coeficiente de determinación.

GRÁFICA 5.123

DIAGRAMA DE PARETO PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS VARIABLES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASES DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

En la tabla 5.28, se presenta el Análisis de Varianza de la fuente de variación de la falta de ajuste y el Error puro del modelo matemático sobre la variable de respuesta del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envases de hojalata estudiados.

TABLA 5.28

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA FALTA DE AJUSTE Y ERROR PURO DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA VARIABLE DE RESPUESTA DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASE DE HOJALATA

ANOVA; Var.:time_heating; R-sqr=,88837; Adj: ,77673 (Spreadsheet8)						
2 factors, 1 Blocks, 11 Runs; MS Pure Error=1, DV: time_heating						
Factor		SS	df	MS	F	p
(1)C	(L)	0,1	1	0,1	0,1	0,736722
C	(Q)	1480,8	1	1480,8	1480,8	0,000675
(2)T	(L)	154690,6	1	154690,6	154690,6	0,000006
T	(Q)	56648,7	1	56648,7	56648,7	0,000018
1L by 2L		7,6	1	7,6	7,6	0,110703
Lack of Fit		28153,1	3	9384,4	9384,4	0,000107
Pure Error		2,0	2	1,0		
Total SS		252208,0	10			

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con los valores de la Tabla 5.27 de la página 296. Se elabora de tabla principal del ANOVA que incluye al análisis de la Regresión del modelo

matemático y los respectivos residuos. Tal como se presenta en la Tabla 5.29.

TABLA 5.29  
ANOVA DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA VARIABLE DE RESPUESTA  
DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASE  
DE HOJALATA

Fuente de variación	Suma cuadrática	N° grados libertad	Media cuadrática	Valor F calculado
Regresión	22052.90	5	44810.580	7.958
Residuos	28155.10	5	5631.020	
Falta de ajuste	28153.10	3	9384.367	9384.37
Error puro	2.00	2	1.000	
Total	252208.00	10		

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Comparando el valor F calculado con el valor de la tabla:  $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0,95;5;5} = 5.05$ . Por lo que  $F_{calculado} > F_{tabla}$ , se concluye que el modelo matemático es estadísticamente valido al demostrarse la significancia de las variables involucradas en el estudio.

En la Tabla 5.30, se presentan los valores de los coeficientes del modelo matemático que estima el tiempo de calentamiento del puré de tomate en envases de hojalata para el diseño experimental planteado.

TABLA 5.30

VALORES DE LOS COEFICIENTES DE REGRESIÓN DEL MODELO  
MATEMÁTICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO  
DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASES DE HOJALATA

Regr. Coefficients; Var.:time_heating; R-sqr=.88837; Adj:.77673 (Spreadsheet8) 2 factors, 1 Blocks, 11 Runs; MS Pure Error=1, DV: time_heating							
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(2)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	
Mean/Interc.	85,235	0,577343	147,633	0,000046	82,751	87,719	
(1)C (L)	-0,137	0,354080	-0,386	0,736722	-1,660	1,387	
C (Q)	-16,259	0,422510	-38,481	0,000675	-18,076	-14,441	
(2)T (L)	-139,262	0,354080	-393,307	0,000006	-140,786	-137,739	
T (Q)	100,562	0,422510	238,010	0,000018	98,744	102,379	
1L by 2L	1,375	0,500000	2,750	0,110703	-0,776	3,526	

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Siendo el modelo matemático del tiempo de calentamiento, tal como se presenta en la siguiente ecuación, donde; ( $x_1$ : concentración y  $x_2$ : temperatura).

$$\vartheta = 85,235 - 0,137x_1 - 16,259x_1^2 - 139,262x_2 + 100,562x_2^2 + 1,375x_1 \cdot x_2 \quad (5.1)$$

Siendo la conversión de los valores codificados a los valores reales, tal como se presentan en la Tabla 5.31.

TABLA 5.31

VALORES CODIFICADOS Y REALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA  
EL MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO  
DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASES DE HOJALATA

Variable	-1.41	-1	0	1	1.41
Concentracion (%)	7	9.47	15.5	21.53	24
Temperatura (°C)	70	74.4	85	95.6	100

Fuente: elaboración propia (2016)

Siendo la conversión.

$$\text{Concentración: } x_1 = \frac{C - 15,5}{6,03} \quad (5.2)$$

$$\text{Temperatura: } x_2 = \frac{T - 85}{10,60} \quad (5.3)$$

Luego la ecuación del modelamiento matemático, quedaría como:

$$\begin{aligned} \vartheta = & 85,235 - 0,137 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) - 16,259 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right)^2 - 139,262 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right) \\ & + 100,562 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right)^2 + 1,375 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) \left( \frac{T - 85}{10,60} \right) \end{aligned} \quad (5.4)$$

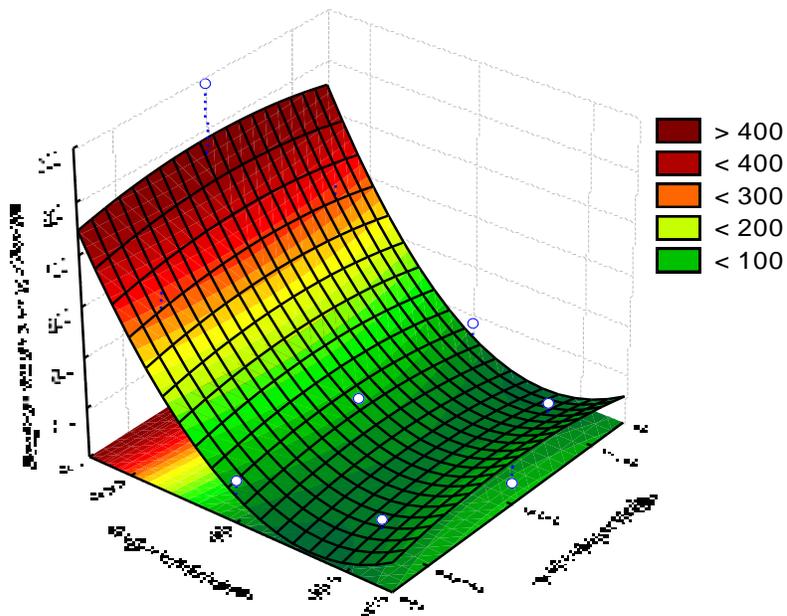
El modelo tiene un coeficiente de determinación de  $R^2=0,89$ ; es decir el 89% del modelo puede ser predictivo.

En la gráfica 5.124, se observa la superficie de respuesta del tiempo de calentamiento y las variables independientes de concentración (%) y temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), esta es en forma de punto de silla.

GRÁFICA 5.124

SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL  
PURÉ DE TOMATE A DIFERENTES CONCENTRACIONES (%) Y  
TEMPERATURA DE PASTEURIZACIÓN ( $^{\circ}\text{C}$ ), EN ENVASE DE HOJALATA

Fitted Surface; Variable: Tiempo de calentamiento (min)  
2 factors, 1 Blocks, 11 Runs; MS Pure Error=1,

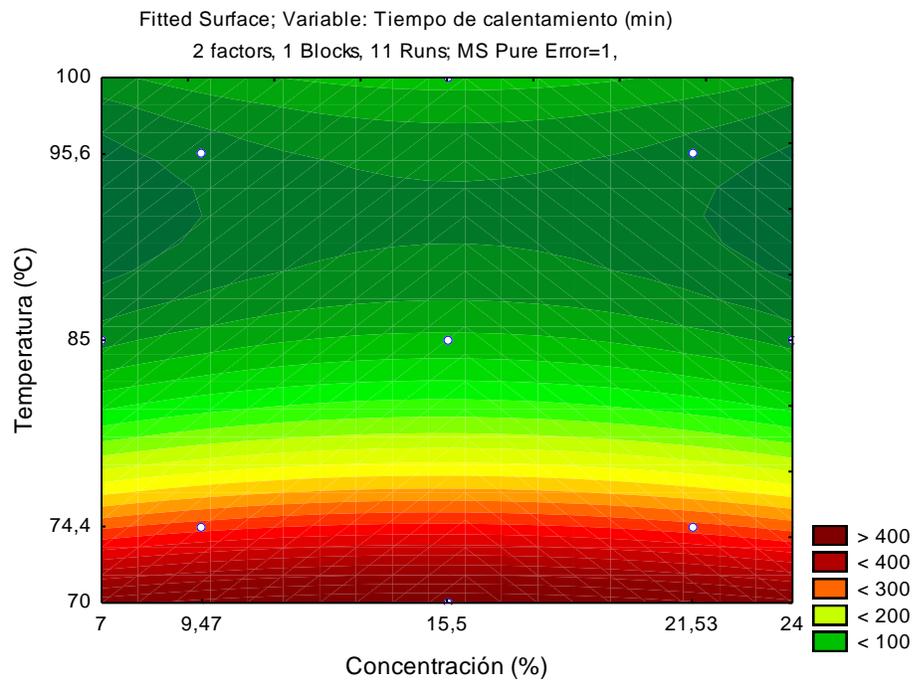


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

En la gráfica 5.125, se presenta la superficie de contorno, donde se observa que la formación de líneas paralelas para las bajas temperaturas experimentadas, no se evidencia diferentes tiempos de calentamiento para las diferentes concentraciones ensayadas.

GRÁFICA 5.125

SUPERFICIE DE CONTORNO DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE  
PURÉ DE TOMATE, EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

En la tabla 5.32, se presentan los valores críticos para la optimización del valor mínimo de calentamiento del Puré de tomate, éste se realiza con un tiempo de 37,03 min, con los valores de concentración de: 15,65% y Temperatura de pasteurización de 92,34°C.

TABLA 5.32

VALORES CRÍTICOS DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA TIPO PUNTO-SILLA PARA EL PURÉ DE TOMATE EN ENVASE DE HOJALATA

Critical values; Variable: time_heating (Spreadsheet8)				
Solution: saddlepoint				
Predicted value at solution: 37,03065				
Factor	Observed Minimum	Critical Values	Observed Maximum	
C	-1,41000	0,025070	1,410000	
T	-1,41000	0,692252	1,410000	

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Estos valores fueron obtenidos como sigue:

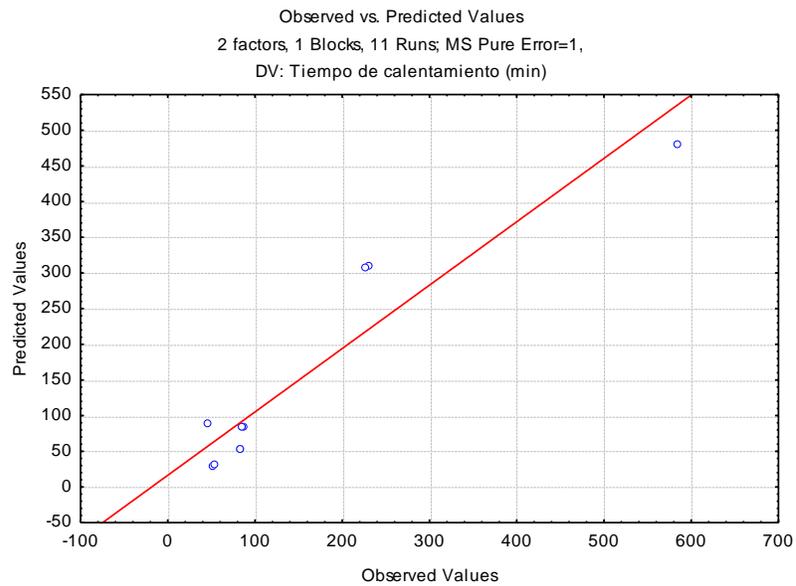
$$x_1 = \frac{C - 15,5}{6,03} \rightarrow C = 6,03 \cdot 0,02507 + 15,5 = 15,65 \% \quad (5.5)$$

$$x_2 = \frac{T - 85}{10,6} \rightarrow T = 10,6 \cdot 0,692252 + 85 = 92,34^\circ C \quad (5.6)$$

En la gráfica 5.126, se presentan los valores experimentales y estimados de la ecuación de regresión para el modelamiento matemático del tiempo de calentamiento del puré de tomate a diferentes concentraciones y temperaturas de pasteurización.

GRÁFICA 5.126

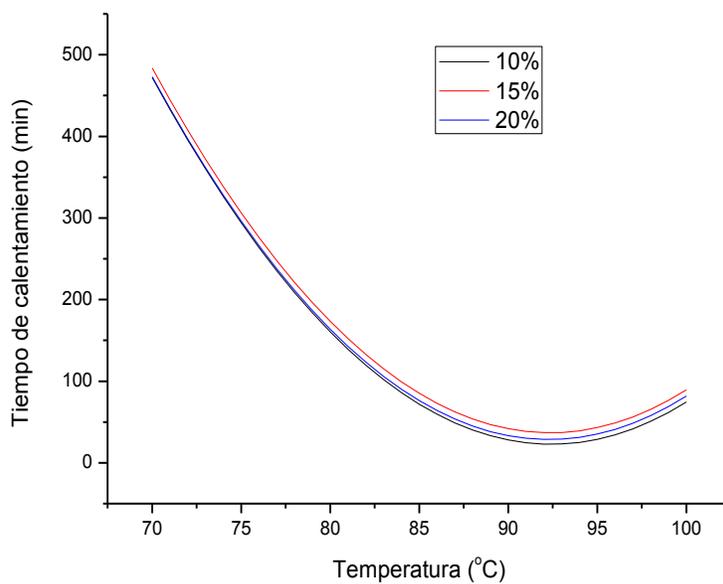
VALORES OBSERVADOS Y ESTIMADOS DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

En la gráfica 5.127, se presenta la simulación matemática del modelo matemático obtenido para el cálculo del tiempo de calentamiento para tres tipos de concentraciones de puré de tomate de 10, 15 y 20% de concentración de sólidos para envase de hojalata para el intervalo de temperatura estudiado de 70 a 100°C.

GRÁFICA 5.127  
SIMULACIÓN DE CURVA DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO Y  
TEMPERATURAS PARA TRES CONCENTRACIONES DE SÓLIDOS DEL  
PURÉ DE TOMATE EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### 5.3.2. Envase de vidrio.

En la Tabla 1, se presenta los resultados de la variable de respuesta sobre el tiempo de calentamiento del diseño experimental con cuatro puntos factoriales, tres puntos centrales y cuatro puntos axiales, para el puré de tomate en los envases de vidrio.

TABLA 5.33

VARIABLES CODIFICADAS Y REALES CON LOS VALORES DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASES DE VIDRIO

N° de diseño experimental	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Concentracion % (X <sub>1</sub> )	Tempetarura °C (X <sub>2</sub> )	Tiempo calentamiento (min)
1	-1	-1	9.47	74.40	238
2	1	-1	21.53	74.40	228
3	-1	1	9.47	95.60	60
4	1	1	21.53	95.60	59.5
5	0	0	15.50	85.00	90
6	0	0	15.50	85.00	91
7	0	0	15.50	85.00	92
8	-1.41	0	7.00	85.00	98
9	1.41	0	24.00	85.00	90
10	0	-1.41	15.50	70.00	596
11	0	1.41	15.50	100.00	47

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

En la tabla 5.34, se presenta los resultados de los efectos estimados de las variables que conforman en planeamiento experimental sobre la variable de

respuesta que es el tiempo de calentamiento del puré de tomate en envase de vidrio. Se observa que el efecto lineal y cuadrado de la concentración y temperatura del puré de tomate analizado es significativo ( $p < 0,05$ ) así como la interacción de las variables de la concentración lineal y temperatura lineal ( $p < 0,05$ ). Se tiene un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,8792$  es aceptable, significa que el 87,92% de la variable de respuesta está siendo explicada por las variables independientes de concentración y temperatura ( $p < 0,05$ ).

TABLA 5.34

TABLA DE LOS EFECTOS ESTIMADOS DEL PLANEAMIENTO  
EXPERIMENTAL PARA EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO EN ENVASES  
DE VIDRIO

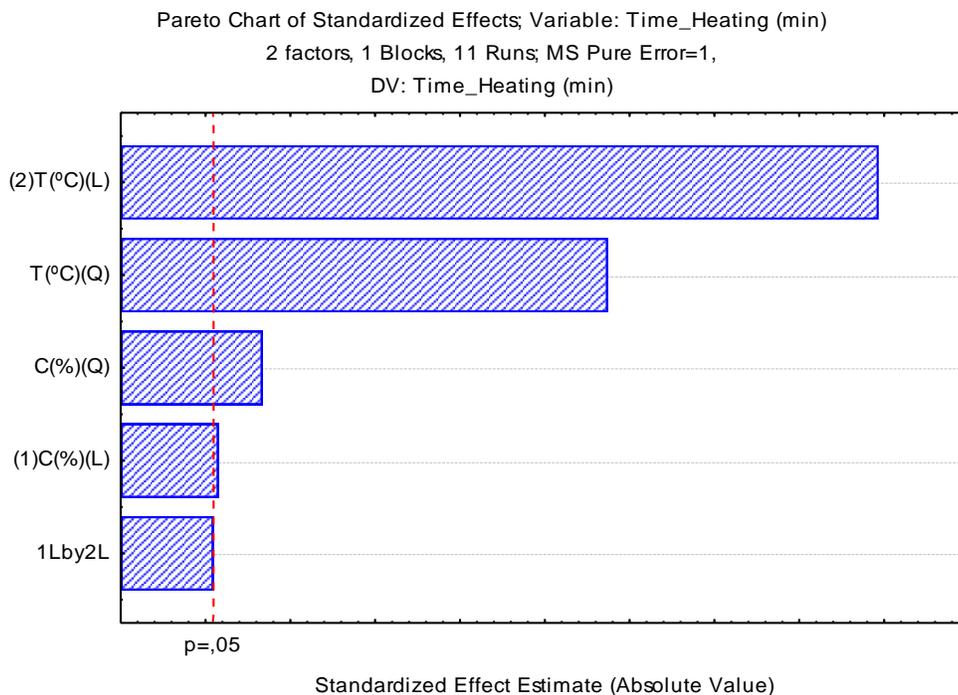
Effect Estimates; Var.: Time_Heating (min); R-sqr=,87924; Adj.,75848 (Spreadsheet8) 2 factors, 1 Blocks, 11 Runs; MS Pure Error=1, DV: Time_Heating (min)										
Factor	Effect	Std.Err. Pure Err	t(2)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	91,246	0,577343	158,045	0,000040	88,762	93,730	91,246	0,577343	88,762	93,730
(1)C(%)(L)	-5,461	0,708161	-7,712	0,016402	-8,508	-2,414	-2,731	0,354080	-4,254	-1,207
C(%)(Q)	-28,451	0,845020	-33,669	0,000881	-32,087	-24,815	-14,226	0,422510	-16,043	-12,408
(2)T(°C)(L)	-280,983	0,708161	-396,779	0,000006	-284,030	-277,936	-140,492	0,354080	-142,015	-138,968
T(°C)(Q)	200,411	0,845020	237,167	0,000018	196,775	204,046	100,205	0,422510	98,387	102,023
1L by 2L	4,750	1,000000	4,750	0,041577	0,447	9,053	2,375	0,500000	0,224	4,526

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la misma forma, en la gráfica 5.128, se presenta el diagrama de Pareto que confirma la significancia de los efectos de las variables en el planeamiento experimental. Obsérvese que todas las variables en forma simple, cuadrada y de interacción son significantes con respecto al tiempo de calentamiento.

GRÁFICA 5.128

DIAGRAMA DE PARETO PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS VARIABLES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASES DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

En la tabla 5.35, se presenta el Análisis de Varianza de la fuente de variación de la falta de ajuste y el Error puro del modelo matemático sobre la variable de respuesta del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envases de vidrio.

TABLA 5.35

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA FALTA DE AJUSTE Y ERROR PURO DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA VARIABLE DE RESPUESTA DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASE DE VIDRIO

ANOVA; Var.:Time_Heating (min); R-sqr=,87924; Adj.,75848 (Spreadsheet8) 2 factors, 1 Blocks, 11 Runs; MS Pure Error=1, DV: Time_Heating (min)					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)C%(L)	59,5	1	59,5	59,5	0,016402
C%(Q)	1133,6	1	1133,6	1133,6	0,000881
(2)T(°C)(L)	157433,6	1	157433,6	157433,6	0,000006
T(°C)(Q)	56248,0	1	56248,0	56248,0	0,000018
1L by 2L	22,6	1	22,6	22,6	0,041577
Lack of Fit	30942,7	3	10314,2	10314,2	0,000097
Pure Error	2,0	2	1,0		
Total SS	256250,4	10			

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con los valores de la Tabla 5.34. Se elabora de tabla principal del ANOVA que incluye al análisis de la Regresión del modelo matemático y los respectivos residuos. Tal como se presenta en la Tabla 4.

TABLA 5.36

ANOVA DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA VARIABLE DE RESPUESTA  
DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASE  
DE VIDRIO

Fuente de variación	Suma cuadrática	N° grados libertad	Media cuadrática	Valor F calculado
Regresión	225305.70	5	45061.140	7.281
Residuos	30944.70	5	6188.940	
Falta de ajuste	30942.70	3	10314.233	10314.23
Error puro	2.00	2	1.000	
Total	256250.40	10		

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Comparando el valor F calculado con el valor de la tabla:  $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0,95;5;5} = 5.05$ . Por lo que  $F_{calculado} > F_{tabla}$ , Por lo que se concluye que el modelo matemático es estadísticamente valido al demostrarse la significancia de las variables involucradas en el estudio.

En la Tabla 5.37, se presentan los valores de los coeficientes del modelo matemático que estima el tiempo de calentamiento del puré de tomate en envases de Vidrio para el diseño experimental planteado.

TABLA 5.37

VALORES DE LOS COEFICIENTES DE REGRESIÓN DEL MODELO  
MATEMÁTICO PARA LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO  
DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASES DE VIDRIO

Regr. Coefficients; Var.:Time_Heating (min); R-sqr=.87924; Adj.:.75848 (Spreadsheet8) 2 factors, 1 Blocks, 11 Runs; MS Pure Error=1, DV: Time_Heating (min)						
Factor	Regressn Coeff.	Std.Err. Pure Err	t(2)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	91,246	0,577343	158,045	0,000040	88,762	93,730
(1)C%(L)	-2,731	0,354080	-7,712	0,016402	-4,254	-1,207
C%(Q)	-14,226	0,422510	-33,669	0,000881	-16,043	-12,408
(2)T(°C)(L)	-140,492	0,354080	-396,779	0,000006	-142,015	-138,968
T(°C)(Q)	100,205	0,422510	237,167	0,000018	98,387	102,023
1L by 2L	2,375	0,500000	4,750	0,041577	0,224	4,526

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Siendo el modelo matemático del tiempo de calentamiento del puré de tomates en envase de vidrio, tal la siguiente ecuación, donde; ( $x_1$ : concentración y  $x_2$ : temperatura).

$$\vartheta = 91,246 - 2,731x_1 - 14,226x_1^2 - 140,492x_2 + 100,205x_2^2 + 2,375x_1 \cdot x_2 \quad (5.7)$$

Siendo la conversión de los valores codificados a los valores reales, tal como se presentan en la Tabla 5.38.

TABLA 5.38

VALORES CODIFICADOS Y REALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA  
EL MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO  
DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASES DE VIDRIO

Variable	-1.41	-1	0	1	1.41
Concentracion (%)	7	9.47	15.5	21.53	24
Temperatura (°C)	70	74.4	85	95.6	100

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Siendo la conversión

$$\text{Concentración: } x_1 = \frac{C - 15,5}{6,03} \quad (5.8)$$

$$\text{Temperatura: } x_2 = \frac{T - 85}{10,60} \quad (5.9)$$

Luego la ecuación del modelamiento matemático, quedaría como:

$$\begin{aligned} \vartheta = & 91,246 - 2,731 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) - 14,226 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right)^2 - 140,492 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right) \\ & + 100,205 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right)^2 + 2,375 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) \left( \frac{T - 85}{10,60} \right) \end{aligned} \quad (5.10)$$

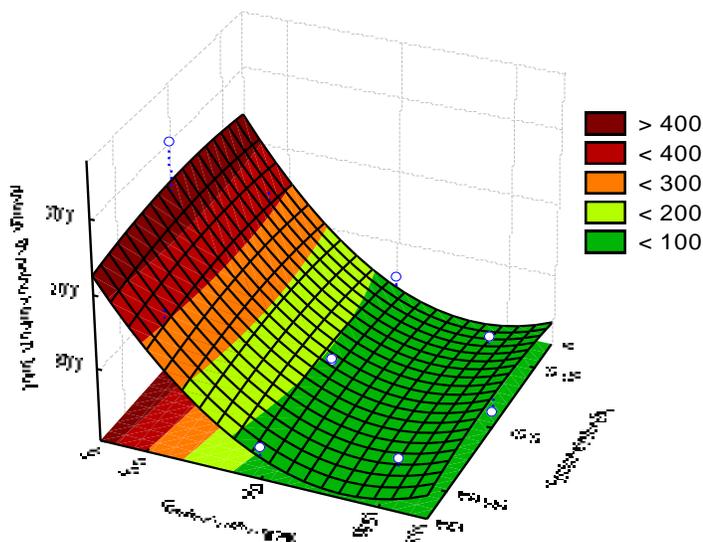
El modelo tiene un coeficiente de determinación de  $R^2=0,88$ ; es decir el 88% del modelo puede ser predictivo.

En la gráfica 5.129, se observa la superficie de respuesta del tiempo de calentamiento y las variables independientes de concentración (%) y temperatura (°C), esta es en forma de punto de silla.

GRÁFICA 5.129

SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL  
PURÉ DE TOMATE A DIFERENTES CONCENTRACIONES (%) Y  
TEMPERATURA DE PASTEURIZACIÓN (°C), EN ENVASES DE VIDRIO

Fitted Surface; Variable: Tiempo de calentamiento (min)  
2 factors, 1 Blocks, 11 Runs; MS Pure Error=1,  
DV: Time\_Heating (min)

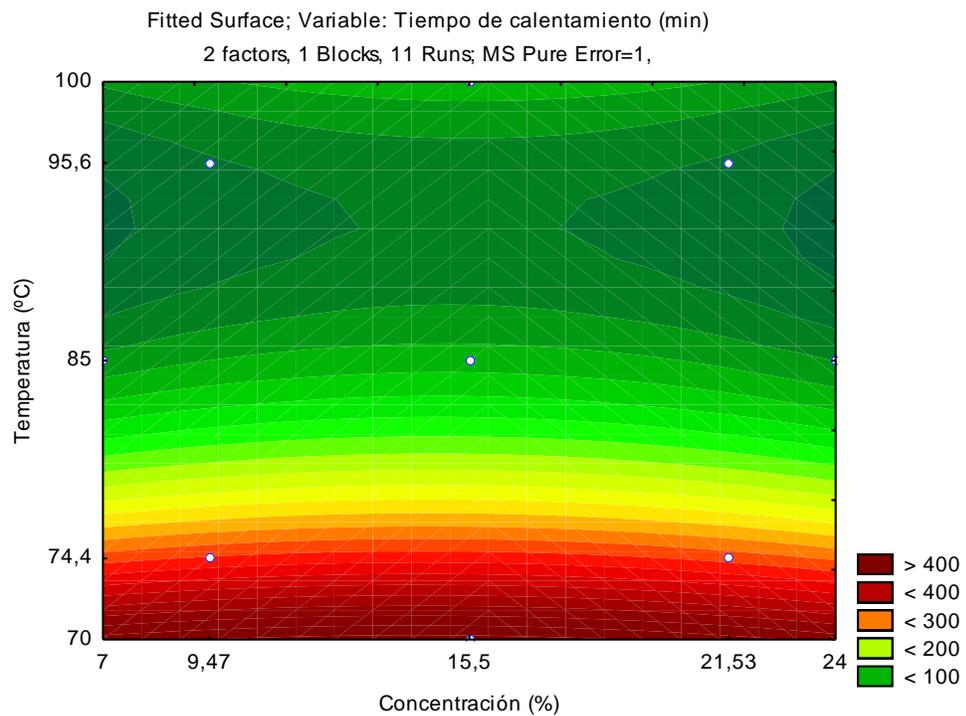


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

En la gráfica 5.130, se presenta la superficie de contorno, donde se observa que la formación de líneas paralelas curvadas ligeramente para las bajas temperaturas experimentadas se evidencia ligeramente diferentes tiempos de calentamiento para las diferentes concentraciones ensayadas.

GRÁFICA 5.130

SUPERFICIE DE CONTORNO DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL  
PURÉ DE TOMATE, EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

En la tabla 5.39, se presentan los valores críticos para la optimización del valor mínimo de calentamiento del Puré de tomate en envase de vidrio, éste se realiza con un tiempo de 42,02 min, con los valores de concentración de: 15,30% y Temperatura de pasteurización de 92,40°C.

TABLA 5.39

VALORES CRÍTICOS DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA TIPO PUNTO-SILLA PARA EL PURÉ DE TOMATE EN ENVASE DE VIDRIO

Critical values; Variable: Time_Heating (min) (Spreadsheet8)			
Solution: saddlepoint			
Predicted value at solution: 42,02245			
Factor	Observed Minimum	Critical Values	Observed Maximum
C(%)	-1,41000	-0,037420	1,410000
T(°C)	-1,41000	0,701463	1,410000

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Estos valores fueron obtenidos como sigue:

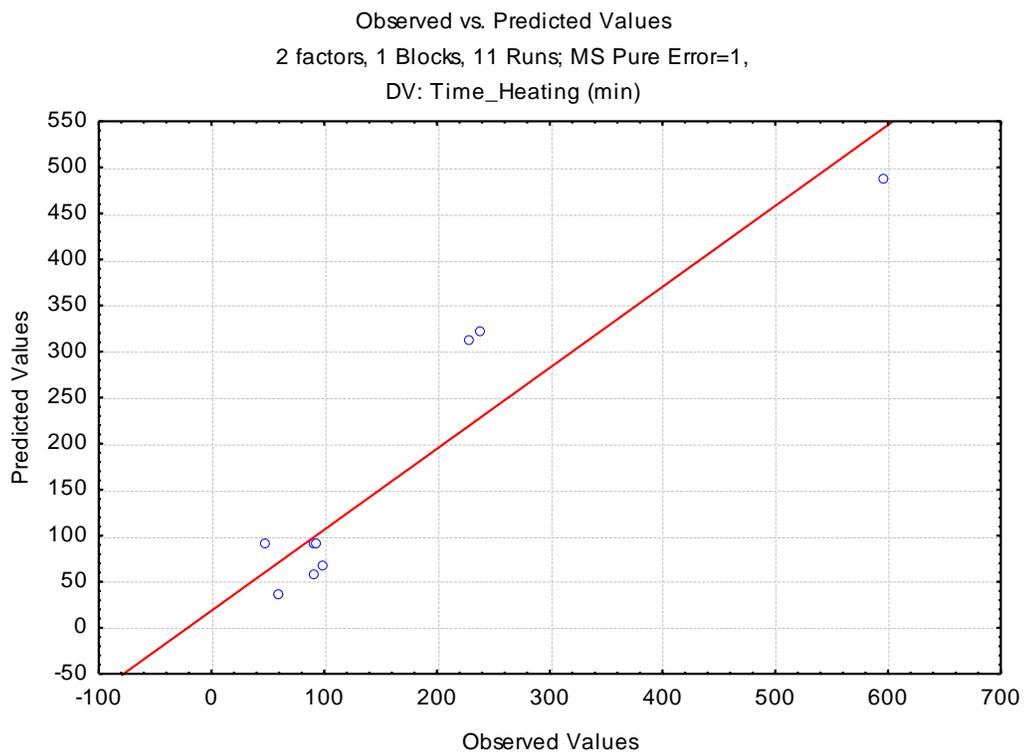
$$x_1 = \frac{C - 15,5}{6,03} \rightarrow C = -6,03 \cdot 0,037420 + 15,5 = 15,30 \% \quad (5.11)$$

$$x_2 = \frac{T - 85}{10,6} \rightarrow T = 10,6 \cdot 0,701463 + 85 = 92,4^\circ\text{C} \quad (5.12)$$

En la gráfica 5.131, se presentan los valores experimentales y estimados de la ecuación de regresión para el modelamiento matemático del tiempo de calentamiento del puré de tomate en envases de vidrio para diferentes concentraciones y temperaturas de pasteurización.

GRÁFICA 5.131

VALORES OBSERVADOS Y ESTIMADOS DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASE DE VIDRIO

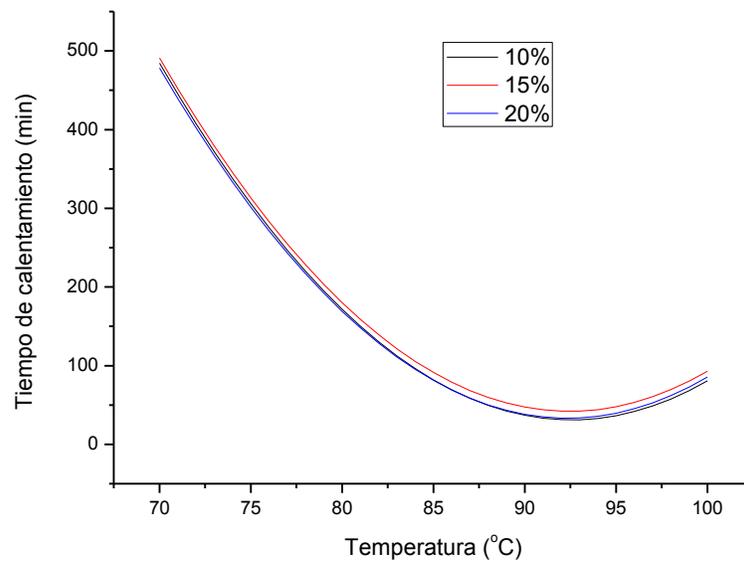


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con la ecuación obtenida, se ha simulado el tiempo de calentamiento para tres diferentes concentraciones de puré de tomate a 10, 15 y 20% de sólidos entre los valores de temperatura ensayados desde 70 a 100°C, tal como se presenta en la gráfica 5.132.

GRÁFICA 5.132

SIMULACIÓN DE CURVA DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO Y TEMPERATURAS PARA TRES CONCENTRACIONES DE SÓLIDOS DEL PURÉ DE TOMATE EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

### 5.3.3. Análisis de la experiencia optimizada ( $X_1= 92.4^{\circ}\text{C}$ , $X_2= 15.5\%$ )

En esta experiencia se valida los valores obtenidos en el modelo matemático respecto al tiempo en que alcanza la letalidad óptima, se trabaja con los valores óptimos a una temperatura de pasteurizado de  $92.4^{\circ}\text{C}$  y a una concentración de materia prima en sólidos totales de 15.5%.

- **Envase de hojalata.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.40.

TABLA 5.40  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO, EN LA EXPERIENCIA  
OPTIMIZADA EN ENVASE DE HOJALATA

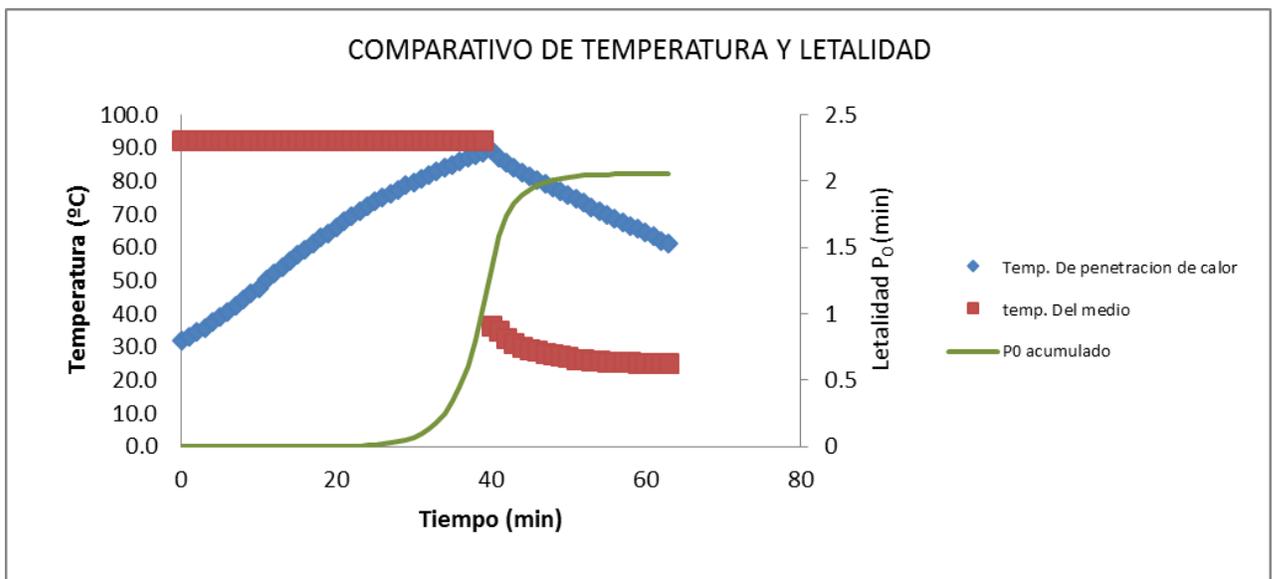
<b>Peso neto de producto (g)</b>	432.615
<b>Peso del envase (g)</b>	79.685
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	72.5 x 108.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.133, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.133

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA OPTIMIZADA EN ENVASE DE HOJALATA

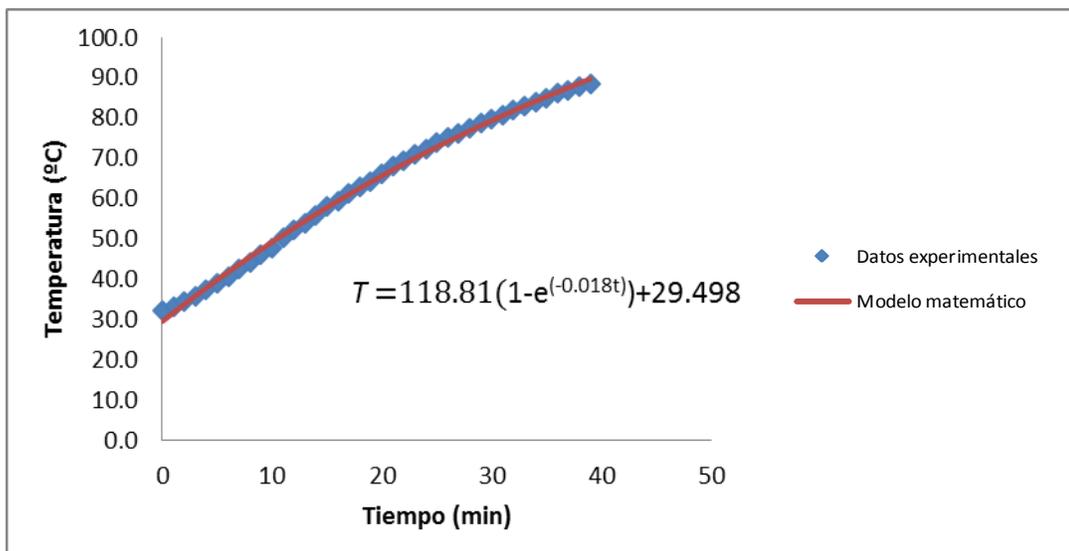


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.134.

GRÁFICA 5.134

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE HOJALATA, DE LA EXPERIENCIA OPTIMIZADA



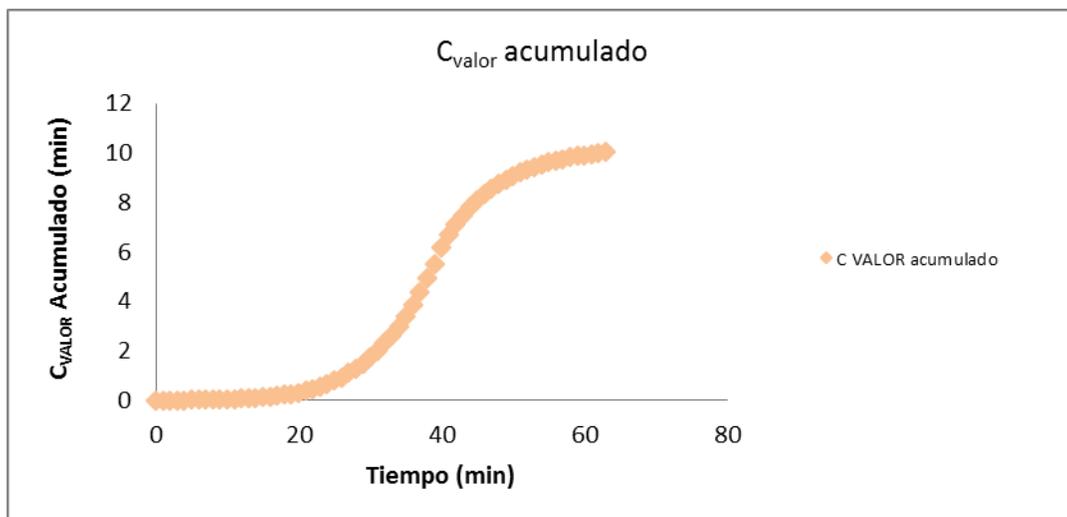
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.135.

GRÁFICA 5.135

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO, EN LA EXPERIENCIA OPTIMIZADA EN ENVASE DE  
HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

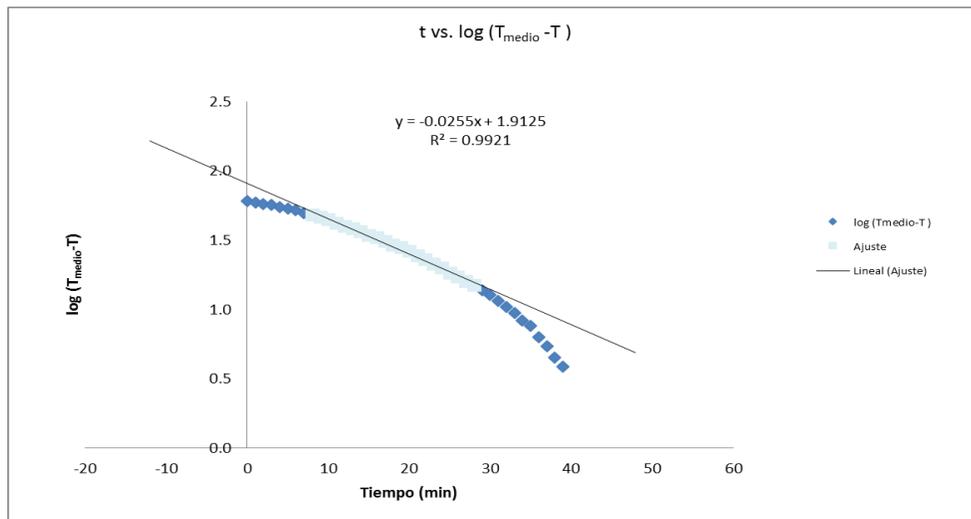
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 39 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.0435 min, y un valor de cocción de 5.5237 min. En comparación con el valor tiempo obtenido en el modelo matemático que es de 37.03, este valor es próximo al valor obtenido de manera experimental, por lo que se determina que las variables independientes inciden en la variable de respuesta, de acuerdo al coeficiente de determinación establecido.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.40 de la página 319, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 419.805 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.136, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.136

CURVA DE LOG( $T_{\text{MEDIO}} - T$ ) VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA OPTIMIZADA EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica 5.136, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 35.09 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.35, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 56.386 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de 3.25x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

- **Envase de vidrio.**

Respecto a la materia prima y al envase a utilizar, las características físicas dimensionales se mencionan en la tabla 5.41.

TABLA 5.41  
CONDICIONES FÍSICAS DE PROCESO EN LA EXPERIENCIA N°11 EN  
ENVASE DE VIDRIO

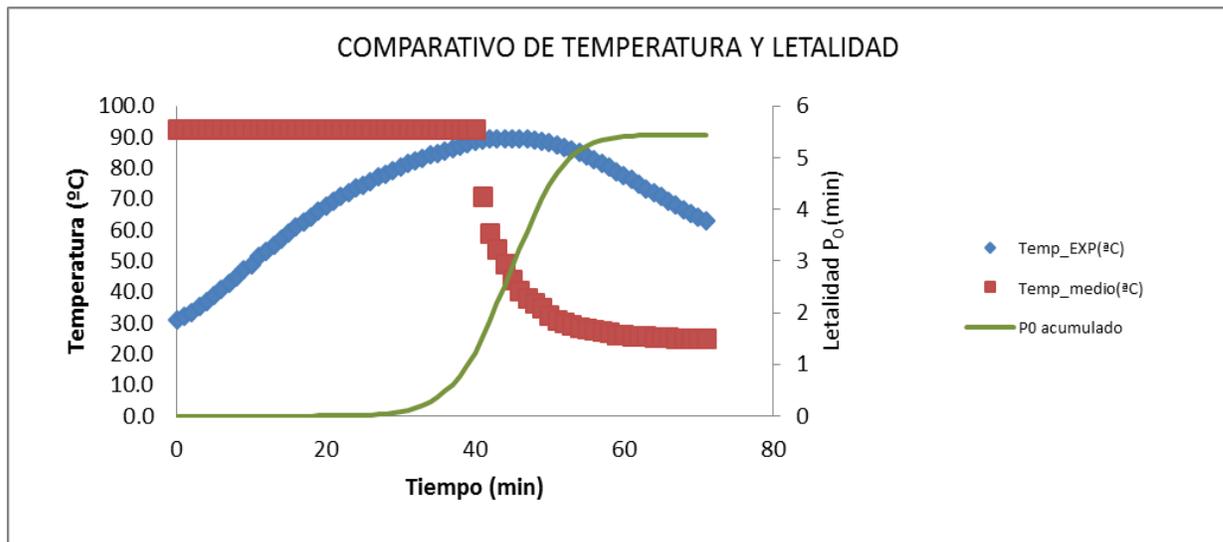
<b>Peso neto de producto (g)</b>	436.545
<b>Peso del envase (g)</b>	259.695
<b>Dimensiones de envase (mm)</b>	73.6 x 115.2

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Los valores obtenidos en la penetración de calor, en el proceso de pasteurizado son representados en la gráfica 5.137, en donde se detalla la curva de penetración de calor, curva de temperatura del sistema y curva de letalidad acumulativa ( $P_0$ ).

GRÁFICA 5.137

CURVA DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN DE CALOR, EN EL SISTEMA Y TIEMPO DE LETALIDAD  $P_0$ , EN LA EXPERIENCIA OPTIMIZADA EN ENVASE DE VIDRIO

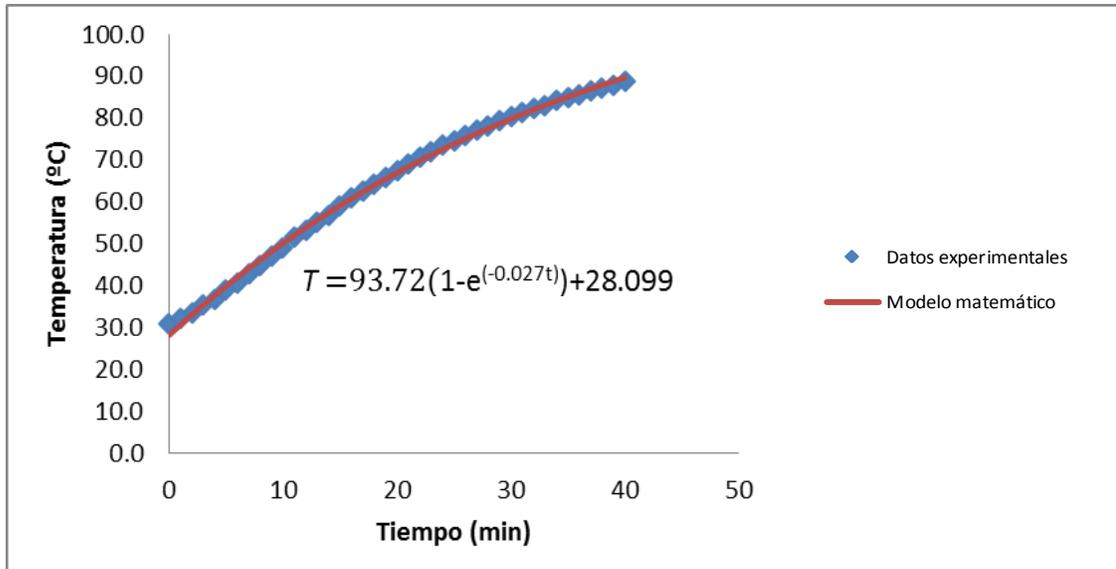


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Con respecto a la curva de penetración de calor en el interior del producto, puede ser modelada mediante una ecuación matemática empírica, en la cual se ajustan los datos de temperatura obtenidos, realizando los cálculos de regresión lineal, se obtiene la curva especificada en la gráfica 5.138.

GRÁFICA 5.138

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LA CURVA DE PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ENVASE DE VIDRIO, DE LA EXPERIENCIA OPTIMIZADA



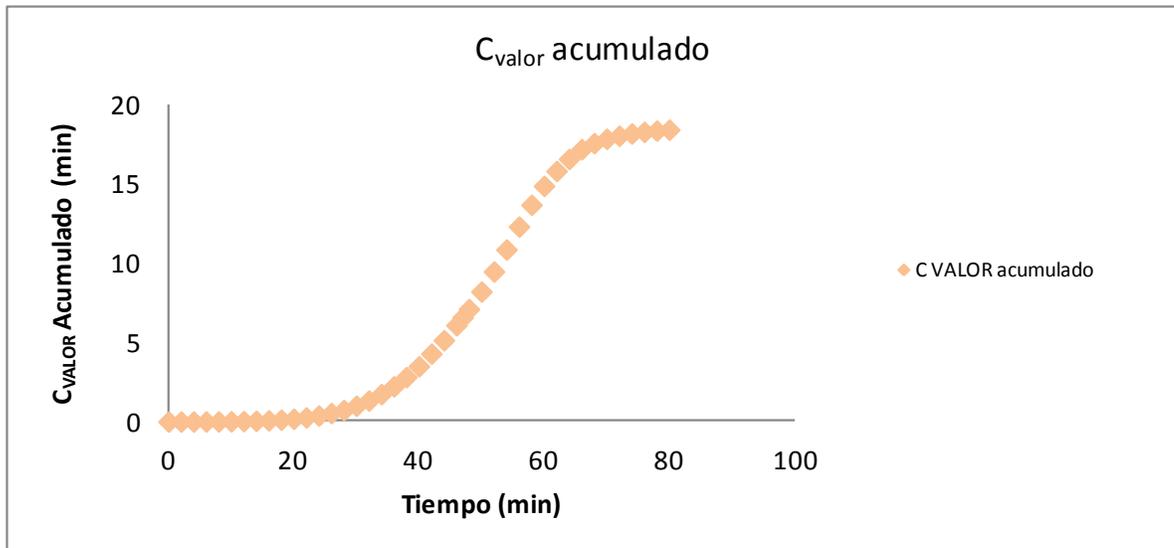
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Esto permite estimar los próximos valores de temperatura de calentamiento, si se desea suministrar un mayor efecto letal y de cocción a las proteínas en el producto evaluado.

Respecto al análisis de valor de cocción, el comportamiento de este parámetro a lo largo del proceso se describe en la gráfica 5.139.

GRÁFICA 5.139

COMPORTAMIENTO DEL VALOR DE COCCIÓN EN EL TRATAMIENTO  
TÉRMICO EN LA EXPERIENCIA OPTIMIZADA EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

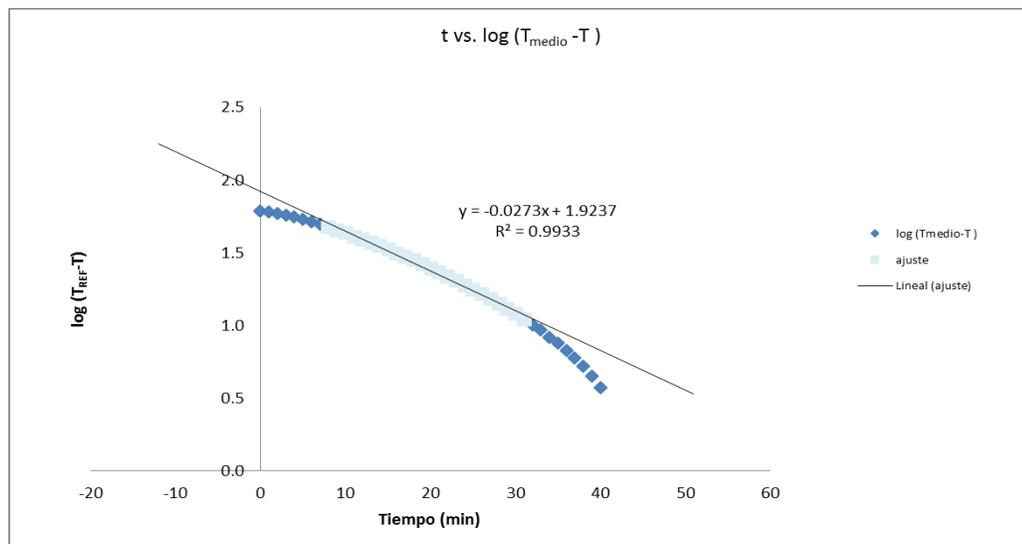
De estos análisis se determinan los siguientes resultados para la evaluación, en el minuto 40 de calentamiento alcanza un  $P_0$  de 1.2259 min, y un valor de cocción de 6.21475 min. En comparación con el valor tiempo obtenido en el modelo matemático que es de 42.02, este valor es próximo al valor obtenido de manera experimental, por lo que se determina que las variables independientes inciden en la variable de respuesta, de acuerdo al coeficiente de determinación establecido.

Evaluando los valores de transferencia de calor se tiene presente las características físicas del envase, descritas en la tabla 5.41 de la página 325, la masa neta del producto, que en este análisis ha sido de 436.545 g y la temperatura del proceso. Un factor importante es el calor específico de la materia prima ( $C_p$ ), que aproximadamente es de 3920 J/kgK.

Para determinar los valores de velocidad de penetración de calor y el factor de inercia, es necesario recurrir a la gráfica 5.140, en donde se realiza la tabulación de estos parámetros.

GRÁFICA 5.140

CURVA DE  $\text{LOG}(T_{\text{MEDIO}} - T)$  VS TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CALOR Y FACTOR DE INERCIA, EN LA EXPERIENCIA OPTIMIZADA EN ENVASE DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

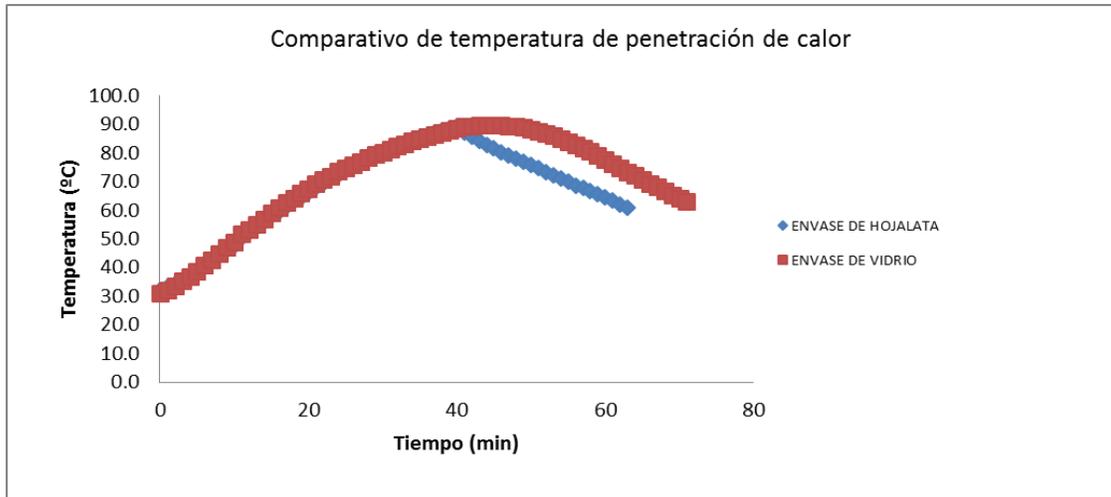
De la gráfica 5.140, se obtiene la velocidad de proceso en el calentamiento ( $f_h$ ), que resulta 34.72 min. Con un factor de inercia ( $j_h$ ) de 1.37, a partir de estos valores se calculan los parámetros de transferencia como la constante universal de transferencia de calor ( $U$ ), que resulta 53.955 W/m<sup>2</sup>K y la constante de difusividad térmica ( $\alpha$ ), de  $3.57 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.

- **Análisis comparativo de la experiencia.**

En las gráficas 5.141, 5.142 y 5.143, se observa el comportamiento comparativo de las variables en ambos análisis, en el envase de vidrio y en el envase de hojalata, como se observa la diferencia entre la naturaleza del base incide de manera considerable a los efectos de penetración de calor.

GRÁFICA 5.141

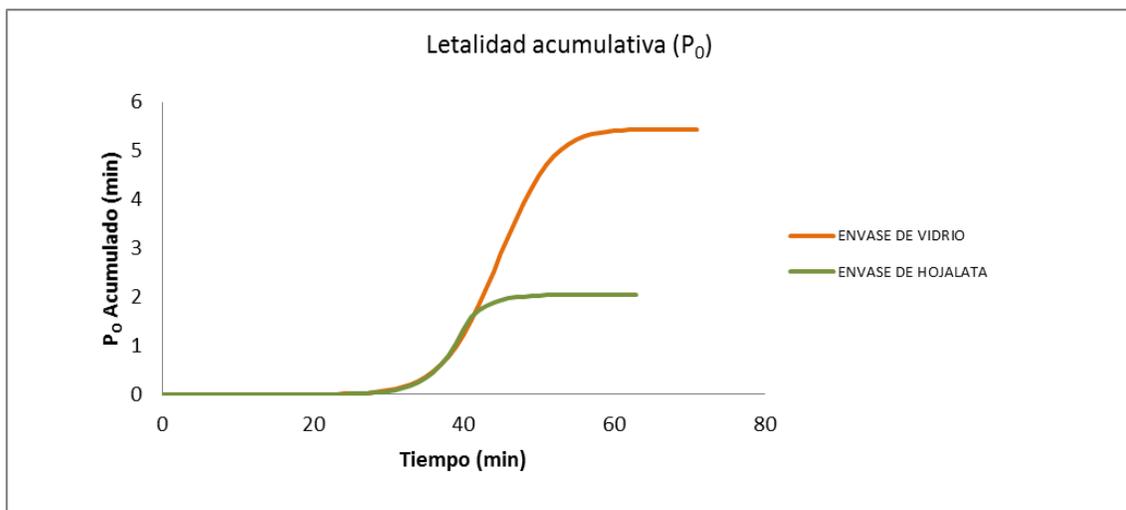
COMPARATIVO DE TEMPERATURA DE PENETRACIÓN EN LOS ENVASES DE HOJALATA Y VIDRIO, EN LA EXPERIENCIA OPTIMIZADA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.142

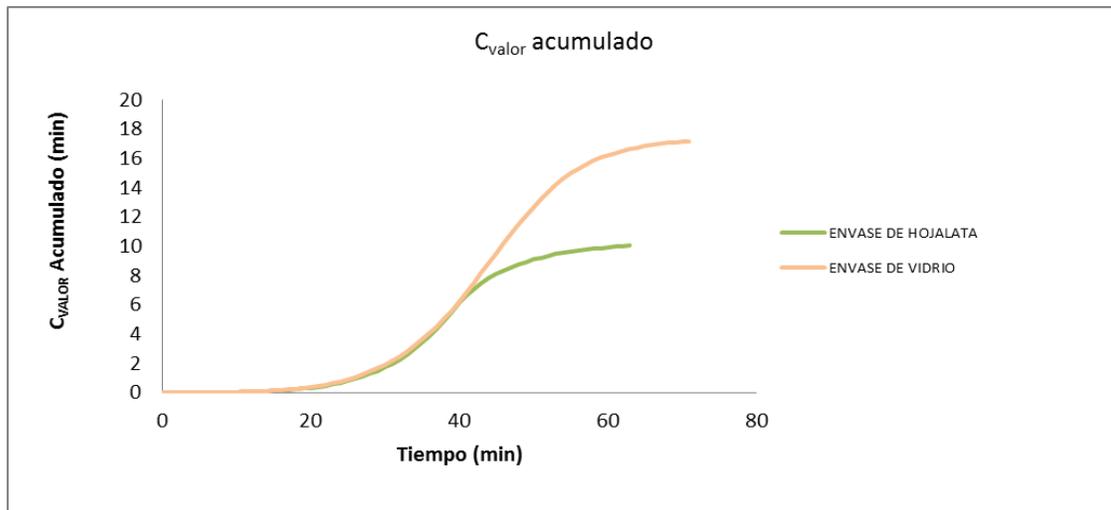
COMPARATIVO DE LETALIDAD, EN LA EXPERIENCIA OPTIMIZADA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.143

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, EN LA EXPERIENCIA  
OPTIMIZADA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

**5.4. Resultado comparativo del valor de cocción y los parámetros de transferencia de calor.**

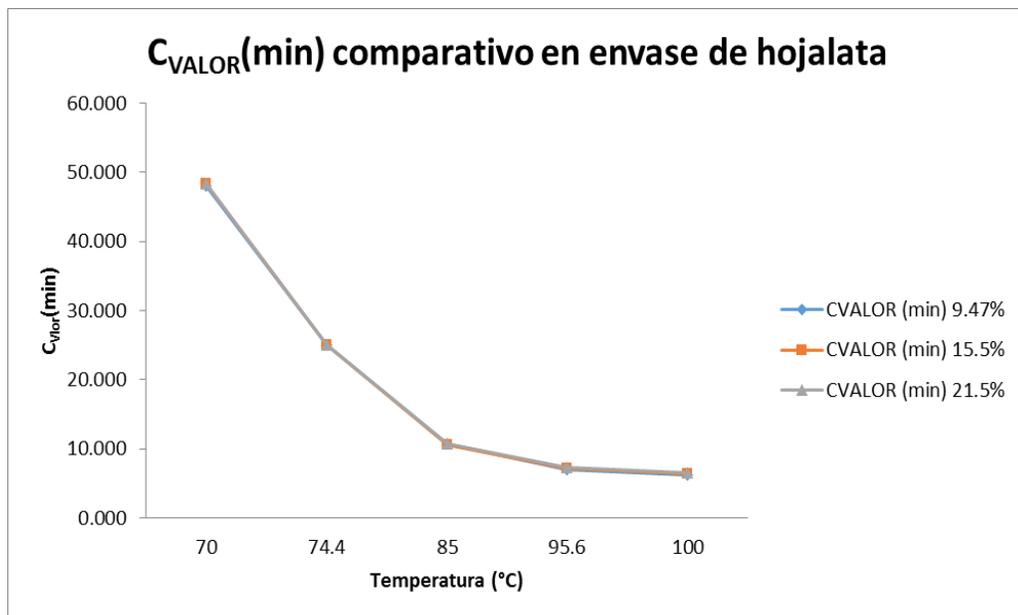
De las experiencias realizadas, los valores obtenidos de grado de cocción y los parámetros de transferencia de calor son evaluados y comparados mediante las gráficas mostradas a continuación.

### 5.4.1. Valor de cocción.

En las gráficas 5.144 y 5.145, se puede observar los valores de grado de cocción, cuando la letalidad alcanza un  $P_0$  de 1 min, estos valores son obtenidos en las diferentes concentraciones realizadas, tomando como variable independiente la temperatura de pasteurizado en los análisis.

GRÁFICA 5.144

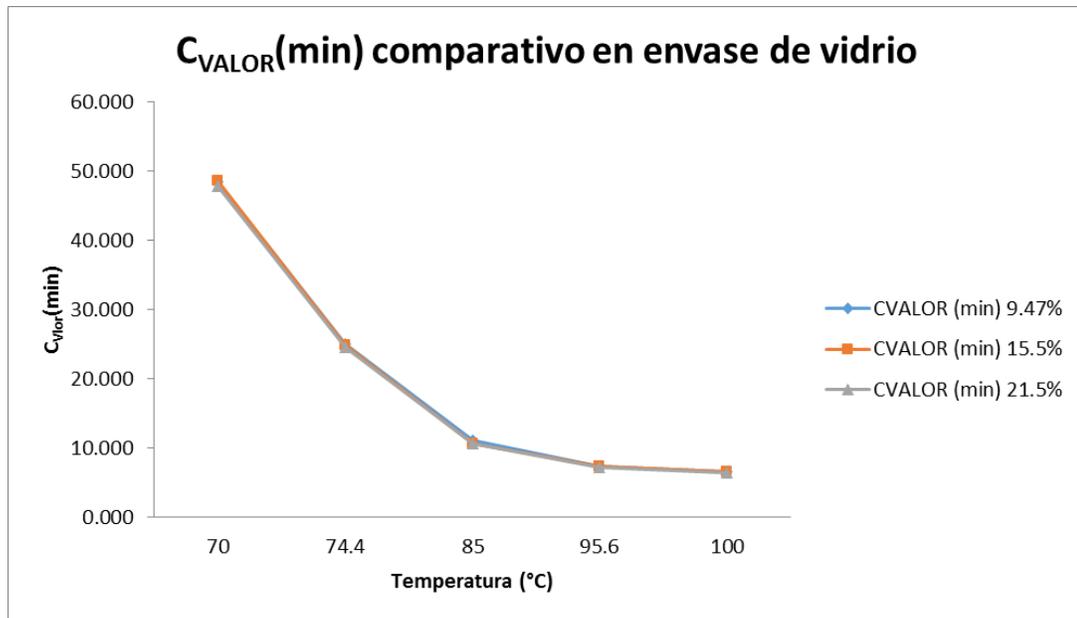
COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, A DIFERENTES  
CONCENTRACIONES EN ENVASES DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.145

COMPARATIVO DE VALOR DE COCCIÓN, A DIFERENTES  
CONCENTRACIONES EN ENVASES DE VIDRIO



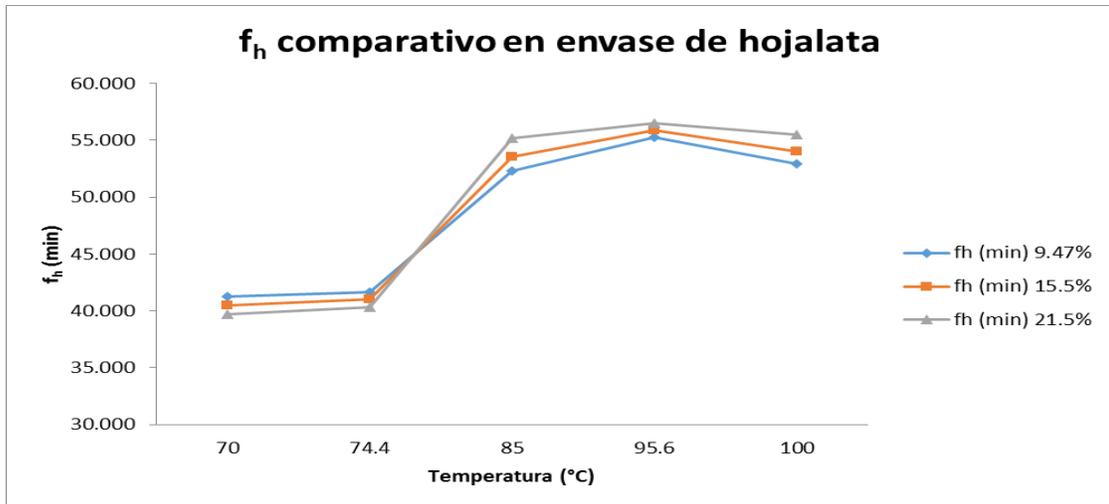
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

#### 5.4.2. Parámetros de transferencia de calor

En las gráficas 5.146 y 5.147, se detalla el comportamiento de la velocidad de transferencia de calor durante el proceso, en diferentes concentraciones, a razón de la variación de temperatura en el pasteurizado.

GRÁFICA 5.145

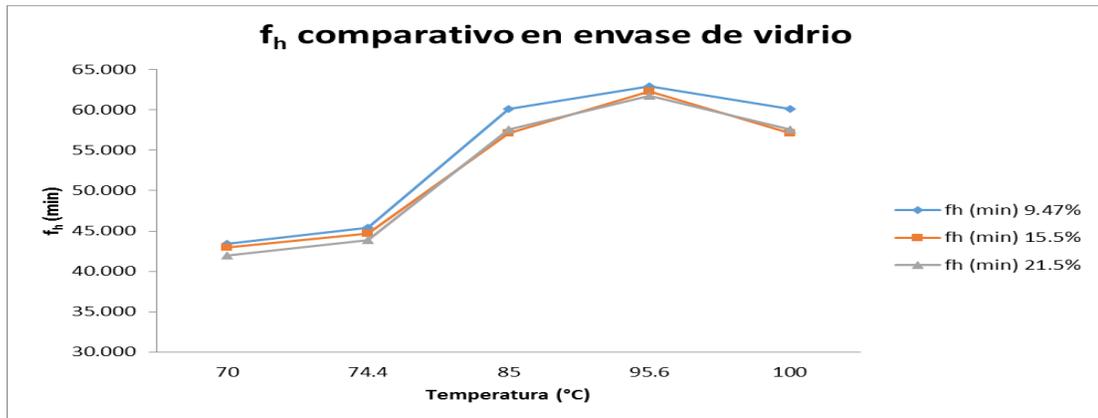
COMPARATIVO DE VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR A  
DIFERENTES CONCENTRACIONES, EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.147

COMPARATIVO DE VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR A  
DIFERENTES CONCENTRACIONES, EN ENVASE DE VIDRIO

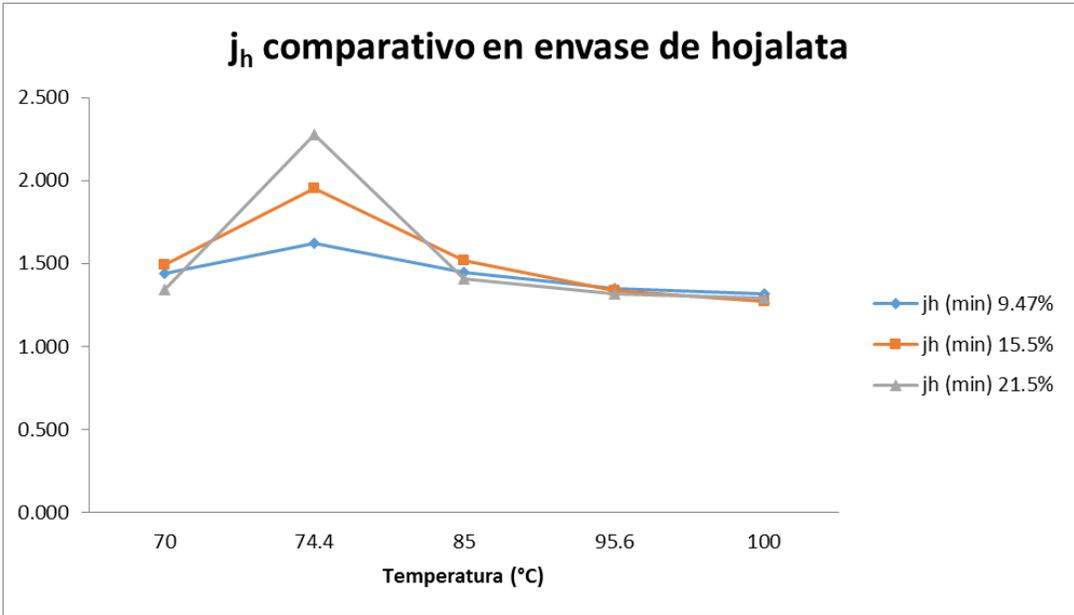


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Además en las gráficas 5.148 y 5.149, se detalla el comportamiento del factor de resistencia del producto a calentarse, mediante la determinación del factor de inercia, en las diferentes concentraciones a razón de la variación de temperatura en el pasteurizado.

GRÁFICA 5.148

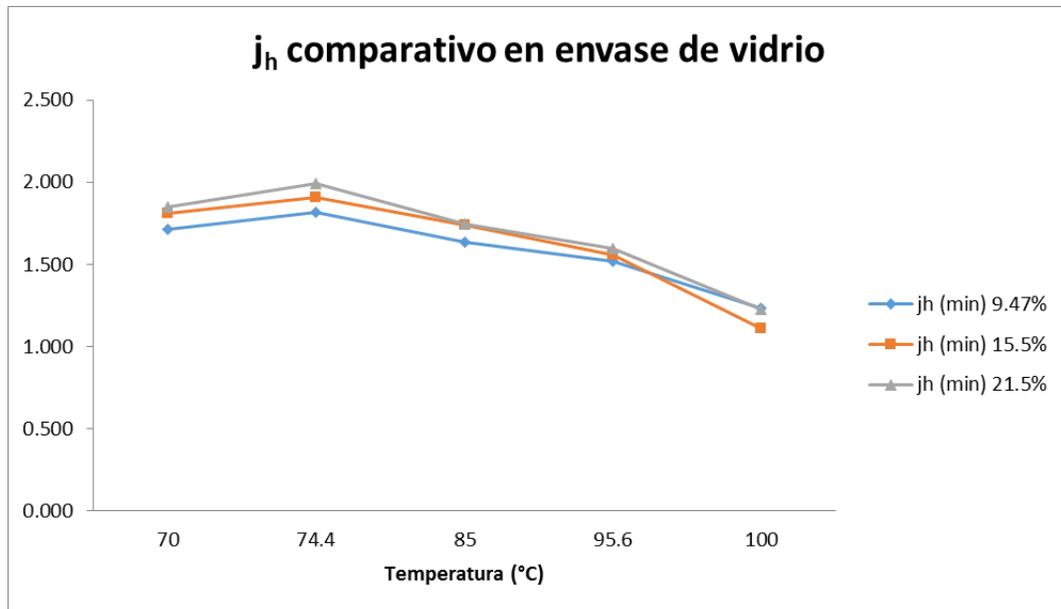
COMPARATIVO DEL FACTOR DE INERCIA, A DIFERENTES  
CONCENTRACIONES EN ENVASES DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.149

COMPARATIVO DEL FACTOR DE INERCIA, A DIFERENTES  
CONCENTRACIONES EN ENVASES DE VIDRIO

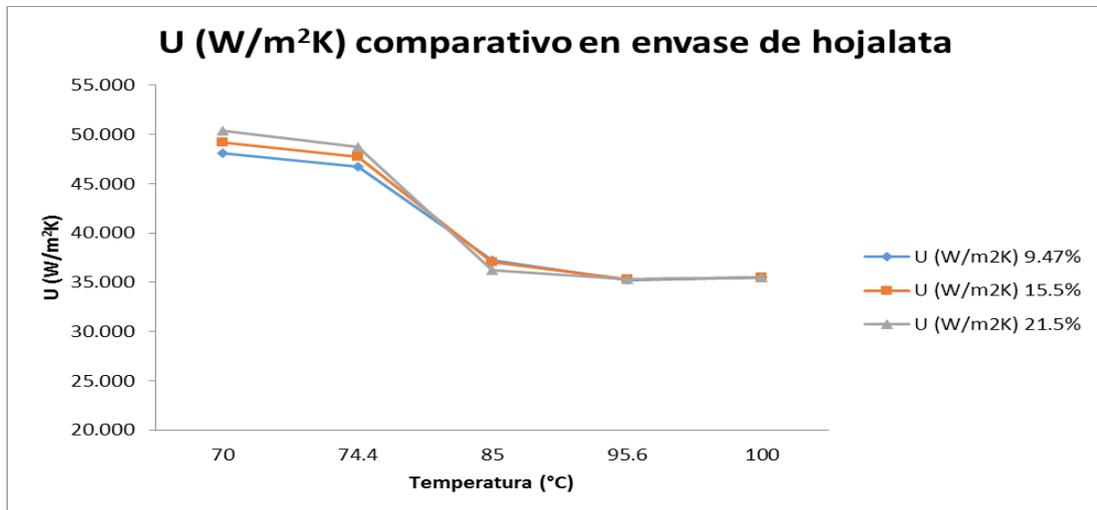


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

También en las gráficas 5.150 y 5.151, se detalla el comportamiento la constante universal de transferencia de calor en el proceso, en diferentes concentraciones a razón de la variación de temperatura en el pasteurizado.

GRÁFICA 5.150

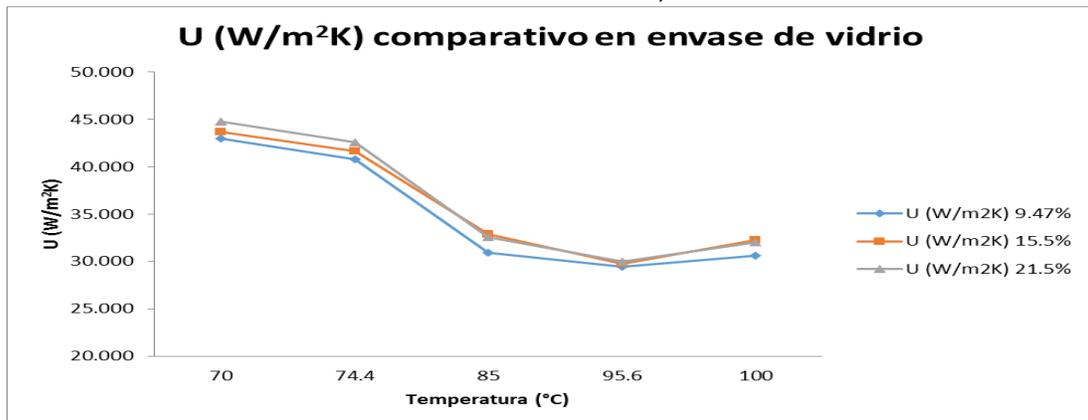
COMPARATIVO DE CONST. UNIVERSAL DE TRASFERENCIA DE CALOR  
A DIFERENTES CONCENTRACIONES, EN ENVASE DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.151

COMPARATIVO DE CONST. UNIVERSAL DE TRASFERENCIA DE CALOR  
A DIFERENTES CONCENTRACIONES, EN ENVASE DE VIDRIO

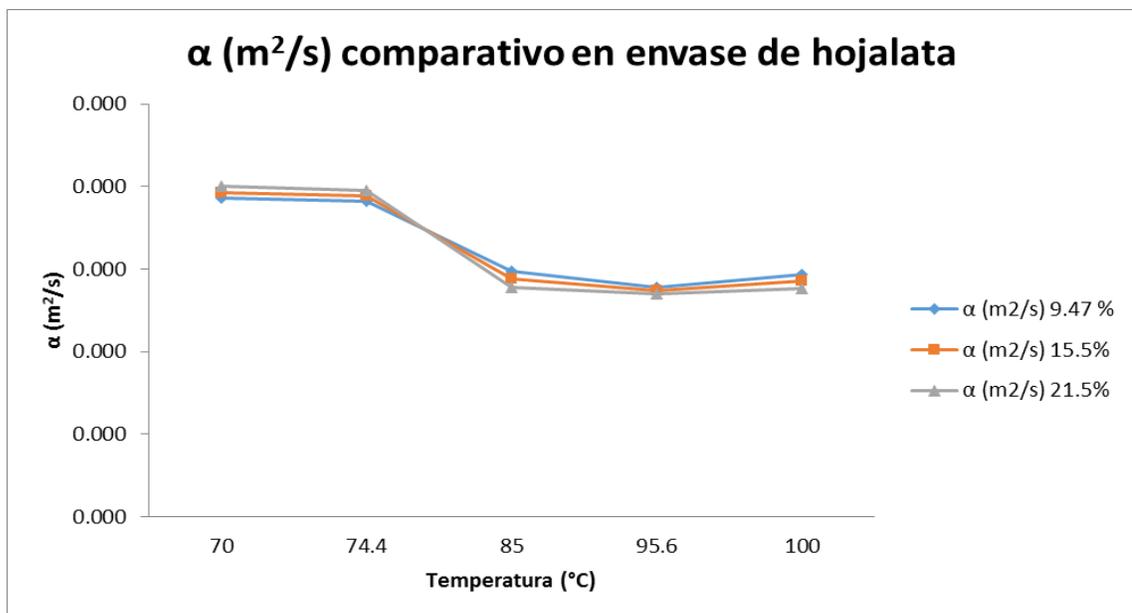


Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Por ultimo en las gráficas 5.152 y 5.153, se detalla el comportamiento de la difusividad térmica en el proceso de transferencia de calor, en diferentes concentraciones, a razón de la variación de temperatura en el pasteurizado.

GRÁFICA 5.152

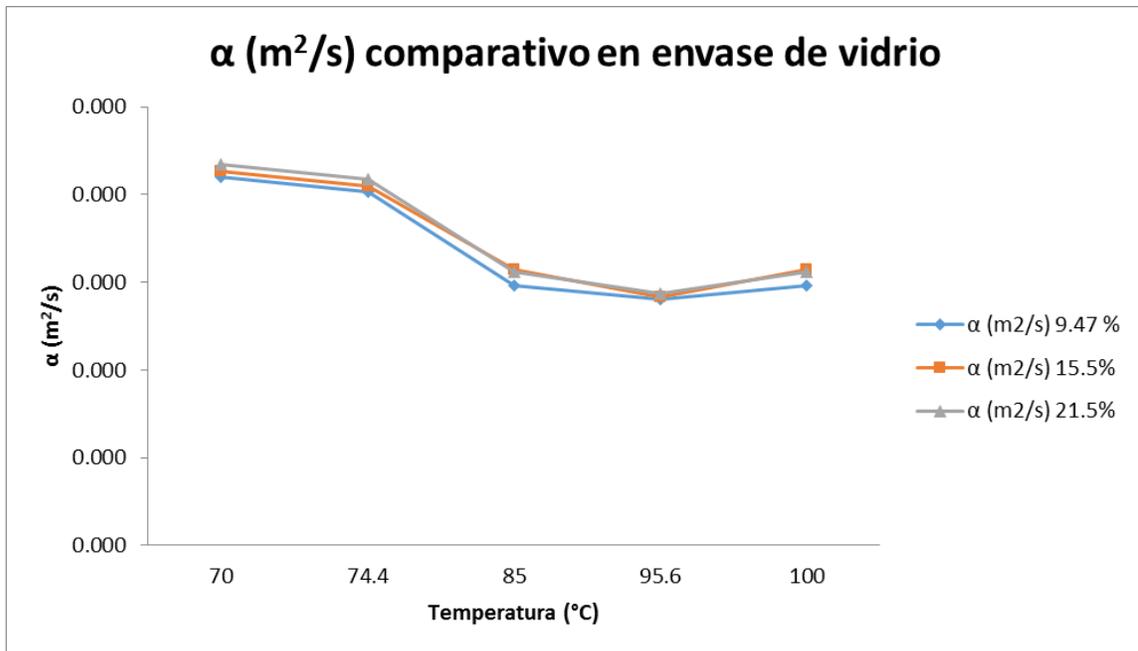
COMPARATIVO DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA, A DIFERENTES CONCENTRACIONES EN ENVASES DE HOJALATA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

GRÁFICA 5.153

COMPARATIVO DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA, A DIFERENTES  
CONCENTRACIONES EN ENVASES DE VIDRIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

## 5.5. Diagnóstico de validez en las ecuaciones de regresión.

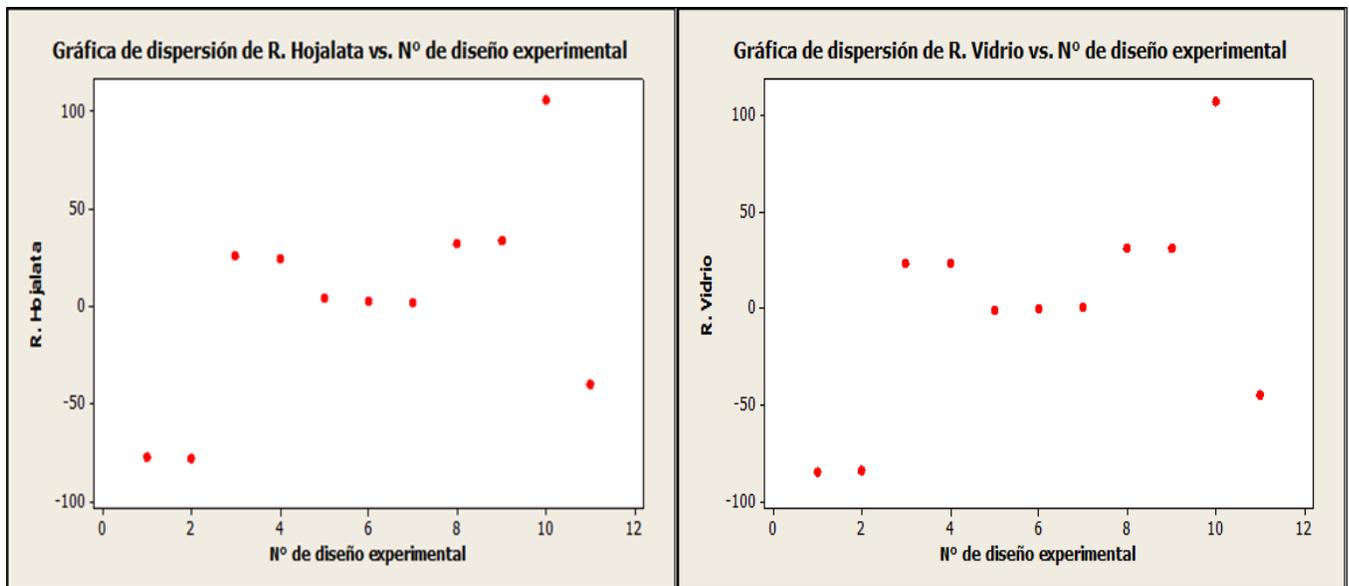
### 5.5.1. Distribución de residuales.

Del cálculo de residuales respecto a los modelos determinados se estableció un patrón de comportamiento, para determinar la veracidad en las mediciones y si están correlacionadas de manera estándar, el resultado

obtenido de este análisis se observa en la gráfica 5.154, en envase de hojalata y vidrio.

GRÁFICA 5.154

DISTRIBUCIÓN DE RESIDUALES EN AMBOS MODELAMIENTOS



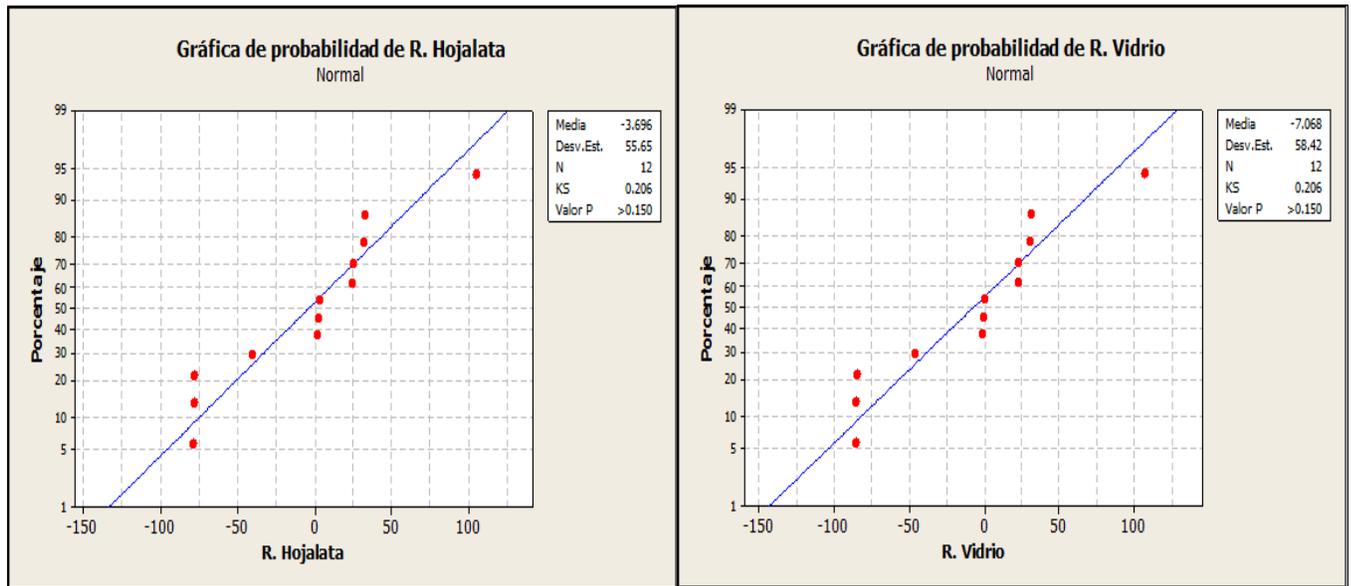
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

De la gráfica determina se observa un comportamiento no lineal, en donde se observó una dependencia del evento, es decir de las condiciones descritas en la experiencia.

### 5.5.2. Probabilidad Normal.

La distribución de probabilidad normal, con respecto a los residuales del modelo matemático y los valores reales obtenidos se presenta en la gráfica 5.155, en envase de hojalata y de vidrio.

GRÁFICA 5.155  
PROBABILIDAD NORMAL DE LOS RESIDUALES EN AMBOS  
MODELAMIENTOS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

La grafica 5.155, se determina de acuerdo al método Kolmogorov-Smirnov ( $P > 0.150$ , para envase de hojalata y de vidrio), sin embargo también se realizaron los análisis con el método Anderson-Darling ( $P = 0.140$ , para envase de hojalata y  $P = 0.132$ , para envase de vidrio) y el método Ryan-Joiner ( $P > 0.100$ , para envase de hojalata y de vidrio).

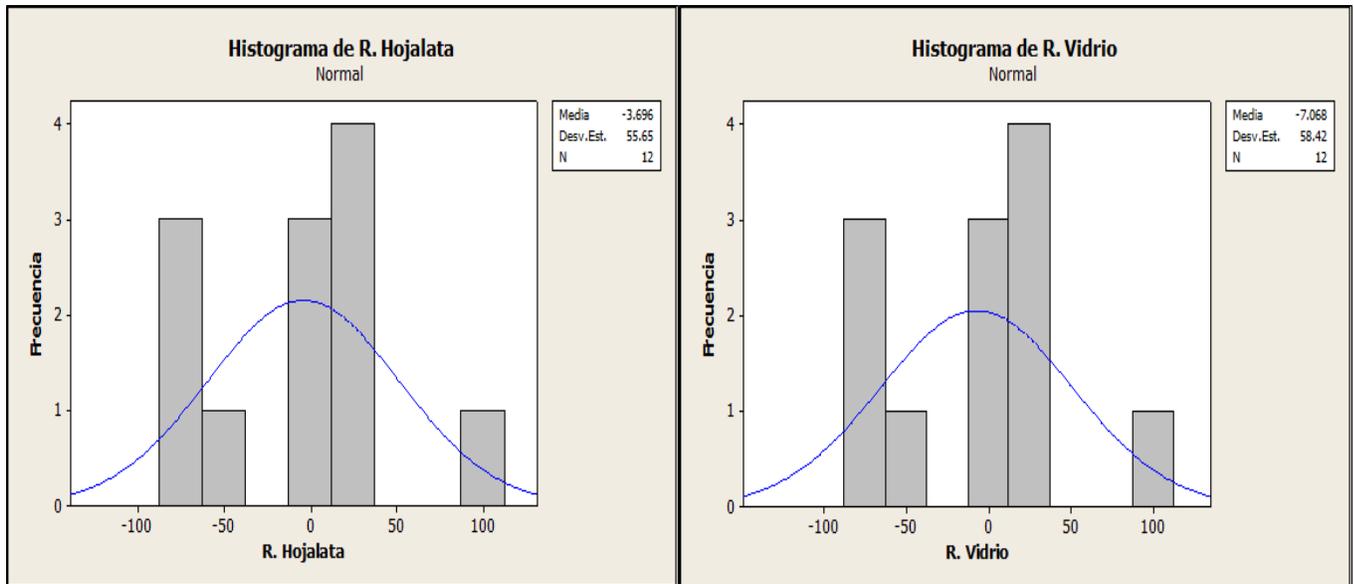
### **5.5.3. Distribución normal.**

Para asegurar la correlación de los valores obtenidos con los valores estimados, se evaluó la distribución normal de los valores mediante un histograma especificado en la gráfica 5.1 y la distribución de residuales en la gráfica 5.156.

En donde se observa la dependencia de los residuales, respecto a la varianza determinada para cada uno de los modelos determinados.

GRÁFICA 5.156

DISTRIBUCIÓN NORMAL DE LOS RESIDUALES EN AMBOS  
MODELAMIENTOS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

**5.5.4. Multicolinealidad.**

El cálculo de multicolinealidad es necesario para establecer si las variables independientes se encuentran asociadas entre sí, con respecto a la variable dependiente, por lo cual es necesario realizar una regresión lineal de variables múltiple, respecto a los datos obtenidos en las experiencias.

En la ecuación 5.13 y 5.14, se muestran las ecuaciones de regresión lineal multivariable, en envase de hojalata y de vidrio respectivamente, establecidas para el cálculo de multicoleanidad.

$$\vartheta = 1262 - 0.02C - 13.1T, \quad (R^2 = 61.4\%) \quad (5.13)$$

$$\vartheta = 1286 - 0.45C - 13.2T, \quad (R^2 = 61.5\%) \quad (5.14)$$

Como se observan los coeficientes de determinación de la regresión lineal multivariable, son menores a los coeficientes de determinación en la regresión cuadrática. Además en la tabla 5.42 y 5.43, se detallan los valores estadísticos de regresión lineal múltiple, así como el cálculo del factor de inflación de varianza, en envase de hojalata y de vidrio respectivamente, que nos sirve para analizar si los parámetros están asociados a la variable dependiente.

TABLA 5.42

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE INFLACIÓN DE VARIANZA EN LA  
REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIABLE, EN EL PURÉ DE TOMATE EN  
ENVASE DE HOJALATA

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	VIF	S <sub>xj</sub>
Intercepción	1262.175	329.992	3.825	0.005		
Variable X 1	-0.023	6.477	-0.004	0.997	1.000	5.385
Variable X 2	-13.123	3.677	-3.568	0.007	1.000	9.484

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

TABLA 5.43

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE INFLACIÓN DE VARIANZA EN LA  
REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIABLE, EN EL PURÉ DE TOMATE EN  
ENVASE DE VIDRIO

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	VIF	S <sub>xj</sub>
Intercepción	1285.946	332.068	3.873	0.005		
Variable X 1	-0.453	6.518	-0.069	0.946	1.000	5.385
Variable X 2	-13.239	3.701	-3.578	0.007	1.000	9.484

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA, 2016.

Los valores de VIF determinados en ambos casos, es 1 para todas sus variables por tal motivo las regresiones lineales multivariable presentan una cierta multicolinealidad.

#### 5.5.5. Identificación de autocorrelación.

Para detectar autocorrelación de primer orden y de orden superior (orden  $p$ ) en el modelo de regresión lineal multivariable, se necesitó del análisis estadístico de Durbin-Watson ( $\rho$ ), el cual se determina en base a los cálculos de residuales. Se determina un estadístico de Durbin-Watson de 1.39, en el análisis de regresión en envase de hojalata y de 1.41 en envase de vidrio. Como se observa los valores determinados son menores a 2, por tal motivo

se puede estimar que existe cierta autocorrelación en los diseños establecidos, para establecer con certeza la naturaleza de la autocorrelación se evalúa el valor  $\rho$ , con las siguientes hipótesis:

$H_0: \rho = 0$ ; no existe autocorrelación residual.

$H_1: \rho > 0$ ; correlación residual positiva.

Además:

$\rho < d_l$ ; obligan a rechazar la hipótesis nula.

$\rho > d_u$ ; la hipótesis nula no se debe rechazar.

$d_l < \rho < d_u$ ; resultados no concluyentes.

Los valores de  $d_l$  y  $d_u$  que vienen a ser el límite inferior y superior, se verifican en la tabla estadística de Durbin-Watson-puntos críticos de  $d_l$  y  $d_u$  al nivel de significancia del 5% (véase el anexo 4 de la página 416), en donde los valores de  $d_l$  y  $d_u$  son 0.658 y 1.604 respectivamente, por lo tanto, se puede determinar de acuerdo a las hipótesis que para ambas regresiones lineales multivariable, la autocorrelación de los residuales son no concluyentes debido a su naturaleza cuadrática.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contratación de hipótesis con resultados.

En lo referente a la hipótesis general, se ha obtenido dos modelos matemáticos, para conservas de concentrado de tomate (puré), envasadas en envase de vidrio y en envase de hojalata, en donde la variable de respuesta resulta ser el tiempo en que llega a la letalidad  $P_0=1$  min, con respecto a las variables independientes de concentración en sólidos totales del puré de tomate y la temperatura de pasteurizado, las ecuaciones se detallan a continuación:

El modelo matemático del pasteurizado del concentrado de tomate (puré), en envase de hojalata:

$$\vartheta = 85,235 - 0,137 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) - 16,259 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right)^2 - 139,262 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right) \quad (6.1) \\ + 100,562 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right)^2 + 1,375 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) \left( \frac{T - 85}{10,60} \right)$$

De esta ecuación se obtuvo los valores críticos mediante la gráfica de la superficie de respuesta (véase gráfica 5.124 de la página 302), que vendrían ser los parámetros óptimos de proceso: tiempo de pasteurizado de 37.07 min a una temperatura de pasteurizado de 92.34°C, con una concentración de materia prima de 15.65%.

Estos valores fueron validados mediante una corrida experimental en la cual se obtiene los datos especificados en la gráfica 5.133 de la página 320, como se observa el tiempo de calentamiento obtenido es de 39 min, es decir un margen de error mínimo, que obedece al coeficiente de determinación obtenido de la ecuación, es decir la ecuación tiene significancia en la variable de respuesta.

El modelo matemático del pasteurizado del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio:

$$\vartheta = 91,246 - 2,731 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) - 14,226 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right)^2 - 140,492 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right) + 100,205 \left( \frac{T - 85}{10,60} \right)^2 + 2,375 \left( \frac{C - 15,5}{6,03} \right) \left( \frac{T - 85}{10,60} \right) \quad (6.2)$$

De esta ecuación se obtuvo los valores críticos mediante la gráfica de la superficie de respuesta (véase gráfica 5.129 de la página 314), que vendrían ser los parámetros óptimos de proceso: tiempo de pasteurizado de 42.02 min a una temperatura de pasteurizado de 92.4°C, con una concentración de materia prima de 15.30%.

Estos valores fueron validados mediante una corrida experimental en la cual se obtiene los datos especificados en la gráfica 5.137 de la página 326, como se observa el tiempo de calentamiento obtenido es de 40 min, es decir un margen de error mínimo, que obedece al coeficiente de determinación

obtenido de la ecuación, es decir la ecuación tiene significancia en la variable de respuesta.

Los diagnósticos de validez también arrojan relación entre los valores estimados y determinados experimentalmente, en base a sus residuales, en cambio cuando se determina una cierta multicolinealidad en base al cálculo de regresión lineal multivariable y no se logra determinar si esta regresión lineal multivariable posee autocorrelación en sus variables.

Respecto a la supervivencia de las esporas del *Bacillus coagulans*, luego de las experiencias realizadas, en la validación, se obtuvo ausencia en microorganismos aerobios mesófilos y anaerobios termófilos siendo un producto estéril comercialmente, con una calificación de conforme, de acuerdo a los ensayos microbiológicos realizados por el laboratorio de control de calidad de alimentos, aguas y ambiente de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. El criterio de calificación está basado en la “Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para alimentos y bebidas de consumo humano, RM N°591-2008/MINSA”, tal como se especifica en el anexo 3 de la página 415, esta determinación se da cuando el producto alcanza la letalidad acumulativa ideal  $P_0 = 1$  min, de acuerdo a bibliografías dirigidas para el proceso térmico de puré de tomate. Este valor está por debajo al límite máximo establecido que es de  $P_0 = 3$  min para los procesos de pasteurizado.

En lo referente al valor de cocción este mostro un comportamiento como se detalla en la gráfica 5.144 de la página 333, para envases de hojalata y la gráfica 5.145 de la página 334, para envases de vidrio. En ambos casos se observa un comportamiento similar, ambos tipos de envasados presentan la misma tendencia, además la concentración no influye en la variación de este parámetro ya que se mantienen los valores de cocción en los diferentes valores de concentración en sólidos totales, sin embargo la tendencia de este parámetro aumenta cuando se le aplica una mayor temperatura de pasteurizado aunque los valores de cocción en el envasado en vidrio es ligeramente mayor, esto se debe a la naturaleza del material. Por último de acuerdo a la gráfica 5.127 de la página 306, para envase de hojalata y la gráfica 5.132 de la página 318, para envase de vidrio, el tiempo de proceso es directamente proporcional al valor de cocción, es decir ambos valores son análogos.

Con respecto a los parámetros de transferencia de calor evaluados, se obtienen los siguientes análisis: la velocidad de transferencia de calor con respecto a la gráfica 5.146 de la página 335, para envases de hojalata y la gráfica 5.147 de la página 335, para envases de vidrio. Como se observo tiene una tendencia similar en ambos tipos de envasados pero el comportamiento es diferenciado, ya que en el envasado en hojalata el aumento de la concentración en solidos totales supone un efecto

directamente proporcional a la velocidad de penetración de calor, caso contrario se observa en el envasado de vidrio ya que el comportamiento es inverso, esta influencia se debe a la naturaleza del material. Además el efecto de velocidad de penetración de calor es mayor mientras se trabaja una mayor temperatura de pasteurizado. En tanto el factor de resistencia del producto a calentarse presenta un comportamiento inverso, como se observa en la gráfica 5.148 de la página 336, para envases de hojalata y la gráfica 5.149 de la página 337, para envases de vidrio, es menor cuando al proceso se le aplica una mayor temperatura de pasteurizado, la variación por concentración de sólidos totales es prácticamente similar, siendo directamente proporcional.

En el caso de las variables de transferencia, como la constante universal de transferencia de calor (véase la gráfica 5.150 de la página 338, para envases de hojalata y la gráfica 5.151 de la página 338, para envases de vidrio) y la difusividad térmica calor (véase la gráfica 5.152 de la página 339, para envases de hojalata y la gráfica 5.153 de la página 340, para envases de vidrio), el comportamiento es muy parecido tendiendo a disminuir mientras se le aplica una mayor temperatura y la concentración de sólidos totales, tiene un efecto poco significativo en la variación de los parámetros.

## **6.2. Contratación de los resultados con otros estudios similares.**

El estudio realizado por Alejandro Lespinard, 2010. En donde realiza un estudio de optimización en el pasteurizado de productos envasados en vidrio, detalla el análisis en el pasteurizado de conservas de tomates enteras en medio líquido, en donde se evalúa el proceso a tres temperaturas de pasteurizado que son a 80, 90 y 100°C, arrojando un tiempo de 65.5, 18.25 y 9 minutos respectivamente, la letalidad alcanzada en este estudio fue de 1.55 minutos con un coeficiente universal de transferencia de calor en cada experiencia de 615 W/m<sup>2</sup>K. Estos valores distan mucho a los realizados en la presente investigación, ya que a temperaturas cercanas a los 80°C, se obtuvieron tiempos que varían entre los 90 a 200 minutos y a temperaturas cercanas a los 90°C se obtuvieron tiempos de 60 minutos, por ultimo a temperatura de 100°C se obtuvo un tiempo de 47 minutos. Esto se debe a que las condiciones de estudio fueron diferentes, mientras que en la investigación mencionada, se optó por trabajar con materia prima entera y a una letalidad diferente, esto se traduce en la constante universal de transferencia de calor elevada, en la experiencia en mención. Mientras en esta investigación se optó por trabajar con una materia prima particulada y concentrada, por temas de comercialidad, con un menor tiempo letal que se traduce en una menor constante universal de transferencia de calor en el proceso. Cabe resaltar que los modelos matemáticos obtenidos solo son

aplicables en conserva de puré de tomate en una concentración que va de 7 a 24% en sólidos totales, y no a productos enteros frescos. Por último no se puede realizar un estudio comparativo del valor de cocción, debido a que la investigación en mención está cogiendo como análisis las características superficiales del producto, mientras que en la realizada se tomó como referencia la reacción bioquímica de las proteínas.

Otra investigación a tener en cuenta es la realizada por Filipa V. M. Silva y Cristina L. M Silva, 1997. En donde se detalla un modelo matemático para una conserva de puré de frutas pasteurizada mediante la técnica de llenado en caliente que describe la pasteurización de un producto alimenticio durante la fase de enfriamiento, teniendo como variables independientes la letalidad alcanzada y la temperatura de llenado, siendo la variable de respuesta el valor de cocción referente a la calidad en alteración de la vitamina C y la pectinesterasa, la cual tuvo como objetivos secundarios estudiar el efecto de la temperatura de llenado, medio de refrigeración y la forma del recipiente en el tamaño del envase requerido y los correspondientes, logrando la retención de calidad final, de donde se obtiene que a los 70°C la calidad es mucho más sensible a los valores de  $P_0$ , en comparación a los 110°C. El principio de estudio utilizado en la investigación es el mismo pero el producto y las variables de estudio son diferentes, cabe resaltar que los resultados obtenidos tienen la misma tendencia, ya que en ambos la calidad y las

propiedades de las proteínas son más sensibles, mientras se le aplica una menor temperatura de pasteurizado. En esta misma investigación se menciona el aporte realizado por Sandoval, 1994. En donde analizo el pasteurizado de llenado en caliente de pasta de tomate a una temperatura de llenado que varía de 91, 92 y 90°C a diferentes tamaños de envase. En donde el microorganismo objetivo también fue el *Bacillus Coagulans*, resultando una población microbiana de  $10^5$ , a una temperatura de pasteurizado de 90°C, por un tiempo de tratamiento de 24.5 minutos, estos resultados distan con los obtenidos ya que las condiciones de pasteurizado, temperatura de tratamiento térmico y tipo de producto son distintos en ambas investigaciones.

## **VII. CONCLUSIONES**

7.1. De los modelos matemáticos establecidos en las ecuaciones 6.1 (véase página 348) y 6.2 (véase página 349), para el proceso de pasteurizado en envase de hojalata y envase de vidrio respectivamente, del concentrado de tomate (puré), se logra determinar las condiciones mínimas de proceso de tratamiento térmico, en la cual el producto es sometido por un menor tiempo de calentamiento, sin afectar sus cualidades nutricionales. Asegurando la letalidad óptima de proceso.

7.2. El tiempo óptimo de tratamiento térmico, son los siguientes:

Para el pasteurizado en envase de hojalata, se debe trabajar a los siguientes parámetros óptimos: un tiempo de 37,03 min, con los valores de concentración de 15,65% y temperatura de pasteurización de 92,34°C.

Para el pasteurizado en envase de vidrio, se debe trabajar a los siguientes parámetros óptimos: un tiempo de 42,02 min, con los valores de concentración de: 15,30% y Temperatura de pasteurización de 92,40°C.

7.3. Se determina que la concentración en sólidos totales no tiene un comportamiento significativo en el valor de cocción, sin embargo el valor de cocción se encuentra relacionado de manera inversamente proporcional con la temperatura de pasteurizado, por lo cual si el producto es sometido a altas temperaturas, la calidad nutricional de las proteínas se mantendrá evitando que ocurran reacciones químicas que alteren su composición. En los valores óptimos obtenidos la temperatura óptima que es de 92.4°C no afecta de manera significativa la composición nutricional de las proteínas de producto.

Comparando el comportamiento de la curva de penetración de calor para ambos envases se observa que en todos los resultados obtenidos la tendencia es la misma, se necesita un mayor tiempo de penetración de calor en la etapa de calentamiento, para el concentrado de tomate (puré) en vidrio, respecto al producto envasado en hojalata. Esto se traduce en valores de letalidad parcial menores en el envasado de vidrio, y un efecto en la velocidad de penetración de calor en el envase, en donde a una mayor temperatura se genera una mayor velocidad de penetración en el centro geométrico, disminuyendo de una manera relativa el factor de resistencia del producto a calentarse, teniendo ambos un comportamiento

inversamente proporcional. La influencia de la concentración de sólidos totales en el comportamiento de la velocidad del producto, es de manera discreta pero tiende a aumentar, a una mayor temperatura en envase de hojalata y tiene un comportamiento inverso en el envase de vidrio. Determinándose valores menores de coeficientes universales de transferencia de calor en el envase de vidrio. De este análisis se establece, que el envasado de vidrio requiere un mayor consumo de energía térmica para alcanzar la letalidad óptima de calentamiento y si se desea aminorar el consumo de energía es deseable trabajar en productos de puré de tomate en concentraciones cercanas a los 7% en donde se genere una mayor velocidad de penetración de calor, en tanto el envasado de hojalata es más óptimo que el envasado en vidrio ya que consumo energético para alcanzar la letalidad óptima de calentamiento es menor. Ambas determinaciones deben estar acompañadas de los criterios establecidos por los modelos matemáticos, los cuales establecen las condiciones óptimas mínimas de calentamiento, que son una concentración cercana de 15.5% para alcanzar valores óptimos de tiempo, este es un valor promedio de trabajo aplicado para ambos tipos de proceso.

## VIII. RECOMENDACIONES

8.1. Para asegurar el mínimo calentamiento de la materia prima es recomendable pasteurizar el puré de tomate, en un sistema de pasteurizado estático, haciendo uso de las ecuaciones 6.1 (véase página 348) y 6.2 (véase página 349), para el proceso de pasteurizado en envase de hojalata y envase de vidrio respectivamente, del concentrado de tomate (puré).

8.2. las condiciones en el proceso de tratamiento térmico recomendables, son las siguientes:

Para el pasteurizado en envase de hojalata, se debe trabajar a los siguientes parámetros óptimos: un tiempo de 37,03 min, con los valores de concentración de 15,65% y temperatura de pasteurización de 92,34°C.

Para el pasteurizado en envase de vidrio, se debe trabajar a los siguientes parámetros óptimos: un tiempo de 42,02 min, con los valores de concentración de: 15,30% y Temperatura de pasteurización de 92,40°C.

8.3. Esto con el fin de asegurar el mínimo de tratamiento térmico en el calentamiento de la materia prima, evitando alterar características organolépticas y proteicas en los nutrientes del producto, estos datos contrastan con los valores de transferencia de calor y el valor de cocción, que resultan óptimos en los parámetros establecidos.

En la etapa de concentración de la materia prima es indispensable usar la tecnología adecuada que evite la alteración de las características organolépticas iniciales la materia prima, así como de la calidad nutricional de sus componentes. Por tal motivo es recomendable utilizar pasteurizadores continuos, doble efecto, de película descendente o de volúmenes mayores que permitan tratar al producto a una menor temperatura evitando cualquier alteración.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHEFTEL, Jean Claude. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos.** Zaragoza - España. Editorial Acribia. 1976.
2. CODEX ALIMENTARIUS. **Norma del Codex para el concentrado de tomate elaborado.** CODEX STAN 57. 1981.
3. CORNELL, Jhon A. **How to apply response surface methodology.** Estados Unidos. Editorial Wisconsin. 1990
4. ESCOBAR PEREZ, Juan Bartolomé. **Transporte y gestión de restos vegetales de invernadero en planta.** Artículo web. Disponible en <http://www.fundacioncajamar.es/pdf/bd/comun>. Artículo web. Consultado el 20 de Agosto del 2016.
5. DABION, Mary y otros. **Estrategias técnicas y económicas para la producción y el procesamiento del tomate en invernaderos.** Facultad de Ingeniería UVN. Vol.4: 152 a 174. Abril 2010.
6. FRANCO, Daniel. **Tomate industrializado.** Alimentos Argentinos. Vol. 5: 26 – 31. Enero 2009.
7. GOMEZ – SANCHEZ, A. I. Microorganismos de importancia en el **tratamiento térmico ácidos y de alta acidez.** Temas selectos de ingeniería de alimentos. Vol. 1: 24 a 32. México 2007.

8. GOULD, Wilbur A. **Tomato production, processing and quality evaluation.** Connecticut. Editorial the Avi Publishing Company. 1983.
9. HOLDSWORTH, Donald y otros. **Thermal processing of packaged foods.** Estados Unidos. Editorial Springer Science. Segunda edición. 2007.
10. HOLDSWORTH, S D. **Optimisation of thermal processing.** *Journal of food engineering.* Vol. 4: 89 a 116. 1985.
11. HOLDSWORTH, S.D. **Thermal processing of packaged foods.** Londres. Editorial Chapman Hall. 1997.
12. NUMATA, Koichi y otros. **Estudio sobre el caso de la producción creciente del tomate en los desiertos mediante el sistema agrario con poco insumo: desafíos en la zona costera del Perú.** *Estudio sobre el caso de la producción creciente del tomate en los desiertos mediante el sistema agrario con poco insumo.* 2010.
13. LESPINARD, Alejandro R. **Simulación y optimización del tratamiento térmico de alimentos envasados en recipientes de vidrio.** Tesis doctoral. Argentina. Universidad Nacional de La Plata. 2010.

14. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. **Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica.** Costa Rica. 1991.
15. MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN. **Reporte de producción manufacturera.** Boletín de producción manufacturera. Octubre 2015.
16. MINISTERIO DE SALUD. **Tablas peruanas de alimentos.** Centro nacional de alimentación y nutrición instituto nacional de salud. Lima 2009.
17. ORDOÑEZ SANTOS, Luis. **Estudio comparativo de las características físico químicas, nutricionales y microscópicas de tomate (*licopersicon esculentum mil.*) procedente de cultivo ecológico y convencional, en fresco y tras la obtención de triturados, y de diferentes derivados comerciales de tomate.** tesis doctoral. La Coruña. Universidad de Santiago de Compostela. 2006.
18. ORREGO ALZATE, Carlos Eduardo. **Procesamiento de alimentos.** Manizales - Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 2003.
19. RODRIGO, M. y otros. **Optimización de las técnicas de esterilización por calor.** Instituto de agroquímica y tecnología de alimentos. Vol. 1: 22. 1981.

20. RODRIGO, M. y otros. **Optimización de las técnicas de esterilización por calor.** *Instituto de agroquímica y tecnología de alimentos.* Vol. 2: 20. 1981.
21. ROSERO VELASCO, Diego. **Salsa de tomate.** Colombia. Universidad del Valle - Tecnología de alimentos. 2007.
22. SALMERON SALMERON, Pascual. **Estudio de anteproyecto para la elaboración de concentrados de tomate y jugo de tomate.** España. Universidad de Murcia. 1968.
23. SANDOVAL, A. J y otros. **Prediction of hot-fill-air-cool sterilization processes for tomato paste in glass jars.** *Journal Food Engineering.* Vol. 23: 33 a 50. 1994.
24. SHAFIUR RAHMAN, Mohammand. **Food process desing.** Estados Unidos. Editorial Wiley-Blackwell. Primera edición. 2010.
25. SILVA, Filipa V. M. **Quality optimization of hot filed pasteurized fruit purees: container characteristics and filing temperatures.** *Journal of food Engineering.* Vol. 32: 351 a 364. 1997.
26. SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN DE COMERCIO EXTERIOR. **Tomate.** disponible en: <http://www.siicex.gop.pe>. Artículo web. Consultada el 15 Abril del 2015.

27. TAPIA CRUZ, Bernabé. **La industria de la pasta de tomate.**  
Disponible en: <http://www.odepa.gob.cl>. Artículo web. Consultada el 25 de Marzo del 2015.
28. TUCKER, Gary. **Pasteurisation process desings.** Estados Unidos. Editorial Wiley-Blackwell. Primera edición. 2010.
29. UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS DE PUEBLA. **Metodología de superficie de respuesta.** Disponible en: <http://catarina.udlap.mx/udla/documentos/lii/peregrina/capitulo2.pdf>.  
Artículo web. Consultado el 31 de Agosto del 2016.
30. VIVES BESALDUCH, Elodia. Análisis de la capacidad del proceso. Disponible en: <http://docplayer.es/8318103-Tema-7-analisis-de-la-capacidad-del-proceso.html>. Artículo web. Consultado el 30 de Agosto del 2016
31. WELTI CHANES, J y otros. **Aplicaciones de ingeniería y fenómenos de transporte al estudio de la transferencia convectiva de calor en alimentos envasados.** *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 4: 89 a 106. 2005.
32. WILLIAMS, M. P., & NELSON, P. E. **Kinetics of the thermal degradation of methylmethionine sulfonium salts.** *J. Food Sci.* Vol. 39: 457 a 460. 1974.

## ANEXO I: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo conseguir la optimización en el proceso de tratamiento térmico del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata?	Optimizar el proceso de tratamiento térmico en la elaboración del concentrado de tomate (puré) en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata.	Para la optimización del proceso de tratamiento térmico, este se puede obtener mediante un modelamiento matemático, el cual permita estimar el tiempo óptimo necesario de tratamiento térmico al cual necesita ser sometido la conserva de puré de tomate, hasta obtener el valor letal ( $P_0$ ) deseado, con respecto a la concentración de la materia prima y temperatura de proceso.	Tiempo de calentamiento hasta alcanzar la letalidad microbiana acumulativa ( $P_0$ ) recomendada, en el proceso de tratamiento térmico (pasteurizado), del concentrado de tomate (puré).	Optimizar Modelar Analizar	características características características	Relacionando $X_1$ y $X_2$ con el grado de destrucción microbiana, expresado en la tiempo de calentamiento hasta alcanzar la letalidad acumulativa $P_0$ recomendada.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuál es el tiempo de calentamiento óptimo, para alcanzar la letalidad requerida, del proceso de tratamiento térmico en la elaboración del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata?	Determinar el tiempo de calentamiento óptimo, hasta alcanzar la letalidad requerida en el proceso de tratamiento térmico en la elaboración del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata.	Las esporas del Bacillus coagulans, normalmente son utilizadas como un indicador en el diseño de los procesos de pasteurización de los productos derivados del tomate, debido a su termorresistencia. La pasteurización es un tratamiento térmico que usualmente utiliza valores de letalidad alrededor de $P_0=3$ minutos entre 70 - 100°C. El objetivo de este proceso es destruir microorganismos termosensibles, alcanzando una reducción decimal de $n=6$ , estos microorganismos son capaces de sobrevivir en condiciones de alta acidez (bacterias no esporuladas, levaduras y mohos) e inactivar enzimas (fosfatasa). Los productos pasteurizados poseen una flora termófila que es capaz de desarrollarse entre 30-60 °C y aún puede multiplicarse a temperatura ambiente. Por tanto, este método va acompañado de otros tratamientos de conservación tales como la refrigeración y la fermentación.	Cantidad de sólidos totales (%), en el concentrado de tomate (puré).	análisis de materia prima.  Control de proceso y operación.	Características.  Características.	Análisis de materia prima y producto en proceso, estableciendo rangos de concentración para el proceso de elaboración en envase de vidrio y hojalata.
¿Cuál es el comportamiento del valor de cocción óptimo y los parámetros de transferencia de calor en el tratamiento térmico, para la elaboración del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata?	Evaluar el valor de cocción y los valores de transferencia de calor, del proceso de tratamiento térmico en la elaboración del concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio con tapa twist off y en envase de hojalata.	Los parámetros de transferencia de calor y el valor de cocción, análogo al valor letal, dependerán de las dimensiones y capacidad del envase a utilizar, además de modificaciones en los tiempos de proceso, cambios en la calidad final del alimento procesado.	Temperatura de pasteurizado (°C), en el proceso de tratamiento térmico del concentrado de tomate (puré).	Control de procesos y operación.	Características.	Establecer rangos de temperatura de pasteurizado para la obtención de la curva de penetración de calor en el proceso de pasteurizado de concentrado de tomate (puré), en envase de vidrio y envase de hojalata.

# ANEXO II: REPORTES DE CORRIDAS EXPERIMENTALES.



**Datos de la corrida experimental**

Envase:	Hojalata
Dimensiones:	72.5 x 108.2 mm
Peso vacío:	79.88 g

Parámetros de termo-resistencia (Bacillus coagulans y proteínas del tomate).

T <sub>ref</sub> (°C) =	93.3
z (°C) =	8.3
D (min) =	0.1 - 0.5
Z <sub>h</sub> (°C) =	21.6
D <sub>h</sub> (min) =	12.5

Constantes del modelo matemático empírico.

A =	62.83376104
K =	0.035812722
B =	12.94885068

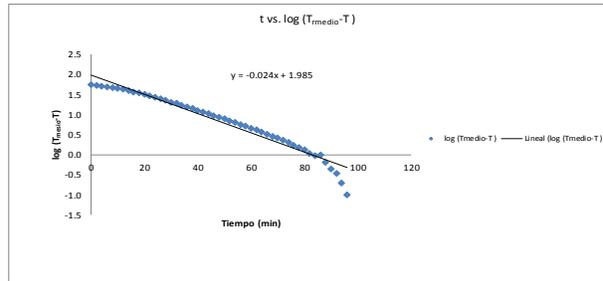
$$T_{rel} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp. medio(°C)	Temp. EXP(°C)	P <sub>a</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (Pc)	dif*2	dif
0	74.4	19.2	0	0	12.94885068	38.47806145	6.2031493
2	74.4	20.6	2.9065E-06	0.000861567	17.28958185	10.95641872	3.3100481
4	74.4	22.6	7.63376E-09	0.001922205	21.33285569	1.481440274	1.2171443
6	74.4	24.6	1.58417E-08	0.003234887	25.0831198	0.298456775	-0.546312
8	74.4	26.9	3.09143E-08	0.004912305	28.5983627	3.061227083	-1.749636
10	74.4	29.2	5.97047E-08	0.00767259	31.8680903	7.079504891	-2.668029
12	74.4	32.0	1.19224E-07	0.009595287	34.89689789	8.88282305	-2.946589
14	74.4	34.7	2.45955E-07	0.013838872	37.7249358	9.440216993	-3.072494
16	74.4	37.4	5.13305E-07	0.018946378	40.35388984	9.01894659	-3.00329
18	74.4	40.2	1.08945E-06	0.025870711	42.80185797	7.022309994	-2.851858
20	74.4	42.8	2.30779E-06	0.03595515	45.08138802	5.204630916	-2.291368
22	74.4	45.3	4.77892E-06	0.0470452	47.20331333	3.622801617	-1.903313
24	74.4	47.7	9.63302E-06	0.062530474	49.17895957	2.19620066	-1.478951
26	74.4	50.0	1.88921E-05	0.082213213	51.01733565	1.03302934	-1.067338
28	74.4	52.0	3.53812E-05	0.106703449	52.72898575	0.531420226	-0.728986
30	74.4	53.9	6.38936E-05	0.13699203	54.32225793	0.178359028	-0.422328
32	74.4	55.3	0.000107806	0.171322304	55.8055326	0.3086172	-0.555533
34	74.4	57.4	0.00018113	0.214872785	57.18622073	0.045701577	0.213793
36	74.4	59.0	0.000301097	0.26624783	58.47147439	0.22886761	0.4785256
38	74.4	60.4	0.000480964	0.325891867	59.66789067	0.46527314	0.8621093
40	74.4	61.6	0.000738754	0.394037402	60.78181005	0.669782104	0.8183899
42	74.4	62.9	0.00105812	0.471886214	61.8184859	1.064304623	1.0316514
44	74.4	63.9	0.001607228	0.558976307	62.78342725	1.246734716	1.1165728
46	74.4	64.9	0.002267893	0.6553371	63.68179918	1.364983167	1.1682008
48	74.4	65.8	0.00312062	0.761400864	64.51807518	1.51763875	1.2319249
50	74.4	66.6	0.004209289	0.877524034	65.29854738	1.698889743	1.3024628
52	74.4	67.3	0.005550994	1.00284936	66.02121118	1.633300852	1.2787888
54	74.4	68.0	0.00718269	1.137457504	66.68678596	1.700924541	1.3042141
56	74.4	68.7	0.00914965	1.281943678	67.3273339	1.758825937	1.3262564
58	74.4	69.3	0.011487196	1.435972327	67.93827236	1.800219915	1.3417227
60	74.4	69.8	0.014207615	1.598436395	68.52421698	1.837217011	1.3497583
62	74.4	70.3	0.01732577	1.769791809	69.08948448	1.866821762	1.3509458
64	74.4	70.7	0.020896066	1.949566331	69.4304249	1.811725498	1.2695379
66	74.4	71.1	0.024930338	2.13717005	69.689386	1.514405904	1.230612
68	74.4	71.5	0.029381958	2.33298902	70.27797475	1.493345702	1.1220252
70	74.4	71.8	0.03431378	2.53510152	70.68331979	1.303433703	1.1146802
72	74.4	72.1	0.039672387	2.743814046	71.01207518	1.18227338	1.0676248
74	74.4	72.4	0.045487323	2.959309147	71.34195809	1.119452677	1.0680419
76	74.4	72.7	0.051827355	3.1847024	71.64876006	1.105105401	1.0512399
78	74.4	72.9	0.058680727	3.430999973	71.93453503	0.932468856	0.9656443
80	74.4	73.1	0.066128249	3.64035637	72.2021088	0.7221415	0.8497891
82	74.4	73.3	0.074232735	3.877293572	72.4478659	0.75943268	0.85231
84	74.4	73.5	0.083125553	4.116288037	72.6780632	0.592866402	0.7713988
86	74.4	73.4	0.082687922	4.363042653	72.89251283	0.257541138	0.5104971
88	74.4	73.8	0.097892563	4.62685444	73.0213977	0.432780883	0.6578903
90	74.4	74.0	0.106757081	4.861965504	73.2779883	0.451626901	0.6720317
92	74.4	74.1	0.116214458	5.118013293	73.45952228	0.39889176	0.5990477
94	74.4	74.2	0.126006118	5.379501569	73.61197951	0.345780888	0.5880202
96	74.4	74.3	0.136143288	5.642957857	73.78187466	0.289576946	0.5381238
98	74.4	74.4	0.146555005	5.90662143	73.90141246	0.24859854	0.4985979
100	74.4	74.5	0.157200694	6.177791774	74.03130395	0.1753063	0.4186963
102	74.4	74.6	0.168969009	6.448794887	74.15221671	0.158231547	0.3977833
104	74.4	74.6	0.179167174	6.71214652	74.26477219	0.112377884	0.3352722
106	74.4	74.7	0.194847364	6.966117963	74.36954778	0.109188669	0.3304522
108	74.4	74.7	0.201971249	7.217989386	74.46780123	0.084251153	0.2329188
110	74.4	74.8	0.213616048	7.50312012	74.55787312	0.05862526	0.2421269
112	74.4	74.9	0.2255842	7.81617461	74.64238943	0.066363207	0.2576106
114	74.4	74.9	0.237728851	8.11252299	74.72108392	0.032018119	0.1789361
116	74.4	74.9	0.249685281	8.394282358	74.79430014	0.011172455	0.1059595
118	74.4	75	0.26217444	8.67848658	74.8624474	0.018813188	0.1332523
120	74.4	75	0.274654323	8.962888358	74.92628921	0.005485328	0.0746623
122	74.4	75	0.287134218	9.24718907	74.98591238	0.000224629	0.0148678
124	74.4	75.1	0.29789839	9.534556407	75.04000481	0.003899447	0.0599954
126	74.4	75.1	0.312620992	9.821923744	75.09119575	7.75148E-05	0.0088043
128	74.4	75.1	0.325451545	10.1092108	75.13884893	0.001592928	-0.008849
130	74.4	75.1	0.338228498	10.39666842	75.18320792	0.009823462	-0.083208
132	74.4	75.2	0.351293921	10.68110551	75.2245004	0.00060027	-0.0249
134	74.4	75.2	0.364485813	10.9775526	75.2629391	0.00396133	-0.062939
136	74.4	75.2	0.377877706	11.2679969	75.29872089	0.009145814	-0.098721
138	74.4	75.2	0.390869598	11.55844679	75.33202943	0.017431769	-0.130202
140	74.4	75.2	0.404061491	11.84889388	75.36303566	0.026580626	-0.163036
142	74.4	75.3	0.41743893	12.14245373	75.39188873	0.008445376	-0.091899
144	74.4	75.3	0.431001915	12.43601358	75.41876677	0.014105544	-0.118761
146	74.4	75.3	0.444564901	12.72957347	75.4437787	0.020672019	-0.143778
148	74.4	75.3	0.458127888	13.02313329	75.46705981	0.02790888	-0.167078

150	74.4	75.1	0.471402278	13.31194781	75.48873288	0.116685927	-0.341808
152	74.4	75.2	0.4844245	13.6010418	75.5089078	0.12440687	-0.352714
154	74.4	75.2	0.497473042	13.8883828	75.52788784	0.131900067	-0.363718
156	74.4	75.2	0.510546503	14.17987748	75.54517003	0.13916033	-0.373042
158	74.4	75.2	0.523632482	14.46977898	75.56144391	0.146170289	-0.38233
160	74.4	75.2	0.53673819	14.75977762	75.5765929	0.152928295	-0.391075
162	74.4	75.2	0.54982624	15.04998918	75.5906478	0.159449123	-0.398307
164	74.4	75.2	0.56300976	15.34030524	75.60382194	0.16582248	-0.407163
166	74.4	75.2	0.57628883	15.63080502	75.61604174	0.171677784	-0.41454
168	74.4	75.2	0.58966268	15.92144487	75.62741698	0.177404031	-0.421194
170	74.4	75.2	0.602717567	16.21221318	75.6380059	0.182837399	-0.427637
172	74.4	75.2	0.615854426	16.50309929	75.64788279	0.188091167	-0.433995
174	74.4	75.2	0.629024673	16.79409337	75.6570947	0.193091257	-0.439287
176	74.4	75.2	0.642449718	17.0848858	75.6655799	0.197830205	-0.444788
178	74.4	75.2	0.65574708	17.37630751	75.6733387	0.202284448	-0.449479
180	74.4	75.2	0.66902598	17.66763788	75.6803244	0.206507058	-0.454379
182	74.4	75.2	0.68231685	17.95898198	75.6867223	0.210594747	-0.459509
184	74.4	75.2	0.69562087	18.250333	75.6925958	0.214442003	-0.465028
186	74.4	75.2	0.708931265	18.54167328	75.7002351	0.218002511	-0.469972
188	74.4	75.2	0.722242288	18.83341022	75.70767387	0.221487077	-0.475325
190	74.4	75.2	0.73557312	19.1250008	75.7159248	0.224743859	-0.480172
192	74.4	75.2	0.74890397	19.41664108	75.71575341	0.227910982	-0.484578
194	74.4	75.2	0.76223688	19.70822672	75.7202945	0.23076462	-0.489119
196	74.4	75.2	0.775570033	20.00000398	75.7244062	0.233481118	-0.493155
198	74.4	75.2	0.788902944	20.29181928	75.7282943	0.23614204	-0.496813
200	74.4	75.2	0.802237307	20.58381921	75.73191564	0.238641749	-0.499335
202	74.4	75.2	0.815571668	20.87624211	75.73527979	0.24072823	-0.499841
204	74.4	75.2	0.828906033	21.1691328	75.73841028	0.242381063	-0.49923
206	74.4	75.2	0.842238194	21.46250284	75.74132734	0.243698888	-0.498481
208	74.4	75.2	0.85557045	21.75631608	75.744047	0.244691249	-0.498002
210	74.4	75.2	0.86890271	22.05057212	75.7465707	0.245364188	-0.498002
212	74.4	75.2	0.88223496	22.34527081	75.7489323	0.245826224	-0.500288
214	74.4	75.2	0.89556721	22.64049888	75		

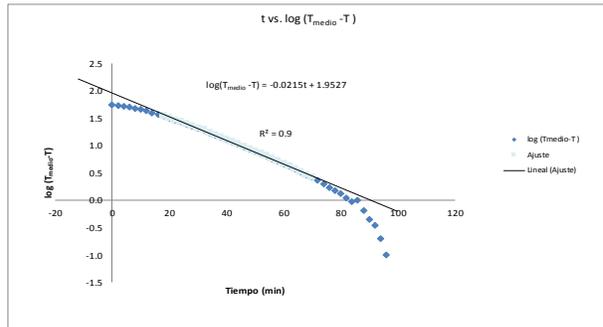
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T )
0	74.4	19.2	55.3	1.7
2	74.4	20.6	53.8	1.7
4	74.4	22.6	51.9	1.7
6	74.4	24.6	49.9	1.7
8	74.4	26.9	47.6	1.7
10	74.4	29.2	45.2	1.7
12	74.4	32.0	42.5	1.6
14	74.4	34.7	39.8	1.6
16	74.4	37.4	37.1	1.6
18	74.4	40.2	34.3	1.5
20	74.4	42.8	31.6	1.5
22	74.4	45.3	29.1	1.5
24	74.4	47.7	26.7	1.4
26	74.4	50.0	24.5	1.4
28	74.4	52.0	22.4	1.4
30	74.4	53.9	20.5	1.3
32	74.4	55.3	19.2	1.3
34	74.4	57.4	17.0	1.2
36	74.4	59.0	15.5	1.2
38	74.4	60.4	14.1	1.1
40	74.4	61.6	12.8	1.1
42	74.4	62.9	11.6	1.1
44	74.4	63.9	10.5	1.0
46	74.4	64.9	9.6	1.0
48	74.4	65.8	8.7	0.9
50	74.4	66.6	7.8	0.9
52	74.4	67.3	7.1	0.9
54	74.4	68.0	6.4	0.8
56	74.4	68.7	5.8	0.8
58	74.4	69.3	5.2	0.7
60	74.4	69.8	4.7	0.7
62	74.4	70.3	4.2	0.6
64	74.4	70.7	3.7	0.6
66	74.4	71.1	3.3	0.5
68	74.4	71.5	2.9	0.5
70	74.4	71.8	2.6	0.4
72	74.4	72.1	2.3	0.4
74	74.4	72.4	2.0	0.3
76	74.4	72.7	1.7	0.2
78	74.4	72.9	1.5	0.2
80	74.4	73.1	1.4	0.1
82	74.4	73.3	1.1	0.0
84	74.4	73.5	1.0	0.0
86	74.4	73.4	1.0	0.0
88	74.4	73.8	0.7	-0.2
90	74.4	74.0	0.5	-0.3
92	74.4	74.1	0.4	-0.5
94	74.4	74.2	0.2	-0.7
96	74.4	74.3	0.1	-0.7
98	74.4	74.4	0.0	-1.0
100	74.4	74.5	0.0	
102	74.4	74.6	-0.1	
104	74.4	74.6	-0.2	
106	74.4	74.7	-0.3	
108	74.4	74.7	-0.3	
110	74.4	74.8	-0.4	
112	74.4	74.9	-0.5	
114	74.4	74.9	-0.5	
116	74.4	74.9	-0.5	
118	74.4	75.0	-0.6	
120	74.4	75.0	-0.6	
122	74.4	75.0	-0.6	
124	74.4	75.1	-0.7	
126	74.4	75.1	-0.7	
128	74.4	75.1	-0.7	



De la gráfica se obtiene:

$$f_h = 41.67 \text{ min}$$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{p0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$$\begin{aligned} \log(T_{medio} - T_{p0}) &= 1.9527 \\ T_{medio} - T_{p0} &= 89.680909 \\ T_{medio} - T_0 &= 55.3 \end{aligned}$$

$$j_h = 1.62$$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = \left(-\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.426 kg
calor especific:	3920 J/kgK
Área:	0.032900722 m <sup>2</sup>
diametro:	0.0725 m
altura:	0.1082 m
U =	0.046756734 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>46.75673425 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.03625 m
altura:	0.1082 m
f <sub>h</sub> :	41.67 min

$$\text{ividad térmica: } 0.00000291 \text{ m}^2/\text{s}.$$

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	41.67	min
j <sub>h</sub>	1.62	
U	46.757	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.00000291	m <sup>2</sup> /s.

**Datos de la corrida experimental**

Envase:	Vidrio
Dimensiones:	73.6 x 115.2 mm
Peso vacío:	260.22 g

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	8.4%
Peso del producto (g)	495
Temperatura de pasteurización (°C)	74.4

Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).

$T_{ref}$ (°C)	93.3
$z$ (°C)	8.3
$D$ (min)	0.1 - 0.5
$Z_r$ (°C)	21.6
$D_r$ (min)	12.5

Constantes del modelo matemático empírico.

A =	67.4095731
K =	0.03658986
B =	8.73174274

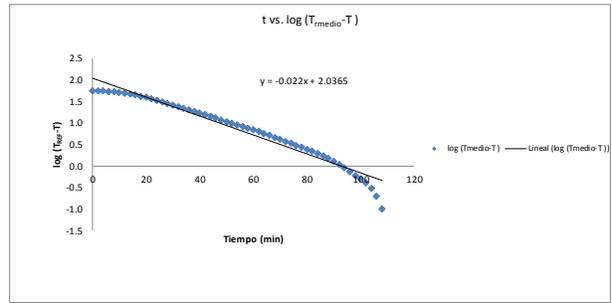
$$T_{kill} = A[1 - \exp(-k \cdot t)] + B$$

time	Temp. medio(°C)	Temp. EXP(°C)	$P_r$ acumulado	$C_{kill}$ acumulado	$T_{kill}$ (°C)	$dif^*2$	$dif$
0	74.4	19.2	0	0	8.73174274	108.540775	10.418286
2	74.4	19.3	2.37917E-09	0.000793074	12.77891752	42.529821	6.5211925
4	74.4	19.7	4.93189E-09	0.001528962	16.92933331	9.408991101	3.0670967
6	74.4	20.1	7.78989E-09	0.00231951	20.19965958	0.00343989	-0.058951
8	74.4	21.0	1.1249E-08	0.003344609	23.51968234	6.34979086	2.519682
10	74.4	22.5	1.61039E-08	0.004294	26.8791827	17.88374978	-4.228918
12	74.4	24.6	2.4224E-08	0.005609893	29.84947418	25.99443993	-5.038474
14	74.4	27.0	3.97199E-08	0.007311138	32.4397384	29.2507539	-5.439738
16	74.4	29.8	7.20451E-08	0.009599212	35.06341559	28.2328492	-5.313416
18	74.4	32.7	1.43369E-07	0.012703073	37.52967765	23.81017946	-4.879688
20	74.4	35.6	3.02873E-07	0.01694985	39.84765215	18.46891404	-4.297622
22	74.4	38.4	6.56034E-07	0.02269556	42.02655932	13.15193251	-3.626559
24	74.4	41.1	1.41289E-06	0.030357934	44.07464524	8.848514333	-3.074645
26	74.4	43.8	2.9983E-06	0.040521556	45.9997844	5.061436848	-2.249764
28	74.4	46.2	6.15617E-06	0.053648379	47.8029297	2.752755011	-1.6563
30	74.4	48.4	1.21357E-05	0.07033382	49.51019079	1.32253583	-1.110191
32	74.4	50.6	2.31978E-05	0.091428315	51.0386064	0.26904209	-0.508991
34	74.4	52.6	4.26791E-05	0.11797396	52.61174059	0.003811901	-0.061741
36	74.4	54.3	7.50001E-05	0.148992103	54.02429387	0.07801389	0.2757061
38	74.4	56.0	0.000142073	0.186206003	55.3203767	0.419895178	0.6479823
40	74.4	57.6	0.000240428	0.230457462	56.6006394	0.902371613	1.9490261
42	74.4	59.0	0.0003442	0.282107707	57.77319891	1.50519065	1.2688411
44	74.4	60.3	0.000510326	0.341434047	58.78582143	2.028248565	1.4241786
46	74.4	61.5	0.00076199	0.408498999	59.67228208	2.364591953	1.5377197
48	74.4	62.6	0.001107469	0.484309846	60.49851029	2.590406995	1.7134997
50	74.4	63.7	0.001579298	0.569909989	61.20224769	2.741488631	1.8477923
52	74.4	64.6	0.002186999	0.662427778	62.0030434	2.815073904	1.8989927
54	74.4	65.4	0.002969443	0.764039993	63.47208131	2.528978602	1.8779187
56	74.4	66.1	0.003916929	0.874159795	64.2238142	2.48723143	1.8674186
58	74.4	66.9	0.005104731	0.994099945	64.94742123	2.381256387	1.8525788
60	74.4	67.5	0.006543363	1.121872142	65.61934216	2.233897392	1.8360978
62	74.4	68.1	0.008246278	1.25811155	66.25092108	2.041893292	1.8490769
64	74.4	68.8	0.010284699	1.404169308	66.84480007	1.830025124	1.904199
66	74.4	69.3	0.012623285	1.569195366	67.40295988	1.612911995	1.8474041
68	74.4	69.8	0.015362804	1.720657524	67.9271085	1.322834003	1.8228915
70	74.4	70.2	0.018454752	1.891103029	68.4212948	1.073993094	1.779075
72	74.4	70.7	0.021991594	2.069924179	68.88354854	0.812034713	1.7664505
74	74.4	71.0	0.025828924	2.25545247	69.31914594	0.285207509	1.6868541
76	74.4	71.4	0.030216917	2.448218857	69.728892	0.288972971	1.6214108
78	74.4	71.7	0.03497339	2.647155482	70.1134865	0.2608977	1.5365004
80	74.4	72.0	0.040300203	2.85257199	70.47622095	0.215026345	1.4478971
82	74.4	72.2	0.045636363	3.063360626	70.81523872	0.159799229	1.3847633
84	74.4	72.5	0.051390294	3.280153295	71.13485493	0.129606665	1.3154165
86	74.4	72.7	0.057633176	3.502651986	71.4352833	0.10960383	1.2647167
88	74.4	72.9	0.064735488	3.729944121	71.717674	0.107894765	1.1922328
90	74.4	73.1	0.071902811	3.962134815	71.98311001	0.124744325	1.11689
92	74.4	73.3	0.079480039	4.198329016	72.23290928	0.139322947	1.0673907
94	74.4	73.5	0.087489564	4.44163545	72.46712865	0.169823216	1.028713
96	74.4	73.7	0.09599117	4.687847317	72.6878792	0.208276279	0.9924325
98	74.4	73.8	0.104899973	4.938025519	72.8947127	0.251943049	0.9522927
100	74.4	73.9	0.113271773	5.19288615	73.08953454	0.298854256	0.9104655
102	74.4	74.0	0.12136987	5.446495746	73.27289426	0.329104589	0.772387
104	74.4	74.1	0.129078341	5.704707383	73.44482949	0.429441033	0.6559175
106	74.4	74.2	0.142037099	5.96949567	73.60642919	0.32336318	0.5595708
108	74.4	74.3	0.152844199	6.229721957	73.75846462	0.283260967	0.5153584
110	74.4	74.4	0.163636585	6.496462244	73.90137188	0.248630005	0.4868291
112	74.4	74.5	0.173780788	6.765988837	74.035999	0.215574510	0.464301
114	74.4	74.6	0.184793053	7.038443989	74.16196115	0.191878033	0.4383388
116	74.4	74.6	0.195666129	7.310919932	74.28064254	0.101981989	0.3193575
118	74.4	74.7	0.207292319	7.586263336	74.38219831	0.094741878	0.3078017
120	74.4	74.7	0.2188568	7.863106432	74.4970563	0.063895107	0.2529437
122	74.4	74.8	0.230980797	8.141420038	74.59561862	0.041771747	0.2043814
124	74.4	74.8	0.242486664	8.421239121	74.68826328	0.028158765	0.1617367
126	74.4	74.9	0.25452439	8.70254457	74.77334557	0.015538728	0.1246544
128	74.4	74.9	0.267147593	8.985353395	74.8519845	0.008611941	0.0928005
130	74.4	75	0.279441529	9.269736333	74.92413884	0.004337692	0.0658912
132	74.4	75	0.291621414	9.555993971	75.0064598	0.17161E-05	-0.006459
134	74.4	75.05	0.30418848	9.839833598	75.07443688	0.000597151	-0.024437
136	74.4	75.1	0.316831039	10.12270093	75.13833318	0.001469443	-0.038333
138	74.4	75.1	0.329761991	10.41456827	75.19839334	0.009691249	-0.098393
140	74.4	75.15	0.342882553	10.70347138	75.2548475	0.010992998	-0.104948
142	74.4	75.15	0.355892724	10.99237449	75.30791216	0.024936251	-0.157912
144	74.4	75.15	0.368702896	11.28127768	75.35739083	0.043177028	-0.207791
146	74.4	75.2	0.381303267	11.5712747	75.40467479	0.041891788	-0.204675
148	74.4	75.2	0.394993619	11.86211719	75.44874384	0.061873498	-0.248744

150	74.4	75.3	0.408279842	12.15417111	75.49016999	0.057898198	-0.240163
152	74.4	75.3	0.421659994	12.44617044	75.52910111	0.077899546	-0.279303
154	74.4	75.3	0.435032146	12.73816978	75.56870151	0.09987441	-0.315702
156	74.4	75.3	0.448501715	13.03172962	75.60910254	0.080891539	-0.300103
158	74.4	75.3	0.462067	13.32629947	75.6503814	0.11051519	-0.332498
160	74.4	75.3	0.475827886	13.61848322	75.6928322	0.13647292	-0.362932
162	74.4	75.3	0.489793071	13.91240918	75.694140163	0.15319524	-0.381429
164	74.4	75.3	0.50375967	14.20899931	75.71025595	0.174837791	-0.418299
166	74.4	75.3	0.517616942	14.4982888	75.74249736	0.196899002	-0.445424
168	74.4	75.3	0.52979628	14.79309874	75.78722356	0.218979624	-0.467224
170	74.4	75.3	0.543494213	15.08944891	75.78862524	0.239634962	-0.489523
172	74.4	75.3	0.557079999	15.38202844	75.81048793	0.26197074	-0.510488
174	74.4	75.3	0.570599594	15.6737883	75.83019203	0.281105891	-0.530142
176	74.4	75.3	0.58419157	15.9632815	75.84871339	0.301880259	-0.548713
178	74.4	75.3	0.597949555	16.2509488	75.86612716	0.320494295	-0.566122
180	74.4	75.3	0.611257541	16.5444786	75.88249388	0.33838919	-0.582496
182	74.4	75.3	0.624205256	16.8400771	75.8978732	0.357445338	-0.597867
184	74.4	75.3	0.636838132	17.14196759	75.91202128	0.37484211	-0.612235
186	74.4	75.3	0.649194967	17.44817242	75.92591468	0.391976992	-0.625919
188	74.4	75.3	0.661594483	17.72893727	75.93985895	0.40792346	-0.638996
190	74.4	75.3	0.673797249	18.0224713	75.95396978	0.423495003	-0.651698
192	74.4	75.3	0.685829454	18.31990989	75.96791892	0.438219933	-0.664192
194	74.4	75.3	0.697694439	18.62036883	75.97592525	0.452377941	-0.6759
196	74.4	75.3	0.70971425	18.92320399	75.98358753	0.465896539	-0.685926
198	74.4	75.3	0.72334441	19.2494854	75.99194586	0.47877342	-0.691925
200	74.4	75.3	0.73687398	19.60046328	76.00074462	0.491493028	-0.700745
202	74.4	75.3	0.75045381	19.76366225	76.00920574	0.50271748	-0.709205
204	74.4	75.3	0.76413387	20.077191	76.01890985	0.51381608	-0.7182
206	74.4	75.3	0.778176352	20.3707299	76.02412623	0.52469701	-0.727493
208	74.4	75.3	0.801138337	20.64428991	76.03100511	0.53496193	-0.731

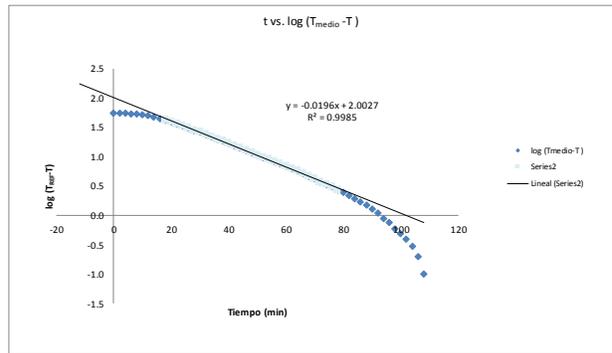
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log(T_medio-T)
0	74.4	19.2	55.3	1.7
2	74.4	19.3	55.1	1.7
4	74.4	19.7	54.8	1.7
6	74.4	20.1	54.3	1.7
8	74.4	21.0	53.4	1.7
10	74.4	22.5	52.0	1.7
12	74.4	24.6	49.9	1.7
14	74.4	27.0	47.4	1.7
16	74.4	29.8	44.7	1.6
18	74.4	32.7	41.8	1.6
20	74.4	35.6	38.9	1.6
22	74.4	38.4	36.0	1.6
24	74.4	41.1	33.3	1.5
26	74.4	43.8	30.7	1.5
28	74.4	46.2	28.3	1.5
30	74.4	48.4	26.0	1.4
32	74.4	50.6	23.8	1.4
34	74.4	52.6	21.9	1.3
36	74.4	54.3	20.1	1.3
38	74.4	56.0	18.4	1.3
40	74.4	57.6	16.9	1.2
42	74.4	59.0	15.4	1.2
44	74.4	60.3	14.1	1.1
46	74.4	61.5	13.0	1.1
48	74.4	62.6	11.8	1.1
50	74.4	63.7	10.8	1.0
52	74.4	64.6	9.8	1.0
54	74.4	65.4	9.1	1.0
56	74.4	66.1	8.3	0.9
58	74.4	66.9	7.5	0.9
60	74.4	67.5	6.9	0.8
62	74.4	68.1	6.3	0.8
64	74.4	68.8	5.7	0.8
66	74.4	69.3	5.2	0.7
68	74.4	69.8	4.7	0.7
70	74.4	70.2	4.2	0.6
72	74.4	70.7	3.8	0.6
74	74.4	71.0	3.4	0.5
76	74.4	71.4	3.1	0.5
78	74.4	71.7	2.8	0.4
80	74.4	72.0	2.5	0.4
82	74.4	72.2	2.2	0.3
84	74.4	72.5	2.0	0.3
86	74.4	72.7	1.7	0.2
88	74.4	72.9	1.5	0.2
90	74.4	73.1	1.3	0.1
92	74.4	73.3	1.1	0.0
94	74.4	73.5	0.9	0.0
96	74.4	73.7	0.8	-0.1
98	74.4	73.8	0.6	-0.2
100	74.4	73.9	0.5	-0.3
102	74.4	74.0	0.4	-0.4
104	74.4	74.1	0.3	-0.5
106	74.4	74.2	0.2	-0.7
108	74.4	74.3	0.1	-1.0
110	74.4	74.4	0.0	
112	74.4	74.5	-0.1	
114	74.4	74.6	-0.2	
116	74.4	74.6	-0.2	
118	74.4	74.7	-0.3	
120	74.4	74.8	-0.3	
122	74.4	74.8	-0.4	
124	74.4	74.9	-0.4	
126	74.4	74.9	-0.5	
128	74.4	75.0	-0.5	
130	74.4	75.0	-0.6	



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 45.45 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{\text{medio}} - T_{P0}}{T_{\text{medio}} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$\log(T_{\text{medio}} - T_{P0}) = 2.0027$   
 $T_{\text{medio}} - T_{P0} = 100.62363$   
 $T_{\text{medio}} - T_0 = 55.3$

$j_h = 1.82$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.433 kg
calor especif:	3920 J/kgK
Área:	0.035145625 m <sup>2</sup>
diametro:	0.0736 m
altura:	0.1152 m
U =	0.040781956 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>40.78195647 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.0368 m
altura:	0.1152 m
$f_h$ :	45.45 min

**α = 0.0000301 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

$f_h$	45.45	min
$j_h$	1.82	
U	40.782	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.0000301	m <sup>2</sup> /s.

**Datos de la corrida experimental**

Envase:	Hojalata
Dimensiones:	72.5 x 108.2 mm
Peso vacío:	80.37 g

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	21.53%
Peso del producto (g)	429.35
Temperatura de pasteurización (°C)	74.4

**Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).**

T <sub>ref</sub> (°C)	= 93.3
z (°C)	= 8.3
D (min)	= 0.1 - 0.5
Z (°C)	= 21.6
D <sub>r</sub> (min)	= 12.5

**Constantes del modelo matemático empírico.**

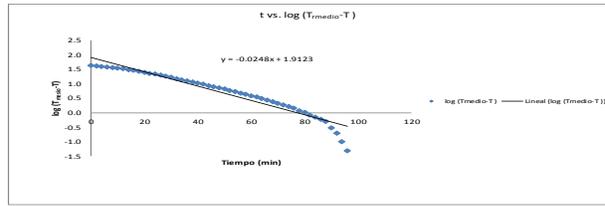
A	= 48.75072907
K	= 0.034038048
B	= 27.06100855

$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp. med.(°C)	Temp. EXP(°C)	P <sub>5</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T CALC (°C)	dif*2	dif
0	74.4	32.1	0	0	27.06100855	24.89003567	4.9889914
2	74.4	33.0	9.60507E-08	0.00321106	30.2665915	7.471522043	2.7343085
4	74.4	34.5	2.31584E-07	0.00702519	33.26139273	1.412787235	1.886073
6	74.4	35.8	4.29238E-07	0.01133441	36.0927212	0.09649244	-0.39272
8	74.4	37.2	7.19933E-07	0.016390418	38.67317816	2.170253006	-1.473178
10	74.4	39.1	1.18914E-06	0.02281876	41.1520796	4.061063114	-2.015208
12	74.4	41.1	1.99096E-06	0.03203201	43.39668315	5.50827921	-2.346963
14	74.4	43.2	3.4052E-06	0.039737104	45.52810224	5.655370276	-2.378102
16	74.4	45.2	5.91525E-06	0.051599657	47.51938949	5.379567606	-2.319389
18	74.4	47.2	1.0309E-05	0.066281167	49.37974051	4.7512887	-2.179741
20	74.4	49.2	1.78544E-05	0.08454927	51.11776496	3.97208992	-1.967765
22	74.4	51.2	3.10387E-05	0.106723646	52.74150637	2.53289254	-1.591506
24	74.4	52.9	5.29571E-05	0.133679905	54.25847938	1.845466217	-1.358479
26	74.4	54.7	8.89818E-05	0.166338169	55.61570448	0.951999232	-0.975704
28	74.4	56.3	0.000146085	0.20509901	56.8974056	0.489636857	-0.699741
30	74.4	57.8	0.000233036	0.250275961	58.23671523	0.236891718	-0.486715
32	74.4	59.2	0.000363045	0.303038574	59.39235317	0.036999742	-0.192353
34	74.4	60.5	0.00052686	0.363843996	60.47200264	0.000783852	0.0279074
36	74.4	61.7	0.000820295	0.432519855	61.48066023	0.048109935	0.2193398
38	74.4	62.9	0.001190618	0.510378668	62.42293969	0.182334443	0.427706
40	74.4	63.9	0.001690334	0.597468761	63.30336498	0.356723346	0.596635
42	74.4	64.8	0.00234228	0.692797792	64.12584757	0.389568252	0.5241524
44	74.4	65.7	0.003171869	0.797736909	64.89424818	0.571160812	0.7587518
46	74.4	66.5	0.004220363	0.912018016	65.61212294	0.702037966	0.8378771
48	74.4	67.2	0.005519386	1.03581118	66.2879416	0.84126655	0.9172958
50	74.4	67.9	0.007094715	1.168486228	66.90936568	0.884792916	0.9405343
52	74.4	68.5	0.008981335	1.310680417	67.49473727	1.010553154	1.0052627
54	74.4	69.1	0.011207069	1.461460789	68.041618	1.098382489	1.008362
56	74.4	69.6	0.01379386	1.621345868	68.5529836	1.097148992	1.0416212
58	74.4	70.1	0.016797278	1.78983994	69.02986429	1.145190446	1.0701357
60	74.4	70.5	0.020190512	1.965988503	69.47580341	1.048978651	1.0241966
62	74.4	70.9	0.023989197	2.14991366	69.89242	0.9152132	1.00758
64	74.4	71.3	0.028218396	2.34127053	70.28164215	1.037052701	1.0183578
66	74.4	71.7	0.032917591	2.542027355	70.64527117	1.009480018	1.0047288
68	74.4	72.0	0.038198534	2.74569072	70.98498992	0.931244451	0.9650101
70	74.4	72.3	0.043969533	2.952919172	71.3027061	0.954234992	0.967294
72	74.4	72.5	0.049755437	3.176623764	71.59888208	0.812013514	0.9011179
74	74.4	72.8	0.056126846	3.40031095	71.87589656	0.76405832	0.8741034
76	74.4	73.1	0.063092938	3.633819401	72.13496701	0.66472049	0.8153029
78	74.4	73.2	0.070413494	3.863497516	72.37647833	0.678189334	0.8235217
80	74.4	73.4	0.078148727	4.101959352	72.60236231	0.558962114	0.7476377
82	74.4	73.6	0.086270126	4.345559835	72.81339339	0.425893904	0.7369066
84	74.4	73.7	0.094780984	4.593296984	73.0105482	0.47534778	0.6984518
86	74.4	73.8	0.103617785	4.843266627	73.19473919	0.365340644	0.6052608
88	74.4	73.9	0.112899686	5.096127625	73.36681878	0.284282209	0.5331812
90	74.4	74.1	0.12244979	5.354437559	73.5275336	0.327688144	0.5724166
92	74.4	74.2	0.132309016	5.615515834	73.67778932	0.272716992	0.522231
94	74.4	74.3	0.142145857	5.879392122	73.81808459	0.232232834	0.4819954
96	74.4	74.4	0.152494527	6.144678641	73.94918571	0.160852096	0.4008143
98	74.4	74.5	0.163386171	6.41138027	74.071657	0.10780212	0.33343
100	74.4	74.5	0.1737029	6.68094552	74.18607524	0.098548754	0.3139248
102	74.4	74.6	0.184719197	6.953397052	74.29236996	0.094267444	0.30703
104	74.4	74.6	0.195968284	7.227304644	74.39283587	0.06133391	0.255641
106	74.4	74.7	0.207370486	7.502676077	74.48813513	0.045738181	0.2138849
108	74.4	74.8	0.218933968	7.779519175	74.57329955	0.03122305	0.1767005
110	74.4	74.8	0.230659965	8.057841801	74.6547325	0.021102646	0.1452675
112	74.4	74.9	0.242547732	8.337651864	74.73091967	0.01402964	0.1191891
114	74.4	74.9	0.254602558	8.618957312	74.80189674	0.00926212	0.0981133
116	74.4	74.9	0.266825761	8.901766138	74.86828004	0.006676681	0.081711
118	74.4	74.9	0.279133736	9.184574954	74.93032509	0.000387102	0.0196749
120	74.4	74.9	0.291441712	9.46738377	74.98828195	0.001465511	-0.03626
122	74.4	75.05	0.303922801	9.750232317	75.04242795	5.75399E-05	0.007572
124	74.4	75.05	0.316577005	10.0336324	75.09301358	0.001850168	-0.043914
126	74.4	75.1	0.329423208	10.31742308	75.14027299	0.00814608	0.002723
128	74.4	75.15	0.342063395	10.61380608	75.18424445	0.001185069	-0.034425
130	74.4	75.1	0.35493957	10.90117342	75.22567351	0.01579383	-0.125674
132	74.4	75.1	0.367904519	11.19007653	75.26423099	0.013043901	-0.11421
134	74.4	75.1	0.380974691	11.4787894	75.3012424	0.022656748	-0.150212
136	74.4	75.15	0.39324862	11.76788275	75.33384746	0.03379989	-0.183847
138	74.4	75.15	0.406935033	12.05678586	75.3627092	0.046341571	-0.215271
140	74.4	75.45	0.420295763	12.35077033	75.3946818	0.06192961	-0.255719
142	74.4	75.4	0.434551666	12.65178349	75.422095	0.00048423	-0.022055
144	74.4	75.35	0.448400139	12.94691221	75.44767841	0.00954072	-0.097678
146	74.4	75.35	0.462152968	13.24204094	75.47161696	0.01790686	-0.126117
148	74.4	75.35	0.475816961	13.53716966	75.49398142	0.020730504	-0.143981
150	74.4	75.4	0.489657425	13.83229838	75.51487537	0.027183887	-0.164875
152	74.4	75.4	0.503490953	14.12742741	75.53439541	0.034001669	-0.184395
154	74.4	75.4	0.517162282	14.4225562	75.55263193	0.041059699	-0.203532
156	74.4	75.4	0.53091471	14.71768455	75.56969931	0.048254607	-0.219669
158	74.4	75.4	0.544667138	15.01281327	75.58558641	0.055000956	-0.235586
160	74.4	75.4	0.558419567	15.30794199	75.60045488	0.062272865	-0.250457
162	74.4	75.4	0.572171995	15.60307071	75.6143995	0.06998967	-0.26435
164	74.4	75.4	0.586020468	15.8997669	75.62732872	0.051678347	-0.227329
166	74.4	75.4	0.599964986	16.19648266	75.63945445	0.057338432	-0.239454
168	74.4	75.5	0.614008989	16.49474732	75.65074285	0.040313754	-0.200783
170	74.4	75.4	0.628048792	16.79148029	75.66136636	0.068312375	-0.261366
172	74.4	75.4	0.641897265	17.08660902	75.67125396	0.103204106	-0.321254
174	74.4	75.4	0.655649694	17.38173774	75.6809914	0.109224566	-0.330491
176	74.4	75.4	0.669302122	17.67686646	75.6917144	0.11500335	-0.339121
178	74.4	75.4	0.683154551	17.97199518	75.69718401	0.120536738	-0.347184
180	74.4	75.4	0.696906979	18.2671239	75.70471643	0.125823748	-0.354716
182	74.4	75.4	0.710659408	18.56225263	75.7117537	0.130856462	-0.361754
184	74.4	75.4	0.724411836	18.85738138	75.71832797	0.13565496	-0.368326
186	74.4	75.4	0.738164264	19.15251007	75.72447008	0.140227843	-0.37447
188	74.4	75.4	0.751916693	19.44763879	75.73020832	0.144556368	-0.380208
190	74.4	75.4	0.765669121	19.74276751	75.73559292	0.148664308	-0.385569
192	74.4	75.4	0.77942155	20.03789624	75.74057768	0.152550911	-0.390578
194	74.4	75.4	0.793173978	20.33302496	75.74525675	0.156227902	-0.395275
196	74.4	75.4	0.806926406	20.62815368	75.74962818	0.159702678	-0.399828
198	74.4	75.4	0.820678834	20.9232824	75.7537121	0.162983004	-0.403112
200	74.4	75.4	0.834431263	21.21841112	75.75752759	0.166078739	-0.407528
202	74.4	75.4	0.848183692	21.51353984	75.76109215	0.168996756	-0.411192
204	74.4	75.4	0.861936121	21.80866857	75.7644223	0.1717458	-0.414422
206	74.4	75.4	0.875688550	22.10379729	75.76753532	0.174334238	-0.417534
208	74.4	75.4	0.889440979	22.39892601	75.77044014	0.17676991	-0.42044
210	74.4	75.4	0.903193405	22.69405473	75.77315564	0	

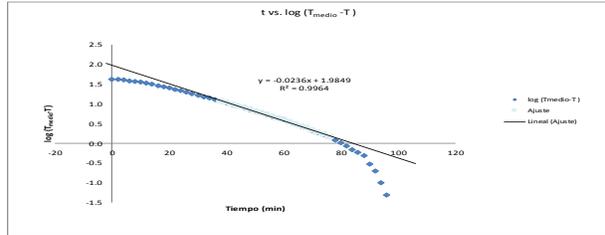
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp. medio(°C)	Temp. EXP(°C)	T <sub>medio</sub> -T	log (T <sub>medio</sub> -T)
0	74.4	32.1	42.4	1.6
2	74.4	33.0	41.4	1.6
4	74.4	34.5	40.0	1.6
6	74.4	35.8	38.7	1.6
8	74.4	37.2	37.2	1.6
10	74.4	39.1	35.3	1.5
12	74.4	41.3	33.4	1.5
14	74.4	43.2	31.3	1.5
16	74.4	45.2	29.2	1.4
18	74.4	47.2	27.2	1.4
20	74.4	49.2	25.3	1.4
22	74.4	51.2	23.3	1.4
24	74.4	52.9	21.5	1.3
26	74.4	54.7	19.7	1.3
28	74.4	56.3	18.1	1.3
30	74.4	57.8	16.7	1.2
32	74.4	59.2	15.2	1.2
34	74.4	60.5	13.9	1.1
36	74.4	61.7	12.7	1.1
38	74.4	62.9	11.6	1.1
40	74.4	63.9	10.5	1.0
42	74.4	64.8	9.7	1.0
44	74.4	65.7	8.8	0.9
46	74.4	66.5	8.0	0.9
48	74.4	67.2	7.2	0.9
50	74.4	67.9	6.5	0.8
52	74.4	68.5	5.9	0.8
54	74.4	69.1	5.4	0.7
56	74.4	69.6	4.8	0.7
58	74.4	70.1	4.3	0.6
60	74.4	70.5	3.9	0.6
62	74.4	70.9	3.5	0.5
64	74.4	71.3	3.1	0.5
66	74.4	71.7	2.8	0.4
68	74.4	72.0	2.5	0.4
70	74.4	72.3	2.1	0.3
72	74.4	72.6	1.9	0.3
74	74.4	72.8	1.7	0.2
76	74.4	73.0	1.5	0.2
78	74.4	73.2	1.2	0.1
80	74.4	73.4	1.1	0.0
82	74.4	73.6	0.9	-0.1
84	74.4	73.7	0.7	-0.2
86	74.4	73.8	0.6	-0.2
88	74.4	73.9	0.5	-0.3
90	74.4	74.1	0.3	-0.5
92	74.4	74.2	0.2	-0.7
94	74.4	74.3	0.1	-1.0
96	74.4	74.4	0.1	-1.3
98	74.4	74.4	0.0	
100	74.4	74.5	-0.1	
102	74.4	74.6	-0.2	
104	74.4	74.7	-0.3	
106	74.4	74.7	-0.3	
108	74.4	74.8	-0.3	
110	74.4	74.8	-0.4	
112	74.4	74.9	-0.4	
114	74.4	74.9	-0.5	
116	74.4	74.9	-0.5	
118	74.4	74.9	-0.5	
120	74.4	74.9	-0.5	
122	74.4	75.0	-0.6	
124	74.4	75.0	-0.6	
126	74.4	75.0	-0.6	
128	74.4	75.1	-0.8	
130	74.4	75.1	-0.7	
132	74.4	75.1	-0.8	
134	74.4	75.1	-0.8	
136	74.4	75.1	-0.8	
138	74.4	75.1	-0.8	
140	74.4	75.4	-1.1	
142	74.4	75.4	-1.0	
144	74.4	75.3	-0.9	
146	74.4	75.3	-0.9	
148	74.4	75.3	-0.9	
150	74.4	75.4	-0.9	
152	74.4	75.4	-0.9	
154	74.4	75.4	-0.9	
156	74.4	75.4	-0.9	
158	74.4	75.4	-0.9	
160	74.4	75.4	-0.9	
162	74.4	75.4	-0.9	
164	74.4	75.4	-1.0	
166	74.4	75.4	-1.0	
168	74.4	75.5	-1.1	
170	74.4	75.4	-1.0	
172	74.4	75.4	-0.9	
174	74.4	75.4	-0.9	
176	74.4	75.4	-0.9	
178	74.4	75.4	-0.9	
180	74.4	75.4	-0.9	
182	74.4	75.4	-0.9	
184	74.4	75.4	-0.9	
186	74.4	75.4	-0.9	
188	74.4	75.4	-0.9	
190	74.4	75.4	-0.9	
192	74.4	75.4	-0.9	
194	74.4	75.4	-0.9	
196	74.4	75.4	-0.9	
198	74.4	75.4	-0.9	
200	74.4	75.4	-0.9	
202	74.4	75.4	-0.9	
204	74.4	75.4	-0.9	
206	74.4	75.4	-0.9	
208	74.4	75.4	-0.9	
210	74.4	75.4	-0.9	
212	74.4	75.4	-0.9	
214	74.4	75.4	-0.9	
216	74.4	75.4	-0.9	
218	74.4	75.4	-0.9	
220	74.4	75.4	-0.9	
222	74.4	75.4	-0.9	
224	74.4	75.4	-0.9	
226	74.4	75.4	-0.9	
228	58.3	74.5		
230	46	73.4		
232	35.5	71.1		
234	32	68.9		
236	29.6	66.7		
238	27.5	64.7		
240	26	62.7		
242	25.4	60.8		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 40.32 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$f_h = \frac{T_{medio} - T_{po}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

log(T<sub>medio</sub>-T<sub>po</sub>) = 1.9849

T<sub>medio</sub>-T<sub>po</sub> = 96.562846

T<sub>medio</sub>-T<sub>0</sub> = 42.4

$f_h = 2.28$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.42935 kg
calor especific:	3920 J/kgK
Área:	0.032900722 m <sup>2</sup>
diámetro:	0.0725 m
altura:	0.1082 m
U =	0.048695236 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>48.69523625 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.03625 m
altura:	0.1082 m
$f_h$ :	40.32 min
<b>ividad térmica):</b>	<b>0.00000297 m<sup>2</sup>/s.</b>

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

$f_h$	40.32 min
$f_h$	2.28
U	48.695 (W/m <sup>2</sup> K)
$\alpha$	0.00000297 m <sup>2</sup> /s.

**Datos de la corrida experimental**

Envase:	Vidrio
Dimensiones:	73.6 x 115.2 mm
Peso vacío:	260.47 g

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	21.53%
Peso del producto (g)	455.94
Temperatura de pasteurización (°C)	74.4

**Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).**

T <sub>ref</sub> (°C)	93.3
Z (°C)	8.3
D (min)	0.1 - 0.5
Z <sub>0</sub> (°C)	21.6
D <sub>0</sub> (min)	12.5

**Constantes del modelo matemático empírico.**

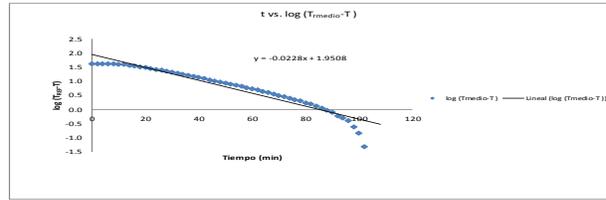
A =	52.24302103
K =	0.02995118
B =	24.0102007

$$T_{calc} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp. medio(°C)	Temp. EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T. CALC (°C)	dif/2	dif
0	74.4	32.5	0	0	24.0102007	72.07126943	8.4894799
2	74.4	32.5	9.45646E-08	0.003063481	27.0097174	30.14320303	5.4902826
4	74.4	32.5	1.89129E-07	0.006126962	29.83673508	7.092980001	2.6632649
6	74.4	32.7	2.86391E-07	0.009240443	32.50145772	0.039419303	0.1984423
8	74.4	33.1	3.82217E-07	0.012522284	35.01320243	3.860343521	-1.9132002
10	74.4	34.2	5.22792E-07	0.0161749	37.38075145	10.43775494	-3.230751
12	74.4	35.6	7.07719E-07	0.020415418	39.61238296	16.5029555	-4.626383
14	74.4	37.4	9.9482E-07	0.02552922	41.7158995	19.06107844	-4.365899
16	74.4	39.5	1.50617E-06	0.031979421	43.69985625	18.05107389	-4.248956
18	74.4	41.7	2.42388E-06	0.040103476	45.56758378	15.34747814	-3.917536
20	74.4	43.8	4.10023E-06	0.050280898	47.32922265	12.81038503	-3.579223
22	74.4	45.9	7.09131E-06	0.062981762	48.98972655	9.85788263	-3.138727
24	74.4	48.0	1.24478E-05	0.078885271	50.55490328	6.78521008	-2.640403
26	74.4	50.0	2.19532E-05	0.098673201	52.03022541	4.12161521	-2.030225
28	74.4	51.9	3.81621E-05	0.122774948	53.42085141	2.46754167	-1.570851
30	74.4	53.6	6.05514E-05	0.151665259	54.73164356	1.396261515	-1.181644
32	74.4	55.3	0.000106942	0.185285632	55.96718501	0.815438338	-0.717195
34	74.4	56.8	0.000172916	0.227147707	57.13179679	0.110088438	-0.331796
36	74.4	58.3	0.000272804	0.274828647	58.22954791	0.000418288	0.0204521
38	74.4	59.6	0.000419708	0.329899738	59.26427869	0.112708159	0.337204
40	74.4	60.9	0.000631608	0.393135291	60.23960892	0.436116382	0.6603911
42	74.4	62.0	0.000923522	0.46387139	61.15894592	0.62578665	0.7910541
44	74.4	63.1	0.001317274	0.543407892	62.0295511	1.049898769	1.024489
46	74.4	64.0	0.001838997	0.631421335	62.84231636	1.340231411	1.1576836
48	74.4	64.9	0.002507535	0.727782128	63.61223564	1.532060699	1.2377644
50	74.4	65.45	0.003393344	0.833921244	64.33758498	1.72146293	1.312945
52	74.4	66.2	0.004395838	0.947002352	65.02201177	2.039150382	1.4279882
54	74.4	67.2	0.005648986	1.070137446	65.66679785	2.199888624	1.4832022
56	74.4	68.0	0.00723871	1.20430811	66.27496781	2.32947768	1.523423
58	74.4	68.5	0.00909245	1.34545512	66.84744631	2.568178327	1.6025537
60	74.4	69.0	0.01129432	1.493524354	67.3874368	2.800360082	1.6126362
62	74.4	69.5	0.01392271	1.651714032	67.8964272	2.871445723	1.6035728
64	74.4	70.0	0.01747940	1.818564063	68.37618719	2.63675664	0.989159
66	74.4	70.4	0.02048239	1.992682521	68.82842462	2.469850277	1.5715757
68	74.4	70.8	0.02373983	2.174386036	69.25468964	2.387984119	1.5453104
70	74.4	71.3	0.02739846	2.36519412	69.65649372	2.339294434	1.509163
72	74.4	71.6	0.032487841	2.56184581	70.03521137	2.294584585	1.5147886
74	74.4	71.9	0.037488143	2.765069551	70.39219681	2.12519013	1.4578032
76	74.4	72.2	0.042974086	2.97598726	70.72868923	2.020127148	1.421118
78	74.4	72.4	0.04844145	3.189247052	71.04586215	1.700775523	1.3041378
80	74.4	72.7	0.054898979	3.410562372	71.34482757	1.70347506	1.3051724
82	74.4	72.8	0.058648845	3.636968845	71.62662882	1.486634605	1.223202
84	74.4	73.1	0.068744455	3.867603242	71.89225419	1.340375349	1.1577458
86	74.4	73.3	0.076217305	4.103366549	72.14262946	1.226286522	1.1073705
88	74.4	73.5	0.084116496	4.344554014	72.37863103	1.147531463	1.071398
90	74.4	73.8	0.092407247	4.58456387	72.6019409	0.987633993	0.989159
92	74.4	73.8	0.101118977	4.839636154	72.81076644	0.878583039	0.9892336
94	74.4	73.9	0.110183795	5.092497152	73.00841122	0.794830549	0.8915888
96	74.4	74.0	0.119510894	5.34510894	73.1947095	0.848493273	0.830295
98	74.4	74.2	0.129168266	5.607758511	73.3701266	0.607912349	0.7786873
100	74.4	74.3	0.139165203	5.870232065	73.53983469	0.610032087	0.7141653
102	74.4	74.4	0.149443357	6.135143347	73.69193434	0.331716537	0.6507
104	74.4	74.4	0.159936847	6.40222287	73.83891712	0.314813993	0.5610829
106	74.4	74.5	0.170651731	6.671785463	73.97573274	0.272967332	0.5224628
108	74.4	74.5	0.18166802	6.944236986	74.10419338	0.241867613	0.491826
110	74.4	74.7	0.192915124	7.218144588	74.23136039	0.175258126	0.4186396
112	74.4	74.7	0.204318317	7.49351602	74.34745059	0.12429087	0.3525491
114	74.4	74.7	0.215882803	7.768987803	74.45897266	0.08298282	0.292323
116	74.4	74.8	0.227447401	8.04721008	74.56500205	0.05759004	0.2399792
118	74.4	74.85	0.239336169	8.327020143	74.65724334	0.03715513	0.1927567
120	74.4	74.9	0.251390987	8.609325591	74.74898452	0.02293988	0.1511155
122	74.4	74.9	0.263611977	8.891134417	74.83383497	0.013164184	0.1114184
124	74.4	75	0.276008129	9.175454555	74.91686893	0.006941234	0.0833141
126	74.4	75	0.28848018	9.459774892	74.9934238	4.3127E-05	0.0056711
128	74.4	75	0.30105636	9.744814819	75.0657738	0.00024816	0.001574
130	74.4	75.1	0.313797642	10.0298196	75.13396192	0.001153421	-0.033962
132	74.4	75.1	0.326628595	10.32034929	75.19823636	0.009650186	-0.098235
134	74.4	75.2	0.339440118	10.61707078	75.2597919	0.003445913	-0.0391919
136	74.4	75.2	0.35283191	10.90124348	75.31992454	0.013438498	-0.115925
138	74.4	75.2	0.366803803	11.18180657	75.36975177	0.028818662	-0.169752
140	74.4	75.45	0.37985934	11.4584885	75.42048885	0.04248885	-0.2052111
142	74.4	75.4	0.393731297	11.7866882	75.46331319	0.004666692	-0.068313
144	74.4	75.4	0.407675815	12.06339418	75.51339201	0.01286747	-0.113392
146	74.4	75.4	0.421620328	12.30010015	75.55588291	0.02429482	-0.158883
148	74.4	75.4	0.43556485	12.6760613	75.59593447	0.038390318	-0.195934
150	74.4	75.4	0.449509367	12.9735121	75.6338673	0.054609489	-0.233687
152	74.4	75.4	0.46345387	13.27021898	75.66927169	0.072507242	-0.269272
154	74.4	75.4	0.477388402	13.56682405	75.70281378	0.091686174	-0.302814
156	74.4	75.4	0.491342919	13.86363003	75.73443023	0.11184358	-0.334443
158	74.4	75.5	0.505384623	14.16162168	75.76423165	0.099741528	-0.314232
160	74.4	75.5	0.519524134	14.46024134	75.7923222	0.117184892	-0.342322
162	74.4	75.5	0.533762148	14.76009915	75.81880012	0.101633519	-0.3188
164	74.4	75.5	0.548000184	15.06839081	75.84375798	0.155045349	-0.393758
166	74.4	75.5	0.562238227	15.3827662	75.86729305	0.13489637	-0.367283
168	74.4	75.5	0.576575002	15.68816244	75.88945757	0.1516772	-0.389458
170	74.4	75.5	0.590911784	15.96804825	75.91039909	0.168394881	-0.410359
172	74.4	75.5	0.605248566	16.23783408	75.93000688	0.184921186	-0.430061
174	74.4	75.5	0.619585348	16.55781988	75.94863123	0.201269978	-0.448631
176	74.4	75.5	0.63392213	16.85611184	75.96613567	0.206396028	-0.516136
178	74.4	75.4	0.647868287	17.15281751	75.9826352	0.339463781	-0.582635
180	74.4	75.5	0.661907919	17.45110917	75.99818753	0.300505663	-0.548188
182	74.4	75.5	0.676145226	17.75099498	76.01284701	0.263012055	-0.512847
184	74.4	75.5	0.690382623	18.04929694	76.02669491	0.32542423	-0.578655
186	74.4	75.5	0.704621288	18.34917245	76.03988959	0.29124813	-0.53889
188	74.4	75.5	0.71895808	18.64905827	76.05196646	0.304666878	-0.551966
190	74.4	75.5	0.733294862	18.94984408	76.06353858	0.31757728	-0.563539
192	74.4	75.5	0.747631644	19.24982989	76.07444635	0.32999851	-0.574446
194	74.4	75.5	0.761968426	19.54871571	76.08472793	0.341906746	-0.584728
196	74.4	75.5	0.776305208	19.84660152	76.09441829	0.353334243	-0.594419
198	74.4	75.4	0.79064199	20.14350749	76.10354221	0.484888523	-0.70554
200	74.4	75.5	0.804886507	20.44519331	76.11216474	0.37474567	-0.612165
202	74.4	75.5	0.819223289	20.74507912	76.12029096	0.384748465	-0.620281
204	74.4	75.5	0.833560071	21.04337078	76.12783123	0.458960754	-0.73831
206	74.4	75.5	0.847896853	21.34325659	76.13514231	0.40340576	-0.635142
208	74.4	75.5	0.861736143	21.64314241	76.14193942	0.412086219	-0.641939
210	74.4	75.5	0.876072				

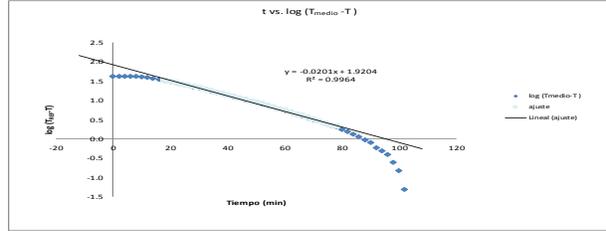
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp. medio(°C)	Temp. EXP(°C)	T <sub>medio</sub> -T	log (T <sub>medio</sub> -T)
0	74.4	32.5	41.9	1.6
2	74.4	32.5	41.9	1.6
4	74.4	32.5	41.9	1.6
6	74.4	32.7	41.7	1.6
8	74.4	33.1	41.3	1.6
10	74.4	34.2	40.3	1.6
12	74.4	35.5	38.9	1.6
14	74.4	37.4	37.1	1.6
16	74.4	39.5	35.0	1.5
18	74.4	41.7	32.8	1.5
20	74.4	43.8	30.7	1.5
22	74.4	45.9	28.6	1.5
24	74.4	48.0	26.5	1.4
26	74.4	50.0	24.4	1.4
28	74.4	51.9	22.6	1.4
30	74.4	53.6	20.9	1.3
32	74.4	55.3	19.2	1.3
34	74.4	56.8	17.6	1.2
36	74.4	58.3	16.2	1.2
38	74.4	59.6	14.8	1.2
40	74.4	60.9	13.5	1.1
42	74.4	62.0	12.5	1.1
44	74.4	63.1	11.4	1.1
46	74.4	64.0	10.4	1.0
48	74.4	64.9	9.6	1.0
50	74.4	65.7	8.8	0.9
52	74.4	66.5	8.0	0.9
54	74.4	67.2	7.3	0.9
56	74.4	67.8	6.6	0.8
58	74.4	68.5	6.0	0.8
60	74.4	69.0	5.4	0.7
62	74.4	69.5	4.9	0.7
64	74.4	70.0	4.4	0.6
66	74.4	70.4	4.0	0.6
68	74.4	70.8	3.6	0.6
70	74.4	71.3	3.2	0.5
72	74.4	71.6	2.9	0.5
74	74.4	71.9	2.6	0.4
76	74.4	72.2	2.3	0.4
78	74.4	72.4	2.1	0.3
80	74.4	72.7	1.8	0.2
82	74.4	72.9	1.6	0.2
84	74.4	73.1	1.4	0.1
86	74.4	73.3	1.2	0.1
88	74.4	73.5	1.0	0.0
90	74.4	73.6	0.8	-0.1
92	74.4	73.8	0.6	-0.2
94	74.4	73.9	0.5	-0.3
96	74.4	74.0	0.4	-0.4
98	74.4	74.2	0.3	-0.6
100	74.4	74.3	0.2	-0.8
102	74.4	74.4	0.1	-1.3
104	74.4	74.4	0.0	
106	74.4	74.5	-0.1	
108	74.4	74.6	-0.2	
110	74.4	74.7	-0.3	
112	74.4	74.7	-0.3	
114	74.4	74.7	-0.3	
116	74.4	74.8	-0.4	
118	74.4	74.85	-0.4	
120	74.4	74.9	-0.5	
122	74.4	74.95	-0.5	
124	74.4	75	-0.6	
126	74.4	75	-0.6	
128	74.4	75.05	-0.6	
130	74.4	75.1	-0.7	
132	74.4	75.1	-0.7	
134	74.4	75.2	-0.8	
136	74.4	75.2	-0.8	
138	74.4	75.2	-0.8	
140	74.4	75.25	-1.1	
142	74.4	75.3	-1.0	
144	74.4	75.3	-1.0	
146	74.4	75.4	-1.0	
148	74.4	75.4	-1.0	
150	74.4	75.4	-1.0	
152	74.4	75.4	-1.0	
154	74.4	75.4	-1.0	
156	74.4	75.4	-1.0	
158	74.4	75.5	-1.0	
160	74.4	75.5	-1.1	
162	74.4	75.5	-1.1	
164	74.4	75.5	-1.1	
166	74.4	75.5	-1.1	
168	74.4	75.5	-1.1	
170	74.4	75.5	-1.1	
172	74.4	75.5	-1.1	
174	74.4	75.5	-1.1	
176	74.4	75.5	-1.0	
178	74.4	75.4	-1.0	
180	74.4	75.5	-1.1	
182	74.4	75.5	-1.1	
184	74.4	75.5	-1.1	
186	74.4	75.5	-1.1	
188	74.4	75.5	-1.1	
190	74.4	75.5	-1.1	
192	74.4	75.5	-1.1	
194	74.4	75.5	-1.1	
196	74.4	75.5	-1.1	
198	74.4	75.4	-1.0	
200	74.4	75.5	-1.1	
202	74.4	75.5	-1.1	
204	74.4	75.5	-1.1	
206	74.4	75.5	-1.1	
208	74.4	75.5	-1.1	
210	74.4	75.5	-1.1	
212	74.4	75.4	-1.0	
214	74.4	75.4	-1.0	
216	74.4	75.4	-1.0	
218	74.4	75.5	-1.1	
220	74.4	75.4	-1.0	
222	74.4	75.4	-1.0	
224	74.4	75.5	-1.1	
226	74.4	75.5	-1.1	
228	74.4	75.5	-1.1	
230	58.4	75.4		
232	45	75.3		
234	32.1	74.3		
236	29.6	73.5		
240	27.6	72.2		
242	26.1	70.6		
244	25.4	68.7		
246	24.6	66.6		
248	24.3	64.4		
250	24	62.3		
252	23.8	60.0		



De la gráfica se obtiene:

$$f_h = 43.86 \text{ min}$$



Aplicando la siguiente ecuación

$$f_h = \frac{T_{medio} - T_{F0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$$\log(T_{medio} - T_0) = 1.92024$$

$$T_{medio} - T_0 = 83.222355$$

$$T_{medio} - T_0 = 41.9$$

$$f_h = 1.99$$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = \left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.43594 kg
calor especif:	3920 J/kgK
Área:	0.035146625 m²
diámetro:	0.0736 m
altura:	0.1152 m
U =	0.042551909 (W/m²K)
<b>U =</b>	<b>42.5519088 (W/m²K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.0368 m
altura:	0.1152 m
f <sub>h</sub> :	43.86 min
<b>ividad térmica:</b>	<b>0.0000309 m²/s.</b>

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	43.86	min
f <sub>h</sub>	1.99	
U	42.552	(W/m²K)
α	0.0000309	m²/s.



**Datos de la corrida experimental**

Envase :	Hojalata
Dimensiones:	72.5 x 108.2 mm
Peso vacío	80.4 g

**Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).**

T <sub>ref</sub> (°C)	93.3
z (°C)	8.3
D (min)	0.1 - 0.5
Z <sub>0</sub> (°C)	21.6
D <sub>0</sub> (min)	12.5

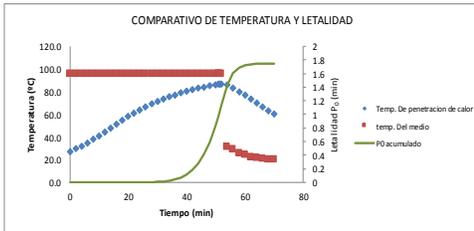
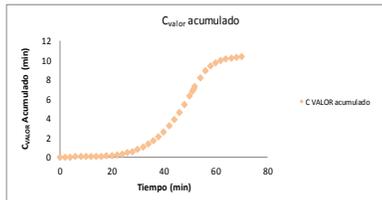
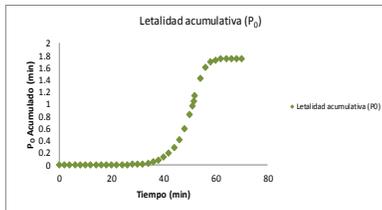
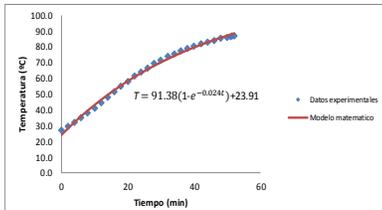
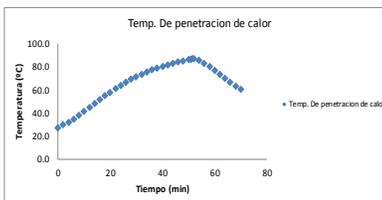
**Constantes del modelo matemático empírico.**

A	91.38682145
K	0.023508092
B	23.90530673

$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

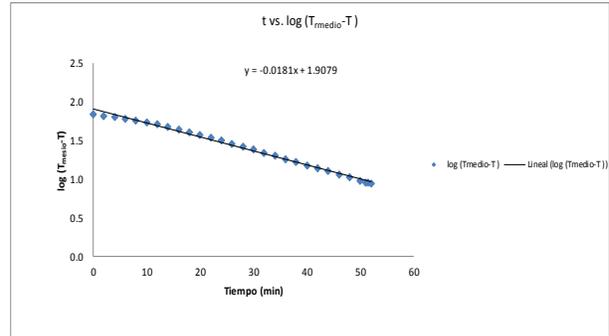
time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	dif^2	dif
0	95.6	26.9	0	0	23.90530673	8.671218463	2.9446933
2	95.6	29.5	3.04331E-08	0.002224981	28.10252462	1.952937447	1.3974754
4	95.6	32.2	9.39112E-08	0.005176268	32.1069725	0.001851366	0.0430275
6	95.6	34.8	2.25082E-07	0.009070142	35.92750393	1.386515501	-1.177504
8	95.6	37.8	5.19055E-07	0.014460102	39.57256582	3.141989599	-1.772566
10	95.6	41.1	1.23862E-06	0.022122476	43.05021716	3.803346965	-1.950217
12	95.6	44.5	3.05402E-06	0.03307353	46.36814677	3.67928704	-1.918147
14	95.6	48.0	7.79229E-06	0.048977039	49.53369037	2.508075193	-1.58369
16	95.6	51.5	2.04304E-05	0.072196108	52.55384675	1.110592967	-1.053847
18	95.6	54.9	5.32635E-05	0.105558119	55.43529325	0.286538964	-0.535293
20	95.6	58.0	0.000133129	0.152109025	58.18440055	0.025408537	-0.159401
22	95.6	61.2	0.000323179	0.217002751	60.80724674	0.117479798	0.3427533
24	95.6	64.0	0.000747959	0.304698226	63.30963073	0.410072802	0.6403893
26	95.6	66.6	0.001645865	0.420731396	65.69708512	0.81525279	0.9029149
28	95.6	69.1	0.003467119	0.572317582	67.9748884	1.265876104	1.251116
30	95.6	71.5	0.007012062	0.767057921	70.14807664	1.695004439	1.3019234
32	95.6	73.6	0.013574287	1.011960274	72.22145459	1.900387446	1.3785454
34	95.6	75.5	0.024974292	1.311846088	74.19960635	1.691023645	1.3003937
36	95.6	77.3	0.043953751	1.675166046	76.08690547	1.471598339	1.2130945
38	95.6	78.8	0.073671373	2.101484075	77.88752463	0.832611293	0.9124754
40	95.6	80.4	0.119104939	2.604397186	79.60544488	0.554362322	0.7445551
42	95.6	81.7	0.186112712	3.182064965	81.24446442	0.164459109	0.4055356
44	95.6	82.9	0.281438945	3.842071923	82.80820699	0.008425956	0.091793
46	95.6	84.1	0.414116421	4.588158549	84.30012993	0.062564981	-0.25013
48	95.6	85.1	0.593761464	5.422608639	85.72353176	0.388791862	-0.623532
50	95.6	86.1	0.83039988	6.345991581	87.08155954	1.064115084	-1.03156
51	95.6	86.5	0.973057484	6.827795547	87.7370019	1.656373887	-1.287002
51.5	95.6	86.7	1.048950004	7.073898759	88.05899006	1.98525305	-1.40899
52	95.6	86.9	1.130229401	7.325285066	88.37721576	Promedio	1.5232649
54	95.6	87.8	1.420426054	9.219505097		S2(exp)	332.7
56	28.8	83.2	1.603411467	8.89743791		S2(dif)	1.5279521
58	25.8	80.1	1.68859636	9.384522141		R <sup>2</sup>	0.9953
60	23.9	76.8	1.724064827	9.727152855			
62	22.2	73.3	1.738098194	9.964347058			
64	21.6	69.8	1.743466487	10.12767746			
66	20.7	66.5	1.745523272	10.24198857			
68	20.4	63.2	1.746341773	10.3227772			
70	20.1	60.1	1.746678089	10.3808527			

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	9.47%
Peso del producto (g)	425.9
Temperatura de pasteurización (°C)	95.6



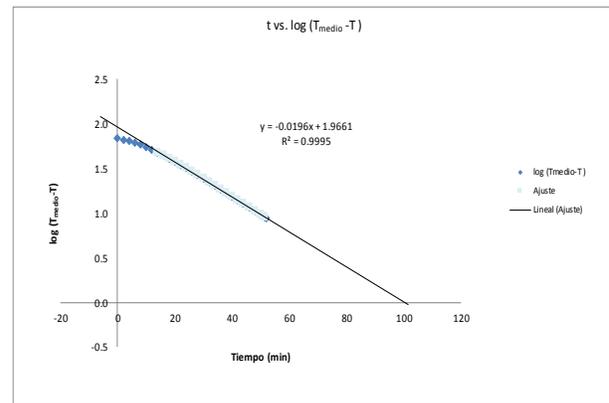
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log(T_medio-T)
0	95.6	26.9	68.8	1.8
2	95.6	29.5	66.1	1.8
4	95.6	32.2	63.5	1.8
6	95.6	34.8	60.9	1.8
8	95.6	37.8	57.8	1.8
10	95.6	41.1	54.5	1.7
12	95.6	44.5	51.2	1.7
14	95.6	48.0	47.7	1.7
16	95.6	51.5	44.1	1.6
18	95.6	54.9	40.7	1.6
20	95.6	58.0	37.6	1.6
22	95.6	61.2	34.5	1.5
24	95.6	64.0	31.7	1.5
26	95.6	66.6	29.0	1.5
28	95.6	69.1	26.5	1.4
30	95.6	71.5	24.2	1.4
32	95.6	73.6	22.0	1.3
34	95.6	75.5	20.1	1.3
36	95.6	77.3	18.3	1.3
38	95.6	78.8	16.8	1.2
40	95.6	80.4	15.3	1.2
42	95.6	81.7	14.0	1.1
44	95.6	82.9	12.7	1.1
46	95.6	84.1	11.6	1.1
48	95.6	85.1	10.5	1.0
50	95.6	86.1	9.5	1.0
51	95.6	86.5	9.2	1.0
51.5	95.6	86.7	8.9	1.0
52	95.6	86.9	8.8	0.9
54	30.9	85.8		
56	28.8	83.2		
58	25.8	80.1		
60	23.9	76.8		
62	22.2	73.3		
64	21.6	69.8		
66	20.7	66.5		
68	20.4	63.2		
70	20.1	60.1		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 55.25 \text{ min}$



Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.4259 kg
calor especific:	3920 J/kgK
Área:	0.032900722 m <sup>2</sup>
diametro:	0.0725 m
altura:	0.1082 m
U =	0.035254093 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>35.25409286 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio: 0.03625 m  
altura: 0.1082 m  
f<sub>h</sub>: 55.25 min

dividad térmica): **0.00000239 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	55.25 min
j <sub>h</sub>	1.35
U	35.254 (W/m <sup>2</sup> K)
α	0.00000239 m <sup>2</sup> /s.

Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{p0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

log(T\_medio-T<sub>p0</sub>) = 1.9661  
T\_medio-T<sub>p0</sub> = 92.491112  
T\_medio-T<sub>0</sub> = 68.8

**j<sub>h</sub> = 1.35**



Universidad Nacional del Callao  
Facultad de Ingeniería Química  
Sección de Posgrado-FIQ

Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias LIPOU-FIPA  
Ensayo Experimental N° 3  
Fecha: 25/09/2015  
Responsable: Ing° Sebastian Lozano

**Datos de la corrida experimental**

Envase:	Vidrio
Dimensiones:	73.6 x 115.2 mm
Peso vacío:	260.5 g

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	9.47%
Peso del producto (g)	432.74
Temperatura de pasteurización (°C)	95.6

**Parámetros de termo-resistencia (Bacillus coagulans y proteínas del tomate).**

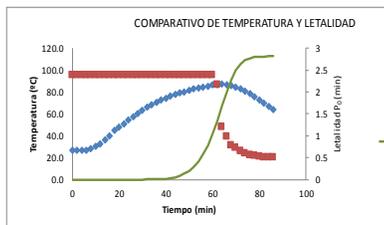
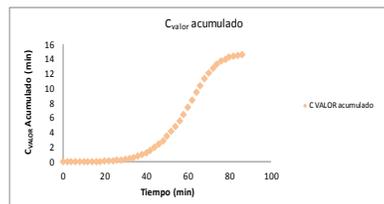
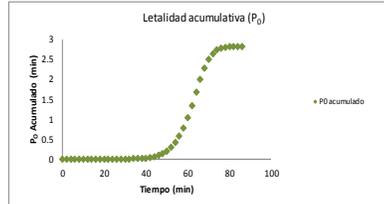
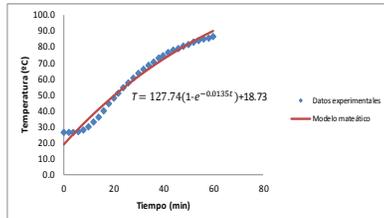
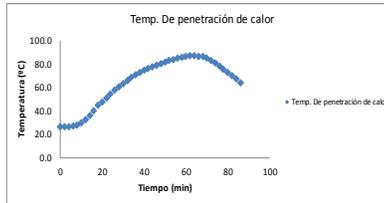
T <sub>ref</sub> (°C)	93.3
z (°C)	8.3
D (min)	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C)	21.6
D <sub>c</sub> (min)	12.5

**Constantes del modelo matemático empírico.**

A =	127.7433977
K =	0.013502152
B =	18.72744389

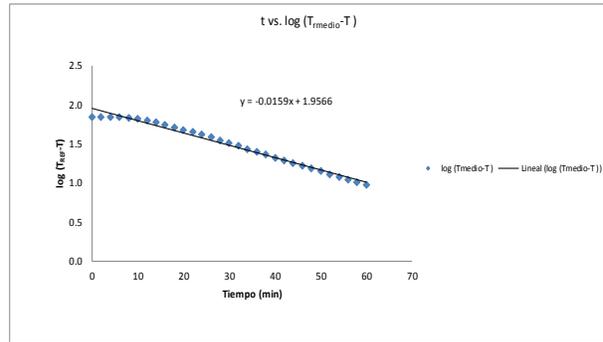
$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C <sub>VALOR</sub> acumulado	T_CALC (°C)	diff*2	dif
0	95.6	26.4	0	0	18.72744389	58.8681173	7.6725561
2	95.6	26.4	1.74096E-08	0.00159885	22.13090466	18.22517505	4.2690953
4	95.6	26.6	3.51891E-08	0.003223472	25.4436872	1.22392802	1.1063128
6	95.6	26.9	5.42638E-08	0.004909854	28.66520744	3.126557554	-1.768207
8	95.6	28.0	7.78322E-08	0.006806044	31.80681696	14.49185536	-3.826817
10	95.6	30.1	1.15697E-07	0.009177986	34.86180465	22.67478365	-4.761805
12	95.6	32.9	1.92097E-07	0.012357925	37.83639849	24.85419811	-4.985398
14	95.6	36.1	3.72562E-07	0.0168545	40.72976701	21.43474256	-4.629767
16	95.6	39.9	8.64203E-07	0.023560955	43.54702102	13.66796439	-3.697021
18	95.6	44.7	2.60328E-06	0.034747994	46.28921507	2.687026045	-1.639215
20	95.6	47.8	7.27572E-06	0.050399226	48.95834899	1.341772379	-1.158349
22	95.6	51.0	1.84717E-05	0.072296086	51.55636931	0.367683379	-0.606369
24	95.6	54.3	4.63791E-05	0.103591049	54.08517071	0.046151624	0.2148293
26	95.6	57.6	0.000115679	0.147843507	56.54659738	1.006816812	1.0034026
28	95.6	60.6	0.000279849	0.209098446	58.94244439	2.747490592	1.6575566
30	95.6	63.4	0.000644527	0.291658646	61.27445897	4.517924655	2.125541
32	95.6	65.9	0.001394124	0.399432019	63.54434181	5.549125507	2.3566582
34	95.6	68.4	0.002893923	0.540118452	65.75374828	7.00264819	2.6462517
36	95.6	70.6	0.005709959	0.717043473	67.90428964	6.99978332	2.6457104
38	95.6	72.6	0.010731704	0.937182307	69.99753424	6.772828045	2.6024658
40	95.6	74.5	0.019369901	1.2067449	72.03500863	6.076182459	2.4649914
42	95.6	76.2	0.033506456	1.529864519	74.0181987	4.760256933	2.1818013
44	95.6	77.7	0.055408464	1.90901165	75.94855073	3.067574543	1.7514493
46	95.6	79.1	0.087798212	2.346843926	77.8274725	1.494573498	1.2225275
48	95.6	80.4	0.134902252	2.85244475	79.65633425	0.553038754	0.7436658
50	95.6	81.6	0.201214291	3.423987229	81.43646973	0.012889123	0.1135303
52	95.6	82.7	0.291718401	4.066637123	83.16917715	0.269544911	-0.519177
54	95.6	83.8	0.414518417	4.789241131	84.85572014	1.222617018	-1.10572
56	95.6	84.6	0.574711607	5.580379081	86.49732865	3.598855989	-1.897329
58	95.6	85.5	0.779087434	6.451180012	88.09519986	6.735062333	-2.5952
60	95.6	86.3	1.035416341	7.394461056	89.65049908	11.563394	-3.400499
62	86.6	86.7	1.334916412	8.378833902			
64	47.7	87.0	1.667132852	9.400627857			
66	38.9	86.6	1.995024923	10.37456291			
68	30.9	86.0	2.278904897	11.28815476			
70	28.8	84.6	2.498555733	12.07929271			
72	25.8	82.8	2.642369974	12.73230129			
74	23.9	80.7	2.727021334	13.25433273			
76	22.2	78.3	2.772842503	13.68852272			
78	21.6	75.7	2.796107173	13.96487081			
80	20.7	72.8	2.807073917	14.18975344			
82	20.4	69.8	2.811917587	14.3522156			
84	20.1	66.9	2.814031471	14.47211245			
86	19.8	64.1	2.814990225	14.56059618			



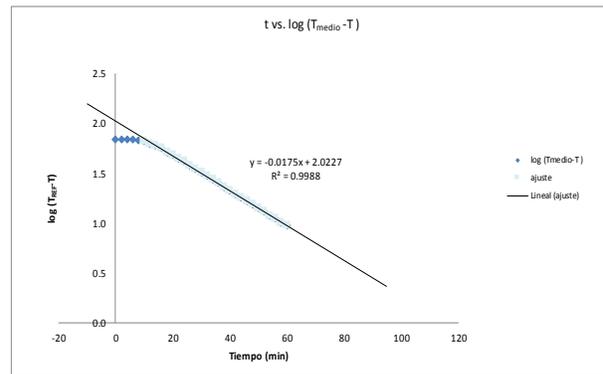
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	95.6	26.4	69.2	1.8
2	95.6	26.4	69.2	1.8
4	95.6	26.6	69.1	1.8
6	95.6	26.9	68.7	1.8
8	95.6	28.0	67.6	1.8
10	95.6	30.1	65.5	1.8
12	95.6	32.9	62.8	1.8
14	95.6	36.1	59.5	1.8
16	95.6	39.9	55.8	1.7
18	95.6	44.7	51.0	1.7
20	95.6	47.8	47.8	1.7
22	95.6	51.0	44.7	1.6
24	95.6	54.3	41.3	1.6
26	95.6	57.6	38.1	1.6
28	95.6	60.6	35.0	1.5
30	95.6	63.4	32.2	1.5
32	95.6	65.9	29.7	1.5
34	95.6	68.4	27.2	1.4
36	95.6	70.6	25.1	1.4
38	95.6	72.6	23.0	1.4
40	95.6	74.5	21.1	1.3
42	95.6	76.2	19.4	1.3
44	95.6	77.7	17.9	1.3
46	95.6	79.1	16.6	1.2
48	95.6	80.4	15.2	1.2
50	95.6	81.6	14.1	1.1
52	95.6	82.7	13.0	1.1
54	95.6	83.8	11.9	1.1
56	95.6	84.6	11.0	1.0
58	95.6	85.5	10.1	1.0
60	95.6	86.3	9.3	1.0
62	86.6	86.7		
64	47.7	87.0		
66	38.9	86.6		
68	30.9	86.0		
70	28.8	84.6		
72	25.8	82.8		
74	23.9	80.7		
76	22.2	78.3		
78	21.6	75.7		
80	20.7	72.8		
82	20.4	69.8		
84	20.1	66.9		
86	19.8	64.1		



De la gráfica se obtiene:

$$f_h = 62.89 \text{ min}$$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$$\begin{aligned} \log(T_{medio} - T_{P0}) &= 2.0227 \\ T_{medio} - T_{P0} &= 105.36588 \\ T_{medio} - T_0 &= 69.2 \end{aligned}$$

$$j_h = 1.52$$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa: 0.43274 kg  
 calor especific: 3920 J/kgK  
 Área: 0.035145625 m<sup>2</sup>  
 diametro: 0.0736 m  
 altura: 0.1152 m  
 U = 0.029456534 (kW/m<sup>2</sup>K)  
**U = 29.45653403 (W/m<sup>2</sup>K)**

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio: 0.0368 m  
 altura: 0.1152 m  
 f<sub>h</sub>: 62.89 min

ividad térmica: **0.00000240 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	62.89	min
j <sub>h</sub>	1.52	
U	29.457	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.00000240	m <sup>2</sup> /s.



**Datos de la corrida experimental**

Envase	Hojalata
Dimensiones:	72.5 x 103.2 mm
Peso vacío	79.085

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	21.53%
Peso del producto (g)	436.79
Temperatura de pasteurización (°C)	95.6

**Parámetros de termo-resistencia (Bacillus coagulans y proteínas del tomate).**

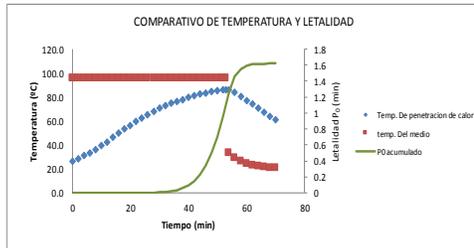
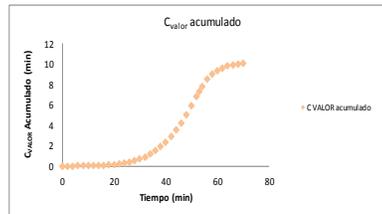
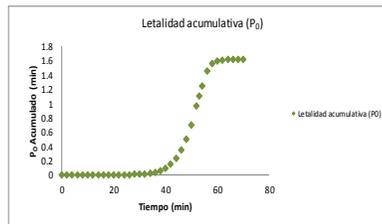
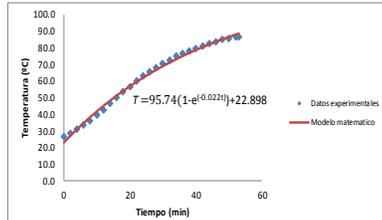
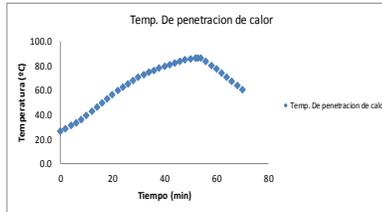
T <sub>ref</sub> (°C)	93.3
z (°C)	8.3
D (min)	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C)	21.6
D <sub>c</sub> (min)	12.5

**Constantes del modelo matemático empírico.**

A =	95.74230276
K =	0.021829463
B =	22.89816873

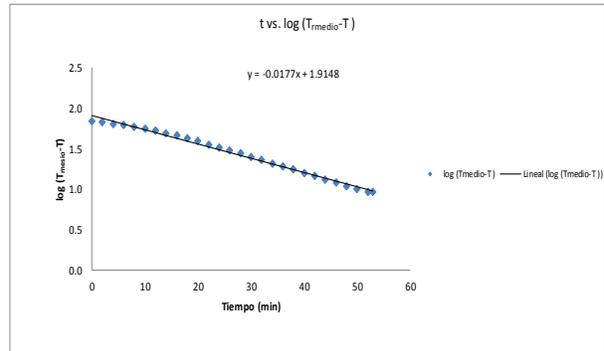
$$T_{calc} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C <sub>valor</sub> acumulado	T_CALC (°C)	dif*2	dif
0	95.6	26.7	0	0	22.89816873	14.07623786	3.7518313
2	95.6	28.6	2.5135E-08	0.002010689	26.98824499	2.439078718	1.561755
4	95.6	31.0	7.21272E-08	0.004621471	30.90359484	0.009293955	0.0964052
6	95.6	33.5	1.64854E-07	0.008011448	34.65168253	1.444040913	-1.201683
8	95.6	36.1	3.54755E-07	0.012508023	38.23965344	4.578116837	-2.139653
10	95.6	39.3	7.90692E-07	0.018798957	41.67434768	5.877461666	-2.424348
12	95.6	42.6	1.87732E-06	0.027789953	44.96231317	5.580523518	-2.362313
14	95.6	46.2	4.77133E-06	0.040986929	48.10981811	3.647405209	-1.908618
16	95.6	49.8	1.25488E-05	0.06025447	51.12286291	1.88475257	-1.372863
18	95.6	53.2	3.29574E-05	0.088086733	54.00719166	0.651558372	-0.807192
20	95.6	56.5	8.45388E-05	0.127653111	56.76830305	0.071986526	-0.268303
22	95.6	59.7	0.000210871	0.183304299	59.41146088	0.083254825	0.2885391
24	95.6	62.7	0.000506077	0.259928036	61.94170408	0.575012707	0.7582959
26	95.6	65.4	0.00114885	0.362107431	64.36385631	1.073593747	1.0361437
28	95.6	68.0	0.002476883	0.496921029	66.68253518	1.735713553	1.3174648
30	95.6	70.5	0.005137839	0.671970025	68.90216103	2.395805485	1.5478339
32	95.6	72.6	0.010066106	0.890936628	71.02696536	2.319634523	1.5230346
34	95.6	74.6	0.01881293	1.163390161	73.06099891	2.368524365	1.5390011
36	95.6	76.4	0.033598909	1.493472728	75.00813937	1.937276023	1.3918606
38	95.6	78.0	0.057142896	1.884941084	76.87209877	1.272161176	1.1279012
40	95.6	79.6	0.093533668	2.346743203	78.65643059	0.738466229	0.8935694
42	95.6	81.0	0.148549344	2.88739215	80.36453647	0.403813893	0.6354635
44	95.6	82.3	0.228797124	3.504853374	81.99967277	0.090196448	0.3003272
46	95.6	83.5	0.341130302	4.204713865	83.5649567	0.013215042	-0.114957
48	95.6	84.6	0.4956779	4.985851815	85.06337233	0.214713919	-0.463372
50	95.6	85.5	0.700053726	5.86652746	86.49777626	0.995557463	-0.997776
52	95.6	86.4	0.960361671	6.820043062	87.87093303	2.313146028	-1.520903
53	95.6	86.4	1.105790532	7.29673822	88.53530995	4.77557958	-2.18531
54	33.3	86.2	1.248255622	7.765971558	89.18537038	Promedio	2.2723615
56	29.3	83.7	1.456519083	8.480813436		Sz(exp)	402.4
58	26.1	80.4	1.553192722	8.98641426		Sz(dif)	2.356523
60	24.4	77.2	1.592592128	9.345881755		R <sup>2</sup> =	0.9941
62	23	73.9	1.6086789	9.598742753			
64	22	70.4	1.615019427	9.77286121			
66	21.4	67.1	1.61744871	9.894690642			
68	20.9	63.9	1.618419345	9.981307828			
70	20.6	60.7	1.618820469	10.04321924			



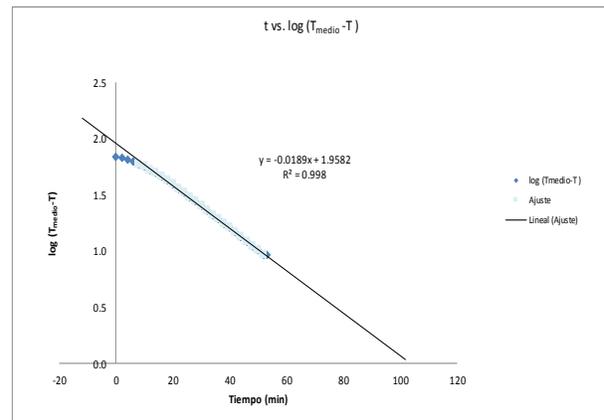
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	95.6	26.7	69.0	1.8
2	95.6	28.6	67.1	1.8
4	95.6	31.0	64.6	1.8
6	95.6	33.5	62.2	1.8
8	95.6	36.1	59.5	1.8
10	95.6	39.3	56.4	1.8
12	95.6	42.6	53.0	1.7
14	95.6	46.2	49.4	1.7
16	95.6	49.8	45.9	1.7
18	95.6	53.2	42.4	1.6
20	95.6	56.5	39.1	1.6
22	95.6	59.7	35.9	1.6
24	95.6	62.7	32.9	1.5
26	95.6	65.4	30.2	1.5
28	95.6	68.0	27.6	1.4
30	95.6	70.5	25.2	1.4
32	95.6	72.6	23.1	1.4
34	95.6	74.6	21.0	1.3
36	95.6	76.4	19.2	1.3
38	95.6	78.0	17.6	1.2
40	95.6	79.6	16.1	1.2
42	95.6	81.0	14.6	1.2
44	95.6	82.3	13.3	1.1
46	95.6	83.5	12.2	1.1
48	95.6	84.6	11.0	1.0
50	95.6	85.5	10.1	1.0
52	95.6	86.4	9.3	1.0
53	95.6	86.4	9.3	1.0
54	33.3	86.2		
56	29.3	83.7		
58	26.1	80.4		
60	24.4	77.2		
62	23	73.9		
64	22	70.4		
66	21.4	67.1		
68	20.9	63.9		
70	20.6	60.7		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 56.50 \text{ min}$



Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.43679 kg
calor especific:	3920 J/kgK
Área:	0.032900722 m <sup>2</sup>
diametro:	0.0725 m
altura:	0.1082 m
U =	0.035386501 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>35.35650127 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.03625 m
altura:	0.1082 m
f <sub>h</sub> :	56.50 min

**ividad térmica): 0.00000235 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	56.50	min
j <sub>h</sub>	1.32	
U	35.357	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.00000235	m <sup>2</sup> /s.

Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$$\log(T_{medio} - T_{P0}) = 1.9582$$

$$T_{medio} - T_{P0} = 90.823869$$

$$T_{medio} - T_0 = 69.0$$

**j<sub>h</sub> = 1.32**



**Datos de la corrida experimental**

Envase :	Vidrio
Dimensiones:	73.6 x 115.2 mm
Peso vacío	260.405 g

**Parámetros de termo-resistencia (Bacillus coagulans y proteínas del tomate).**

T <sub>ref</sub> (°C) =	93.3
z (°C) =	8.3
D (min) =	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C) =	21.6
D <sub>c</sub> (min) =	12.5

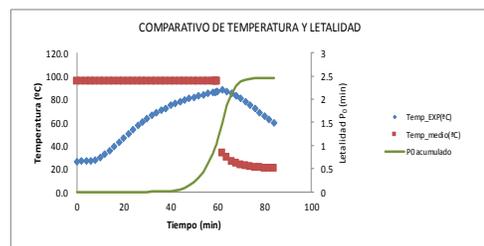
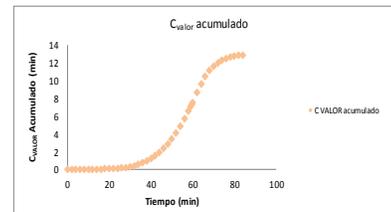
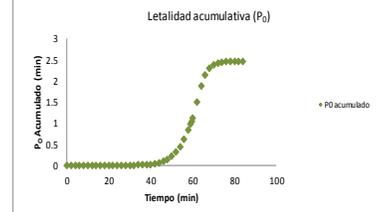
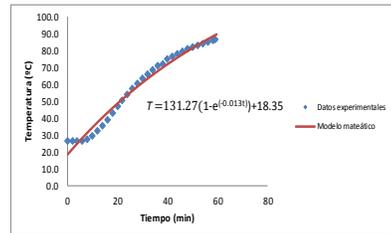
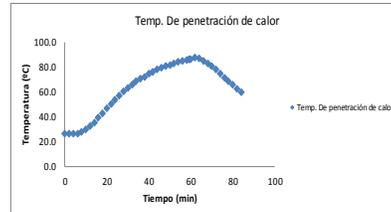
**Constantes del modelo matemático empírico.**

A =	131.2722587
K =	0.013074624
B =	18.35038338

$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

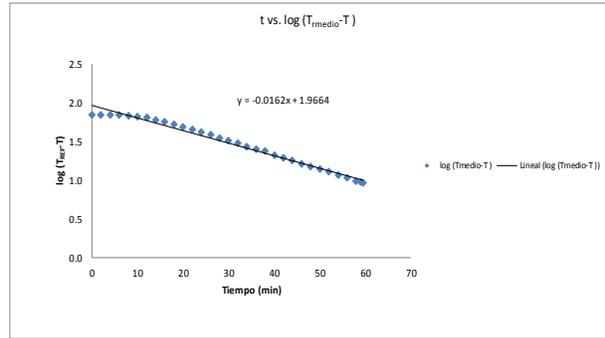
time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	dif*2	dif
0	95.6	26.3	0	0	18.35038338	63.19640444	7.9496166
2	95.6	26.4	1.70515E-08	0.001590351	21.73856209	21.26536956	4.6114379
4	95.6	26.4	3.43412E-08	0.003180201	25.03929084	1.851529413	1.3607092
6	95.6	26.7	5.25063E-08	0.004840009	28.25482673	2.417486165	-1.554827
8	95.6	27.7	7.42795E-08	0.006666755	31.38736862	13.96792418	-3.737369
10	95.6	29.5	1.07163E-07	0.008891736	34.4390586	24.39429988	-4.939059
12	95.6	32.2	1.71241E-07	0.011858796	37.4119835	27.16477199	-5.211983
14	95.6	35.5	3.21929E-07	0.016054349	40.30817626	23.60187656	-4.858176
16	95.6	39.2	7.28271E-07	0.022278578	43.12961736	15.83735435	-3.979617
18	95.6	43.0	1.88592E-06	0.031611368	45.87823617	8.574567096	-2.928236
20	95.6	46.7	5.17405E-06	0.045530834	48.55591226	3.444410326	-1.859912
22	95.6	50.4	1.43852E-05	0.066180779	51.16447668	0.584424593	-0.764477
24	95.6	53.9	3.90732E-05	0.09616936	53.70571322	0.037747353	0.1942868
26	95.6	57.3	0.000102335	0.139029	56.18135964	1.141992227	1.0686404
28	95.6	60.5	0.000257887	0.19931225	58.59310883	3.448044807	1.8568912
30	95.6	63.4	0.000614441	0.28143357	60.94261002	5.795526536	2.40739
32	95.6	65.9	0.001353713	0.388634034	63.23146983	6.856700268	2.6185302
34	95.6	68.4	0.002832852	0.528572594	65.46125344	8.344856697	2.8887466
36	95.6	70.6	0.005660104	0.706443153	67.63348563	8.800207528	2.9665144
38	95.6	71.8	0.010069389	0.908586581	69.74965181	4.203927694	2.0503482
40	95.6	74.6	0.018222193	1.181038113	71.81119907	7.777410601	2.7888009
42	95.6	76.3	0.032756414	1.50762065	73.81953715	6.152695961	2.4804629
44	95.6	77.9	0.055464054	1.89287914	75.77603938	4.301312666	2.0739606
46	95.6	79.3	0.089792906	2.342536646	77.68204366	2.617782713	1.6179563
48	95.6	80.6	0.139667699	2.85903273	79.53885337	1.12603217	1.0611466
50	95.6	81.8	0.210529944	3.446011762	81.34773823	0.204540709	0.4522618
52	95.6	82.9	0.307533752	4.106018721	83.1099352	0.044072787	-0.209935
54	95.6	84.0	0.438109049	4.844194218	84.8266493	0.768513994	-0.876649
56	95.6	85.0	0.611461352	5.654074718	86.49905447	2.399569737	-1.549054
58	95.6	85.8	0.834932965	6.564506954	88.12829432	5.420954455	-2.328294
59	95.6	86.2	0.967108192	7.033640292	88.92707655	7.436946523	-2.727077
59.5	95.6	86.4	<b>1.038848562</b>	<b>7.273261669</b>	89.32256828	8.541405335	-2.9
60	95.6	86.6	1.114145072	7.516745432			
62	33.3	87.8	1.485315938	8.629502511			
64	29.3	86.8	1.867526875	9.629742169			
66	26.1	85.1	2.135105864	10.46419226			
68	24.4	83.0	2.295335327	11.1312726			
70	23	80.5	2.38144941	11.64223202			
72	22	77.9	2.423903033	12.02755051			
74	21.4	74.9	2.443730214	12.30885596			
76	20.9	71.7	2.452263007	12.50779278			
78	20.6	68.5	2.45754715	12.64998997			
80	20.2	65.7	2.457249155	12.75492809			
82	20.2	62.7	2.457921174	12.83154963			
84	20	59.8	2.45821763	12.88749843			

Promedio	9.1162703
S2(exp)	486.9
S2(dif)	9.4103435
R <sup>2</sup> =	<b>0.9807</b>



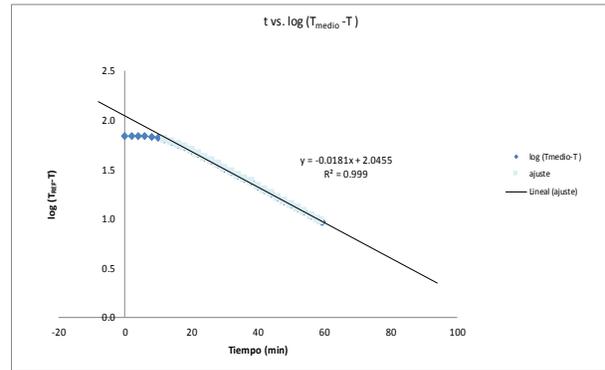
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T )
0	95.6	26.3	69.3	1.8
2	95.6	26.4	69.3	1.8
4	95.6	26.4	69.2	1.8
6	95.6	26.7	68.9	1.8
8	95.6	27.7	68.0	1.8
10	95.6	29.5	66.1	1.8
12	95.6	32.2	63.4	1.8
14	95.6	35.5	60.2	1.8
16	95.6	39.2	56.5	1.8
18	95.6	43.0	52.7	1.7
20	95.6	46.7	48.9	1.7
22	95.6	50.4	45.2	1.7
24	95.6	53.9	41.7	1.6
26	95.6	57.3	38.4	1.6
28	95.6	60.5	35.2	1.5
30	95.6	63.4	32.3	1.5
32	95.6	65.9	29.8	1.5
34	95.6	68.4	27.3	1.4
36	95.6	70.6	25.0	1.4
38	95.6	71.8	23.8	1.4
40	95.6	74.6	21.0	1.3
42	95.6	76.3	19.3	1.3
44	95.6	77.9	17.8	1.2
46	95.6	79.3	16.3	1.2
48	95.6	80.6	15.0	1.2
50	95.6	81.8	13.8	1.1
52	95.6	82.9	12.7	1.1
54	95.6	84.0	11.7	1.1
56	95.6	85.0	10.7	1.0
58	95.6	85.8	9.8	1.0
59	95.6	86.2	9.4	1.0
59.5	95.6	86.4	9.2	1.0
60	95.6	86.6		
62	33.3	87.8		
64	29.3	86.8		
66	26.1	85.1		
68	24.4	83.0		
70	23	80.5		
72	22	77.9		
74	21.4	74.9		
76	20.9	71.7		
78	20.6	68.5		
80	20.2	65.7		
82	20.2	62.7		
84	20	59.8		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 61.73 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$\log(T_{medio} - T_{P0}) = 2.0455$   
 $T_{medio} - T_{P0} = 111.04525$   
 $T_{medio} - T_0 = 69.3$

$j_h = 1.60$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa: 0.43233 kg  
 calor especif: 3920 J/kgK  
 Área: 0.035145625 m<sup>2</sup>  
 diametro: 0.0736 m  
 altura: 0.1152 m  
 $U = 0.029983882 \text{ (kW/m}^2\text{K)}$   
 $U = 29.98388248 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio: 0.0368 m  
 altura: 0.1152 m  
 $f_h = 61.73 \text{ min}$

Conductividad térmica:  $0.00000243 \text{ m}^2\text{/s}$

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

$f_h$	61.73	min
$j_h$	1.60	
$U$	29.984	(W/m <sup>2</sup> K)
$\alpha$	0.00000243	m <sup>2</sup> /s.



Datos de la corrida experimental

Envase:	Hojalata
Dimensiones:	72.5 x 108.2 mm
Peso vacío:	79.82

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	15.50%
Peso del producto (g)	433.97
Temperatura de pasteurización (°C)	85

Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).

T <sub>ref</sub> (°C)	=	93.3
z (°C)	=	8.3
D (min)	=	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C)	=	21.6
D <sub>c</sub> (min)	=	12.5

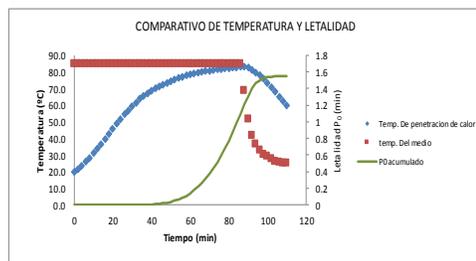
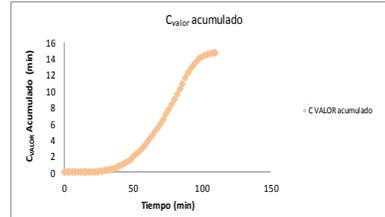
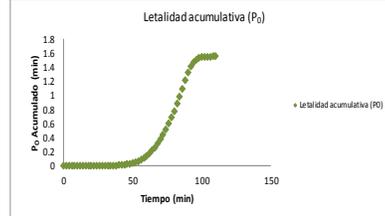
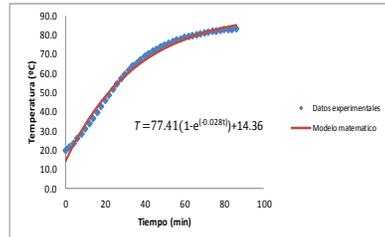
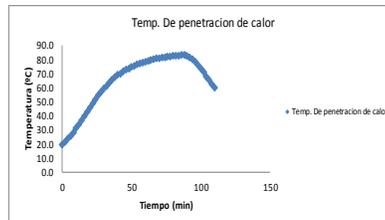
Constantes del modelo matemático empírico.

A =	77.4118231
K =	0.028363312
B =	14.35710866

$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

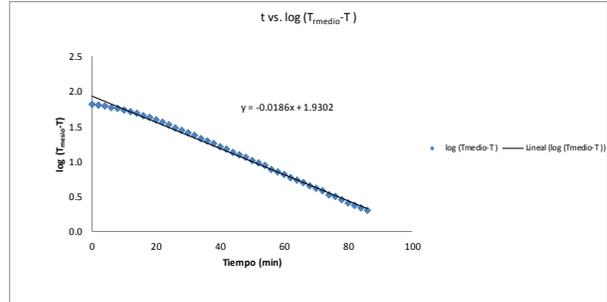
time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	diff*2	diff
0	85	19.7	0	0	14.35710866	28.54648783	5.3428913
2	85	21.5	3.59246E-09	0.000948322	18.62619009	8.258783394	2.8738099
4	85	23.5	9.72177E-09	0.002121999	22.65984164	0.705866074	0.8401584
6	85	25.9	2.11928E-08	0.003637861	26.47104671	0.326094348	-0.571047
8	85	28.3	4.35162E-08	0.005595672	30.07207272	3.140241727	-1.772073
10	85	31.0	8.94494E-08	0.008206454	33.47451055	6.123202442	-2.474511
12	85	33.7	1.86596E-07	0.011687989	36.68931186	8.935985418	-2.989312
14	85	36.5	3.95981E-07	0.016380447	39.72682439	10.41239564	-3.226824
16	85	39.6	8.78345E-07	0.022910533	42.59682519	8.9809612	-2.996825
18	85	42.7	2.01825E-06	0.031997886	45.30855214	6.804544247	-2.608552
20	85	45.7	4.66024E-06	0.044509673	47.87073367	4.712084672	-2.170734
22	85	48.7	1.07329E-05	0.061737092	50.29161687	2.533244271	-1.581617
24	85	51.6	2.44248E-05	0.085205004	52.57899401	0.95842928	-0.978994
26	85	54.4	5.44559E-05	0.116835359	54.74022764	0.115754849	-0.340228
28	85	56.9	0.000116185	0.158125352	56.78227428	0.013859345	0.1177257
30	85	59.2	0.000235249	0.210887965	58.71170681	0.23843024	0.4882932
32	85	61.4	0.000456579	0.277595999	60.53473564	0.748682418	0.8652644
34	85	63.8	0.00087912	0.363752738	62.25722868	2.380143352	1.5427713
36	85	65.3	0.001581996	0.464848675	63.88473025	2.002988475	1.4152699
38	85	67.0	0.002682707	0.586030476	65.4224789	2.48672819	1.575211
40	85	68.8	0.004478215	0.73284558	66.8754243	3.703991607	1.9245757
42	85	70.0	0.007154305	0.899695611	68.24824316	3.068652028	1.7517568
44	85	71.3	0.010948654	1.091346782	69.54535426	3.078781681	1.7546457
46	85	72.5	0.016302988	1.309151374	70.77093271	2.98967371	1.7290673
48	85	73.6	0.023653319	1.554053728	71.92892336	2.792497134	1.6710766
50	85	74.6	0.033469479	1.82650526	73.02305353	2.486760158	1.5769465
52	85	75.5	0.046222417	2.126391074	74.05884498	2.082696412	1.443155
54	85	76.3	0.062340483	2.452973611	75.03362524	1.603705032	1.2683748
56	85	77.2	0.082778065	2.812441106	75.95653835	1.546196879	1.2434617
58	85	77.8	0.10783442	3.195651608	76.82855495	0.943705482	0.9711445
60	85	78.4	0.13742865	3.604173356	77.65248187	0.556783348	0.7475181
62	85	79.1	0.172915052	4.04345533	78.43097115	0.447598603	0.6680288
64	85	79.5	0.214120168	4.503692769	79.16652856	0.111203203	0.3334714
66	85	80.0	0.260844548	4.988187719	79.86152169	0.019176242	0.1384783
68	85	80.5	0.314521087	5.492077137	80.51818757	0.000330788	-0.018188
70	85	80.8	0.37440491	6.026833263	81.13863986	0.114676958	-0.33864
72	85	81.2	0.440439339	6.577444171	81.72487566	0.275494459	-0.524876
74	85	81.6	0.514223509	7.152041137	82.27878192	0.460744895	-0.678782
76	85	81.8	0.594318753	7.73902017	82.80214154	1.004287669	-1.002142
78	85	82.1	0.680207453	8.345074387	83.2966391	1.431945138	-1.196639
80	85	82.4	0.773550207	8.970823677	83.76386627	1.860131212	-1.363866
82	85	82.6	0.873548428	9.610057322	84.20532696	2.577074642	-1.605327
84	85	82.8	0.979251756	10.2630659	84.62244212	3.321295265	-1.822442
86	85	83.0	1.090985679	10.93014624	85.01655435	4.066491428	-2.0
88	68.8	83.0	1.205818528	11.59722659			
90	51.4	82.6	1.314620782	12.23646023			
92	41.8	81.4	1.402841984	12.79893633			
94	36.5	79.8	1.463309002	13.27321107			
96	32.7	78.2	1.502101475	13.67311523			
98	30.3	75.8	1.525052819	13.98274649			
100	29.2	73.3	1.536737026	14.2199407			
102	27.3	70.7	1.542523539	14.39971752			
104	26.2	68.0	1.545311317	14.53453112			
106	25.6	65.2	1.546617868	14.63455508			
108	25.1	62.6	1.547229531	14.71036634			
110	24.8	60.0	1.547526876	14.76782604			

S2(exp)	416.9
S2(diff)	3.231922
R <sup>2</sup> =	0.9922



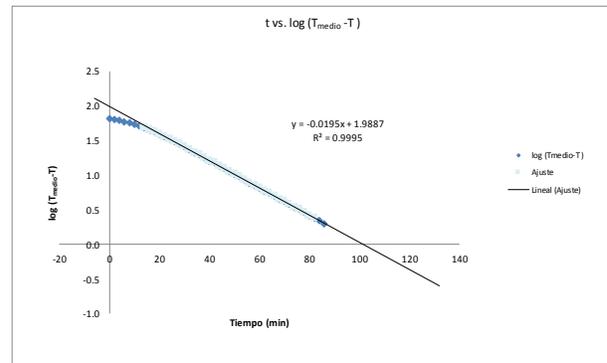
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	85	19.7	65.3	1.8
2	85	21.5	63.5	1.8
4	85	23.5	61.5	1.8
6	85	25.9	59.1	1.8
8	85	28.3	56.7	1.8
10	85	31.0	54.0	1.7
12	85	33.7	51.3	1.7
14	85	36.5	48.5	1.7
16	85	39.6	45.4	1.7
18	85	42.7	42.3	1.6
20	85	45.7	39.3	1.6
22	85	48.7	36.3	1.6
24	85	51.6	33.4	1.5
26	85	54.4	30.6	1.5
28	85	56.9	28.1	1.4
30	85	59.2	25.8	1.4
32	85	61.4	23.6	1.4
34	85	63.8	21.2	1.3
36	85	65.3	19.7	1.3
38	85	67.0	18.0	1.3
40	85	68.8	16.2	1.2
42	85	70.0	15.0	1.2
44	85	71.3	13.7	1.1
46	85	72.5	12.5	1.1
48	85	73.6	11.4	1.1
50	85	74.6	10.4	1.0
52	85	75.5	9.5	1.0
54	85	76.3	8.7	0.9
56	85	77.2	7.8	0.9
58	85	77.8	7.2	0.9
60	85	78.4	6.6	0.8
62	85	79.1	5.9	0.8
64	85	79.5	5.5	0.7
66	85	80.0	5.0	0.7
68	85	80.5	4.5	0.7
70	85	80.8	4.2	0.6
72	85	81.2	3.8	0.6
74	85	81.6	3.4	0.5
76	85	81.8	3.2	0.5
78	85	82.1	2.9	0.5
80	85	82.4	2.6	0.4
82	85	82.6	2.4	0.4
84	85	82.8	2.2	0.3
86	85	83.0	2.0	0.3
88	68.8	83.0		
90	51.4	82.6		
92	41.8	81.4		
94	36.5	79.8		
96	32.7	78.2		
98	30.3	75.8		
100	29.2	73.3		
102	27.3	70.7		
104	26.2	68.0		
106	25.6	65.2		
108	25.1	62.6		
110	24.8	60.0		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 53.76 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

log(T\_medio-T<sub>P0</sub>) = 1.9887

T\_medio-T<sub>P0</sub> = 97.431637

T\_medio-T<sub>0</sub> = 65.3

$j_h = 1.49$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.43397 kg
calor especific:	3920 J/kgK
Área:	0.032900722 m <sup>2</sup>
diametro:	0.0725 m
altura:	0.1082 m
U =	0.036914414 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>36.91441425 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.03625 m
altura:	0.1082 m
f <sub>h</sub> :	53.76 min

**ividad térmica): 0.0000244 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	53.76	min
j <sub>h</sub>	1.49	
U	36.914	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.0000244	m <sup>2</sup> /s.



Datos de la corrida experimental

Envase :	Vidrio
Dimensiones:	73.6 x 115.2 mm
Peso vacío	259.98 g

Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).

T <sub>ref</sub> (°C) =	93.3
z (°C) =	8.3
D (min) =	0.1 - 0.5
Z <sub>0</sub> (°C) =	21.6
D <sub>0</sub> (min) =	12.5

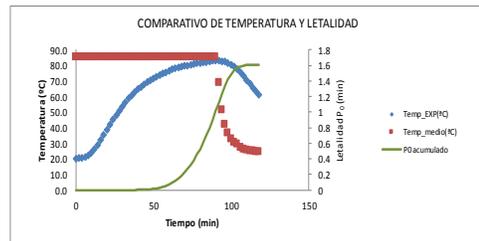
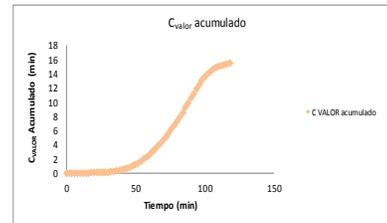
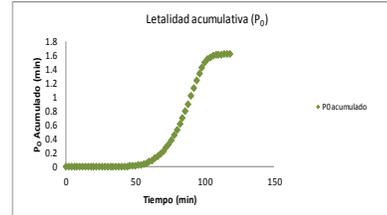
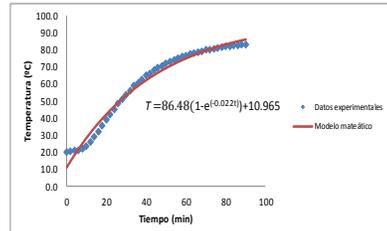
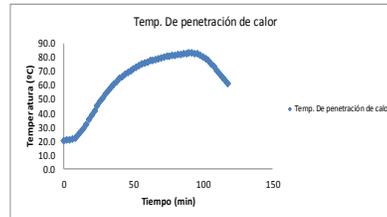
Constantes del modelo matemático empírico.

A =	86.47527618
K =	0.022388479
B =	10.96471686

$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

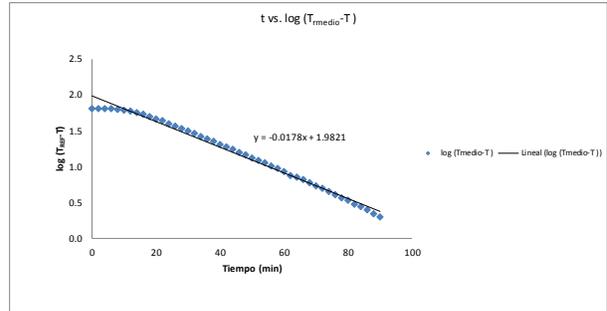
time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	diff*2	dif
0	85	20.2	0	0	10.96471686	85.29045467	9.2352831
2	85	20.5	3.25274E-09	0.000852432	14.75140582	33.04633503	5.7485942
4	85	20.8	6.78778E-09	0.001732565	18.37227845	5.893831928	2.4277216
6	85	21.2	1.06859E-08	0.00265104	21.83459572	0.402711726	-0.634596
8	85	22.0	1.53112E-08	0.003651279	25.14530065	9.892916192	-3.145301
10	85	23.6	2.18827E-08	0.004837534	28.31103224	22.1938248	-4.711032
12	85	26.0	3.36765E-08	0.006369642	31.33813877	28.49572551	-5.338139
14	85	28.9	5.88836E-08	0.008456767	34.23269052	28.43758815	-5.332691
16	85	32.0	1.17459E-07	0.011361238	37.00049197	25.00491991	-5.000492
18	85	35.2	2.58617E-07	0.015446456	39.64709342	19.77663988	-4.447093
20	85	38.7	6.22667E-07	0.021379153	42.17780213	12.09510769	-3.477802
22	85	41.8	1.51071E-06	0.029635173	44.59769297	7.827086954	-2.797693
24	85	45.1	3.69344E-06	0.041371941	46.91161856	3.281961804	-1.811619
26	85	48.2	8.93571E-06	0.057704981	49.12421904	0.854180839	-0.924219
28	85	50.9	2.04098E-05	0.079485441	51.23993137	0.115553338	-0.339931
30	85	53.6	4.46769E-05	0.10853015	53.26299821	0.113570206	0.3370018
32	85	56.1	9.41199E-05	0.14644863	55.19747643	0.814548785	0.9025236
34	85	58.9	0.00019877	0.197546805	57.04724528	3.43270007	1.8527547
36	85	60.6	0.000385333	0.258801743	58.81601409	3.182605713	1.7839859
38	85	62.6	0.000700293	0.334613	60.50732982	4.379268471	2.0926702
40	85	64.7	0.001258649	0.429445221	62.12458408	6.632767187	2.5754159
42	85	66.1	0.002145237	0.539541017	63.67101995	5.899944087	2.4289801
44	85	67.6	0.003474517	0.668726937	65.14973853	6.003781272	2.4502615
46	85	69.1	0.005489816	0.820313123	66.56370511	6.432791781	2.5362949
48	85	70.4	0.008445809	0.99443158	67.91575513	6.171472597	2.4842449
50	85	71.7	0.012685459	1.19443158	69.20859886	6.207074639	2.4914001
52	85	72.8	0.018572829	1.419314215	70.44483188	5.546816879	2.3551681
54	85	73.8	0.026435247	1.669494002	71.62683002	4.722232356	2.1730698
56	85	74.9	0.036977498	1.95079945	72.7572653	4.591311986	2.1427347
58	85	75.6	0.050416754	2.233899181	73.83810386	3.104278014	1.7618861
60	85	76.5	0.067247066	2.587519289	74.87161329	2.651643289	1.6283867
62	85	77.4	0.088850656	2.954732997	75.85986609	2.372012447	1.5401339
64	85	77.9	0.114944105	3.342050419	76.80484404	1.199366595	1.095156
66	85	78.4	0.144920021	3.750572166	77.70944209	0.478252348	0.6915579
68	85	79.0	0.179873966	4.186076979	78.57247224	0.182779985	0.4275278
70	85	79.6	0.221158307	4.650347101	79.39866715	0.040534918	0.2013329
72	85	80.0	0.268494368	5.134842052	80.18868358	0.035601495	-0.188684
74	85	80.5	0.322170907	5.64586147	80.94410578	0.197229945	-0.444106
76	85	80.9	0.382932037	6.179142238	81.66644859	0.587443447	-0.766449
78	85	81.3	0.450824039	6.736654118	82.35716054	1.117588416	-1.057161
80	85	81.6	0.525588476	7.310251085	83.01762672	2.009665528	-1.417627
82	85	82.0	0.608031889	7.909979006	83.64917157	2.719766881	-1.649172
84	85	82.2	0.69752704	8.522428389	84.25306154	4.215061679	-2.053062
86	85	82.5	0.793495561	9.154883921	84.8305076	5.431265688	-2.330508
88	85	82.8	0.897792936	9.807892497	85.38266773	6.670172595	-2.582668
90	85	83.0	<b>1.009526859</b>	<b>10.47497284</b>	85.91064917	8.471878569	-2.9
92	68.8	83.0	1.124359708	11.14205318			
94	51.4	82.7	1.234607465	11.78813758			
96	41.8	82.4	1.336051189	12.41388687			
98	36.5	81.6	1.423600488	12.98848384			
100	32.7	80.4	1.490448891	13.49408467			
102	30.3	79.1	1.537821007	13.93425684			
104	29.2	77.4	1.568424942	14.30147055			
106	27.3	75.4	1.588540518	14.59817653			
108	26.2	73.1	1.598196314	14.83036722			
110	25.6	70.6	1.604720879	15.00823778			
112	25.1	68.1	1.607482049	15.14449619			
114	24.8	65.7	1.608875016	15.24999613			
116	24.6	63.4	1.609597638	15.33255633			
118	24.4	60.9	1.609972286	15.39580189			

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	15.50%
Peso del producto (g)	439.32
Temperatura de pasteurización (°C)	85



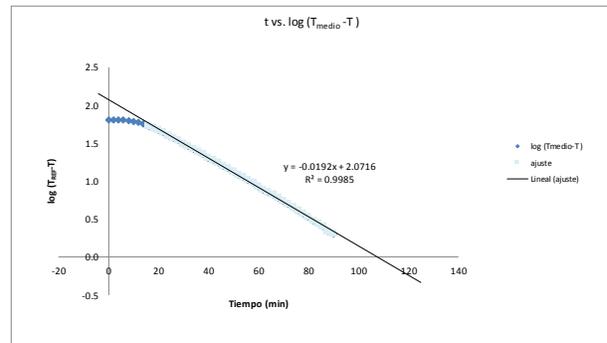
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	85	20.2	64.8	1.8
2	85	20.5	64.5	1.8
4	85	20.8	64.2	1.8
6	85	21.2	63.8	1.8
8	85	22.0	63.0	1.8
10	85	23.6	61.4	1.8
12	85	26.0	59.0	1.8
14	85	28.9	56.1	1.7
16	85	32.0	53.0	1.7
18	85	35.2	49.8	1.7
20	85	38.7	46.3	1.7
22	85	41.8	43.2	1.6
24	85	45.1	39.9	1.6
26	85	48.2	36.8	1.6
28	85	50.9	34.1	1.5
30	85	53.6	31.4	1.5
32	85	56.1	28.9	1.5
34	85	58.9	26.1	1.4
36	85	60.6	24.4	1.4
38	85	62.6	22.4	1.4
40	85	64.7	20.3	1.3
42	85	66.1	18.9	1.3
44	85	67.6	17.4	1.2
46	85	69.1	15.9	1.2
48	85	70.4	14.6	1.2
50	85	71.7	13.3	1.1
52	85	72.8	12.2	1.1
54	85	73.8	11.2	1.0
56	85	74.9	10.1	1.0
58	85	75.6	9.4	1.0
60	85	76.5	8.5	0.9
62	85	77.4	7.6	0.9
64	85	77.9	7.1	0.9
66	85	78.4	6.6	0.8
68	85	79.0	6.0	0.8
70	85	79.6	5.4	0.7
72	85	80.0	5.0	0.7
74	85	80.5	4.5	0.7
76	85	80.9	4.1	0.6
78	85	81.3	3.7	0.6
80	85	81.6	3.4	0.5
82	85	82.0	3.0	0.5
84	85	82.2	2.8	0.4
86	85	82.5	2.5	0.4
88	85	82.8	2.2	0.3
90	85	83.0	2.0	0.3
92	68.8	83.0		
94	51.4	82.7		
96	41.8	82.4		
98	36.5	81.6		
100	32.7	80.4		
102	30.3	79.1		
104	29.2	77.4		
106	27.3	75.4		
108	26.2	73.1		
110	25.6	70.6		
112	25.1	68.1		
114	24.8	65.7		
116	24.6	63.4		
118	24.4	60.9		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 56.18 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_R = \frac{T_{\text{medio}} - T_{P0}}{T_{\text{medio}} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$\log(T_{\text{medio}} - T_{P0}) = 2.0716$   
 $T_{\text{medio}} - T_{P0} = 117.9234$   
 $T_{\text{medio}} - T_0 = 64.8$

$h = 1.82$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.43932 kg
calor especific:	3920 J/kgK
Área:	0.035145625 m <sup>2</sup>
diámetro:	0.0736 m
altura:	0.1152 m
U =	0.033477919 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>33.4779192 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.0368 m
altura:	0.1152 m
$f_h$ :	56.18 min

**ividad térmica): 0.0000261 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

$f_h$	56.18	min
$h$	1.82	
<b>U</b>	<b>33.478</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>K)</b>
$\alpha$	0.0000261	m <sup>2</sup> /s.



**Datos de la corrida experimental**

Envase:	Hojalata
Dimensiones:	72.5 x 108.2 mm
Peso vacío:	79.82

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	15.50%
Peso del producto (g)	433.97
Temperatura de pasteurización (°C)	85

**Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).**

T <sub>ref</sub> (°C) =	93.3
z (°C) =	8.3
D (min) =	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C) =	21.6
D <sub>c</sub> (min) =	12.5

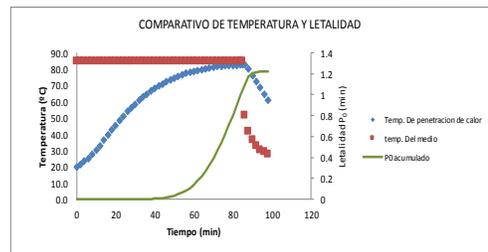
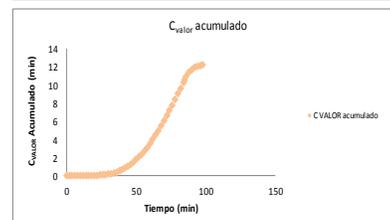
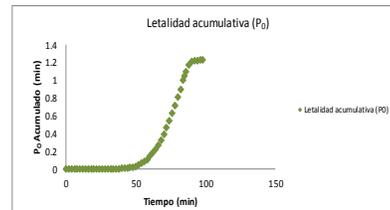
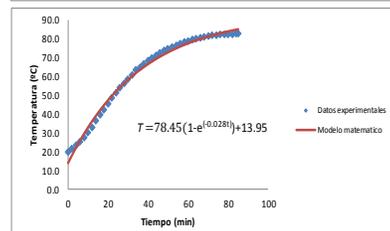
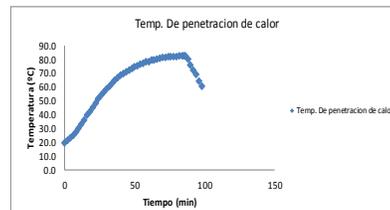
**Constantes del modelo matemático empírico.**

A =	78.45172135
K =	0.027758847
B =	13.9521749

$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

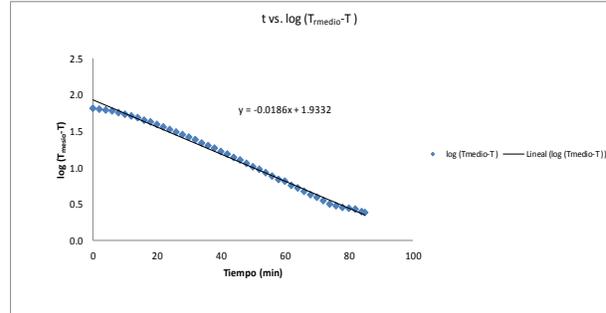
time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	diff^2	diff
0	85	19.7	0	0	13.9521749	33.03749342	5.7478251
2	85	21.4	3.5129E-09	0.000938267	18.1889377	10.31092112	3.2110623
4	85	23.2	9.2885E-09	0.002075003	22.19689533	1.006218976	1.0031047
6	85	25.1	1.89405E-08	0.003466949	25.98840436	0.789262306	-0.888404
8	85	27.3	3.61833E-08	0.005226794	29.57515403	5.17632584	-2.275154
10	85	29.9	7.03419E-08	0.007548701	32.9682023	9.413865356	-3.068202
12	85	33.0	1.47644E-07	0.010779898	36.17800997	10.09974739	-3.17801
14	85	36.2	3.33834E-07	0.015324663	39.2144729	9.087046855	-3.014473
16	85	39.4	7.86551E-07	0.021717	42.08695251	7.219713798	-2.686953
18	85	42.4	1.8442E-06	0.030518334	44.80430468	5.780681011	-2.404305
20	85	45.5	4.32287E-06	0.042766386	47.37490703	3.515276363	-1.874907
22	85	48.4	9.95822E-06	0.059451389	49.80668473	1.978761921	-1.406685
24	85	51.1	2.20869E-05	0.081701198	52.10713497	1.01432084	-1.007135
26	85	53.9	4.82284E-05	0.11168978	54.28335005	0.146957259	-0.38335
28	85	56.2	0.000100029	0.15001083	56.34203925	0.02017515	-0.142039
30	85	58.5	0.000198077	0.198979565	58.28954954	0.044289396	0.2104505
32	85	60.7	0.000380343	0.260890981	60.13188509	0.322754554	0.5681149
34	85	63.2	0.00073477	0.34170961	61.87472583	1.756351623	1.3252742
36	85	64.6	0.001319559	0.435536277	63.52344496	1.158970759	1.076555
38	85	66.4	0.002242196	0.54920988	65.08312548	1.734158503	1.3168745
40	85	68.4	0.00381636	0.689896313	66.5585759	3.930842717	1.8414241
42	85	69.6	0.006211373	0.849781332	67.95434504	2.708180242	1.645655
44	85	71.0	0.009663475	1.0354004	69.27473607	2.976535628	1.7252639
46	85	72.3	0.014670955	1.2486105	70.52381976	3.154816253	1.7761802
48	85	73.5	0.021737179	1.490916032	71.70644704	3.220420333	1.794553
50	85	74.6	0.03143756	1.763367564	72.82326087	3.15680192	1.7767391
52	85	75.5	0.044190498	2.063253378	73.88070749	2.622108219	1.6192925
54	85	76.4	0.060560321	2.393339545	74.88104701	2.207218182	1.518953
56	85	77.3	0.08157282	2.766659903	75.82736348	2.168658325	1.4726365
58	85	78.0	0.107726449	3.148124259	76.7225744	1.631816176	1.2742266
60	85	78.5	0.13854592	3.58102419	77.5684397	0.865942468	0.9305603
62	85	79.3	0.176593074	4.010681696	78.37057029	0.863838586	0.9294297
64	85	79.7	0.219149028	4.479927466	79.12843605	0.32668535	0.571564
66	85	80.2	0.268539131	4.974862862	79.84537348	0.125759965	0.3546265
68	85	80.7	0.325278026	5.498994305	80.52359232	0.031119458	0.1764071
70	85	81.1	0.389505707	6.041666811	81.16518531	0.004249124	-0.065185
72	85	81.5	0.461271089	6.610171039	81.77212868	0.074054018	-0.272129
74	85	81.8	0.540300993	7.197150072	82.34629425	0.239437408	-0.546294
76	85	82.0	0.624965938	7.796779394	82.88945217	0.791125168	-0.899452
78	85	82.1	0.713202707	8.40283221	83.40327701	1.698530957	-1.303277
80	85	82.2	0.803921712	9.015381593	83.88935288	2.853913146	-1.689353
82	85	82.3	0.897192678	9.634495752	84.34917836	4.199131952	-2.049178
84	85	82.5	0.994454876	10.26695128	84.7841711	5.217437608	-2.284171
85	85	82.6	<b>1.044783804</b>	<b>10.584869306</b>	<b>84.99277715</b>	<b>5.967160225</b>	<b>-2.4</b>
86	85	82.6	1.095815707	10.90448589			
88	41.8	80.0	1.172181418	11.38898084			
90	36.5	76.1	1.206627934	11.70867426			
92	32.7	72.1	1.216885719	11.91738678			
94	30.3	68.9	1.220825659	12.06577532			
96	29.2	64.3	1.222295095	12.15664886			
98	27.3	60.7	1.22273385	12.21856027			

Promedio	3.5
S2(exp)	425.1
S2(diff)	3.5876297
R <sup>2</sup> =	<b>0.9916</b>



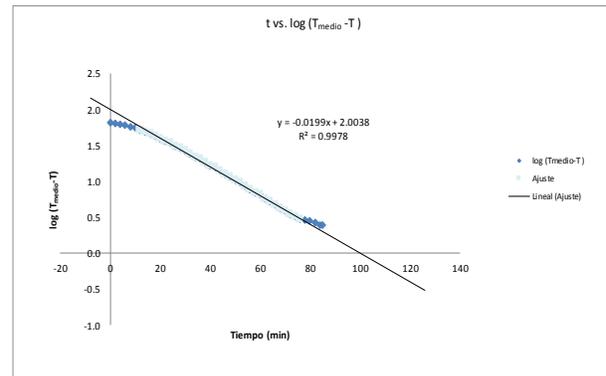
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	85	19.7	65.3	1.8
2	85	21.4	63.6	1.8
4	85	23.2	61.8	1.8
6	85	25.1	59.9	1.8
8	85	27.3	57.7	1.8
10	85	29.9	55.1	1.7
12	85	33.0	52.0	1.7
14	85	36.2	48.8	1.7
16	85	39.4	45.6	1.7
18	85	42.4	42.6	1.6
20	85	45.5	39.5	1.6
22	85	48.4	36.6	1.6
24	85	51.1	33.9	1.5
26	85	53.9	31.1	1.5
28	85	56.2	28.8	1.5
30	85	58.5	26.5	1.4
32	85	60.7	24.3	1.4
34	85	63.2	21.8	1.3
36	85	64.6	20.4	1.3
38	85	66.4	18.6	1.3
40	85	68.4	16.6	1.2
42	85	69.6	15.4	1.2
44	85	71.0	14.0	1.1
46	85	72.3	12.7	1.1
48	85	73.5	11.5	1.1
50	85	74.6	10.4	1.0
52	85	75.5	9.5	1.0
54	85	76.4	8.6	0.9
56	85	77.3	7.7	0.9
58	85	78.0	7.0	0.8
60	85	78.5	6.5	0.8
62	85	79.3	5.7	0.8
64	85	79.7	5.3	0.7
66	85	80.2	4.8	0.7
68	85	80.7	4.3	0.6
70	85	81.1	3.9	0.6
72	85	81.5	3.5	0.5
74	85	81.8	3.2	0.5
76	85	82.0	3.0	0.5
78	85	82.1	2.9	0.5
80	85	82.2	2.8	0.4
82	85	82.3	2.7	0.4
84	85	82.5	2.5	0.4
85	85	82.6	2.5	0.4
86	51.4	82.6		
88	41.8	80.0		
90	36.5	76.1		
92	32.7	72.1		
94	30.3	68.9		
96	29.2	64.3		
98	27.3	60.7		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 53.76 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$\log(T_{medio} - T_{P0}) = 2.0038$   
 $T_{medio} - T_{P0} = 100.87882$   
 $T_{medio} - T_0 = 65.3$

$j_h = 1.54$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

- masa: 0.43397 kg
- calor especific: 3920 J/kgK
- Área: 0.032900722 m<sup>2</sup>
- diámetro: 0.0725 m
- altura: 0.1082 m
- U = 0.036914414 (kW/m<sup>2</sup>K)

$U = 36.91441425 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

- radio: 0.03625 m
- altura: 0.1082 m
- $f_h = 53.76 \text{ min}$

Conductividad térmica:  $0.00000244 \text{ m}^2\text{/s}$

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

$f_h$	53.76	min
$j_h$	1.54	
U	36.914	(W/m <sup>2</sup> K)
$\alpha$	0.00000244	m <sup>2</sup> /s.



**Datos de la corrida experimental**

Envase :	Vidrio
Dimensiones:	73.6 x 115.2 mm
Peso vacío	259.98 g

**Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).**

T <sub>ref</sub> (°C) =	93.3
z (°C) =	8.3
D (min) =	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C) =	21.6
D <sub>c</sub> (min) =	12.5

**Constantes del modelo matemático empírico.**

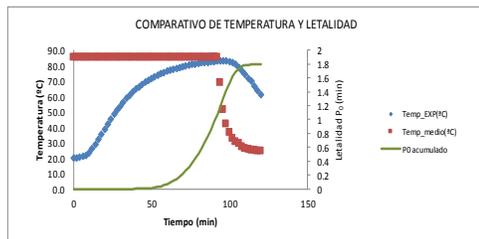
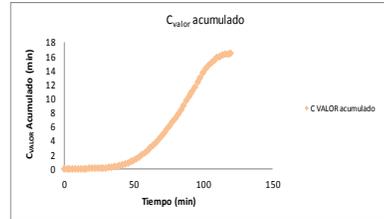
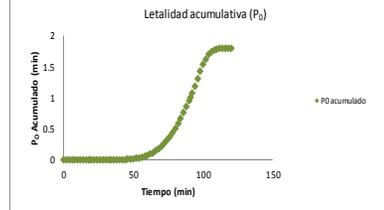
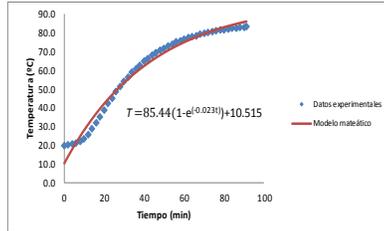
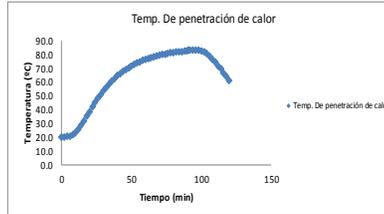
A =	85.44031196
K =	0.023182257
B =	10.51546714

$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	dif*2	dif
0	85	19.9	0	0	10.51546714	88.069457	9.3845329
2	85	20.2	2.99299E-09	0.000825602	14.38643443	33.79754469	5.8135656
4	85	20.6	6.29338E-09	0.001687169	18.08202328	6.340206754	2.5179767
6	85	20.9	9.92786E-09	0.002576735	21.61017942	0.50435481	-0.710179
8	85	21.8	1.42503E-08	0.003555975	24.97848957	10.10278957	-3.178489
10	85	23.3	2.03635E-08	0.004704794	28.19419276	23.9531228	-4.894193
12	85	25.8	3.14171E-08	0.006204582	31.26420594	29.8575466	-5.464206
14	85	28.8	5.57272E-08	0.008269577	34.1951288	29.10741479	-5.385129
16	85	31.9	1.127E-07	0.01114325	36.99326296	25.94132776	-5.083263
18	85	35.2	2.52732E-07	0.015228468	39.66462461	19.93287288	-4.464625
20	85	38.6	6.09557E-07	0.021096258	42.21495726	13.067916	-3.614957
22	85	42.0	1.52598E-06	0.029532188	44.64874429	7.021144796	-2.649744
24	85	45.1	3.7443E-06	0.041268956	46.87422061	3.512702907	-1.874221
26	85	48.3	9.09019E-06	0.05777704	49.19338396	0.798134939	-0.893394
28	85	51.0	2.0887E-05	0.079790923	51.31200571	0.097347565	-0.312006
30	85	53.7	4.58368E-05	0.109146908	53.33464096	0.133487229	0.365359
32	85	56.1	9.57433E-05	0.147061621	55.26563849	0.696159131	0.8343615
34	85	58.9	0.000200394	0.196163563	57.10915005	3.207143531	1.7908499
36	85	60.6	0.000386957	0.259418502	58.8691393	2.995878765	1.7308607
38	85	62.6	0.000701916	0.335229759	60.5493903	4.205000155	2.0506097
40	85	64.8	0.001270351	0.43107831	62.15351568	7.003679281	2.6464843
42	85	66.1	0.002167018	0.541174106	63.68496439	5.832397	2.4150356
44	85	67.6	0.003496298	0.670360025	65.14702914	6.01706606	2.4529709
46	85	69.1	0.00511596	0.821946211	66.54285343	6.538998575	2.5571466
48	85	70.4	0.00846759	0.996064668	67.87543837	6.373411415	2.5245616
50	85	71.6	0.01263893	1.193943969	69.14764909	6.14025004	2.4523509
52	85	72.7	0.01836518	1.416442061	70.3622209	5.465211142	2.337791
54	85	73.7	0.026012477	1.663969067	71.52176519	4.744706874	2.1782348
56	85	74.8	0.03626284	1.942291693	72.62877506	4.714217733	2.1712249
58	85	75.6	0.049539482	2.245391425	73.68663063	3.664810083	1.9143694
60	85	76.4	0.066110955	2.575473992	74.6946042	2.908374849	1.7053958
62	85	77.2	0.086800295	2.934941487	75.65786651	2.378180037	1.5421349
64	85	77.8	0.111856655	3.318151989	76.57748442	1.494544349	1.2225156
66	85	78.3	0.141012403	3.722341977	77.45543937	0.713282662	0.8445606
68	85	78.9	0.175009983	4.153228915	78.2936176	0.367699612	0.6063824
70	85	79.4	0.21456981	4.607705462	79.09382125	0.093745427	0.3061787
72	85	79.9	0.260015777	5.087063071	79.85777079	0.001783306	0.0422292
74	85	80.3	0.311460009	5.587302758	80.58710876	0.082431441	-0.287109
76	85	80.7	0.36894169	6.109334201	81.28340327	0.340359376	-0.583403
78	85	81.1	0.43316937	6.654106707	81.94815139	0.719360783	-0.8
80	85	81.4	0.503898559	7.216582802	82.58278237	1.39897413	-1.2
82	85	81.8	0.581892269	7.803561834	83.18866069	1.928378513	-1.4
84	85	82.0	0.66657114	8.403189756	83.76708903	3.122603636	-1.8
86	85	82.2	0.756052265	9.015739139	84.31931104	4.491479266	-2.1
88	85	82.5	0.852020786	9.648194671	84.84651402	5.506128032	-2.3
90	85	82.7	0.954831995	10.29427907	85.34983149	7.021606913	-2.6
91	85	82.9	1.009170397	10.62428255	85.59287327	7.251566464	-2.7
92	85	83.0	1.065801344	10.95782272			
94	68.8	83.2	1.18390992	11.63927807			
96	51.4	83.1	1.303633641	12.3135076			
98	41.8	83.0	1.420081636	12.98058795			
100	36.5	82.6	1.52889389	13.61982159			
102	32.7	81.8	1.621428058	14.20680063			
104	30.3	80.6	1.692090303	14.72329671			
106	29.2	78.7	1.739010828	15.14509428			
108	27.3	76.7	1.766427447	15.48590361			
110	26.2	74.4	1.78171058	15.75260789			
112	25.6	71.8	1.789561971	15.95475132			
114	25.1	69.7	1.793564484	16.11634985			
116	24.8	66.5	1.79559055	16.23124171			
118	24.6	63.9	1.796466337	16.3183218			
120	24.4	61.2	1.796889899	16.38362266			

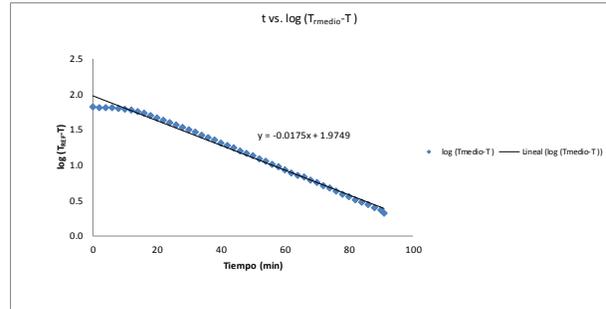
Promedio	8.5006548
S2(exp)	483.7
S2(dif)	8.6854516
R <sup>2</sup> =	0.9820

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	15.50%
Peso del producto (g)	439.32
Temperatura de pasteurización (°C)	85



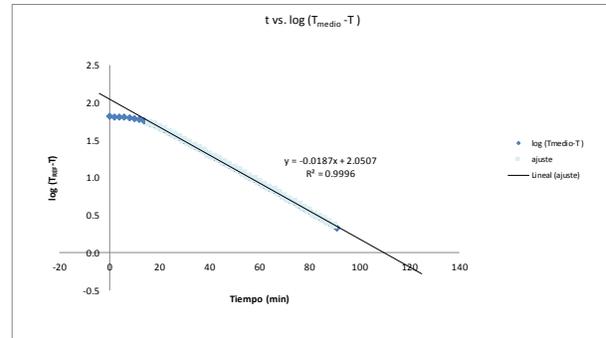
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log(T_medio-T)
0	85	19.9	65.1	1.8
2	85	20.2	64.8	1.8
4	85	20.6	64.4	1.8
6	85	20.9	64.1	1.8
8	85	21.8	63.2	1.8
10	85	23.3	61.7	1.8
12	85	25.8	59.2	1.8
14	85	28.8	56.2	1.7
16	85	31.9	53.1	1.7
18	85	35.2	49.8	1.7
20	85	38.6	46.4	1.7
22	85	42.0	43.0	1.6
24	85	45.1	39.9	1.6
26	85	48.3	36.7	1.6
28	85	51.0	34.0	1.5
30	85	53.7	31.3	1.5
32	85	56.1	28.9	1.5
34	85	58.9	26.1	1.4
36	85	60.6	24.4	1.4
38	85	62.6	22.4	1.4
40	85	64.8	20.2	1.3
42	85	66.1	18.9	1.3
44	85	67.6	17.4	1.2
46	85	69.1	15.9	1.2
48	85	70.4	14.6	1.2
50	85	71.6	13.4	1.1
52	85	72.7	12.3	1.1
54	85	73.7	11.3	1.1
56	85	74.8	10.2	1.0
58	85	75.6	9.4	1.0
60	85	76.4	8.6	0.9
62	85	77.2	7.8	0.9
64	85	77.8	7.2	0.9
66	85	78.3	6.7	0.8
68	85	78.9	6.1	0.8
70	85	79.4	5.6	0.7
72	85	79.9	5.1	0.7
74	85	80.3	4.7	0.7
76	85	80.7	4.3	0.6
78	85	81.1	3.9	0.6
80	85	81.4	3.6	0.6
82	85	81.8	3.2	0.5
84	85	82.0	3.0	0.5
86	85	82.2	2.8	0.4
88	85	82.5	2.5	0.4
90	85	82.7	2.3	0.4
91	85	82.9	2.1	0.3
92	85	83.0		
94	68.8	83.2		
96	51.4	83.1		
98	41.8	83.0		
100	36.5	82.6		
102	32.7	81.8		
104	30.3	80.6		
106	29.2	78.7		
108	27.3	76.7		
110	26.2	74.4		
112	25.6	71.8		
114	25.1	69.7		
116	24.8	66.5		
118	24.6	63.9		
120	24.4	61.2		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 57.14 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de de la recta con el eje Y.

$$\begin{aligned} \log(T_{medio} - T_{P0}) &= 2.0507 \\ T_{medio} - T_{P0} &= 112.38284 \\ T_{medio} - T_0 &= 65.1 \end{aligned}$$

$j_h = 1.73$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.43932 kg
calor especif:	3920 J/kgK
Área:	0.035145625 m <sup>2</sup>
diámetro:	0.0736 m
altura:	0.1152 m
U =	0.032913685 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>32.91368461 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.0368 m
altura:	0.1152 m
f <sub>h</sub> :	57.14 min

ividad térmica): **0.0000257 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	57.14	min
j <sub>h</sub>	1.73	
U	32.914	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.0000257	m <sup>2</sup> /s.



Datos de la corrida experimental	
Envase:	Hojalata
Dimensiones:	72.5 x 108.2 mm
Peso vacío:	79.815

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	15.50%
Peso del producto (g)	433.965
Temperatura de pasteurización (°C)	85

Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).

T <sub>ref</sub> (°C) =	93.3
z (°C) =	8.3
D (min) =	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C) =	21.6
D <sub>c</sub> (min) =	12.5

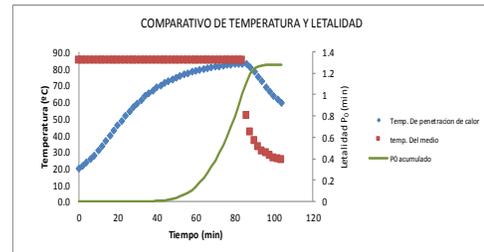
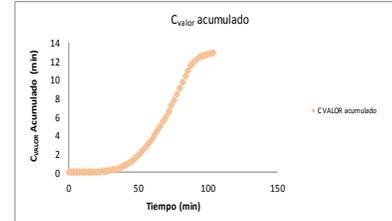
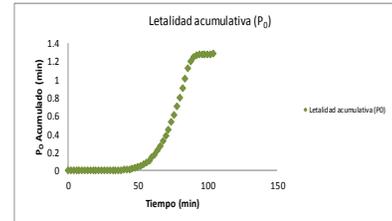
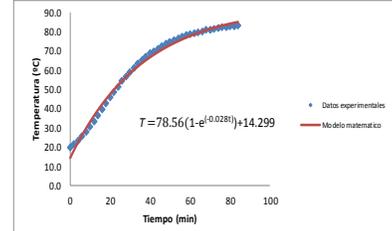
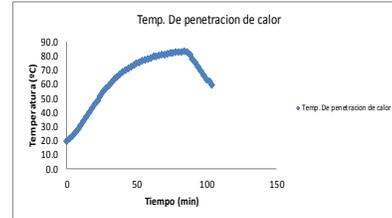
Constantes del modelo matemático empírico.

A =	78.56176141
K =	0.027496312
B =	14.29859653

$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

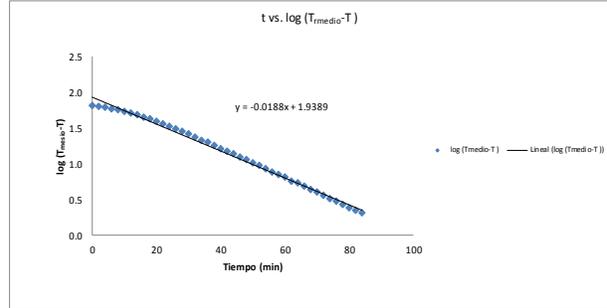
time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	dif^2	dif
0	85	19.7	0	0	14.29859653	29.1751594	5.4014035
2	85	21.5	3.56167E-09	0.000943281	18.50228907	8.689117635	2.9477309
4	85	23.4	9.50149E-09	0.00209834	22.48101204	0.755140072	0.868988
6	85	25.5	2.0019E-08	0.003550923	26.24686095	0.557801278	-0.748861
8	85	27.8	3.96356E-08	0.005407114	29.8112073	4.044954818	-2.011207
10	85	30.5	7.92455E-08	0.007869226	33.18483307	7.479311948	-2.734833
12	85	33.4	1.65875E-07	0.011223256	36.37794332	9.168440728	-3.027943
14	85	36.4	3.63311E-07	0.015841278	39.40019703	9.303701919	-3.050197
16	85	39.5	8.30555E-07	0.022302122	42.26073638	7.621665376	-2.760736
18	85	42.6	1.92854E-06	0.031245322	44.96821437	5.847760729	-2.418214
20	85	45.6	4.48752E-06	0.043624638	47.53082097	3.728069626	-1.930821
22	85	48.6	1.03737E-05	0.060578582	49.95630795	1.977702063	-1.406308
24	85	51.4	2.32228E-05	0.083429327	52.25201229	0.813626179	-0.902012
26	85	54.2	5.12418E-05	0.114227858	54.42487838	0.075558126	-0.274878
28	85	56.6	0.000107784	0.154005689	56.48147904	0.004695122	0.068521
30	85	58.9	0.000215831	0.20483598	58.42803537	0.178054149	0.4219646
32	85	61.1	0.000416681	0.269100969	60.27043562	0.607720625	0.7795644
34	85	63.5	0.000803661	0.352545978	62.01425295	2.207444287	1.485747
36	85	65.0	0.001444492	0.449939483	63.66476234	1.651835851	1.2852377
38	85	66.7	0.002452492	0.567307161	65.22695648	2.169857217	1.4730435
40	85	68.6	0.004133638	0.711025265	66.7056094	3.58889359	1.8944391
42	85	69.8	0.00665192	0.874356667	68.10504842	2.87286065	1.6949516
44	85	71.2	0.01028429	1.062966674	69.42965231	2.959596166	1.7203477
46	85	72.4	0.015462173	1.278461776	70.68337947	2.946786047	1.7166205
48	85	73.6	0.022688881	1.522062258	71.87002236	2.822324885	1.6799776
50	85	74.6	0.03242675	1.79451379	72.99317051	2.581901014	1.6068295
52	85	75.5	0.045179688	2.094399604	74.0562214	2.084496657	1.4437786
54	85	76.4	0.06142276	2.422727492	75.06239069	1.657937723	1.2876093
56	85	77.3	0.082145807	2.784116085	76.01472202	1.525911696	1.235278
58	85	77.9	0.107744306	3.171433507	76.91609612	0.968066849	0.9839039
60	85	78.5	0.137944064	3.582138513	77.76823961	0.463434707	0.6807604
62	85	79.2	0.174201743	4.027028076	78.57673321	0.388461488	0.6232668
64	85	79.6	0.216565975	4.491298199	79.34101955	0.067070873	0.2589904
66	85	80.1	0.264604729	4.980985548	80.06441056	0.001266609	0.0355894
68	85	80.6	0.31979121	5.497481632	80.74909445	0.02229155	-0.149094
70	85	81.0	0.381807453	6.033612406	81.39714236	0.19936294	-0.447142
72	85	81.4	0.450647747	6.593098446	82.01051462	0.436279558	-0.660515
74	85	81.7	0.527007919	7.173853448	82.59106662	0.79399973	-0.891067
76	85	82.0	0.609947331	7.77029382	83.14055453	1.417420094	-1.190555
78	85	82.3	0.699485522	8.386118843	83.66064051	1.989906854	-1.410641
80	85	82.6	0.796794497	9.0219524	84.15288978	2.569281353	-1.602898
82	85	82.8	0.901041737	9.671489661	84.61881545	3.492471172	-1.868815
84	85	83.0	1.011236498	10.33502389	85.05980283	4.451267993	-2.109803
86	85	82.5	1.117841875	10.96747942			
88	41.8	80.7	1.198155614	11.48951086			
90	36.5	77.9	1.242439608	11.87682828			
92	32.7	75.2	1.262894825	12.16573139			
94	30.3	72.4	1.272391512	12.38008095			
96	29.2	69.8	1.276500471	12.52689605			
98	27.3	66.3	1.278168592	12.63876645			
100	26.2	63.3	1.27858871	12.720017			
102	25.6	61.5	1.279346049	12.78743995			
104	25.1	59.4	1.279574724	12.84105303			

Promedio	3.2
S2(exp)	421.9
S2(dif)	3.246653
R <sup>2</sup> =	0.9923



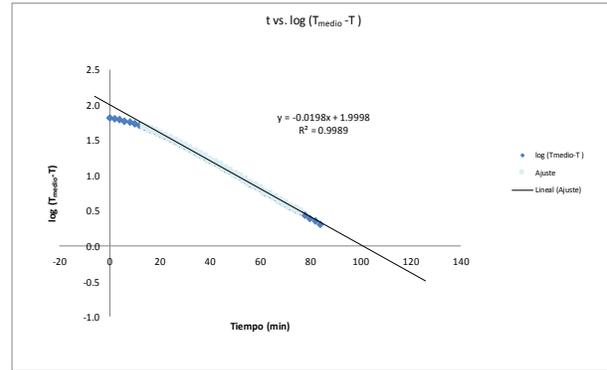
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	85	19.7	65.3	1.8
2	85	21.5	63.6	1.8
4	85	23.4	61.7	1.8
6	85	25.5	59.5	1.8
8	85	27.8	57.2	1.8
10	85	30.5	54.6	1.7
12	85	33.4	51.7	1.7
14	85	36.4	48.7	1.7
16	85	39.5	45.5	1.7
18	85	42.6	42.5	1.6
20	85	45.6	39.4	1.6
22	85	48.6	36.5	1.6
24	85	51.4	33.7	1.5
26	85	54.2	30.9	1.5
28	85	56.6	28.5	1.5
30	85	58.9	26.2	1.4
32	85	61.1	24.0	1.4
34	85	63.5	21.5	1.3
36	85	65.0	20.1	1.3
38	85	66.7	18.3	1.3
40	85	68.6	16.4	1.2
42	85	69.8	15.2	1.2
44	85	71.2	13.9	1.1
46	85	72.4	12.6	1.1
48	85	73.6	11.5	1.1
50	85	74.6	10.4	1.0
52	85	75.5	9.5	1.0
54	85	76.4	8.7	0.9
56	85	77.3	7.8	0.9
58	85	77.9	7.1	0.9
60	85	78.5	6.6	0.8
62	85	79.2	5.8	0.8
64	85	79.6	5.4	0.7
66	85	80.1	4.9	0.7
68	85	80.6	4.4	0.6
70	85	81.0	4.1	0.6
72	85	81.4	3.7	0.6
74	85	81.7	3.3	0.5
76	85	82.0	3.1	0.5
78	85	82.3	2.8	0.4
80	85	82.6	2.4	0.4
82	85	82.8	2.3	0.4
84	85	83.0	2.1	0.3
86	51.4	82.5		
88	41.8	80.7		
90	36.5	77.9		
92	32.7	75.2		
94	30.3	72.4		
96	29.2	68.8		
98	27.3	66.3		
100	26.2	63.3		
102	25.6	61.5		
104	25.1	59.4		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 53.19 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$\log(T_{medio} - T_{P0}) = 1.9998$   
 $T_{medio} - T_{P0} = 99.953959$   
 $T_{medio} - T_0 = 65.3$

$j_h = 1.53$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

- masa: 0.433965 kg
- calor especif: 3920 J/kgK
- Área: 0.032900722 m<sup>2</sup>
- diametro: 0.0725 m
- altura: 0.1082 m
- U = 0.037310914 (kW/m<sup>2</sup>K)
- U = 37.31091355 (W/m<sup>2</sup>K)**

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

- radio: 0.03825 m
- altura: 0.1082 m
- $f_h$ : 53.19 min

visidad térmica): **0.00000246 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

$f_h$	53.19	min
$j_h$	1.53	
U	37.311	(W/m <sup>2</sup> K)
$\alpha$	0.00000246	m <sup>2</sup> /s.



Datos de la corrida experimental

Envase :	Vidrio
Dimensiones:	73.6 x 115.2 mm
Peso vacío	259.975 g

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	15.50%
Peso del producto (g)	439.315
Temperatura de pasteurización (°C)	85

Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).

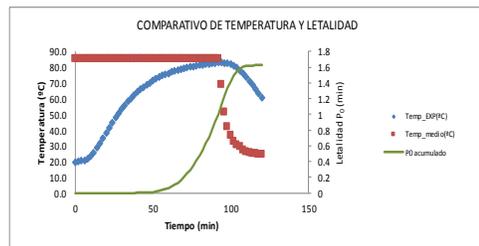
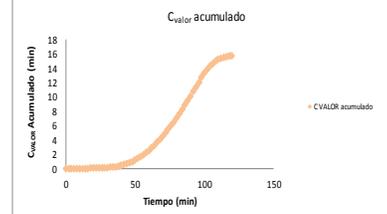
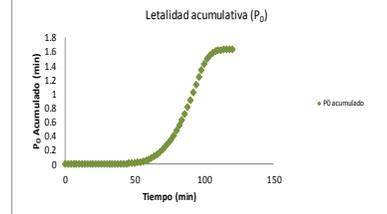
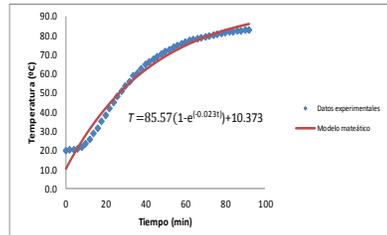
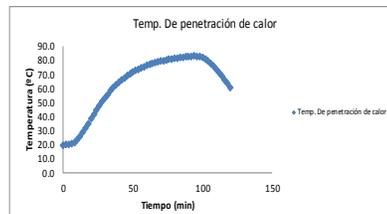
T <sub>ref</sub> (°C) =	93.3
z (°C) =	8.3
D (min) =	0.1 - 0.5
Z <sub>0</sub> (°C) =	21.6
D <sub>0</sub> (min) =	12.5

Constantes del modelo matemático empírico.

A =	85.57267261
K =	0.023012063
B =	10.3732227

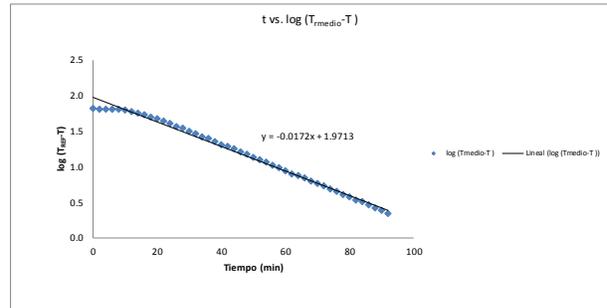
$$T_{calc} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	dif*2	dif
0	85	19.8	0	0	10.3732227	87.92395258	9.3767773
2	85	20.1	2.87099E-09	0.000812505	14.22237379	33.96122729	5.8276262
4	85	20.4	6.01385E-09	0.001655898	17.89838591	6.258073064	2.5016141
6	85	20.8	9.47718E-09	0.002531353	21.40904704	0.434343002	-0.659047
8	85	21.6	1.35914E-08	0.003489839	24.76179485	9.996946678	-3.161795
10	85	23.2	1.94233E-08	0.004620532	27.96373245	23.17202009	-4.813732
12	85	25.6	2.99289E-08	0.006089683	31.02164344	29.3942176	-5.421643
14	85	28.6	5.27062E-08	0.00809372	33.9420063	29.07373192	-5.392006
16	85	31.7	1.05861E-07	0.010897472	36.73100809	25.81664317	-5.081008
18	85	34.9	2.35225E-07	0.01485411	39.39455757	20.20104771	-4.494558
20	85	38.4	5.66857E-07	0.020569536	41.93829722	12.87588051	-3.588298
22	85	41.6	1.39679E-06	0.028651398	44.36761177	7.659707706	-2.767618
24	85	44.8	3.42136E-06	0.040018758	46.68766424	3.563276283	-1.887664
26	85	48.0	8.29234E-06	0.055922267	48.90335259	0.90888116	-0.953353
28	85	50.7	1.89976E-05	0.077129937	51.01937689	0.136439285	-0.369377
30	85	53.4	4.16387E-05	0.10541082	53.04022013	0.095963567	0.3097799
32	85	55.8	8.73451E-05	0.14213219	54.97016367	0.688628339	0.8298363
34	85	58.6	0.000193638	0.19162573	56.81329626	3.19231025	1.7867037
36	85	60.3	0.000355303	0.250962707	58.57352276	2.980723647	1.7284772
38	85	62.3	0.000645111	0.324377851	60.25457238	4.183774148	2.0454276
40	85	64.5	0.001163483	0.416718146	61.86000657	6.708065956	2.5899934
42	85	65.8	0.001983876	0.523346744	63.3932266	5.792558185	2.4067734
44	85	67.3	0.003207004	0.648466616	64.85748074	5.965900318	2.4425193
46	85	68.8	0.005061367	0.79528172	66.25587115	6.472591586	2.5441288
48	85	70.1	0.007781305	0.963919906	67.59136046	6.293272363	2.5086395
50	85	71.4	0.011650727	1.156595316	68.86677801	6.166391459	2.483222
52	85	72.5	0.016993327	1.373242086	70.0848259	5.594048501	2.3651741
54	85	73.5	0.02412822	1.614259551	71.24808469	4.84843102	2.2019153
56	85	74.6	0.033694976	1.885262764	72.35901885	4.800398415	2.1909812
58	85	75.3	0.045984087	2.178822617	73.41998198	3.534467741	1.880018
60	85	76.2	0.061350474	2.500224572	74.43322186	2.947327198	1.7167781
62	85	77.0	0.080803241	2.852109258	75.4008851	2.557168448	1.5991149
64	85	77.6	0.104330413	3.225241974	76.32502182	1.500571547	1.2249782
66	85	78.1	0.131532598	3.61880245	77.20758987	0.709654835	0.8424101
68	85	78.7	0.163252185	4.038357791	78.05045905	0.359449351	0.599541
70	85	79.2	0.200436939	4.483247355	78.85541507	0.118738774	0.3445849
72	85	79.7	0.243113434	4.949998671	79.6241633	0.000667535	0.0258367
74	85	80.1	0.291464451	5.43968602	80.35833241	0.066735632	-0.258332
76	85	80.5	0.345843684	5.950705438	81.05947779	0.313015401	-0.559478
78	85	80.9	0.406604814	6.483986206	81.72908491	0.68738178	-0.8
80	85	81.2	0.47351655	7.034597114	82.36857237	1.36561378	-1.2
82	85	81.6	0.54730072	7.60919408	82.97929499	1.902454681	-1.4
84	85	81.8	0.627395964	8.196173113	83.56254666	3.106570723	-1.8
86	85	82.1	0.712668493	8.799005619	84.11956303	4.283091151	-2.1
88	85	82.4	0.804725428	9.421428503	84.65152421	5.297013699	-2.3
90	85	82.6	0.90334615	10.05726406	85.1595572	6.809788796	-2.6
92	85	82.8	1.008341626	10.71027263	85.64473832	8.092536121	-2.8
94	68.8	83.0	1.120075549	11.37735298	Promedio	8.4853541	
96	51.4	82.6	1.228877803	12.01658662	S2(exp)	483.7	
98	41.8	82.4	1.328878025	12.64233591	S2(dif)	8.6698183	
100	36.5	81.8	1.418646754	13.22931495	R <sup>2</sup> =	0.9621	
102	32.7	80.8	1.490992258	13.75694107			
104	30.3	79.6	1.544227641	14.21874319			
106	29.2	77.8	1.579657397	14.59991659			
108	27.3	75.8	1.600722136	14.9079019			
110	26.2	73.5	1.612464473	15.14891936			
112	25.6	70.9	1.618524416	15.33257022			
114	25.1	68.6	1.621582273	15.47628832			
116	24.8	65.8	1.623125449	15.58291892			
118	24.6	63.4	1.623857931	15.66504024			
120	24.4	60.8	1.624224049	15.72728253			



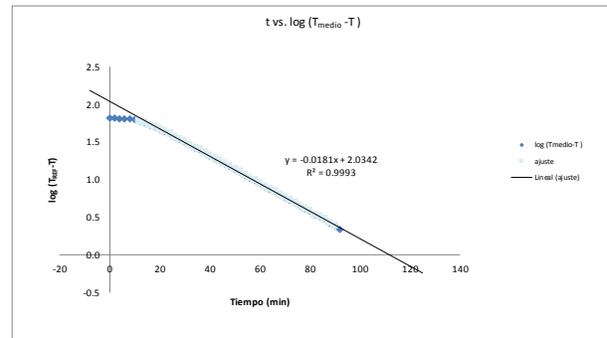
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	85	19.8	65.3	1.8
2	85	20.1	65.0	1.8
4	85	20.4	64.6	1.8
6	85	20.8	64.3	1.8
8	85	21.6	63.4	1.8
10	85	23.2	61.9	1.8
12	85	25.6	59.4	1.8
14	85	28.6	56.5	1.8
16	85	31.7	53.4	1.7
18	85	34.9	50.1	1.7
20	85	38.4	46.7	1.7
22	85	41.6	43.4	1.6
24	85	44.8	40.2	1.6
26	85	48.0	37.1	1.6
28	85	50.7	34.4	1.5
30	85	53.4	31.7	1.5
32	85	55.8	29.2	1.5
34	85	58.6	26.4	1.4
36	85	60.3	24.7	1.4
38	85	62.3	22.7	1.4
40	85	64.5	20.6	1.3
42	85	65.8	19.2	1.3
44	85	67.3	17.7	1.2
46	85	68.8	16.2	1.2
48	85	70.1	14.9	1.2
50	85	71.4	13.7	1.1
52	85	72.5	12.6	1.1
54	85	73.5	11.6	1.1
56	85	74.6	10.5	1.0
58	85	75.3	9.7	1.0
60	85	76.2	8.8	0.9
62	85	77.0	8.0	0.9
64	85	77.6	7.5	0.9
66	85	78.1	7.0	0.8
68	85	78.7	6.3	0.8
70	85	79.2	5.8	0.8
72	85	79.7	5.3	0.7
74	85	80.1	4.9	0.7
76	85	80.5	4.5	0.7
78	85	80.9	4.1	0.6
80	85	81.2	3.8	0.6
82	85	81.6	3.4	0.5
84	85	81.8	3.2	0.5
86	85	82.1	3.0	0.5
88	85	82.4	2.7	0.4
90	85	82.6	2.5	0.4
92	85	82.8	2.2	0.3
94	68.8	83.0		
96	51.4	82.6		
98	41.8	82.4		
100	36.5	81.8		
102	32.7	80.8		
104	30.3	79.6		
106	29.2	77.8		
108	27.3	75.8		
110	26.2	73.5		
112	25.6	70.9		
114	25.1	68.6		
116	24.8	65.8		
118	24.6	63.4		
120	24.4	60.8		



De la gráfica se obtiene:

$$f_h = 58.14 \text{ min}$$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$$\log(T_{medio} - T_{P0}) = 2.0342$$

$$T_{medio} - T_{P0} = 108.19321$$

$$T_{medio} - T_0 = 65.3$$

$$j_h = 1.66$$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = \left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.439315 kg
calor especif:	3920 J/kgK
Área:	0.035145625 m <sup>2</sup>
diámetro:	0.0736 m
altura:	0.1152 m
U =	0.032349082 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>32.34908184 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio: 0.0368 m

altura: 0.1152 m

f<sub>h</sub>: 58.14 min

ividad térmica): 0.0000254 m<sup>2</sup>/s.

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	58.14	min
j <sub>h</sub>	1.66	
U	32.349	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.0000254	m <sup>2</sup> /s.



Datos de la corrida experimental

Envase :	Hojalata
Dimensiones:	72.5 x 108.2 mm
Peso vacío	79.88

Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).

T <sub>ref</sub> (°C) =	93.3
z (°C) =	8.3
D (min) =	0.1 - 0.5
Z <sub>0</sub> (°C) =	21.6
D <sub>0</sub> (min) =	12.5

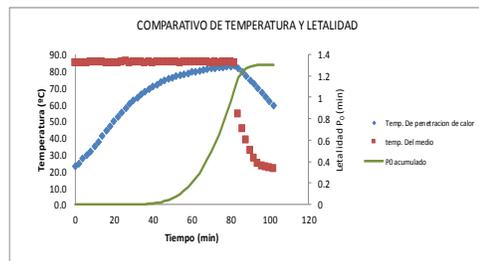
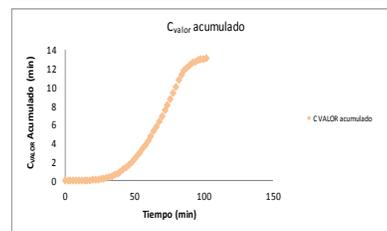
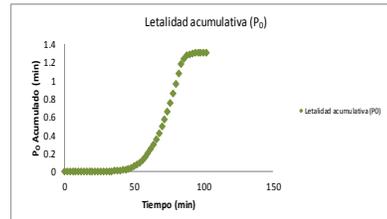
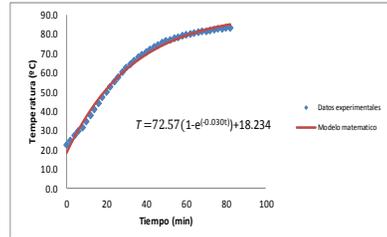
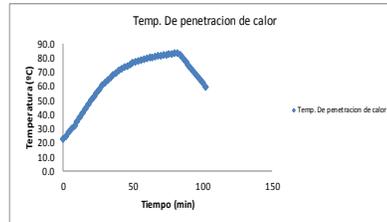
Constantes del modelo matemático empírico.

A =	72.57462434
K =	0.030289253
B =	18.2342466

$$T_{col} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

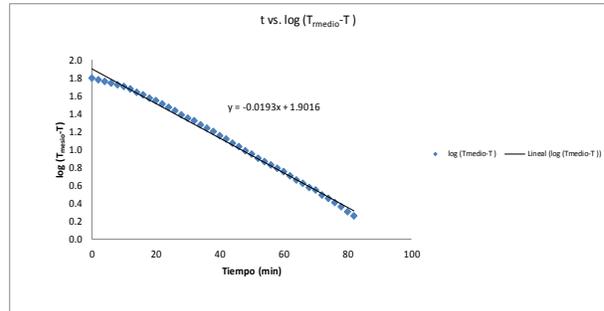
time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	dif*2	dif
0	85	22.7	0	0	18.2342466	19.49887811	4.4157534
2	85	24.7	8.43268E-09	0.00132675	22.50019214	4.621673833	2.1498079
4	85	27.3	2.49632E-08	0.003086596	26.51538487	0.615620905	0.7846151
6	85	29.8	5.8493E-08	0.005383882	30.29456406	0.244593612	-0.494564
8	85.2	31.7	1.18199E-07	0.008181983	33.85160263	4.847054135	-2.201603
10	85.4	34.7	2.41398E-07	0.012034568	37.19955802	6.500246102	-2.549558
12	85.1	37.7	5.24571E-07	0.017339027	40.35072017	7.293889459	-2.70072
14	85.1	40.9	1.20802E-06	0.024839766	43.31665662	5.840229218	-2.416657
16	85	44.0	2.84293E-06	0.035277993	46.10825496	4.444738927	-2.108255
18	85	47.1	6.66911E-06	0.049726511	48.73576278	2.841796137	-1.685763
20	85	49.9	1.51683E-05	0.069200545	51.20882536	1.846406368	-1.358825
22	85	52.6	3.34751E-05	0.095308372	53.53652102	0.877071623	-0.936521
24	85.4	55.2	7.12888E-05	0.129571444	55.72739444	0.333384334	-0.577394
26	85.6	57.7	0.000147296	0.174298162	57.78948803	0.019456912	-0.139488
28	85	60.3	0.000303679	0.233625139	59.73037151	0.324476613	0.5696285
30	85.2	62.3	0.000593487	0.307050283	61.55716962	0.551796979	0.7428304
32	85.5	64.1	0.001080928	0.396006877	63.2765883	0.678006832	0.8234117
34	85.2	66.0	0.001898125	0.504935272	64.89493933	1.221159078	1.1050607
36	85	67.7	0.003224138	0.634811599	66.41816349	1.517421186	1.2318365
38	85.1	69.2	0.005284783	0.788022354	67.85186234	1.817502111	1.3481477
40	85	70.7	0.008400017	0.966843505	69.20126878	2.098822148	1.4487312
42	85.2	72.0	0.012944144	1.172245222	70.47136635	2.186357467	1.4786336
44	85.2	73.2	0.019356517	1.40567681	71.66680743	2.199860206	1.4831926
46	85.2	74.3	0.028159302	1.668150364	72.79198033	2.125821365	1.4580197
48	85.2	75.3	0.039915176	1.960149689	73.85101542	1.957157847	1.3989846
50	85.2	76.2	0.055188146	2.281551644	74.8478003	1.695724053	1.3021997
52	85.1	76.9	0.074343561	2.629705121	75.78599404	1.241009272	1.114006
54	85	77.7	0.097929491	3.006836751	76.69904063	0.962281279	0.9809594
56	85.1	78.3	0.126317488	3.408878114	77.50018164	0.562227578	0.7498184
58	85.3	78.8	0.159596632	3.835196143	78.28246807	0.267839302	0.5175319
60	85.5	79.4	0.1993614	4.287256749	79.0187716	0.109712251	0.3312284
62	85.2	79.9	0.243181339	4.76406615	79.71179512	0.019100588	0.1382049
64	85.1	80.4	0.294670073	5.266979262	80.36408264	0.000198321	-0.014083
66	85.1	80.8	0.352954637	5.791800592	80.9790286	0.051997045	-0.228029
68	85.4	81.2	0.418559455	6.342411499	81.55588675	0.12665381	-0.355887
70	85	81.5	0.490756594	6.907893628	82.09977833	0.422211874	-0.649778
72	85.1	81.9	0.569839692	7.48009646	82.61169899	0.580186715	-0.7617
74	85	82.2	0.656928055	8.107302791	83.09353063	0.890250051	-0.943531
76	85.1	82.4	0.750895586	8.733052082	83.5470393	1.315699164	-1.147039
78	85.2	82.7	0.85233931	9.379136482	83.97389068	1.622797465	-1.273891
80	85.2	83.0	0.961796143	10.04267071	84.37565168	2.03248271	-1.4
82	85	83.2	<b>1.078277445</b>	<b>10.7205352</b>	<b>84.75379712</b>	<b>2.572165189</b>	<b>-1.6</b>
84	54.2	81.7	1.178166064	11.30125852		Promedio	2.2
86	45.1	79.4	1.239056494	11.75331913		S2(exp)	368.2
88	38.4	77.0	1.270632874	12.10333324		S2(dif)	2.2189258
90	32.2	74.4	1.286634173	12.37003752		R <sup>2</sup> =	<b>0.9940</b>
92	27.7	72.2	1.294786972	12.58086885			
94	24.5	69.8	1.299110927	12.74344901			
96	22.9	67.3	1.301292067	12.86790376			
98	22.1	64.8	1.302382198	12.96324279			
100	21.6	62.1	1.302919644	13.03511906			
102	21.2	59.6	1.303179659	13.08988745			

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	7.00%
Peso del producto (g)	422.74
Temperatura de pasteurización (°C)	85



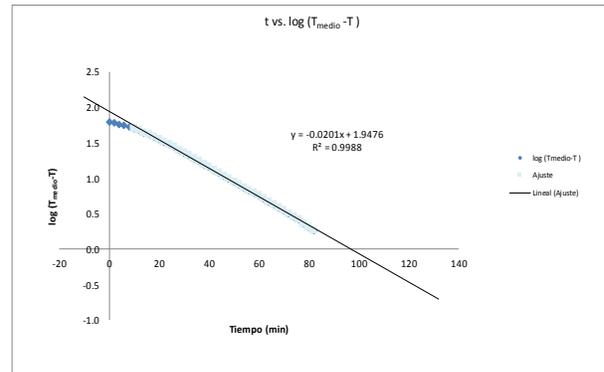
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T )
0	85	22.7	62.4	1.8
2	85	24.7	60.4	1.8
4	85	27.3	57.7	1.8
6	85	29.8	55.2	1.7
8	85.2	31.7	53.4	1.7
10	85.4	34.7	50.4	1.7
12	85.1	37.7	47.4	1.7
14	85.1	40.9	44.1	1.6
16	85	44.0	41.0	1.6
18	85	47.1	38.0	1.6
20	85	49.9	35.2	1.5
22	85	52.6	32.4	1.5
24	85.4	55.2	29.9	1.5
26	85.6	57.7	27.4	1.4
28	85	60.3	24.7	1.4
30	85.2	62.3	22.7	1.4
32	85.5	64.1	20.9	1.3
34	85.2	66.0	19.0	1.3
36	85	67.7	17.4	1.2
38	85.1	69.2	15.8	1.2
40	85	70.7	14.4	1.2
42	85.2	72.0	13.1	1.1
44	85.2	73.2	11.9	1.1
46	85.2	74.3	10.8	1.0
48	85.2	75.3	9.8	1.0
50	85.2	76.2	8.8	0.9
52	85.1	76.9	8.1	0.9
54	85	77.7	7.3	0.9
56	85.1	78.3	6.8	0.8
58	85.3	78.8	6.2	0.8
60	85.5	79.4	5.7	0.8
62	85.2	79.9	5.2	0.7
64	85.1	80.4	4.7	0.7
66	85.1	80.8	4.3	0.6
68	85.4	81.2	3.8	0.6
70	85	81.5	3.6	0.6
72	85.1	81.9	3.2	0.5
74	85	82.2	2.8	0.5
76	85.1	82.4	2.6	0.4
78	85.2	82.7	2.3	0.4
80	85.2	83.0	2.1	0.3
82	85	83.2	1.8	0.3
84	54.2	81.7		
86	45.1	79.4		
88	38.4	77.0		
90	32.2	74.4		
92	27.7	72.2		
94	24.5	69.8		
96	22.9	67.3		
98	22.1	64.8		
100	21.6	62.1		
102	21.2	59.6		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 51.81 \text{ min}$



Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa: 0.42274 kg  
 calor especific: 3920 J/kgK  
 Área: 0.032900722 m<sup>2</sup>  
 diametro: 0.0725 m  
 altura: 0.1082 m  
 $U = 0.037312468 \text{ (kW/m}^2\text{K)}$   
 $U = 37.31246845 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio: 0.03625 m  
 altura: 0.1082 m  
 $f_h = 51.81 \text{ min}$

ividad térmica):  $0.00000250 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

$f_h$	51.81	min
$j_h$	1.42	
$U$	37.312	(W/m <sup>2</sup> K)
$\alpha$	0.00000250	m <sup>2</sup> /s.

Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$\log(T_{medio} - T_{P0}) = 1.9476$   
 $T_{medio} - T_{P0} = 88.633929$   
 $T_{medio} - T_0 = 62.4$

$j_h = 1.42$



**Datos de la corrida experimental**

Envase:	Vidrio
Dimensiones:	73.6 x 115.2 mm
Peso vacío:	260.22 g

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	7.00%
Peso del producto (g)	431.15
Temperatura de pasteurización (°C)	85

**Parámetros de termo-resistencia (Bacillus coagulans y proteínas del tomate).**

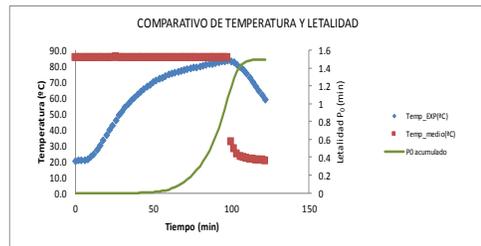
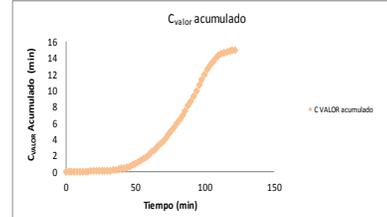
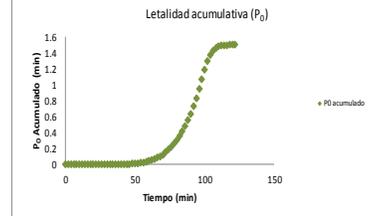
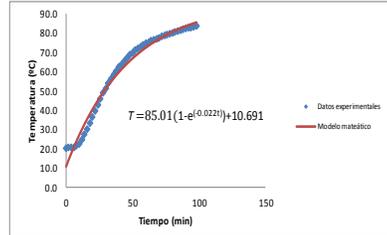
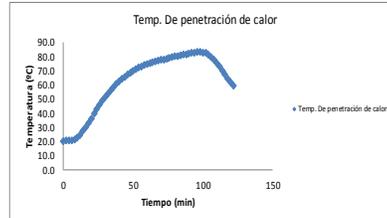
T <sub>ref</sub> (°C) =	93.3
z (°C) =	8.3
D (min) =	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C) =	21.6
D <sub>c</sub> (min) =	12.5

**Constantes del modelo matemático empírico.**

A =	85.01696521
K =	0.021648699
B =	10.69112705

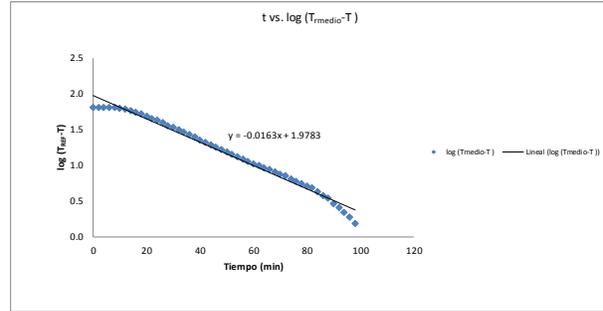
$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C <sub>VALOR</sub> acumulado	T_CALC (°C)	dif^2	dif
0	85	20.3	0	0	10.69112705	92.33043939	9.6
2	85	20.6	3.34424E-09	0.000861567	14.29358906	39.77081897	6.3
4	85	20.9	6.95264E-09	0.001746405	17.74340233	9.6509491	3.1
6	85	20.9	1.06861E-08	0.002631242	21.04703511	0.038622835	-0.2
8	85.2	21.4	1.47273E-08	0.003569508	24.21068158	7.8993030954	-2.8
10	85.4	22.7	1.99775E-08	0.004641513	27.24027344	21.07061026	-4.6
12	85.1	24.7	2.84102E-08	0.005968263	30.14149104	30.15647389	-5.5
14	85.1	27.2	4.4635E-08	0.007709448	32.91977405	32.71581522	-5.7
16	85	30.0	7.91345E-08	0.010056239	35.58033163	31.1401011	-5.6
18	85	33.1	1.57842E-07	0.013304704	38.12815221	25.78762983	-5.1
20	85	36.3	3.48603E-07	0.017898176	40.56801284	18.21593359	-4.3
22	85	39.6	8.18557E-07	0.024393549	42.90448816	11.25259083	-3.4
24	85.4	42.7	1.95379E-06	0.033480902	45.14195897	5.963163603	-2.4
26	85.6	45.7	4.59579E-06	0.045992889	47.28462042	2.511021876	-1.6
28	85	48.9	1.09099E-05	0.06359134	49.33648992	0.190523448	-0.4
30	85.2	51.4	2.43326E-05	0.086564206	51.30141463	0.009719076	0.1
32	85.5	53.8	5.06989E-05	0.116234803	53.1830787	0.380591889	0.6
34	85.2	56.2	0.000102009	0.15455854	54.98501018	1.476200266	1.2
36	85	58.4	0.000197443	0.202747797	56.71058761	2.687672999	1.6
38	85.1	60.3	0.000364688	0.262074774	58.36304637	3.751789381	1.9
40	85	62.2	0.000649459	0.334721355	59.94548475	5.08239013	2.3
42	85.2	63.9	0.001115491	0.421801448	61.46086976	5.949356316	2.4
44	85.2	65.6	0.001856009	0.525627843	62.91204269	6.958818791	2.6
46	85.2	67.1	0.002997182	0.647457274	64.30172441	7.55301873	2.7
48	85.2	68.5	0.004712934	0.789651463	65.63252052	8.22438551	2.9
50	85.2	69.7	0.007175319	0.951249992	66.90692622	7.801261156	2.8
52	85.1	70.9	0.010582819	1.133924583	68.12733095	7.412926771	2.7
54	85	71.9	0.015196566	1.33823441	69.29602292	6.780696633	2.6
56	85.1	72.9	0.021273793	1.564318882	70.41519338	5.928263259	2.4
58	85.3	73.7	0.029061167	1.811845888	71.48694074	4.89763131	2.2
60	85.5	74.6	0.038919436	2.082849101	72.51327446	4.148250945	2.0
62	85.2	75.2	0.05093214	2.371752212	73.49611888	2.735322772	1.7
64	85.1	75.7	0.065014588	2.678100304	74.43731679	1.594368891	1.3
66	85.1	76.3	0.081541625	3.004682842	75.3386329	0.924226699	1.0
68	85.4	76.8	0.100772603	3.349144673	76.20175714	0.357894518	0.6
70	85	77.4	0.123197225	3.716358381	77.02830783	0.138155069	0.4
72	85.1	78.0	0.149485524	4.105745739	77.81983472	0.016943001	0.1
74	85	78.6	0.180337241	4.520852326	78.57782188	0.000774057	0.0
76	85.1	79.1	0.216236519	4.958684602	79.30369051	0.064358875	-0.3
78	85.2	79.5	0.256874025	5.415590003	79.98880159	0.301183181	-0.5
80	85.2	79.9	0.30280713	5.892399406	80.66445841	0.663342497	-0.8
82	85	80.2	0.352283737	6.384703785	81.30190905	1.326894468	-1.2
84	85.5	80.8	0.409082591	6.909525115	81.91234872	1.351054542	-1.2
86	85	81.2	0.474687409	7.460136022	82.49692195	1.68200654	-1.3
88	85	81.6	0.547835214	8.031678501	83.05672479	2.270219608	-1.5
90	85	82.1	0.631021924	8.637502565	83.59280686	2.239122989	-1.5
92	85	82.5	0.725168168	9.267422424	84.10617329	2.702271464	-1.6
94	85	82.8	0.829058289	9.920950596	84.59778661	3.205264839	-1.8
96	85	83.1	0.943063669	10.59755988	85.06856857	3.746225136	-1.9
98	85	83.4	1.067513144	11.2966892	85.51940188	4.323103497	-2.1
100	32.2	82.9	1.187463471	11.95318764	Promedio	8.7475811	
102	27.7	82.3	1.289821979	12.5723018	S2(exp)	476.2	
104	24.5	81.1	1.370631222	13.11417836	S2(dif)	8.9261031	
106	22.9	79.4	1.424816358	13.56623896	R <sup>2</sup> =	0.9813	
108	22.1	77.6	1.45833387	13.93937168			
110	21.6	75.2	1.477498254	14.22827479			
112	21.2	72.7	1.487254573	14.44959011			
114	21	70.0	1.492043065	14.61555319			
116	20.7	67.2	1.494297163	14.73934635			
118	20.5	64.4	1.495343667	14.83119379			
120	20.4	61.9	1.495835828	14.90117983			
122	20.3	59.2	1.496075156	14.95366197			



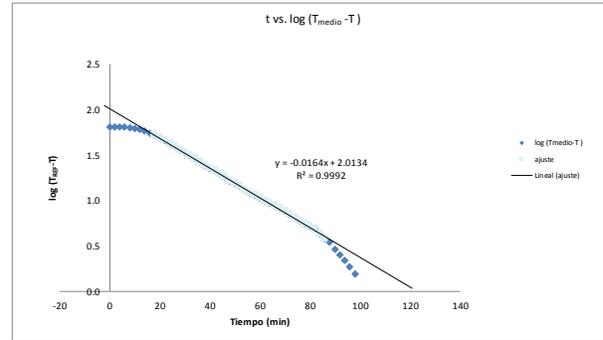
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	85	20.3	64.7	1.8
2	85	20.6	64.4	1.8
4	85	20.9	64.2	1.8
6	85	20.9	64.2	1.8
8	85.2	21.4	63.6	1.8
10	85.4	22.7	62.4	1.8
12	85.1	24.7	60.4	1.8
14	85.1	27.2	57.8	1.8
16	85	30.0	55.0	1.7
18	85	33.1	52.0	1.7
20	85	36.3	48.7	1.7
22	85	39.6	45.5	1.7
24	85.4	42.7	42.3	1.6
26	85.6	45.7	39.3	1.6
28	85	48.9	36.1	1.6
30	85.2	51.4	33.6	1.5
32	85.5	53.8	31.2	1.5
34	85.2	56.2	28.8	1.5
36	85	58.4	26.7	1.4
38	85.1	60.9	24.7	1.4
40	85	62.2	22.8	1.4
42	85.2	63.9	21.1	1.3
44	85.2	65.6	19.5	1.3
46	85.2	67.1	18.0	1.3
48	85.2	68.5	16.5	1.2
50	85.2	69.7	15.3	1.2
52	85.1	70.9	14.2	1.2
54	85	71.9	13.1	1.1
56	85.1	72.9	12.2	1.1
58	85.3	73.7	11.3	1.1
60	85.5	74.6	10.5	1.0
62	85.2	75.2	9.8	1.0
64	85.1	75.7	9.3	1.0
66	85.1	76.3	8.7	0.9
68	85.4	76.8	8.2	0.9
70	85	77.4	7.6	0.9
72	85.1	78.0	7.1	0.8
74	85	78.6	6.5	0.8
76	85.1	79.1	6.0	0.8
78	85.2	79.5	5.6	0.7
80	85.2	79.9	5.2	0.7
82	85	80.2	4.8	0.7
84	85.5	80.8	4.3	0.6
86	85	81.2	3.8	0.6
88	85	81.6	3.5	0.5
90	85	82.1	2.9	0.5
92	85	82.5	2.5	0.4
94	85	82.8	2.2	0.3
96	85	83.1	1.9	0.3
98	85	83.4	1.6	0.2
100	32.2		82.9	
102	27.7		82.3	
104	24.5		81.1	
106	22.9		79.4	
108	22.1		77.6	
110	21.6		75.2	
112	21.2		72.7	
114	21		70.0	
116	20.7		67.2	
118	20.5		64.4	
120	20.4		61.9	
122	20.3		59.2	



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 61.35 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{p0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

log(T\_medio-T\_p0) = 2.0134

T\_medio-T\_p0 = 103.13356

T\_medio-T\_0 = 64.7

$j_h = 1.59$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.43115 kg
calor especific:	3920 J/kgK
Área:	0.035145625 m <sup>2</sup>
diametro:	0.0736 m
altura:	0.1152 m
U =	0.030086625 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>30.0866251 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.0368 m
altura:	0.1152 m
$f_h$ :	61.35 min

viscosidad térmica:  $0.0000245 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

$f_h$	61.35	min
$j_h$	1.59	
U	30.087	(W/m <sup>2</sup> K)
$\alpha$	0.0000245	m <sup>2</sup> /s.



Datos de la corrida experimental

Envase :	Hojalata
Dimensiones:	72.5 x 108.2 mm
Peso vacío	79.88

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	24.00%
Peso del producto (g)	438.26
Temperatura de pasteurización (°C)	85

Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).

$T_{ref}$ (°C) =	93.3
$z$ (°C) =	8.3
$D$ (min) =	0.1 - 0.5
$Z_c$ (°C) =	21.6
$D_c$ (min) =	12.5

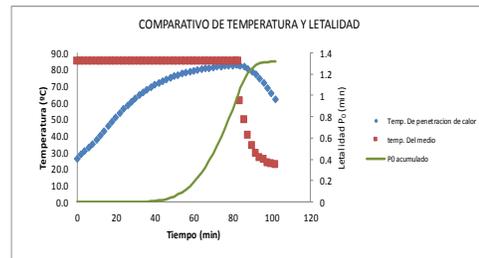
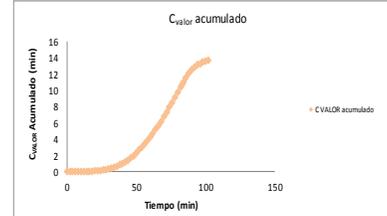
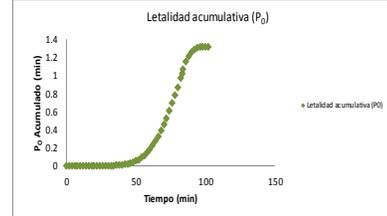
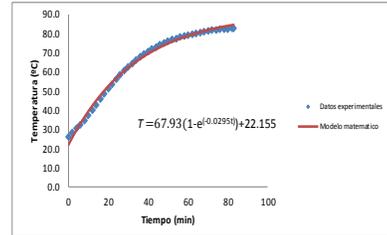
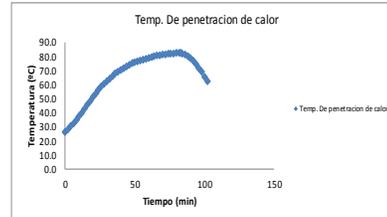
Constantes del modelo matemático empírico.

A =	67.93066676
K =	0.029526995
B =	22.15527766

$$T_{calc} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

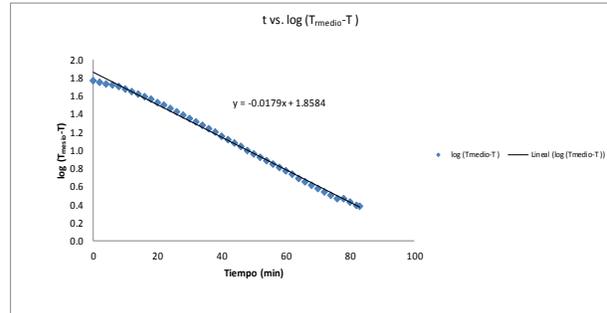
time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	dif*2	dif
0	85	26.1	0	0	22.15527766	15.56083431	-3.9
2	85	28.4	2.29616E-08	0.001968274	26.05070242	5.286769366	2.3
4	85	30.6	6.58251E-08	0.004470072	29.72274744	0.769572048	0.9
6	85	32.6	1.41679E-07	0.007549925	33.18422225	0.402237867	-0.6
8	85	34.8	2.77886E-07	0.011443798	36.44720181	2.880493997	-1.7
10	85	37.3	5.45215E-07	0.016553993	39.52306866	4.942034272	-2.2
12	85	40.0	1.09778E-06	0.023332321	42.42255261	6.113516411	-2.5
14	85	42.8	2.28343E-06	0.032468239	45.15576819	5.78772056	-2.4
16	85	45.6	4.88624E-06	0.044847556	47.7322499	4.546489635	-2.1
18	85	48.5	1.0625E-05	0.061621728	50.16098552	2.927471452	-1.7
20	85	51.1	2.2808E-05	0.083871538	52.45044742	1.823708231	-1.4
22	85	53.7	4.77497E-05	0.11307147	54.60862212	0.918956377	-1.0
24	85	56.1	9.69688E-05	0.150784633	56.64303819	0.35169429	-0.6
26	85	58.4	0.000191881	0.199234128	58.56079244	0.025854207	-0.2
28	85	60.6	0.000367577	0.260163443	60.36857474	0.032915124	0.2
30	85	62.6	0.000680954	0.3359747	62.07269135	0.27805441	0.5
32	85	64.4	0.001210699	0.427822135	63.67908688	0.519715723	0.7
34	85	66.1	0.002068677	0.537917931	65.19336506	0.821986906	0.9
36	85	67.7	0.003420488	0.668488354	66.62080829	1.164654753	1.1
38	85	69.2	0.00547528	0.82088466	67.96639602	1.40091837	1.2
40	85	70.6	0.008522339	0.997809681	69.23482221	1.729692622	1.3
42	85	71.8	0.012906164	1.199953108	70.4305116	1.875498475	1.4
44	85	73.0	0.019007821	1.428460559	71.55763523	1.938679654	1.4
46	85	74.0	0.02720432	1.682672919	72.62012494	1.768567681	1.3
48	85	75.0	0.038021408	1.965481745	73.6216871	1.764415155	1.3
50	85	75.8	0.051965912	2.275113012	74.56581556	1.523211236	1.2
52	85	76.6	0.069482822	2.612308572	75.45580379	1.30918496	1.1
54	85	77.3	0.091020282	2.97562853	76.29475643	1.010514635	1.0
56	85	77.9	0.116781482	3.362945952	77.08660006	0.663247262	0.8
58	85	78.6	0.147438348	3.77805254	77.83109345	0.516826622	0.7
60	85	79.1	0.183337626	4.215884815	78.53383718	0.266424057	0.5
62	85	79.6	0.224578387	4.677686936	79.19628268	0.125115943	0.4
64	85	80.1	0.271955396	5.164771166	79.82074082	0.052559771	0.2
66	85	80.5	0.325585542	5.673074067	80.40938996	0.001649176	0.0
68	85	80.9	0.385509673	6.203519979	80.96428352	0.013060723	-0.1
70	85	81.2	0.451979713	6.754130886	81.4873572	0.08257416	-0.3
72	85	81.5	0.524698541	7.322635115	81.98043567	0.230818437	-0.5
74	85	81.8	0.603728444	7.909614147	82.44523899	0.416333359	-0.6
76	85	82.1	0.68900973	8.512446653	82.88338857	0.694536515	-0.8
78	85	82.1	0.77729354	9.115279159	83.29641285	1.55354989	-1.2
80	85	82.3	0.868625866	9.734393318	83.68575261	1.920310287	-1.4
82	85	82.5	0.96888086	10.36684885	84.05278602	2.411082303	-1.6
83	85	82.6	1.016570918	10.68646567	84.22830335	2.651371795	-1.6
84	80.8	82.1	1.064320928	10.98788193			
86	49.6	81.5	1.146306683	11.55638615			
88	39.8	80.4	1.211705258	12.05929927			
90	33.7	78.8	1.257138823	12.4856173			
92	28.9	77.0	1.285763545	12.8356314			
94	26.6	74.6	1.301989329	13.10663462			
96	25.6	71.8	1.310065205	13.30877805			
98	23.6	68.8	1.313750822	13.45559315			
100	23	65.5	1.315309323	13.55831862			
102	22.6	62.1	1.31592232	13.62981281			

Promedio	1.9
S2(exp)	322.7
S2(dif)	1.9303528
R <sup>2</sup> =	0.9940



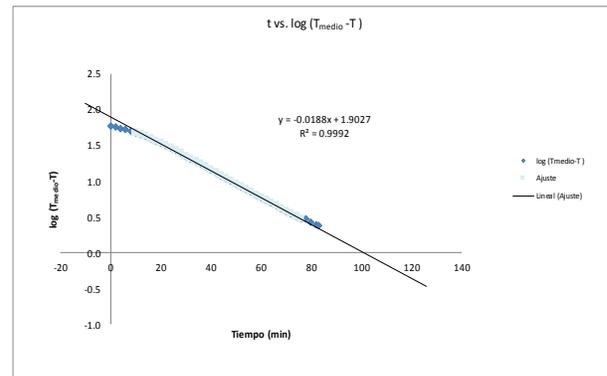
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T )
0	85	26.1	58.9	1.8
2	85	28.4	56.7	1.8
4	85	30.6	54.4	1.7
6	85	32.6	52.5	1.7
8	85	34.8	50.3	1.7
10	85	37.3	47.7	1.7
12	85	40.0	45.1	1.7
14	85	42.8	42.3	1.6
16	85	45.6	39.4	1.6
18	85	48.5	36.6	1.6
20	85	51.1	33.9	1.5
22	85	53.7	31.4	1.5
24	85	56.1	29.0	1.5
26	85	58.4	26.6	1.4
28	85	60.6	24.5	1.4
30	85	62.6	22.4	1.4
32	85	64.4	20.6	1.3
34	85	66.1	18.9	1.3
36	85	67.7	17.3	1.2
38	85	69.2	15.9	1.2
40	85	70.6	14.5	1.2
42	85	71.8	13.2	1.1
44	85	73.0	12.1	1.1
46	85	74.0	11.1	1.0
48	85	75.0	10.1	1.0
50	85	75.8	9.2	1.0
52	85	76.6	8.4	0.9
54	85	77.3	7.7	0.9
56	85	77.9	7.1	0.9
58	85	78.6	6.5	0.8
60	85	79.1	6.0	0.8
62	85	79.6	5.5	0.7
64	85	80.1	5.0	0.7
66	85	80.5	4.6	0.7
68	85	80.9	4.2	0.6
70	85	81.2	3.8	0.6
72	85	81.5	3.5	0.5
74	85	81.8	3.2	0.5
76	85	82.1	3.0	0.5
78	85	82.1	3.0	0.5
80	85	82.3	2.7	0.4
82	85	82.5	2.5	0.4
83	85	82.6	2.4	0.4
84	60.8	82.1		
86	49.6	81.5		
88	39.8	80.4		
90	33.7	78.8		
92	28.9	77.0		
94	26.6	74.6		
96	25.6	71.8		
98	23.6	68.8		
100	23	65.5		
102	22.6	62.1		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 55.87 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

log(T\_medio-T\_P0) = 1.9027

T\_medio-T\_P0 = 79.928194

T\_medio-T\_0 = 58.9

$j_h = 1.36$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.43826 kg
calor especific:	3920 J/kgK
Área:	0.032900722 m <sup>2</sup>
diametro:	0.0725 m
altura:	0.1082 m
U =	0.035876345 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>35.87634523 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.03625 m
altura:	0.1082 m
f <sub>h</sub> :	55.87 min

ividad térmica):  $0.00000237 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	55.87	min
j <sub>h</sub>	1.36	
U	35.876	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.00000237	m <sup>2</sup> /s.

**Datos de la corrida experimental**

Envase :	Vidrio
Dimensiones:	73.6 x 115.2 mm
Peso vacío	260.22 g

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	24.00%
Peso del producto (g)	437.605
Temperatura de pasteurización (°C)	85

**Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).**

T <sub>ref</sub> (°C) =	93.3
z (°C) =	8.3
D (min) =	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C) =	21.6
D <sub>c</sub> (min) =	12.5

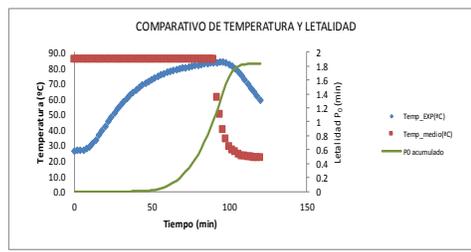
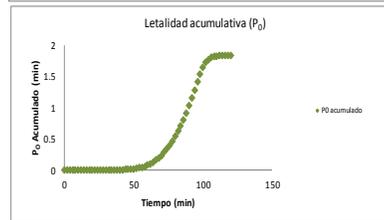
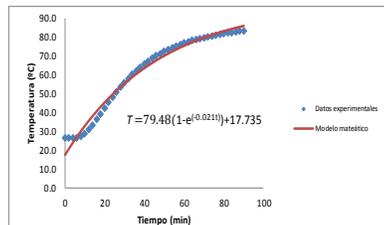
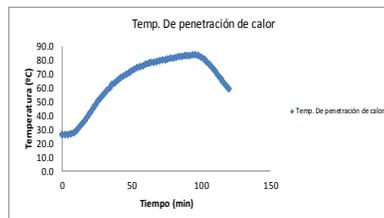
**Constantes del modelo matemático empírico.**

A =	79.48289373
K =	0.021416528
B =	17.73485262

$$T_{col} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

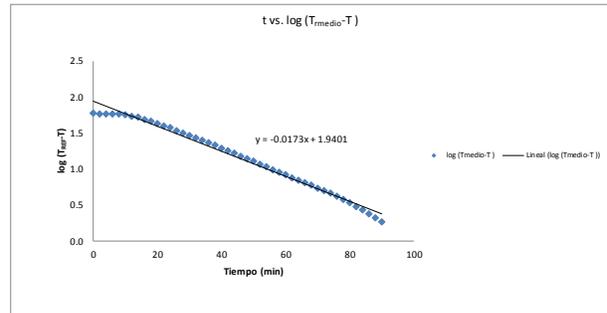
time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	diff*2	diff
0	85	26.3	0	0	17.73485262	73.36174966	8.6
2	85	26.4	1.70515E-08	0.001590351	21.06746541	27.90517173	5.3
4	85	26.5	3.44628E-08	0.003197746	24.26034614	4.794584027	2.2
6	85	26.7	5.27495E-08	0.004848554	27.3193536	0.383598882	-0.6
8	85	27.5	7.40208E-08	0.006646322	30.25010092	7.56305052	-2.8
10	85	28.8	1.02772E-07	0.008711317	33.05796587	18.13027333	-4.3
12	85	31.0	1.5047E-07	0.011308221	35.74810075	23.0217708	-4.8
14	85	33.4	2.41083E-07	0.014662252	38.32544183	24.75602137	-5.0
16	85	36.2	4.32911E-07	0.019207017	40.7947184	21.1143714	-4.6
18	85	39.2	8.68222E-07	0.02546451	43.16046146	15.68525497	-4.0
20	85	42.2	1.86879E-06	0.034080184	45.42701204	10.4138067	-3.2
22	85	45.2	4.14651E-06	0.045879677	47.59852915	5.995294978	-2.4
24	85	47.9	9.1164E-06	0.061698644	49.67899741	3.164831777	-1.8
26	85	50.7	1.98758E-05	0.083019654	51.67223438	0.945239694	-1.0
28	85	53.3	4.21978E-05	0.111000661	53.58189756	0.110155992	-0.3
30	85	55.8	8.70658E-05	0.147526825	55.41149109	0.114589284	0.3
32	85	58.0	0.000172827	0.193953837	57.16437217	0.698273869	0.8
34	85	60.1	0.000328673	0.252029337	58.84375726	1.57814581	1.3
36	85	62.1	0.000602839	0.323905611	60.45272796	2.713505176	1.6
38	85	63.9	0.001060019	0.410522797	61.99423664	3.443857659	1.9
40	85	65.5	0.001790336	0.513797263	63.47111189	4.116386956	2.0
42	85	67.1	0.002934865	0.636277786	64.88606372	4.901513867	2.2
44	85	68.6	0.004674582	0.779231901	66.24168848	5.328302074	2.3
46	85	69.9	0.007233156	0.944312738	67.54047369	5.567364424	2.4
48	85	71.2	0.010893735	1.132923745	68.78480254	5.594159003	2.4
50	85	72.3	0.015986222	1.346133845	69.97695834	5.39652257	2.3
52	85	73.4	0.022887089	1.584595681	71.11912861	4.976787158	2.2
54	85	74.3	0.031973748	1.848471969	72.21340919	4.353861199	2.1
56	85	75.2	0.043708277	2.138919061	73.26180803	3.756588095	1.9
58	85	76.1	0.058654229	2.456913031	74.2662489	3.181767996	1.8
60	85	76.8	0.07714391	2.799543746	75.22857488	2.314734392	1.5
62	85	77.4	0.099426904	3.166757453	76.15055181	1.561120786	1.2
64	85	78.1	0.126113108	3.560317929	77.0337146	1.032517213	1.0
66	85	78.6	0.157362728	3.975424517	77.88015468	0.44869275	0.7
68	85	79.1	0.193530081	4.415566694	78.69095437	0.167318329	0.4
70	85	79.6	0.235346878	4.879668817	79.46775829	0.017487869	0.1
72	85	80.0	0.282682938	5.364361768	80.21199186	0.044940547	-0.2
74	85	80.4	0.335574316	5.869962592	80.92502069	0.275646724	-0.5
76	85	80.8	0.394672979	6.397588718	81.60815316	0.653111536	-0.8
78	85	81.2	0.461170303	6.950998714	82.2626428	1.030378287	-1.0
80	85	81.6	0.535664739	7.526995672	82.88969054	1.60494021	-1.3
82	85	82.0	0.618024353	8.124865578	83.490447	2.304294649	-1.5
84	85	82.3	0.708458455	8.743861188	84.06601454	3.125155564	-1.8
86	85	82.6	0.807127291	9.383210701	84.61744929	4.063244351	-2.0
88	85	82.9	0.914142695	10.04212566	85.14576311	5.113462895	-2.3
90	85	83.1	1.029569569	10.71980805	85.65192543	6.270052593	-2.5
92	80.8	83.3	1.151790555	11.40856665			
94	49.6	83.6	1.28107076	12.11592764			
96	39.8	83.6	1.414832282	12.82328864			
98	33.7	83.1	1.540744613	13.49751817			
100	28.9	82.1	1.644506546	14.10357239			
102	26.6	80.8	1.72042073	14.63119851			
104	25.6	79.1	1.771071856	15.07137069			
106	23.6	76.9	1.800957383	15.41767343			
108	23	74.6	1.816889911	15.68867664			
110	22.6	72.0	1.825112312	15.89517608			
112	22.2	69.4	1.829128634	16.0508564			
114	22	66.8	1.831062886	16.16885132			
116	21.7	64.2	1.832007467	16.25876128			
118	21.7	61.7	1.832473065	16.327271			
120	21.7	59.1	1.832702564	16.37947414			

Promedio	7.0236906
S2(exp)	400.8
S2(dif)	7.179726
R <sup>2</sup> =	0.9821



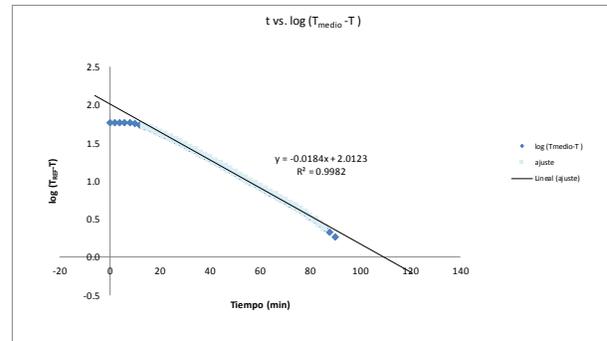
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	85	26.3	58.7	1.8
2	85	26.4	58.7	1.8
4	85	26.5	58.6	1.8
6	85	26.7	58.3	1.8
8	85	27.5	57.5	1.8
10	85	28.8	56.2	1.7
12	85	31.0	54.1	1.7
14	85	33.4	51.7	1.7
16	85	36.2	48.8	1.7
18	85	39.2	45.8	1.7
20	85	42.2	42.8	1.6
22	85	45.2	39.9	1.6
24	85	47.9	37.1	1.6
26	85	50.7	34.3	1.5
28	85	53.3	31.8	1.5
30	85	55.8	29.3	1.5
32	85	58.0	27.0	1.4
34	85	60.1	24.9	1.4
36	85	62.1	22.9	1.4
38	85	63.9	21.2	1.3
40	85	65.5	19.5	1.3
42	85	67.1	17.9	1.3
44	85	68.6	16.5	1.2
46	85	69.9	15.1	1.2
48	85	71.2	13.9	1.1
50	85	72.3	12.7	1.1
52	85	73.4	11.7	1.1
54	85	74.3	10.7	1.0
56	85	75.2	9.8	1.0
58	85	76.1	9.0	1.0
60	85	76.8	8.3	0.9
62	85	77.4	7.6	0.9
64	85	78.1	6.9	0.8
66	85	78.6	6.5	0.8
68	85	79.1	5.9	0.8
70	85	79.6	5.4	0.7
72	85	80.0	5.0	0.7
74	85	80.4	4.6	0.7
76	85	80.8	4.2	0.6
78	85	81.2	3.8	0.6
80	85	81.6	3.4	0.5
82	85	82.0	3.0	0.5
84	85	82.3	2.7	0.4
86	85	82.6	2.4	0.4
88	85	82.9	2.1	0.3
90	85	83.1	1.9	0.3
92	60.8	83.3		
94	49.6	83.6		
96	39.8	83.6		
98	33.7	83.1		
100	28.9	82.1		
102	26.6	80.9		
104	25.6	79.1		
106	23.6	76.9		
108	23	74.6		
110	22.6	72.0		
112	22.2	69.4		
114	22	66.8		
116	21.7	64.2		
118	21.7	61.7		
120	21.7	59.1		



De la gráfica se obtiene:

$$f_h = 57.80 \text{ min}$$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio-T_{P0}}}{T_{medio-T_0}}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$$\begin{aligned} \log(T_{medio-T_{P0}}) &= 2.0123 \\ T_{medio-T_{P0}} &= 102.87267 \\ T_{medio-T_0} &= 58.7 \end{aligned}$$

$$j_h = 1.75$$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.437605 kg
calor especif:	3920 J/kgK
Area:	0.035145625 m <sup>2</sup>
diámetro:	0.0736 m
altura:	0.1152 m
U =	0.032410509 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>32.4105095 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.0368 m
altura:	0.1152 m
f <sub>h</sub> :	57.80 min

$$\text{ividad térmica): } 0.00000255 \text{ m}^2/\text{s.}$$

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	57.80	min
j <sub>h</sub>	1.75	
U	32.411	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.00000255	m <sup>2</sup> /s.



**Datos de la corrida experimental**

Envasa	Hojalato
Dimensiones	72.5 x 538 mm
Peso vacío	80,265 g

**Parámetros de termo-resistencia (Bacillus coagulans y proteínas de tomate)**

T <sub>0</sub> (°C)	83.3
F (°C)	8.3
D (min)	0.1 a 0.5
Z (°C)	21.6
D <sub>0</sub> (min)	12.5

**Constantes del modelo matemático empírico.**

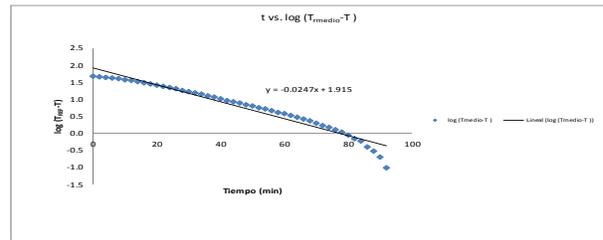
A	63.1607867
K	0.03737805
B	17.76926878

$$T_{eff} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

Time	Temp. medio(°C)	Temp. EXP(°C)	F <sub>0</sub> acumulado	C <sub>u</sub> (min)	T. CALC (°C)	dt(°C)	dt
1	70	70	0.00244544	21.58649769	6.58955648	-2.0	312
2	70	70	0.00489088	25.14064889	5.20303001	-1.0	314
3	70	70	0.00733632	28.69479999	4.01862266	-0.1	316
4	70	70	0.00978176	31.48654772	2.54866461	-1.0	318
5	70	70	0.01222720	34.33570707	1.55025050	-0.1	320
6	70	70	0.01467264	36.97874744	0.98981229	-2.0	322
7	70	70	0.01711808	39.41599908	0.53021395	-2.0	324
8	70	70	0.01956352	41.68036688	0.28599115	-2.0	326
9	70	70	0.02200896	43.70444	0.1617372	-2.0	328
10	70	70	0.02445440	45.52997418	0.09123044	-1.7	330
11	70	70	0.02689984	47.10599772	0.05070643	-1.4	332
12	70	70	0.02934528	48.48202229	0.02871713	-1.2	334
13	70	70	0.03179072	49.59804681	0.01591106	-1.0	336
14	70	70	0.03423616	50.50534944	0.00841913	-0.8	338
15	70	70	0.03668160	51.24878488	0.00450870	-0.6	340
16	70	70	0.03912704	51.86636032	0.00249073	-0.4	342
17	70	70	0.04157248	52.38698576	0.00134602	-0.2	344
18	70	70	0.04401792	52.84966120	0.00071763	-0.2	346
19	70	70	0.04646336	53.26438664	0.00038924	0.0	348
20	70	70	0.04890880	53.64216208	0.00021085	0.0	350
21	70	70	0.05135424	53.98398752	0.00011746	0.0	352
22	70	70	0.05379968	54.29976296	6.15E-05	0.0	354
23	70	70	0.05624512	54.49958840	3.69E-05	0.0	356
24	70	70	0.05869056	54.59941384	2.23E-05	0.0	358
25	70	70	0.06113600	54.60923928	1.37E-05	0.0	360
26	70	70	0.06358144	54.53906472	8.22E-06	0.0	362
27	70	70	0.06602688	54.38889016	5.00E-06	0.0	364
28	70	70	0.06847232	54.16871560	2.94E-06	0.0	366
29	70	70	0.07091776	53.88854104	1.66E-06	0.0	368
30	70	70	0.07336320	53.55836648	9.44E-07	0.0	370
31	70	70	0.07580864	53.18819192	5.22E-07	0.0	372
32	70	70	0.07825408	52.77801736	2.76E-07	0.0	374
33	70	70	0.08069952	52.32784280	1.46E-07	0.0	376
34	70	70	0.08314496	51.83766824	7.84E-08	0.0	378
35	70	70	0.08559040	51.30749368	4.22E-08	0.0	380
36	70	70	0.08803584	50.73731912	2.24E-08	0.0	382
37	70	70	0.09048128	50.12714456	1.18E-08	0.0	384
38	70	70	0.09292672	49.47697000	6.16E-09	0.0	386
39	70	70	0.09537216	48.78679544	3.18E-09	0.0	388
40	70	70	0.09781760	48.05662088	1.60E-09	0.0	390
41	70	70	0.10026304	47.28644632	7.84E-10	0.0	392
42	70	70	0.10270848	46.47627176	4.00E-10	0.0	394
43	70	70	0.10515392	45.62609720	2.00E-10	0.0	396
44	70	70	0.10759936	44.73592264	1.00E-10	0.0	398
45	70	70	0.11004480	43.80574808	5.00E-11	0.0	400
46	70	70	0.11249024	42.83557352	2.50E-11	0.0	402
47	70	70	0.11493568	41.82540000	1.25E-11	0.0	404
48	70	70	0.11738112	40.77522544	6.25E-12	0.0	406
49	70	70	0.11982656	39.69505088	3.12E-12	0.0	408
50	70	70	0.12227200	38.58487632	1.56E-12	0.0	410
51	70	70	0.12471744	37.44470176	7.80E-13	0.0	412
52	70	70	0.12716288	36.27452720	3.95E-13	0.0	414
53	70	70	0.12960832	35.08435264	1.97E-13	0.0	416
54	70	70	0.13205376	33.87417808	9.85E-14	0.0	418
55	70	70	0.13449920	32.64400352	4.92E-14	0.0	420
56	70	70	0.13694464	31.39382896	2.46E-14	0.0	422
57	70	70	0.13939008	30.12365440	1.23E-14	0.0	424
58	70	70	0.14183552	28.83347984	6.15E-15	0.0	426
59	70	70	0.14428096	27.52330528	3.07E-15	0.0	428
60	70	70	0.14672640	26.19313072	1.53E-15	0.0	430
61	70	70	0.14917184	24.84295616	7.65E-16	0.0	432
62	70	70	0.15161728	23.47278160	3.82E-16	0.0	434
63	70	70	0.15406272	22.08260704	1.91E-16	0.0	436
64	70	70	0.15650816	20.67243248	9.55E-17	0.0	438
65	70	70	0.15895360	19.24225792	4.77E-17	0.0	440
66	70	70	0.16139904	17.79208336	2.39E-17	0.0	442
67	70	70	0.16384448	16.32190880	1.19E-17	0.0	444
68	70	70	0.16628992	14.83173424	5.95E-18	0.0	446
69	70	70	0.16873536	13.32155968	2.97E-18	0.0	448
70	70	70	0.17118080	11.79138512	1.48E-18	0.0	450
71	70	70	0.17362624	10.24121056	7.40E-19	0.0	452
72	70	70	0.17607168	8.67103600	3.70E-19	0.0	454
73	70	70	0.17851712	7.08086144	1.85E-19	0.0	456
74	70	70	0.18096256	5.47068688	9.25E-20	0.0	458
75	70	70	0.18340800	3.84051232	4.62E-20	0.0	460
76	70	70	0.18585344	2.19033776	2.31E-20	0.0	462
77	70	70	0.18829888	5.82016320	1.15E-20	0.0	464
78	70	70	0.19074432	1.41000000	5.75E-21	0.0	466
79	70	70	0.19318976	0.00000000	2.87E-21	0.0	468
80	70	70	0.19563520	0.00000000	1.43E-21	0.0	470
81	70	70	0.19808064	0.00000000	7.15E-22	0.0	472
82	70	70	0.20052608	0.00000000	3.57E-22	0.0	474
83	70	70	0.20297152	0.00000000	1.78E-22	0.0	476
84	70	70	0.20541696	0.00000000	8.95E-23	0.0	478
85	70	70	0.20786240	0.00000000	4.47E-23	0.0	480
86	70	70	0.21030784	0.00000000	2.23E-23	0.0	482
87	70	70	0.21275328	0.00000000	1.11E-23	0.0	484
88	70	70	0.21519872	0.00000000	5.55E-24	0.0	486
89	70	70	0.21764416	0.00000000	2.77E-24	0.0	488
90	70	70	0.22008960	0.00000000	1.38E-24	0.0	490
91	70	70	0.22253504	0.00000000	6.90E-25	0.0	492
92	70	70	0.22498048	0.00000000	3.45E-25	0.0	494
93	70	70	0.22742592	0.00000000	1.72E-25	0.0	496
94	70	70	0.22987136	0.00000000	8.60E-26	0.0	498
95	70	70	0.23231680	0.00000000	4.30E-26	0.0	500
96	70	70	0.23476224	0.00000000	2.15E-26	0.0	502
97	70	70	0.23720768	0.00000000	1.07E-26	0.0	504
98	70	70	0.23965312	0.00000000	5.35E-27	0.0	506
99	70	70	0.24209856	0.00000000	2.71E-27	0.0	508
100	70	70	0.24454400	0.00000000	1.35E-27	0.0	510
101	70	70	0.24698944	0.00000000	6.75E-28	0.0	512
102	70	70	0.24943488	0.00000000	3.37E-28	0.0	514
103	70	70	0.25188032	0.00000000	1.70E-28	0.0	516
104	70	70	0.25432576	0.00000000	8.50E-29	0.0	518
105	70	70	0.25677120	0.00000000	4.25E-29	0.0	520
106	70	70	0.25921664	0.00000000	2.12E-29	0.0	522
107	70	70	0.26166208	0.00000000	1.06E-29	0.0	524
108	70	70	0.26410752	0.00000000	5.30E-30	0.0	526
109	70	70	0.26655296	0.00000000	2.65E-30	0.0	528
110	70	70	0.26899840	0.00000000	1.32E-30	0.0	530
111	70	70	0.27144384	0.00000000	6.60E-31	0.0	532
112	70	70	0.27388928	0.00000000	3.30E-31	0.0	534
113	70	70	0.27633472	0.00000000	1.65E-31	0.0	536
114	70	70	0.27878016	0.00000000	8.25E-32	0.0	538
115	70	70	0.28122560	0.00000000	4.12E-32	0.0	540
116	70	70	0.28367104	0.00000000	2.06E-32	0.0	542
117	70	70	0.28611648	0.00000000	1.03E-32	0.0	544
118	70	70	0.28856192	0.00000000	5.15E-33	0.0	546
119	70	70	0.29100736	0.00000000	2.57E-33	0.0	548
120	70	70	0.29345280	0.00000000	1.28E-33	0.0	550
121	70	70	0.29589824	0.00000000	6.40E-34	0.0	552
122	70	70	0.29834368	0.00000000	3.20E-34	0.0	554
123	70	70	0.30078912	0.00000000	1.60E-34	0.0	556
124	70	70	0.30323456	0.00000000	8.00E-35	0.0	558
125	70	70	0.30568000	0.00000000	4.00E-35	0.0	560
126	70	70	0.30812544	0.00000000	2.00E-35	0.0	562
127	70	70	0.31057088	0.00000000	1.00E-35	0.0	564
128	70	70	0.31301632	0.00000000	5.00E-36	0.0	566
129	70	70	0.31546176	0.00000000	2.50E-36	0.0	568
130	70	70	0.31790720	0.00000000	1.25E-36	0.0	570
131	70	70	0.32035264	0.00000000	6.25E-37	0.0	572
132	70	70	0.32279808	0.00000000	3.12E-37	0.0	574
133	70	70	0.32524352	0.00000000	1.56E-37	0.0	576
134	70	70	0.32768896	0.0000			

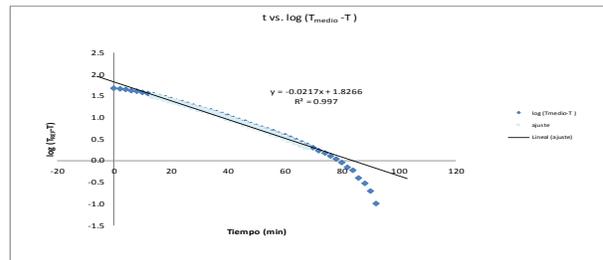
**Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos**

time	Temp. medio(°C)	Temp. EXP(°C)	T <sub>medio</sub> -T	log (T <sub>medio</sub> -T)
0	70	22.7	47.4	1.7
2	70	24.1	46.0	1.7
4	70	26.1	43.9	1.6
6	70	28.3	41.7	1.6
8	70	29.9	40.1	1.6
10	70	32.5	37.6	1.6
12	70	34.6	35.5	1.5
14	70	36.9	33.1	1.5
16	70	39.5	30.6	1.5
18	70	41.8	28.3	1.5
20	70	44.1	26.0	1.4
22	70	46.1	24.0	1.4
24	70	48.1	22.0	1.3
26	70	49.9	20.1	1.3
28	70	51.7	18.4	1.3
30	70	53.2	16.9	1.2
32	70	54.7	15.3	1.2
34	70	56.0	14.1	1.1
36	70	57.3	12.8	1.1
38	70	58.4	11.6	1.1
40	70	59.5	10.6	1.0
42	70	60.7	9.4	1.0
44	70	61.5	8.6	0.9
46	70	62.3	7.7	0.9
48	70	63.1	7.0	0.8
50	70	63.7	6.3	0.8
52	70	64.4	5.7	0.8
54	70	64.9	5.2	0.7
56	70	65.4	4.7	0.7
58	70	65.9	4.2	0.6
60	70	66.3	3.8	0.6
62	70	66.7	3.3	0.5
64	70	67.1	2.9	0.5
66	70	67.4	2.6	0.4
68	70	67.7	2.3	0.4
70	70	68.0	2.0	0.3
72	70	68.3	1.7	0.2
74	70	68.5	1.5	0.2
76	70	68.7	1.3	0.1
78	70	68.9	1.1	0.0
80	70	69.1	0.9	0.0
82	70	69.3	0.7	-0.2
84	70	69.4	0.6	-0.2
86	70	69.6	0.4	-0.4
88	70	69.7	0.3	-0.5
90	70	69.8	0.2	-0.7
92	70	69.9	0.1	-1.0
94	70	70.0		
96	70	70.1		
98	70	70.2		
100	70	70.3		
102	70	70.3		
104	70	70.4		
106	70	70.5		
108	70	70.5		
110	70	70.5		
112	70	70.6		
114	70	70.6		
116	70	70.7		
118	70	70.7		
120	70	70.7		
122	70	70.8		
124	70	70.8		
126	70	70.8		
128	70	70.8		
130	70	70.9		
132	70	70.9		
134	70	70.7		
136	70	70.7		
138	70	70.7		
140	70	70.7		
142	70	70.7		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 40.49 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio}-T_{F0}}{T_{medio}-T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

log(T<sub>medio</sub>-T<sub>F0</sub>) = 1.8266

T<sub>medio</sub>-T<sub>F0</sub> = 67.081073

T<sub>medio</sub>-T<sub>0</sub> = 47.4

$j_h = 1.42$

**Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.**

$$\log\left(\frac{T_M-T}{T_M-T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

- masa: 0.43541 kg
- calor especif: 3920 J/kgK
- Área: 0.032900722 m<sup>2</sup>
- diametro: 0.0725 m
- altura: 0.1082 m
- U = 0.049183415 (kW/m<sup>2</sup>K)
- U = 49.18341516 (W/m<sup>2</sup>K)**

**Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.**

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

- radio: 0.03625 m
- altura: 0.1082 m
- $f_h$ : 40.49 min

**ividad térmica): 0.00000296 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

$f_h$	40.49	min
$j_h$	1.42	
U	49.183	(W/m <sup>2</sup> K)
$\alpha$	0.00000296	m <sup>2</sup> /s.

Datos de la corrida experimental  
Ensayo: A100  
Dimensiones: 73.6 x 11.2 x 2 mm  
Peso vacío: 299.97 g

Parámetros de termo-resistencia (Bacillus coagulans y proteínas del tomate).  
T<sub>m</sub> (°C) = 93.3  
z (°C) = 8.3  
D (min) = 0.1 - 0.5  
Z (°C) = 21.6  
D<sub>10</sub> (min) = 12.5

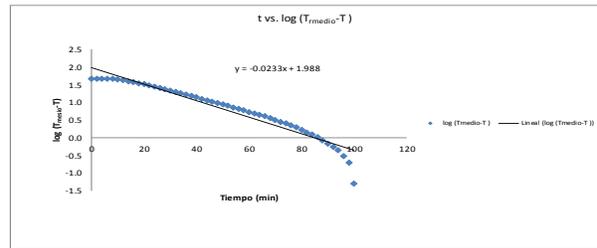
Constantes del modelo matemático empírico.  
A = 57.7427457  
K = 0.03283656  
B = 13.25976872

$$T_{\text{rel}} = a(1 - \exp(-T^b))^c + d$$

Time	Temp. medio(°C)	Temp. Exp(°C)	P <sub>a</sub> acumulado	C <sub>u,exp</sub>	T <sub>u,calc</sub> (°C)	σ <sup>2</sup>	df
2	70.0	70.0	0.00118704	16.90829169	97.202073	6.1	308
4	70.0	70.0	0.00224544	20.32621111	8.82879214	2.0	310
6	70.0	70.0	0.00449088	26.52786452	7.99783335	2.8	312
8	70.0	70.0	0.00898176	34.33811833	13.25949456	3.6	316
10	70.0	70.0	0.01796352	43.97071062	21.35098444	4.4	320
12	70.0	70.0	0.03592704	54.43896132	24.86979324	5.2	318
14	70.0	70.0	0.07185408	66.74738028	14.38203835	3.8	324
16	70.0	70.0	0.14370816	80.93848656	14.38203835	3.8	328
18	70.0	70.0	0.28741632	97.84115158	16.48041028	4.4	332
20	70.0	70.0	0.57483264	118.49348656	14.38203835	3.8	336
22	70.0	70.0	1.14966528	143.89836416	16.48041028	4.4	340
24	70.0	70.0	2.29933056	175.25808656	14.38203835	3.8	344
26	70.0	70.0	4.59866112	214.51617312	16.48041028	4.4	348
28	70.0	70.0	9.19732224	262.2706176	14.38203835	3.8	352
30	70.0	70.0	18.39464448	319.0288352	16.48041028	4.4	356
32	70.0	70.0	36.78928896	385.2976704	14.38203835	3.8	360
34	70.0	70.0	73.57857792	461.0665056	16.48041028	4.4	364
36	70.0	70.0	147.15715584	547.3353408	14.38203835	3.8	368
38	70.0	70.0	294.31431168	644.604176	16.48041028	4.4	372
40	70.0	70.0	588.62862336	752.8730112	14.38203835	3.8	376
42	70.0	70.0	1177.25724672	872.1418464	16.48041028	4.4	380
44	70.0	70.0	2354.51449344	1002.4106816	14.38203835	3.8	384
46	70.0	70.0	4709.02898688	1143.6795168	16.48041028	4.4	388
48	70.0	70.0	9418.05797376	1296.948352	14.38203835	3.8	392
50	70.0	70.0	18836.11594752	1462.2171872	16.48041028	4.4	396
52	70.0	70.0	37672.23189504	1639.4860224	14.38203835	3.8	400
54	70.0	70.0	75344.46379008	1828.7548576	16.48041028	4.4	404
56	70.0	70.0	150688.92758016	2030.0236928	14.38203835	3.8	408
58	70.0	70.0	301377.85516032	2243.292528	16.48041028	4.4	412
60	70.0	70.0	602755.71032064	2468.5613632	14.38203835	3.8	416
62	70.0	70.0	1205511.42064128	2705.8301984	16.48041028	4.4	420
64	70.0	70.0	2411022.84128256	2955.1000336	14.38203835	3.8	424
66	70.0	70.0	4822045.68256512	3216.3698688	16.48041028	4.4	428
68	70.0	70.0	9644091.36513024	3489.639704	14.38203835	3.8	432
70	70.0	70.0	19288182.73026048	3774.9095392	16.48041028	4.4	436
72	70.0	70.0	38576365.46052096	4072.1793744	14.38203835	3.8	440
74	70.0	70.0	77152730.92104192	4381.4472096	16.48041028	4.4	444
76	70.0	70.0	154305461.84208384	4702.7170448	14.38203835	3.8	448
78	70.0	70.0	308610923.68416768	5035.98688	16.48041028	4.4	452
80	70.0	70.0	617221847.36833536	5381.2567152	14.38203835	3.8	456
82	70.0	70.0	1234443714.73667072	5738.5265408	16.48041028	4.4	460
84	70.0	70.0	2468887429.47334144	6107.796376	14.38203835	3.8	464
86	70.0	70.0	4937774858.94668288	6499.0662112	16.48041028	4.4	468
88	70.0	70.0	9875549717.89336576	6912.3360464	14.38203835	3.8	472
90	70.0	70.0	19751099435.78673152	7347.6058816	16.48041028	4.4	476
92	70.0	70.0	39502198871.57346304	7804.8757168	14.38203835	3.8	480
94	70.0	70.0	79004397743.14692608	8284.145552	16.48041028	4.4	484
96	70.0	70.0	158008795486.29385216	8785.4153872	14.38203835	3.8	488
98	70.0	70.0	316017590972.58770432	9308.6852224	16.48041028	4.4	492
100	70.0	70.0	632035181945.17540864	9853.9550576	14.38203835	3.8	496
102	70.0	70.0	1264070363890.35081728	10421.2248928	16.48041028	4.4	500
104	70.0	70.0	2528140727780.70163456	11010.494728	14.38203835	3.8	504
106	70.0	70.0	5056281455561.40326912	11621.7645632	16.48041028	4.4	508
108	70.0	70.0	10112562911122.80653824	12255.0343984	14.38203835	3.8	512
110	70.0	70.0	20225125822245.61307648	12921.3042336	16.48041028	4.4	516
112	70.0	70.0	40450251644491.22615296	13620.5740688	14.38203835	3.8	520
114	70.0	70.0	80900503288982.45230592	14352.843904	16.48041028	4.4	524
116	70.0	70.0	161801006577964.90461184	15118.1137392	14.38203835	3.8	528
118	70.0	70.0	323602013159928.98922368	15916.3835744	16.48041028	4.4	532
120	70.0	70.0	647204026319857.97844736	16747.6534096	14.38203835	3.8	536
122	70.0	70.0	1294408052639715.95689472	17611.9232448	16.48041028	4.4	540
124	70.0	70.0	2588816105279431.91378944	18519.19308	14.38203835	3.8	544
126	70.0	70.0	5177632210558863.82757888	19460.4629152	16.48041028	4.4	548
128	70.0	70.0	10355264211117727.65515776	20435.7327504	14.38203835	3.8	552
130	70.0	70.0	20710528422235455.31031552	21445.0025856	16.48041028	4.4	556
132	70.0	70.0	41421056844470910.66063104	22489.2724208	14.38203835	3.8	560
134	70.0	70.0	82842113688941821.32126208	23568.542256	16.48041028	4.4	564
136	70.0	70.0	16568427377783764.24252416	24682.8120912	14.38203835	3.8	568
138	70.0	70.0	33136854755567528.48504832	25833.0819264	16.48041028	4.4	572
140	70.0	70.0	66273709511135056.97009664	27019.3517616	14.38203835	3.8	576
142	70.0	70.0	132547419022270112.14019328	28241.6215968	16.48041028	4.4	580
144	70.0	70.0	265094838044440224.28038656	29500.891432	14.38203835	3.8	584
146	70.0	70.0	530189676088880448.56077312	30797.1612672	16.48041028	4.4	588
148	70.0	70.0	1060379352177760896.12114624	32130.4311024	14.38203835	3.8	592
150	70.0	70.0	2120758704355521792.32229248	33500.7009376	16.48041028	4.4	596
152	70.0	70.0	4241517408711043584.64458496	34918.9707728	14.38203835	3.8	600
154	70.0	70.0	848303481742208704.12916992	36375.240608	16.48041028	4.4	604
156	70.0	70.0	1696606923844417408.25833984	37869.5104432	14.38203835	3.8	608
158	70.0	70.0	3393213847688834816.51667968	39401.7802784	16.48041028	4.4	612
160	70.0	70.0	6786427695377669632.10335936	40973.0501128	14.38203835	3.8	616
162	70.0	70.0	13572855390755339264.20671872	42584.3199472	16.48041028	4.4	620
164	70.0	70.0	27145710781510678528.41343744	44235.5897824	14.38203835	3.8	624
166	70.0	70.0	54291421563021356656.82687488	45926.8596176	16.48041028	4.4	628
168	70.0	70.0	1085828431260427133120.16574976	47658.1294528	14.38203835	3.8	632
170	70.0	70.0	217165686252085426240.33149952	49430.4000000	16.48041028	4.4	636
172	70.0	70.0	434331372504170852480.66299904	51243.6705472	14.38203835	3.8	640
174	70.0	70.0	868662745008341704960.13119888	53097.9410944	16.48041028	4.4	644
176	70.0	70.0	1737325490016633409920.26239776	55003.2119296	14.38203835	3.8	648
178	70.0	70.0	34746509800332668187840.52479552	56969.4827648	16.48041028	4.4	652
180	70.0	70.0	69493019600665336375680.10459104	58996.7536000	14.38203835	3.8	656
182	70.0	70.0	138986039201326672751360.20918208	61085.0244352	16.48041028	4.4	660
184	70.0	70.0	277972078402653345502720.41836416	63235.2952704	14.38203835	3.8	664
186	70.0	70.0	555944156805306691005440.83672832	65447.5661056	16.48041028	4.4	668
188	70.0	70.0	1111888313610613382010880.16745664	67721.8369408	14.38203835	3.8	672
190	70.0	70.0	2223776627221226764421760.33491328	70059.107776	16.48041028	4.4	676
192	70.0	70.0	444755325444245352884320.66982656	72461.3786112	14.38203835	3.8	680
194	70.0	70.0	889510650888490705768640.13385312	74927.6494464	16.48041028	4.4	684
196	70.0	70.0	17790213017769814115373280.26770624	77457.9202816	14.38203835	3.8	688
198	70.0	70.0	3558042603553962823075520.53541248	80052.1911168	16.48041028	4.4	692
200	70.0	70.0	7116085207107925645615040.10702496	82712.461952	14.38203835	3.8	696
202	70.0	70.0	14232170414051851122300080.21404992	85438.7327872	16.48041028	4.4	700
204	70.0	70.0	2846434082810370222460160.42809984	88230.0036224	14.38203835	3.8	704
206	70.0	70.0	5692868165620740444812224.85619968	91086.2744576	16.48041028	4.4	708
208	70.0	70.0	1138573633124148088844448.17239936	94007.5452928	14.38203835	3.8	712
210	70.0	70.0	227714726624829777777777.34479872	97093.816128	16.48041028	4.4	716
212	70.0	70.0	45542945324965955555555.68959744	100346.0869632	14.38203835	3.8	720
214	70.0	70.0	910858906499319111111111.13879288	103755.3577984	16.48041028	4.4	724
216	70.0	70.0	182171781299839822222222.27758576	107331.6286336	14.38203835	3.8	728
218	70.0	70.0	364343562599679644444444.55517152	111074.9000000	16.48041028	4.4	732
220	70.0	70.0	72868712519935928888888.11114304	114986.1708352	14.38203835	3.8	736
222	70.0	70.					

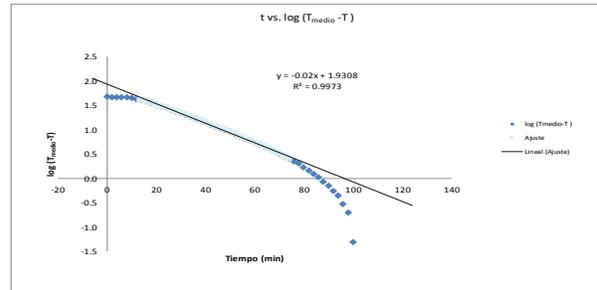
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	70	22.8	47.2	1.7
2	70	23.1	47.0	1.7
4	70	23.2	46.8	1.7
6	70	23.6	46.4	1.7
8	70	23.7	46.3	1.7
10	70	25.7	44.3	1.6
12	70	27.4	42.7	1.6
14	70	29.5	40.6	1.6
16	70	32.0	38.1	1.6
18	70	34.5	35.5	1.6
20	70	37.2	32.9	1.5
22	70	39.6	30.4	1.5
24	70	42.0	28.1	1.4
26	70	44.2	25.8	1.4
28	70	46.4	23.7	1.4
30	70	48.2	21.9	1.3
32	70	50.1	20.0	1.3
34	70	51.6	18.4	1.3
36	70	53.1	16.9	1.2
38	70	54.6	15.5	1.2
40	70	55.9	14.2	1.2
42	70	57.4	12.7	1.1
44	70	58.4	11.7	1.1
46	70	59.4	10.7	1.0
48	70	60.3	9.7	1.0
50	70	61.2	8.9	0.9
52	70	61.9	8.2	0.9
54	70	62.7	7.3	0.9
56	70	63.4	6.6	0.8
58	70	64.1	6.0	0.8
60	70	64.6	5.4	0.7
62	70	65.1	4.9	0.7
64	70	65.5	4.5	0.7
66	70	66.0	4.1	0.6
68	70	66.4	3.6	0.6
70	70	66.8	3.2	0.5
72	70	67.2	2.8	0.5
74	70	67.5	2.6	0.4
76	70	67.8	2.3	0.4
78	70	68.0	2.0	0.3
80	70	68.3	1.7	0.2
82	70	68.6	1.4	0.2
84	70	68.8	1.3	0.1
86	70	69.0	1.1	0.0
88	70	69.2	0.8	-0.1
90	70	69.3	0.7	-0.2
92	70	69.5	0.6	-0.3
94	70	69.6	0.4	-0.3
96	70	69.7	0.3	-0.5
98	70	69.8	0.2	-0.7
100	70	70.0	0.1	-1.3
102	70	70.0		
104	70	70.1		
106	70	70.2		
108	70	70.3		
110	70	70.4		
112	70	70.4		
114	70	70.5		
116	70	70.6		
118	70	70.6		
120	70	70.6		
122	70	70.7		
124	70	70.7		
126	70	70.8		
128	70	70.8		
130	70	70.8		



De la gráfica se obtiene:

$$f_h = 42.92 \text{ min}$$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{p0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$$\log(T_{medio} - T_{p0}) = 1.9308$$

$$T_{medio} - T_{p0} = 85.270734$$

$$T_{medio} - T_0 = 47.2$$

$$j_h = 1.81$$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.43751 kg
calor especific:	3920 J/kgK
Área:	0.035145625 m <sup>2</sup>
diámetro:	0.0736 m
altura:	0.1152 m
U =	0.043641672 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>43.64167237 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio: 0.0368 m

altura: 0.1152 m

f<sub>h</sub>: 42.92 min

ividad térmica): 0.00000313 m<sup>2</sup>/s.

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	42.92	min
j <sub>h</sub>	1.81	
U	43.642	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.00000313	m <sup>2</sup> /s.



**Datos de la corrida experimental**

Envase :	Hojalata
Dimensiones:	72.5 x 108.2 mm
Peso vacío	79.89

**Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).**

T <sub>ref</sub> (°C)=	93.3
z (°C)=	8.3
D (min)=	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C)=	21.6
D <sub>c</sub> (min)=	12.5

**Constantes del modelo matemático empírico.**

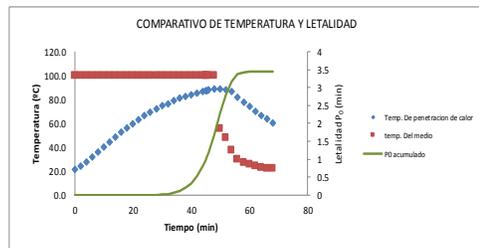
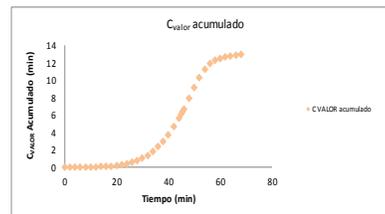
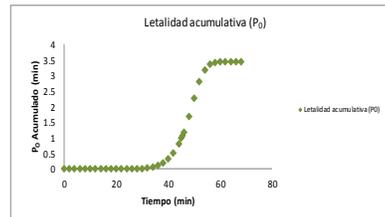
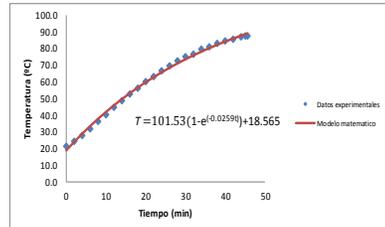
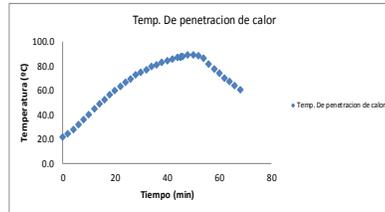
A=	101.5266558
K=	0.025947395
B=	18.56544353

$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	dif*2	dif
0	100	21.4	0	0	18.56544353	7.753754732	2.8
2	100	24.5	7.21229E-09	0.001298763	23.69977323	0.562840214	0.8
4	100	28.0	2.56616E-08	0.003184873	28.57445346	0.389942123	-0.6
6	100	31.9	7.85239E-08	0.006043271	33.20261503	1.829567419	-1.4
8	100	36.1	2.44598E-07	0.010515942	37.59672469	2.392357278	-1.5
10	100	40.3	7.82774E-07	0.01755195	41.76861875	2.156841025	-1.5
12	100	44.5	2.51408E-06	0.028561529	45.72953491	1.5117561	-1.2
14	100	48.7	8.00712E-06	0.045697171	49.4901426	0.705839593	-0.8
16	100	52.6	2.46654E-05	0.071804999	53.06057167	0.212126262	-0.5
18	100	56.3	7.15175E-05	0.110330848	56.45043968	0.040176066	-0.2
20	100	59.9	0.000199184	0.16687906	59.66887784	0.032805238	0.2
22	100	63.1	0.000522334	0.246840729	62.72455556	0.140958529	0.4
24	100	66.3	0.00131064	0.359308994	65.62570384	0.454675306	0.7
26	100	69.3	0.003152706	0.51416173	68.38013744	0.84614713	0.9
28	100	72.4	0.007427919	0.728511286	70.99527589	1.835277413	1.4
30	100	74.9	0.016488735	1.009816735	73.47816353	2.021618958	1.4
32	100	76.5	0.032018222	1.343436842	75.83548844	0.44157562	0.7
34	100	79.4	0.062336707	1.795497448	78.07360048	1.62919573	1.3
36	100	81.0	0.115707258	2.31628222	80.19852841	0.564709553	0.8
38	100	82.7	0.200323164	2.974278115	82.21599608	0.188359404	0.4
40	100	84.2	0.332523402	3.732390689	84.13143789	0.004700763	0.1
42	100	85.5	0.527499155	4.603191619	85.95001342	0.202512076	-0.5
44	100	86.8	0.804874501	5.598114125	87.67662131	0.858627056	-0.9
45	100	87.3	0.980763439	6.125613831	88.50690014	1.456607944	-1.2
45.5	100	87.6	<b>1.078802638</b>	<b>6.396487195</b>	88.91403025	1.860578517	-1.4
46	100	87.8	1.183882679	6.674676465			
48	100	88.9	1.696366726	7.925875186			
50	55.4	88.8	2.27837237	9.163806824			
52	47.5	88.0	2.795189627	10.30054285			
54	37.3	86.5	3.174560132	11.26415078			
56	30	81.8	3.365238301	11.85112982			
58	27.1	77.6	3.419232758	12.22625666			
60	25.7	74.1	3.436863151	12.48319345			
62	24.4	70.0	3.443216156	12.65004348			
64	23	66.9	3.445434482	12.76994033			
66	22.4	63.7	3.446365555	12.85518351			
68	22.1	60.5	3.446747229	12.91546676			

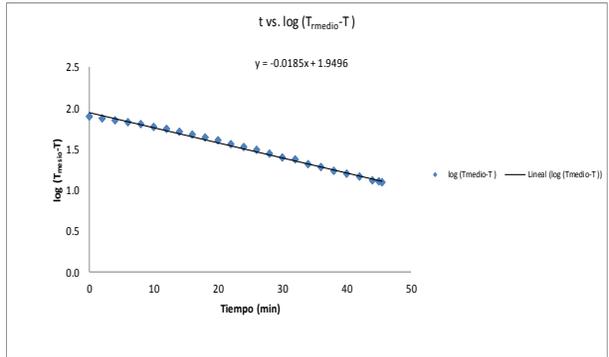
Promedio	
S2(exp)	412.5
S2(dif)	1.2538976
R <sup>2</sup> =	<b>0.9970</b>

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	15.50%
Peso del producto (g)	419.805
Temperatura de pasteurización (°C)	100



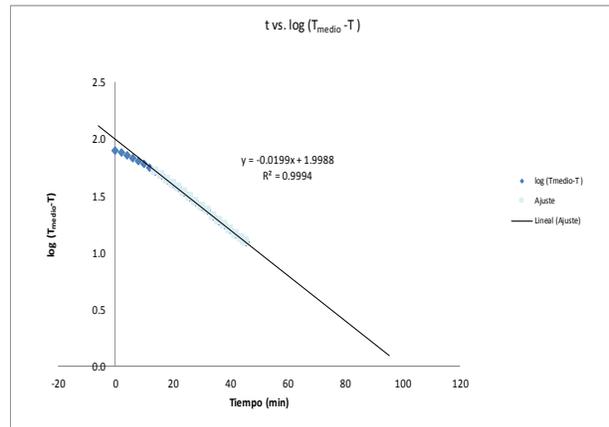
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	100	21.4	78.7	1.9
2	100	24.5	75.6	1.9
4	100	28.0	72.1	1.9
6	100	31.9	68.2	1.8
8	100	36.1	64.0	1.8
10	100	40.3	59.7	1.8
12	100	44.5	55.5	1.7
14	100	48.7	51.4	1.7
16	100	52.6	47.4	1.7
18	100	56.3	43.8	1.6
20	100	59.9	40.2	1.6
22	100	63.1	36.9	1.6
24	100	66.3	33.7	1.5
26	100	69.3	30.7	1.5
28	100	72.4	27.7	1.4
30	100	74.9	25.1	1.4
32	100	76.5	23.5	1.4
34	100	79.4	20.7	1.3
36	100	81.0	19.1	1.3
38	100	82.7	17.4	1.2
40	100	84.2	15.8	1.2
42	100	85.5	14.5	1.2
44	100	86.8	13.3	1.1
45	100	87.3	12.7	1.1
45.5	100	87.6	12.5	1.1
46	100	87.8		
48	100	88.9		
50	55.4	88.8		
52	47.5	88.0		
54	37.3	86.5		
56	30	81.8		
58	27.1	77.6		
60	25.7	74.1		
62	24.4	70.0		
64	23	66.9		
66	22.4	63.7		
68	22.1	60.5		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 54.05 \text{ min}$



Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.419805 kg
calor especific:	3920 J/kgK
Área:	0.032900722 m <sup>2</sup>
diámetro:	0.0725 m
altura:	0.1082 m
U =	0.035517523 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>35.51752251 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de de la recta con el eje Y.

log(T\_medio-T<sub>P0</sub>) = 1.9988  
T\_medio-T<sub>P0</sub> = 99.724071  
T\_medio-T<sub>0</sub> = 78.7

**j<sub>h</sub> = 1.27**

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.03625 m
altura:	0.1082 m
f <sub>h</sub> :	54.05 min

**ividad térmica): 0.00000243 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	54.05	min
j <sub>h</sub>	1.27	
U	35.518	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.00000243	m <sup>2</sup> /s.



Datos de la corrida experimental

Envase:	Vidrio
Dimensiones:	73.6 x 115.2 mm
Peso vacío:	260.22 g

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	15.50%
Peso del producto (g)	430.865
Temperatura de pasteurización (°C)	100

Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).

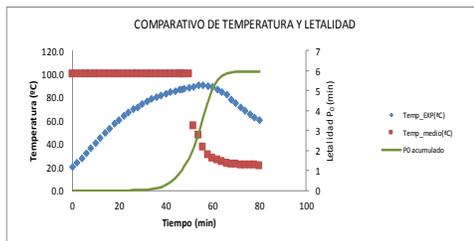
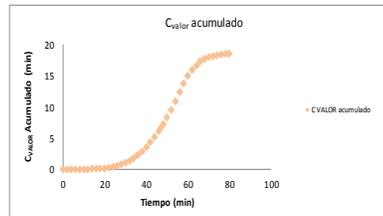
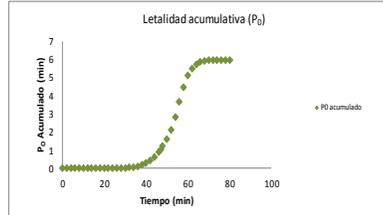
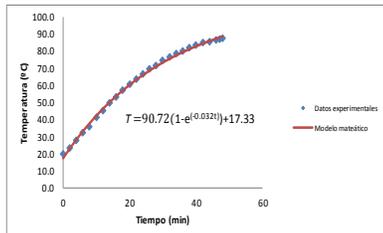
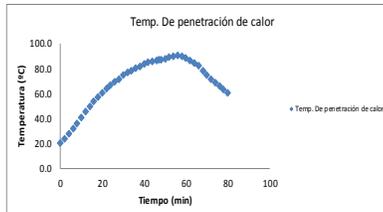
T <sub>ref</sub> (°C)	93.3
z (°C)	8.3
D (min)	0.1 - 0.5
Z <sub>0</sub> (°C)	21.6
D <sub>0</sub> (min)	12.5

Constantes del modelo matemático empírico.

A =	90.71669162
K =	0.032014436
B =	17.32659375

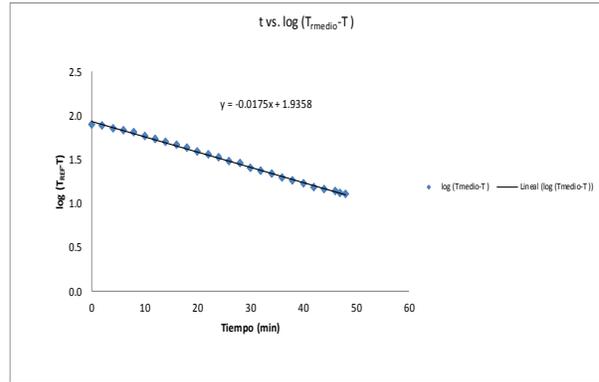
$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	dif*2	dif
0	100	20.0	0	0	17.32659375	7.14710098	2.7
2	100	23.5	5.36829E-09	0.001173677	22.95303185	0.299174152	0.5
4	100	27.6	2.14053E-08	0.002990712	28.23050655	0.397538514	-0.6
6	100	32.1	7.58648E-08	0.00592631	33.18066128	1.167828806	-1.1
8	100	35.9	2.39614E-07	0.010328032	37.82379711	3.70099531	-1.9
10	100	41.0	8.53961E-07	0.017868858	42.17895598	1.510332803	-1.2
12	100	45.2	2.94945E-06	0.02973141	46.26399883	1.132093516	-1.1
14	100	49.4	9.69061E-06	0.048293317	50.09567882	0.483968022	-0.7
16	100	53.3	2.999E-05	0.076423862	53.68971004	0.151873914	-0.4
18	100	57.1	8.8058E-05	0.118379396	57.06083196	0.000117331	0.0
20	100	60.5	0.000242701	0.178984818	60.22286987	0.076801108	0.3
22	100	63.8	0.000629707	0.264683558	63.18879161	0.314954854	0.6
24	100	66.7	0.001520376	0.381427324	65.97076071	0.46136601	0.7
26	100	69.5	0.003473929	0.538776086	68.58018629	0.756575882	0.9
28	100	71.3	0.0070477	0.730427257	71.02776987	0.074109244	0.3
30	100	74.6	0.014790937	1.00143047	73.32354921	1.504181529	1.2
32	100	76.5	0.02962851	1.333277093	75.47693954	0.94684665	1.0
34	100	78.4	0.054763489	1.739627189	77.49677212	0.727997811	0.9
36	100	80.2	0.09609813	2.231931568	79.39133048	0.575579444	0.8
38	100	81.8	0.163809451	2.818910601	81.16838438	0.398938292	0.6
40	100	83.3	0.266507666	3.50407841	82.8352217	0.17204104	0.4
42	100	84.7	0.418794345	4.299373861	84.39867829	0.063162599	0.3
44	100	85.3	0.618035865	5.151250716	85.86516606	0.32635475	-0.6
46	100	86.3	0.870047124	6.099804073	87.2406992	0.88061891	-0.9
47	100	86.8	1.023243567	6.597712121	87.89613458	1.294390938	-1.1
48	100	87.2	1.197105597	7.120428998	88.53091891	1.73280897	-1.3
50	100	87.8	1.596402941	8.227270796			Promedio 1.011452
52	55.4	89.1	2.118428119	9.498637216			S2(exp) 474.3
54	47.5	89.9	2.815372734	10.89068396			S2(dif) 1.0519101
56	37.3	90.3	3.639066871	12.34316736			R <sup>2</sup> = 0.9978
58	30	89.8	4.453687592	13.7203545			
60	27.1	88.5	5.096353692	14.9193223			
62	25.7	86.3	5.501853765	15.86260404			
64	24.4	84.3	5.72451902	16.62476819			
66	23	82.3	5.852365448	17.24059121			
68	22.4	77.9	5.91275441	17.6258497			
70	22.1	74.7	5.932174926	17.89975729			
72	21.9	71.5	5.940168087	18.09449763			
74	21.75	68.4	5.943498698	18.23518407			
76	21.575	65.6	5.94495225	18.33901046			
78	21.4	62.9	5.945620251	18.41686927			
80	21.2	60.3	5.945940406	18.47619625			



Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	100	20.0	80.0	1.9
2	100	23.5	76.5	1.9
4	100	27.6	72.4	1.9
6	100	32.1	67.9	1.8
8	100	35.9	64.1	1.8
10	100	41.0	59.1	1.8
12	100	45.2	54.8	1.7
14	100	49.4	50.6	1.7
16	100	53.3	46.7	1.7
18	100	57.1	43.0	1.6
20	100	60.5	39.5	1.6
22	100	63.8	36.3	1.6
24	100	66.7	33.4	1.5
26	100	69.5	30.6	1.5
28	100	71.3	28.7	1.5
30	100	74.6	25.5	1.4
32	100	76.5	23.6	1.4
34	100	78.4	21.7	1.3
36	100	80.2	19.9	1.3
38	100	81.8	18.2	1.3
40	100	83.3	16.8	1.2
42	100	84.7	15.4	1.2
44	100	85.3	14.7	1.2
46	100	86.3	13.7	1.1
47	100	86.8	13.2	1.1
48	100	87.2	12.8	1.1
50	100	87.8		
52	55.4	89.1		
54	47.5	89.9		
56	37.3	90.3		
58	30	89.8		
60	27.1	88.5		
62	25.7	86.3		
64	24.4	84.3		
66	23	82.3		
68	22.4	77.9		
70	22.1	74.7		
72	21.9	71.5		
74	21.75	68.4		
76	21.575	65.6		
78	21.4	62.9		
80	21.2	60.3		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 57.14 \text{ min}$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = \left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa: 0.430865 kg  
 calor especif: 3920 J/kgK  
 Área: 0.035145625 m<sup>2</sup>  
 diámetro: 0.0736 m  
 altura: 0.1152 m  
 $U = 0.032280239 \text{ (kW/m}^2\text{K)}$   
 $U = 32.28023928 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

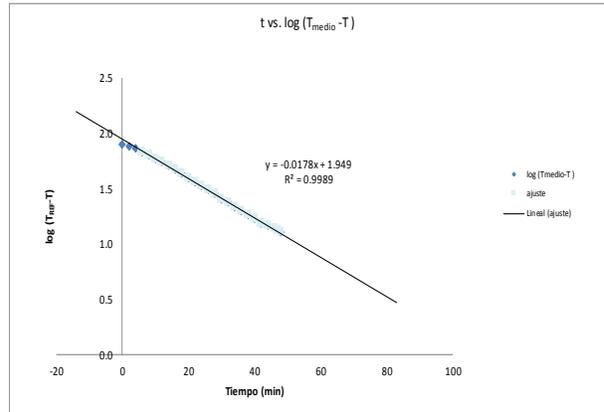
Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio: 0.0368 m  
 altura: 0.1152 m  
 $f_h = 57.14 \text{ min}$   
 sividad térmica): 0.00000257 m<sup>2</sup>/s.

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

$f_h$	57.14 min
$h$	1.11
U	32.280 (W/m <sup>2</sup> K)
$\alpha$	0.00000257 m <sup>2</sup> /s.



Aplicando la siguiente ecuación

$$f_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

$\log(T_{medio} - T_{P0}) = 1.949$   
 $T_{medio} - T_{P0} = 88.920112$   
 $T_{medio} - T_0 = 80.0$

$h = 1.11$



Datos de la corrida experimental	
Envase:	Hojalata
Dimensiones:	72.5 x 108.2 mm
Peso vacío:	79.685

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	15.50%
Peso del producto (g)	432.615
Temperatura de pasteurización (°C)	92.4

Parámetros de termo-resistencia (*Bacillus coagulans* y proteínas del tomate).

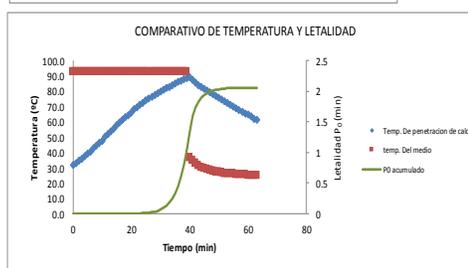
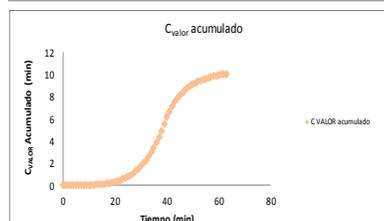
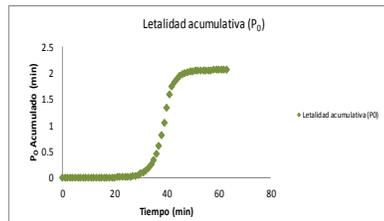
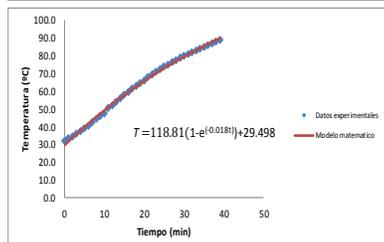
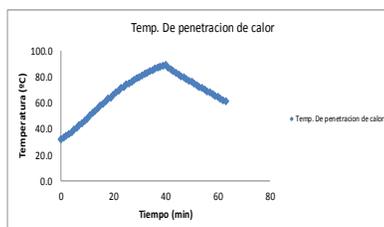
T <sub>ref</sub> (°C)	=	93.3
z (°C)	=	8.3
D (min)	=	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C)	=	21.6
D <sub>c</sub> (min)	=	12.5

Constantes del modelo matemático empírico.

A	=	118.8136448
K	=	0.01813713
B	=	29.49751181

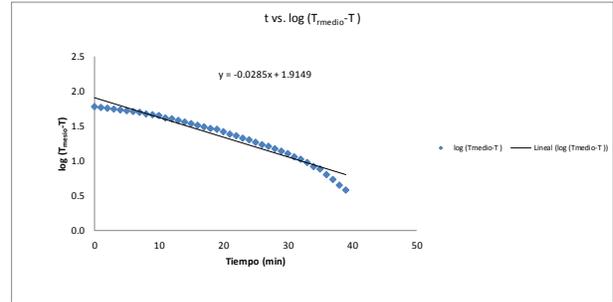
$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C VALOR acumulado	T_CALC (°C)	dif*2	dif
0	92.4	32.0	0	0	29.49751181	6.262447124	2.5
1	92.4	33.2	4.92874E-08	0.001650413	31.63302579	2.45540816	1.6
2	92.4	34.4	1.18044E-07	0.003526047	33.73015681	0.448689898	0.7
3	92.4	35.8	2.17148E-07	0.005703571	35.78959474	0.000108269	0.0
4	92.4	37.4	3.66986E-07	0.008272323	37.81201708	0.213459779	-0.5
5	92.4	39.0	6.01253E-07	0.01133507	39.79808911	0.63694623	-0.8
6	92.4	40.6	9.65307E-07	0.01494809	41.7484642	1.436316436	-1.2
7	92.4	42.5	1.56475E-06	0.01939592	43.66378394	1.354393062	-1.2
8	92.4	44.3	2.55926E-06	0.024755943	45.54467841	1.676192188	-1.3
9	92.4	46.1	4.20345E-06	0.031284464	47.39176636	1.688660318	-1.3
10	92.4	47.6	6.76987E-06	0.03890428	49.2056554	2.741194812	-1.7
11	92.4	50.3	1.15603E-05	0.049065467	50.98694226	0.543083889	-0.7
12	92.4	52.1	2.02468E-05	0.061441817	52.7362129	0.404766849	-0.6
13	92.4	53.9	3.45107E-05	0.0763564	54.45404277	0.364867669	-0.6
14	92.4	55.8	5.82986E-05	0.094619482	56.14099699	0.152878643	-0.4
15	92.4	58.0	0.000100795	0.117709588	57.79763049	0.023216468	0.2
16	92.4	59.4	0.000169508	0.144669389	59.42448825	0.000599674	0.0
17	92.4	61.2	0.000278525	0.177309817	61.02210546	0.031646469	0.2
18	92.4	63.1	0.000459709	0.217078118	62.59170068	0.210673968	0.5
19	92.4	64.2	0.000726839	0.26179412	64.13171098	0.000334488	0.0
20	92.4	66.1	0.001141145	0.31654939	65.64472224	0.164250061	0.4
21	92.4	68.0	0.001842982	0.383597863	67.13053918	0.671516028	0.8
22	92.4	69.4	0.002944162	0.46185402	68.58965058	0.656666176	0.8
23	92.4	71.1	0.004646933	0.555195955	70.02253644	1.055681374	1.0
24	92.4	72.3	0.007165039	0.661764605	71.42966811	0.757477597	0.9
25	92.4	73.9	0.010939666	0.788195104	72.8115085	1.184813737	1.1
26	92.4	75.1	0.016402649	0.931114967	74.16851219	0.777020756	0.9
27	92.4	76.3	0.024041037	1.094406236	75.50112558	0.638200339	0.8
28	92.4	77.5	0.03467234	1.278994338	76.80978705	0.409872619	0.6
29	92.4	78.7	0.049417156	1.488772008	78.09492711	0.308105914	0.6
30	92.4	79.7	0.06949804	1.723394893	79.35698822	0.117670596	0.3
31	92.4	80.8	0.096584157	1.987207956	80.59632645	0.041482915	0.2
32	92.4	81.9	0.133338089	2.28384284	81.8134086	0.00749807	0.1
33	92.4	82.9	0.182416613	2.613846319	83.00861535	0.011797295	-0.1
34	92.4	84.1	0.24875535	2.986889632	84.18233989	0.017513846	-0.1
35	92.4	84.8	0.333821125	3.388834665	85.33496832	0.342187932	-0.6
36	92.4	86.1	0.447378585	3.850526137	86.46687981	0.17378878	-0.4
37	92.4	87.0	0.600169878	4.358707248	87.57844674	0.394945304	-0.6
38	92.4	87.9	0.797834183	4.921048573	88.67003476	0.592935528	-0.8
39	92.4	88.6	1.043484337	5.52373664	89.74200296	1.420871064	-1.2
40	36.4	89.2	1.335467475	6.166232554		Promedio	0.8
41	34.8	87.2	1.584364697	6.685364527		S2(exp)	340.6
42	32.7	85.5	1.731796334	7.118450457		S2(dif)	0.778723
43	31	84.0	1.826331446	7.489510717		R <sup>2</sup>	0.9977
44	30.1	82.7	1.890270043	7.810835664			
45	29.4	81.5	1.934996765	8.093576728			
46	28.8	80.3	1.967245612	8.343696572			
47	28.3	79.2	1.990823548	8.566141353			
48	27.8	78.1	2.008200582	8.763973242			
49	27.4	76.9	2.020786045	8.937124609			
50	26.9	75.8	2.029893758	9.091940243			
51	26.4	74.6	2.03658129	9.228166009			
52	26.1	73.4	2.041375174	9.348034132			
53	25.9	72.2	2.044811618	9.453508795			
54	25.8	71.1	2.047289361	9.54681433			
55	25.7	69.8	2.049069573	9.628479532			
56	25.6	68.6	2.0503354	9.700338583			
57	25.5	67.6	2.051264409	9.764931543			
58	25.4	66.5	2.05196005	9.822377472			
59	25.2	65.5	2.05247886	9.874014705			
60	25.1	64.5	2.052871981	9.920430594			
61	25.1	63.4	2.053164629	9.961491254			
62	25.1	62.1	2.053374891	9.99742939			
63	25.1	61.0	2.053526154	10.02939107			



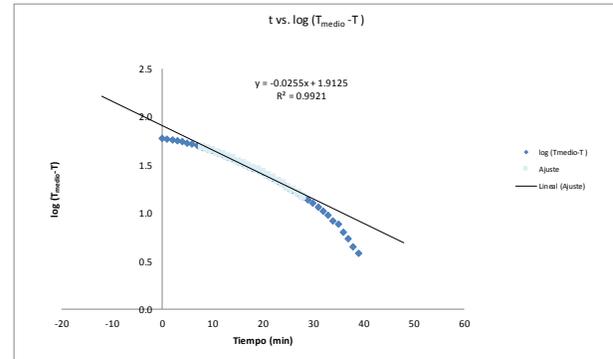
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	92.4	32.0	60.4	1.8
1	92.4	33.2	59.2	1.8
2	92.4	34.4	58.0	1.8
3	92.4	35.8	56.6	1.8
4	92.4	37.4	55.1	1.7
5	92.4	39.0	53.4	1.7
6	92.4	40.6	51.9	1.7
7	92.4	42.5	49.9	1.7
8	92.4	44.3	48.2	1.7
9	92.4	46.1	46.3	1.7
10	92.4	47.6	44.9	1.7
11	92.4	50.3	42.2	1.6
12	92.4	52.1	40.3	1.6
13	92.4	53.9	38.6	1.6
14	92.4	55.8	36.7	1.6
15	92.4	58.0	34.5	1.5
16	92.4	59.4	33.0	1.5
17	92.4	61.2	31.2	1.5
18	92.4	63.1	29.4	1.5
19	92.4	64.2	28.3	1.5
20	92.4	66.1	26.4	1.4
21	92.4	68.0	24.5	1.4
22	92.4	69.4	23.0	1.4
23	92.4	71.1	21.4	1.3
24	92.4	72.3	20.1	1.3
25	92.4	73.9	18.5	1.3
26	92.4	75.1	17.4	1.2
27	92.4	76.3	16.1	1.2
28	92.4	77.5	15.0	1.2
29	92.4	78.7	13.8	1.1
30	92.4	79.7	12.7	1.1
31	92.4	80.8	11.6	1.1
32	92.4	81.9	10.5	1.0
33	92.4	82.9	9.5	1.0
34	92.4	84.1	8.4	0.9
35	92.4	84.8	7.7	0.9
36	92.4	86.1	6.4	0.8
37	92.4	87.0	5.5	0.7
38	92.4	87.9	4.5	0.7
39	92.4	88.6	3.9	0.6
40	36.4	89.2		
41	34.8	87.2		
42	32.7	85.5		
43	31	84.0		
44	30.1	82.7		
45	29.4	81.5		
46	28.8	80.3		
47	28.3	79.2		
48	27.8	78.1		
49	27.4	76.9		
50	26.9	75.8		
51	26.4	74.6		
52	26.1	73.4		
53	25.9	72.2		
54	25.8	71.1		
55	25.7	69.8		
56	25.6	68.6		
57	25.5	67.6		
58	25.4	66.5		
59	25.2	65.5		
60	25.1	64.5		
61	25.1	63.4		
62	25.1	62.1		
63	25.1	61.0		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 35.09 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{P0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de de la recta con el eje Y.

$\log(T_{medio} - T_{P0}) = 1.9125$   
 $T_{medio} - T_{P0} = 81.752304$   
 $T_{medio} - T_0 = 60.4$

$j_h = 1.35$

Ecuación de trasmision de calor por conveccion en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = -\left(\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

- masa: 0.432615 kg
  - calor especific: 3920 J/kgK
  - Área: 0.032900722 m<sup>2</sup>
  - diámetro: 0.0725 m
  - altura: 0.1082 m
  - U = 0.056385802 (kW/m<sup>2</sup>K)
- U = 56.3858021 (W/m<sup>2</sup>K)**

Ecuación de trasmision de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

- radio: 0.03625 m
- altura: 0.1082 m
- f<sub>h</sub>: 35.09 min

**ividad térmica): 0.00000325 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

f <sub>h</sub>	35.09	min
j <sub>h</sub>	1.35	
U	56.386	(W/m <sup>2</sup> K)
α	0.00000325	m <sup>2</sup> /s.

**Datos de la corrida experimental**

Envase :	Vidrio
Dimensiones:	73.6 x 115.2 mm
Peso vacío	259.695 g

Nombre del producto	Pure de tomate
Concentración del producto (%)	15.50%
Peso del producto (g)	436.545
Temperatura de pasteurización (°C)	92.4

**Parámetros de termo-resistencia (Bacillus coagulans y proteínas del tomate).**

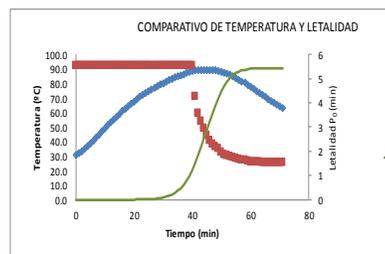
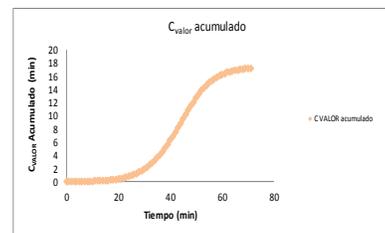
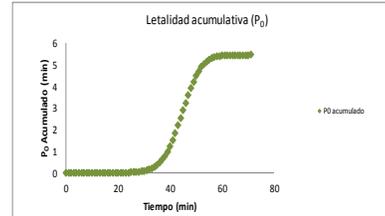
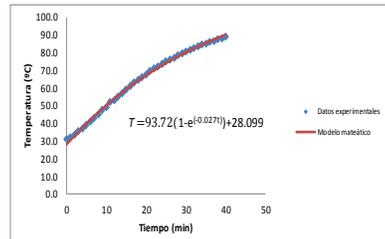
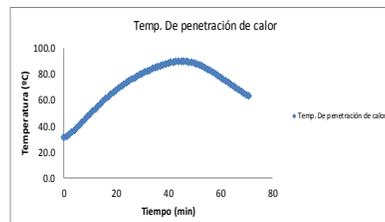
T <sub>ref</sub> (°C) =	93.3
z (°C) =	8.3
D (min) =	0.1 - 0.5
Z <sub>c</sub> (°C) =	21.6
D <sub>c</sub> (min) =	12.5

**Constantes del modelo matemático empírico.**

A =	93.719504
K =	0.026776401
B =	28.09870963

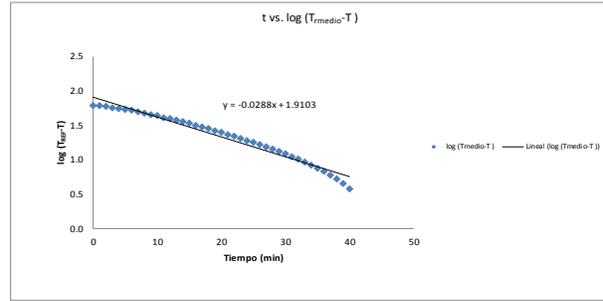
$$T_{cal} = A[1 - \exp(-K \cdot t)] + B$$

time	Temp_medio(°C)	Temp EXP(°C)	P <sub>0</sub> acumulado	C <sub>valor</sub> acumulado	T <sub> CALC</sub> (°C)	diff*2	diff
0	92.4	31.0	0	0	28.09870963	8.129856785	2.9
1	92.4	32.1	3.62454E-08	0.001459997	30.57488125	2.175975328	1.5
2	92.4	33.5	8.78819E-08	0.003154985	32.98562971	0.215639763	0.5
3	92.4	36.3	1.70058E-07	0.005219484	35.33268357	0.001068216	0.0
4	92.4	36.8	2.99401E-07	0.007641959	37.6177257	0.668675323	-0.8
5	92.4	38.8	5.13077E-07	0.010640099	39.84239453	1.086586346	-1.0
6	92.4	40.7	8.78759E-07	0.014311356	42.00828517	1.711610084	-1.3
7	92.4	42.7	1.50919E-06	0.018855033	44.11695062	2.007749054	-1.4
8	92.4	44.8	2.6268E-06	0.024538713	46.16990282	1.876633745	-1.4
9	92.4	47.2	4.7395E-06	0.031879468	48.16861379	0.938212674	-1.0
10	92.4	48.9	8.37159E-06	0.040678693	50.11451663	1.475050645	-1.2
11	92.4	51.7	1.54713E-05	0.052538403	52.09000659	0.095485075	-0.3
12	92.4	53.1	2.75058E-05	0.066306975	53.85344206	0.567674942	-0.8
13	92.4	55.1	4.7167E-05	0.083347442	55.64914553	0.301560817	-0.5
14	92.4	56.9	8.02361E-05	0.103992438	57.39740456	0.247411294	-0.5
15	92.4	58.9	0.000138657	0.129543409	59.09947267	0.039789346	-0.2
16	92.4	61.0	0.00023668	0.161505091	60.75857028	0.059258027	0.2
17	92.4	62.7	0.000402298	0.199613299	62.36988557	0.078464094	0.3
18	92.4	64.3	0.000661849	0.244808528	63.9405753	0.095743642	0.3
19	92.4	66.0	0.001073353	0.2989832	65.4697657	0.230624981	0.5
20	92.4	67.6	0.00172171	0.363232792	66.95855322	0.34909295	0.6
21	92.4	69.2	0.002740922	0.43983817	68.40800534	0.627255535	0.8
22	92.4	70.7	0.004311576	0.529726581	69.81916136	0.775876707	0.9
23	92.4	72.0	0.006596676	0.632427439	71.1930331	0.572988993	0.8
24	92.4	73.5	0.00993286	0.753580205	72.53060564	0.939725425	1.0
25	92.4	74.6	0.014843476	0.889805972	73.83283806	0.588537447	0.8
26	92.4	75.8	0.021531008	1.044621605	75.10066407	0.489070741	0.7
27	92.4	77.0	0.030860203	1.220563948	76.33499274	0.442234659	0.7
28	92.4	78.2	0.043770132	1.419453107	77.53670909	0.376125736	0.6
29	92.4	79.3	0.061531566	1.64428186	78.70667479	0.352034803	0.6
30	92.4	80.3	0.085390919	1.894401703	79.84572872	0.206362398	0.5
31	92.4	81.4	0.117128807	2.174144723	80.95468876	0.156271897	0.4
32	92.4	82.3	0.158608283	2.482056235	82.03434657	0.046506402	0.2
33	92.4	83.1	0.211439567	2.819171003	83.08547977	0.000210837	0.0
34	92.4	84.2	0.280452011	3.196212272	84.10884089	0.001694072	0.0
35	92.4	84.9	0.367910718	3.602465006	85.10516369	0.06510851	-0.3
36	92.4	85.7	0.475752968	4.044883561	86.07516256	0.180763199	-0.4
37	92.4	86.4	0.60936325	4.524126316	87.01953299	0.383821126	-0.6
38	92.4	87.2	0.773876668	5.043258289	87.93895213	0.622445458	-0.8
39	92.4	87.9	0.976440904	5.605599614	88.83407921	0.872503963	-0.9
40	92.4	88.7	1.225856851	6.214746772	89.70556505	1.114198576	-1.1
41	71	89.2	1.521605782	6.857242686		Promedio 0.7601616	
42	59.1	89.3	1.844551956	7.5100948		S2(exp) 369.6	
43	54	89.5	2.181220416	8.173470043		S2(diff) 0.7791656	
44	49.1	89.5	2.527292901	8.840390553		R <sup>2</sup> = 0.9979	
45	44.2	89.5	2.875765532	9.507311064			
46	40.5	89.5	3.224238163	10.17423157			
47	38.2	89.4	3.567943565	10.83408039			
48	36.4	89.2	3.897735012	11.48000999			
49	34.8	88.8	4.201540664	12.09897581			
50	32.7	88.3	4.46820284	12.66269464			
51	31	87.6	4.694236159	13.22733662			
52	30.1	86.8	4.879473568	13.72745645			
53	29.4	86.0	5.027842563	14.18669362			
54	28.8	85.0	5.143828583	14.59949462			
55	28.3	83.8	5.229670538	14.96272753			
56	27.8	82.7	5.291928159	15.28576973			
57	27.4	81.5	5.337279608	15.57002184			
58	26.9	80.4	5.370171139	15.82282226			
59	26.4	79.0	5.393460599	16.03941712			
60	26.1	77.5	5.408036767	16.22499171			
61	25.9	76.3	5.41975406	16.38828298			
62	25.8	74.8	5.427180476	16.52744429			
63	25.7	73.4	5.432106093	16.64667521			
64	25.6	72.0	5.435437522	16.74992493			
65	25.5	70.8	5.437767944	16.84077869			
66	25.4	69.3	5.439382781	16.91820306			
67	25.2	68.0	5.44047207	16.98560986			
68	25.1	66.7	5.441231551	17.0442937			
69	25.1	65.4	5.441761081	17.09538339			
70	25	64.1	5.442130283	17.13986169			
71	25	62.9	5.442390675	17.17899915			



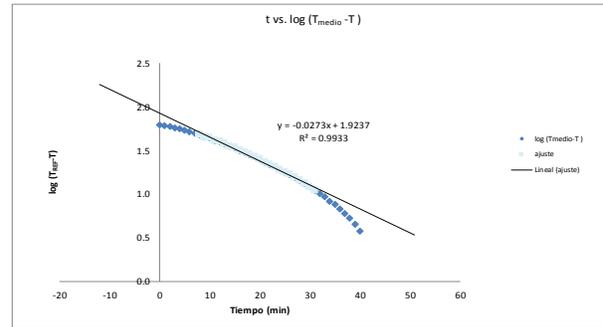
Análisis de transferencia de calor en caso de alimentos semi-sólidos

time	Temp_medio(°C)	Temp_EXP(°C)	T_medio-T	log (T_medio-T)
0	92.4	31.0	61.5	1.8
1	92.4	32.1	60.4	1.8
2	92.4	33.5	59.0	1.8
3	92.4	35.3	57.1	1.8
4	92.4	36.8	55.6	1.7
5	92.4	38.8	53.6	1.7
6	92.4	40.7	51.7	1.7
7	92.4	42.7	49.7	1.7
8	92.4	44.8	47.6	1.7
9	92.4	47.2	45.2	1.7
10	92.4	48.9	43.5	1.6
11	92.4	51.7	40.7	1.6
12	92.4	53.1	39.3	1.6
13	92.4	55.1	37.3	1.6
14	92.4	56.9	35.5	1.6
15	92.4	58.9	33.5	1.5
16	92.4	61.0	31.4	1.5
17	92.4	62.7	29.8	1.5
18	92.4	64.3	28.2	1.4
19	92.4	66.0	26.5	1.4
20	92.4	67.6	24.9	1.4
21	92.4	69.2	23.2	1.4
22	92.4	70.7	21.7	1.3
23	92.4	72.0	20.5	1.3
24	92.4	73.5	18.9	1.3
25	92.4	74.6	17.8	1.3
26	92.4	75.8	16.6	1.2
27	92.4	77.0	15.4	1.2
28	92.4	78.2	14.3	1.2
29	92.4	79.3	13.1	1.1
30	92.4	80.3	12.1	1.1
31	92.4	81.4	11.1	1.0
32	92.4	82.3	10.2	1.0
33	92.4	83.1	9.3	1.0
34	92.4	84.2	8.3	0.9
35	92.4	84.9	7.6	0.9
36	92.4	85.7	6.8	0.8
37	92.4	86.4	6.0	0.8
38	92.4	87.2	5.3	0.7
39	92.4	87.9	4.5	0.7
40	92.4	88.7	3.8	0.6
41		89.2		
42	59.1	89.3		
43	54	89.5		
44	49.1	89.5		
45	44.2	89.5		
46	40.5	89.5		
47	38.2	89.4		
48	36.4	89.2		
49	34.8	88.8		
50	32.7	88.3		
51	31	87.6		
52	30.1	86.8		
53	29.4	86.0		
54	28.8	85.0		
55	28.3	83.8		
56	27.8	82.7		
57	27.4	81.5		
58	26.9	80.4		
59	26.4	79.0		
60	26.1	77.5		
61	25.9	76.3		
62	25.8	74.8		
63	25.7	73.4		
64	25.6	72.0		
65	25.5	70.8		
66	25.4	69.3		
67	25.2	68.0		
68	25.1	66.7		
69	25.1	65.4		
70	25	64.1		
71	25	62.9		



De la gráfica se obtiene:

$f_h = 34.72 \text{ min}$



Aplicando la siguiente ecuación

$$j_h = \frac{T_{medio} - T_{p0}}{T_{medio} - T_0}$$

Hallando la intersección de la recta con el eje Y.

log(T\_medio-T\_p0) = 1.9237  
 T\_medio-T\_p0 = 83.888031  
 T\_medio-T\_0 = 61.5

$j_h = 1.37$

Ecuación de transmisión de calor por convección en el alimento.

$$\log\left(\frac{T_M - T}{T_M - T_0}\right) = \left(-\frac{UA}{2.303mC_p}\right)t$$

$$f_h = \frac{2.303mC_p}{UA}$$

Datos de cálculo de constante universal de transferencia de calor:

masa:	0.437605 kg
calor especific:	3920 J/kgK
Área:	0.035145625 m <sup>2</sup>
diametro:	0.0736 m
altura:	0.1152 m
U =	0.053955068 (kW/m <sup>2</sup> K)
<b>U =</b>	<b>53.95506784 (W/m<sup>2</sup>K)</b>

Ecuación de transmisión de calor por conducción en el alimento.

$$\alpha = \frac{0.398}{R^2 + \left(\frac{0.427}{H^2}\right)f_h}$$

radio:	0.0368 m
altura:	0.1152 m
$f_h$ :	34.72 min

**ividad térmica): 0.00000357 m<sup>2</sup>/s.**

Coefficientes de transferencia de calor calculados:

$f_h$	34.72	min
$j_h$	1.37	
<b>U</b>	<b>53.955</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>K)</b>
$\alpha$	0.00000357	m <sup>2</sup> /s.

## ANEXO III: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE VALIDACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS, AGUAS y  
AMBIENTE.

### INFORME N° 650-2016

ESTUDIO REALIZADO : Análisis Microbiológico. Prueba de esterilidad comercial.  
MUESTRA : Puré de tomate  
Concentración 15.5%. Pasteurizado a 92.4°C. P<sub>o</sub>:10 min  
F.P: 02/04/16  
PRESENTACION : Envase de vidrio 366 g.  
FECHA DE RECEPCIÓN : 04 de Octubre de 2016. HORA: 17:00  
FECHA DE ANALISIS : 04 de Octubre de 2016. HORA: 18:00  
SOLICITANTE : SEBASTIÁN ANGEL LOZANO AYALA  
DIRECCION : Jr. Iquique N° 369 Urb. Tarapacá – Bellavista -CALLAO

### I. RESULTADOS.-

Prueba de esterilidad comercial	Microorganismos aerobios mesófilos a 35°C/48h-5d	Microorganismos anaerobios termófilos a 54°C/48h-5d
Puré de tomate	Estéril comercialmente	Estéril comercialmente
<b>Limite permisible</b>	<b>Estéril comercialmente</b>	<b>Estéril comercialmente</b>

1. Aerobios mesófilos. Microbiological Examination of Food. APHA. Chapter 22. 2001.
2. Anaerobios termófilos. Microbiological Examination of Food. APHA. Chapter 22. 2001

### II. CALIFICACIÓN.-

**CONFORME**

\* De acuerdo con la "Norma Sanitaria que establece los Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para Alimentos y Bebidas de Consumo Humano". R.M. N° 591-2008/MINSA.

Lima, 15 de Octubre de 2016.

U. N. M. S. M.  
Lab. Control de Calidad Alimentos y Aguas  
  
GÉRMAN VERGARAY ULFFE  
DIRECTOR

## ANEXO IV: TABLA PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR ESTADÍSTICO DURBIN-WATSON

Estadístico de Durbin-Watson - Puntos críticos de  $d_L$  y  $d_u$  al nivel de significación de  $k^*$  corresponde al número de regresores del modelo excluido el término independiente (es decir,  $k^* = k$ )

n	$k^* = 1$		$k^* = 2$		$k^* = 3$		$k^* = 4$		$k^* = 5$		$k^* = 6$	
	$d_L$	$d_u$										
6	0.610	1.400										
7	0.700	1.356										
8	0.763	1.332	0.467	1.896								
9	0.824	1.320	0.559	1.777	0.368	2.287						
10	0.879	1.320	0.629	1.699	0.455	2.128	0.296	2.588				
11	0.927	1.324	0.697	1.641	0.525	2.016	0.376	2.414	0.243	2.822		
12	0.971	1.331	0.658	1.604	0.595	1.928	0.444	2.283	0.316	2.645	0.203	3.005
13	1.010	1.340	0.812	1.579	0.658	1.864	0.512	2.177	0.379	2.506	0.268	2.832
14	1.045	1.350	0.861	1.562	0.715	1.816	0.574	2.094	0.445	2.390	0.328	2.692
15	1.077	1.361	0.905	1.551	0.767	1.779	0.632	2.030	0.505	2.296	0.389	2.572
16	1.106	1.371	0.946	1.543	0.814	1.750	0.685	1.977	0.562	2.220	0.447	2.472
17	1.133	1.381	0.982	1.539	0.857	1.728	0.734	1.935	0.615	2.157	0.502	2.388
18	1.158	1.391	1.015	1.536	0.897	1.710	0.779	1.900	0.664	2.104	0.554	2.318
19	1.180	1.401	1.046	1.535	0.933	1.696	0.820	1.872	0.710	2.060	0.603	2.257
20	1.201	1.411	1.074	1.536	0.967	1.685	0.859	1.848	0.752	2.023	0.649	2.206
21	1.221	1.420	1.100	1.537	0.998	1.676	0.894	1.828	0.792	1.991	0.692	2.162
22	1.239	1.429	1.125	1.538	1.026	1.669	0.927	1.812	0.829	1.964	0.732	2.124
23	1.257	1.437	1.147	1.541	1.053	1.664	0.958	1.797	0.863	1.940	0.769	2.090
24	1.273	1.446	1.168	1.543	1.078	1.660	0.986	1.785	0.895	1.920	0.804	2.061
25	1.288	1.454	1.188	1.546	1.101	1.656	1.013	1.775	0.925	1.902	0.837	2.035
26	1.302	1.461	1.206	1.550	1.123	1.654	1.038	1.767	0.953	1.886	0.868	2.012
27	1.316	1.469	1.224	1.553	1.143	1.652	1.062	1.759	0.979	1.873	0.897	1.992
28	1.328	1.476	1.240	1.556	1.162	1.651	1.084	1.753	1.004	1.861	0.925	1.974
29	1.341	1.483	1.255	1.560	1.181	1.650	1.104	1.747	1.028	1.850	0.951	1.958
30	1.352	1.489	1.270	1.563	1.198	1.650	1.124	1.743	1.050	1.841	0.975	1.944
31	1.363	1.496	1.284	1.567	1.214	1.650	1.143	1.739	1.071	1.833	0.998	1.931
32	1.373	1.502	1.297	1.570	1.229	1.650	1.160	1.735	1.090	1.825	1.020	1.920
33	1.383	1.508	1.309	1.574	1.244	1.650	1.177	1.732	1.109	1.819	1.041	1.909
34	1.393	1.514	1.321	1.577	1.258	1.651	1.193	1.730	1.127	1.813	1.061	1.900
35	1.402	1.519	1.333	1.580	1.271	1.652	1.208	1.728	1.144	1.808	1.080	1.891
36	1.411	1.525	1.343	1.584	1.283	1.653	1.222	1.726	1.160	1.803	1.097	1.884
37	1.427	1.535	1.354	1.587	1.295	1.654	1.236	1.724	1.175	1.799	1.114	1.877
38	1.442	1.544	1.364	1.590	1.307	1.655	1.249	1.723	1.190	1.795	1.131	1.870
39	1.459	1.550	1.373	1.594	1.318	1.656	1.261	1.722	1.204	1.792	1.146	1.864
40	1.475	1.556	1.382	1.597	1.328	1.658	1.273	1.722	1.218	1.789	1.161	1.859
45	1.503	1.585	1.391	1.600	1.338	1.659	1.285	1.721	1.230	1.786	1.175	1.854
50	1.528	1.601	1.430	1.615	1.383	1.666	1.336	1.720	1.287	1.776	1.238	1.835
55	1.549	1.616	1.462	1.628	1.421	1.674	1.378	1.721	1.335	1.771	1.291	1.822
60	1.567	1.629	1.490	1.641	1.452	1.681	1.414	1.724	1.374	1.768	1.334	1.814
65	1.583	1.641	1.514	1.652	1.480	1.689	1.444	1.727	1.408	1.767	1.372	1.808
70	1.598	1.652	1.536	1.662	1.503	1.696	1.471	1.731	1.438	1.767	1.404	1.805
75	1.611	1.662	1.554	1.672	1.525	1.703	1.494	1.735	1.464	1.768	1.433	1.802
80	1.624	1.671	1.571	1.680	1.543	1.709	1.515	1.739	1.487	1.770	1.458	1.801
85	1.635	1.679	1.586	1.688	1.560	1.715	1.534	1.743	1.507	1.772	1.480	1.801
90	1.645	1.687	1.600	1.696	1.575	1.721	1.550	1.747	1.525	1.774	1.500	1.801
95	1.654	1.694	1.612	1.703	1.589	1.726	1.566	1.751	1.542	1.776	1.518	1.801
100	1.665	1.706	1.623	1.709	1.602	1.732	1.579	1.755	1.557	1.778	1.535	1.802
150	1.720	1.746	1.634	1.715	1.613	1.736	1.592	1.758	1.571	1.780	1.550	1.803
200	1.758	1.778	1.634	1.715	1.613	1.736	1.592	1.758	1.571	1.780	1.550	1.803
			1.706	1.760	1.693	1.774	1.679	1.788	1.665	1.802	1.651	1.817
			1.748	1.789	1.738	1.799	1.728	1.810	1.718	1.820	1.707	1.831