

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“ESTUDIOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO EN CONSERVAS DE  
ALIMENTOS DE BAJA ACIDEZ UTILIZANDO  
MONITOREADORES INALÁMBRICOS DE TEMPERATURA”**

Presentado por:

**FEDERICO LLOSA SANZ**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL  
TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Lima – Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“ESTUDIOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO EN CONSERVAS DE ALIMENTOS  
DE BAJA ACIDEZ UTILIZANDO MONITOREADORES INALÁMBRICOS DE  
TEMPERATURA”**

Presentado por:

**FEDERICO LLOSA SANZ**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

---

M. Sc. Walter F. Salas Valerio

PRESIDENTE

---

Mg. Sc. Carlos Elías Peñafiel

MIEMBRO

---

Dr. Luis F. Vargas Delgado

MIEMBRO

---

Dra. Carmen E. Velezmoro Sánchez

ASESOR(A)

Lima - Perú

2017

# INDICE GENERAL

RESUMEN

SUMMARY

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 PRESERVACIÓN DE LOS ALIMENTOS .....	3
2.2 TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ALIMENTOS.....	4
2.3 ENVASES UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ENLATADOS DE ALIMENTOS DE BAJA ACIDEZ .....	6
2.4 AUTOCLAVES .....	10
2.5 ESTUDIOS DE DISTRIBUCIÓN TÉRMICA EN AUTOCLAVES.....	12
2.6 ESTUDIOS DE PENETRACIÓN DE CALOR EN ALIMENTOS ENLATADOS DE BAJA ACIDEZ.....	12
2.7 INSTRUMENTOS PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN LAS PRUEBAS DE DISTRIBUCIÓN TÉRMICA Y PENETRACIÓN DE CALOR .....	13
2.8 DETERMINACIÓN DEL VALOR DE FO .....	18
2.8.1 MÉTODO DE BALL: FÓRMULA EMPÍRICA.....	19
2.9 ENFOQUE DE LAS CONDICIONES MÁS CRÍTICAS .....	22
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	23
3.1 MATERIALES .....	23
3.2 MÉTODOS .....	23
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	24
4.1 PROCEDIMIENTO PARA LOS ESTUDIOS DE DISTRIBUCIÓN TÉRMICA EN AUTOCLAVES ESTÁTICAS Y ROTATORIAS .....	24
4.2 ESTUDIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR .....	44
4.3 DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CALENTAMIENTO MÁS LENTO Y ESTUDIOS DE PENETRACIÓN DE CALOR .....	46
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	62
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	63
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Cuadro 1: Registro de información de una autoclave de vapor .....</b>	<b>25</b>
<b>Cuadro 2: Registro de información de una autoclave rotatoria .....</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 3: Registro del procedimiento de operación en una autoclave de vapor utilizando latas de ½ lb (307 x 109) como carga.....</b>	<b>32</b>
<b>Cuadro 4: Registro del procedimiento de operación en una autoclave de cascada.....</b>	<b>32</b>
<b>Cuadro 5: Condiciones de operación en una autoclave de vapor con sobrepresión de aire.....</b>	<b>34</b>
<b>Cuadro 6: Temperaturas monitoreadas en °C durante un estudio de distribución térmica en una autoclave rotatoria. Temperatura programada: 118,5 °C.....</b>	<b>36</b>
<b>Cuadro 7: Efecto del cambio de bomba en la dispersión de temperaturas en una autoclave de aspersión. Temperatura programada 116 °C.....</b>	<b>39</b>
<b>Cuadro 8: Dispersión de temperaturas antes y después de la nivelación en una autoclave de cascada. Temperatura programada de proceso: 116,5 °C .....</b>	<b>40</b>
<b>Cuadro 9: Variación en la dispersión de temperaturas después de la instalación de una válvula reductora de presión en una autoclave con sobrepresión de aire. Temperatura programada 124 °C.....</b>	<b>42</b>
<b>Cuadro 10: valores de fh obtenidos de la determinación del punto de calentamiento más lento en el producto.....</b>	<b>49</b>
<b>Cuadro 11: Resultados de los estudios de penetración de calor para pastas de ajíes a diferentes temperaturas iniciales.....</b>	<b>51</b>
<b>Cuadro 12: Efecto del CUT durante el estudio de penetración de calor en una conserva de pollo.....</b>	<b>55</b>
<b>Cuadro 13: Datos de la curva de penetración de calor en el monitreador que obtuvo una letalidad más baja en la esterilización.....</b>	<b>56</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Operaciones en el doble sello .....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2: Componentes principales de un doble cierre .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 3: Accesorios simples para posicionar las sondas de temperatura en bolsas retortables y frascos de vidrio .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 4: Sistema para el montaje interno en una lata de un monitorador inalámbrico miniatura .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 5: Accesorio elástico para el montaje interno de un monitorador inalámbrico en una lata o frasco de vidrio .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 6: Accesorio para montar una termocupla dentro de una bolsa retortable .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 7: Forma de estiba de bolsas retortables tetralaminadas (300 mm x 230 mm) de un kilogramo en una autoclave vertical de vapor con sobrepresión de aire.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 8: Localización de los monitoradores en una autoclave estacionaria.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 9: Localización de los monitoradores en una autoclave rotatoria (seis filas en total).....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 10: log (Tretorta- T producto) a lo largo del tiempo de Ball de diferentes puntos en un estudio de transferencia de calor en una autoclave de vapor con sobrepresión de aire.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 11: Determinación de los valores de fh para las tres muestras en las que se monitoreó la posición ubicada a 1/6 de la base.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 12: Determinación de los valores de fh para las tres muestras en las que se monitoreó la posición ubicada a 1/3 de la base del envase .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 13: Determinación de los valores de fh para las tres muestras en las que se monitoreó la parte central de la lata .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 14: esquema del equipo utilizado para la determinación de aire residual en bolsas retortables.....</b>	<b>53</b>

<b>Figura 15: Diferencia en las curvas de calentamiento registradas por un monitreador insertado en el producto (celeste) y otro que registra la temperatura del líquido de gobierno (anaranjado).....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 16: Representación gráfica de la curva de penetración de calor.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 17: logaritmo de la diferencia entre la temperatura de la retorta y la temperatura del producto a través del tiempo para la fase de calentamiento.....</b>	<b>59</b>

## **RESUMEN**

Durante el presente trabajo – que recoge la experiencia de un año y once meses realizando estudios de tratamiento térmico en fábricas de conservas - se expone el procedimiento para realizar este tipo de estudios en conservas de alimentos de baja acidez utilizando monitores inalámbricos de temperatura. Para tal fin se describen ejemplos y casos representativos de estudios de tratamiento térmico de diferentes tipos de alimentos en diferentes tipos de envase y procesados en diferentes tipos de autoclaves. Durante el desarrollo del trabajo se describe el procedimiento general para la realización de los estudios, el efecto de los factores críticos de procesamiento en el resultado de los estudios y en el manejo de estos factores para obtener resultados satisfactorios desde el punto de vista de la inocuidad. Además, se propone la adaptación del método de Ball para recomendar procesos alternativos sin considerar la etapa de enfriamiento del procesamiento térmico.

**Palabras clave:** tratamiento térmico, conservas, baja acidez, autoclave, monitores inalámbricos, Ball.

## **SUMMARY**

In this work, which summarizes the experience of one year and eleven months performing heat treatment studies in canning factories, it is exposed the procedure for conducting this type of studies in low acid canned foods using wireless temperature dataloggers. In this order examples and representative cases of heat treatment studies of different foods canned in different types of containers and processed in different types of retorts are used. During the work it is described the general procedure for performing the studies, the effect of the critical processing factors on the result of the studies and the management of this factors to obtain satisfactory results from the safety point of view. In addition, an adaptation of Ball method to recommend alternative processes without considering the cooling stage of thermal processing is proposed.

**Keywords:** heat treatment, canning, low acid, retort, wireless data loggers, Ball.



## I. INTRODUCCIÓN

La inactivación térmica es aún el procedimiento más ampliamente utilizado para la preservación de los alimentos. Las ventajas de utilizar el tratamiento térmico son que es seguro, que no requiere la utilización de químicos, que produce aromas y sabores a cocido, y que permite obtener alimentos con un tiempo de vida muy largo (Ahmed y Rahman 2012).

El tratamiento térmico puede ser realizado de diferentes formas, dentro de estas el enlatado es el procedimiento para conservar alimentos envasándolos en recipientes herméticamente cerrados y calentándolos para destruir los microorganismos patógenos y causantes del deterioro y sus esporas, así como para inactivar las enzimas (Sharma *et al.* 2003).

Los alimentos de alta acidez (pH menor a 4,6 y actividad de agua mayor a 0,85) (FDA 2016) pueden ser conservados a temperatura ambiente después de la pasteurización (temperatura menor o igual a 100 °C) debido a que el ambiente ácido inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos o alterantes que puedan resistir el tratamiento térmico (Silva y Gibbs 2004). Por otro lado, cuando el alimento es de baja acidez y tiene un pH mayor a 4,6 y una actividad de agua mayor a 0,85 (FDA 2016), se requiere un proceso de esterilización para matar las esporas de los microorganismos patógenos y alterantes, las formas más termoresistentes de los microorganismos (Silva y Gibbs 2004). La esterilización comercial en los productos de baja acidez se basa en reducir la probabilidad de supervivencia de una espora de *C. botulinum* a uno en un billón. A esto se le llama “cocción botulínica” y el proceso estándar consiste en lograr al menos tres minutos equivalentes a un proceso a 121,1 °C, conocido como Fo de tres (Stephen 2008).

Una de las actividades más importantes que involucra el establecimiento de un proceso térmico es la medición de las temperaturas del producto bajo “las condiciones más críticas” que pueden ser esperadas en una producción normal. Para los alimentos enlatados existen dos etapas principales en la validación del proceso: los estudios de distribución térmica para localizar la zona de calentamiento más lento en la autoclave y los estudios de penetración de calor para medir la temperatura en el punto frío del alimento (Richardson 2001).

Para la realización de estos estudios los instrumentos de medición de temperatura o TMDs pueden ser termocuplas, *data-loggers* inalámbricos u otros instrumentos similares. Todos estos instrumentos deben ser de una exactitud y tamaño adecuados y deben estar disponibles en cantidad suficiente para monitorear adecuadamente y con exactitud el ambiente del proceso (IFTPS 2014).

El objetivo general del presente trabajo es exponer el procedimiento de realización de estudios de tratamiento térmico en alimentos de baja acidez utilizando monitores inalámbricos de temperatura. Para lograr el objetivo se emplearán casos en plantas industriales de alimentos procesados que permitan entender el procedimiento y los factores críticos en función del tipo del tipo de autoclave, envase y producto.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 PRESERVACIÓN DE LOS ALIMENTOS**

La preservación de los alimentos involucra las acciones a ser tomadas para mantener los alimentos con las propiedades o naturaleza deseadas por un tiempo determinado (Rahman, citado por Ahmed y Rahman 2012).

El principal aspecto a ser tomado en cuenta en la preservación es la seguridad del alimento. Otros aspectos que deben ser considerados son la calidad deseada en cuanto a apariencia y características sensoriales o microbiológicas, el tiempo de vida deseado y los consumidores objetivo (Ahmed y Rahman 2012).

Según Gould (1995) la mayor parte de tecnologías que se emplean para mantener la seguridad microbiológica de los alimentos y su calidad incluyen:

- Procedimientos que previenen el acceso de microorganismos al alimento (envasado aséptico de alimentos tratados térmicamente, envasado).
- Procedimientos que inactivan los microorganismos en el caso de que estos hayan accedido al alimento (pasteurización y esterilización térmica, radiación ionizante, adición de enzimas como la lisozima, aplicación de altas presiones hidrostáticas, tratamientos con shock eléctrico).

Procedimientos que previenen o retardan el crecimiento de los microorganismos en el caso de que estos hayan accedido al alimento (refrigeración y congelación, reducción de la actividad de agua, acidificación, fermentación, empaque al vacío y en atmósferas modificadas, adición de preservantes, control de la microestructura en emulsiones de agua en aceite).

## **2.2 TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ALIMENTOS**

El calor con su efecto destructivo sobre enzimas y microorganismos asegura la seguridad y la larga preservación de los alimentos (Gould 1995).

La inactivación térmica es aún el procedimiento más ampliamente utilizado para la preservación de los alimentos. Las ventajas de utilizar el tratamiento térmico son que es seguro, que no requiere la utilización de químicos, que produce aromas y sabores a cocido, y que permite obtener alimentos con un tiempo de vida muy largo (Ahmed y Rahman 2012).

Los alimentos tratados térmicamente de larga duración incluyen una amplia variedad de productos como vegetales, frutas, pescado, carne, leche y productos lácteos, comidas listas para servir, sopas y salsas. Estos productos se caracterizan por su estabilidad durante el almacenamiento prolongado a temperatura ambiente y tienen una larga historia de uso seguro. La esterilidad comercial de estos productos es la condición lograda a través de la aplicación de calor, solo o en combinación con otros tratamientos, para obtener alimentos libres de microorganismos capaces de desarrollarse en el alimento bajo condiciones ambientales normales de distribución y almacenamiento (ICMSF 2011).

Según el ICMSF (2011) los alimentos tratados térmicamente de larga duración han sido sometidos tradicionalmente a uno de estos tres procesos:

- El alimento se coloca en un envase herméticamente cerrado, es sometido a un tratamiento térmico para lograr su esterilidad comercial y luego es enfriado.
- El alimento se somete a un procesamiento térmico en línea para lograr su esterilidad comercial, luego es enfriado y envasado asépticamente en envases estériles que son sellados herméticamente con un sello estéril en un ambiente libre de microorganismos.
- El alimento se somete a un procesamiento térmico en línea para lograr su esterilidad comercial, luego es llenado en caliente en envases apropiados que son sellados herméticamente (a veces en un ambiente de vapor) y luego invertidos por un tiempo específico o sometidos a un ambiente caliente para pasteurizar el espacio de cabeza y el envase.

Al primer proceso se le suele denominar enlatado, que es el procedimiento para conservar alimentos envasándolos en recipientes herméticamente cerrados y calentándolos para destruir los microorganismos patógenos y causantes del deterioro y sus esporas, así como para inactivar las enzimas (Sharma *et al.* 2003).

Dependiendo de la intensidad del tratamiento térmico aplicado éste es clasificado como esterilización o pasteurización. La palabra “pasteurización” tiene su origen en el trabajo de Pasteur y se refiere a un tratamiento leve (a temperatura menor o igual a 100 °C) usado para preservar el alimento destruyendo enzimas alterantes y las formas vegetativas de los microorganismos (bacterias, hongos y levaduras) (Silva y Gibbs 2004).

Sin embargo, las esporas remanentes de *C. botulinum* y *B. cereus* representan un riesgo para la seguridad del alimento (ICMSF 2011).

Por lo tanto, después de la pasteurización, el producto no es estéril y requiere de otras técnicas de preservación como la acidificación (ejemplo en conservas fermentadas y salsas acidificadas), refrigeración (ejemplo en leche) y/o la reducción de la actividad de agua (por ejemplo, mermeladas, frutas deshidratadas) (Silva y Gibbs 2004).

Los alimentos de alta acidez, que se definen como aquellos alimentos con pH menor a 4,6 y actividad de agua mayor a 0,85 (FDA 2016), pueden ser conservados a temperatura ambiente después de la pasteurización debido a que el ambiente ácido inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos o alterantes que puedan resistir el tratamiento térmico (Silva y Gibbs 2004). Por otro lado, cuando el alimento es de baja acidez y tiene un pH mayor a 4,6 y una actividad de agua mayor a 0,85 (FDA, 2016), se requiere un proceso de esterilización para matar las esporas de los microorganismos patógenos y alterantes- las formas más termoresistentes de los microorganismos- (Silva y Gibbs 2004).

La esterilización comercial en los productos de baja acidez se basa en reducir la probabilidad de supervivencia de una espora de *C. botulinum* a uno en un billón. A esto se le llama “cocción botulínica y el proceso estándar consiste en lograr por lo menos un proceso equivalente a un tratamiento a 121,1 °C por tres minutos, conocido como Fo de tres (Stephen 2008).

El *C. botulinum* es una bacteria formadora de esporas que bajo ciertas condiciones puede producir una potente neurotoxina. El *C. botulinum* es el mayor peligro en los alimentos de larga duración que tienen ausencia de oxígeno y un pH, nutrientes y actividad de agua

favorables. Los productos de baja acidez de larga duración tratados térmicamente presentan este ambiente favorable (Codex Alimentarius 1993). Cuando un producto es acidificado a un pH de 4,6 o menor, se asegura la inhibición de la germinación de sus esporas. Por lo tanto, el pH de 4,6 es considerado el “punto de quiebre” para definir a los alimentos de baja acidez (pH mayor a 4,6) y a los alimentos ácidos y acidificados ( $\text{pH} \leq 4.6$ ) (Codex Alimentarius, 1993). Sin embargo, los productores deben ser conscientes de que el crecimiento de ciertos bacilos y hongos en alimentos ácidos o acidificados mal procesados puede causar un incremento en el pH hasta un punto en el que el *C. botulinum* pueda empezar a producir su toxina (Odling y Pflug 1979; Montville y Sapers 1981; Wade y Beuchat 2003, Evancho *et al.*, 2009).

El *B. cereus* y algunos *Bacillus spp.* pueden producir enterotoxinas que causan vómitos y diarrea. Estos microorganismos son más sensibles al tratamiento térmico que el *C. botulinum*, por lo que no suelen ser un problema en los alimentos tratados térmicamente de larga duración. Sin embargo, se debe evitar la formación de toxinas de *B. cereus* desarrolladas en el alimento que pueden resistir al tratamiento térmico (ICMSF 2011).

### **2.3 ENVASES UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ENLATADOS DE ALIMENTOS DE BAJA ACIDEZ**

Aunque solemos pensar en el enlatado en términos de envases de hojalata o posiblemente de aluminio, el principio de envasar un alimento y someterlo a un tratamiento térmico para extender su tiempo de vida útil se aplica igualmente bien a una variedad de envases para alimentos como frascos de vidrio y bolsas retortables (Berry y Pflug 1993).

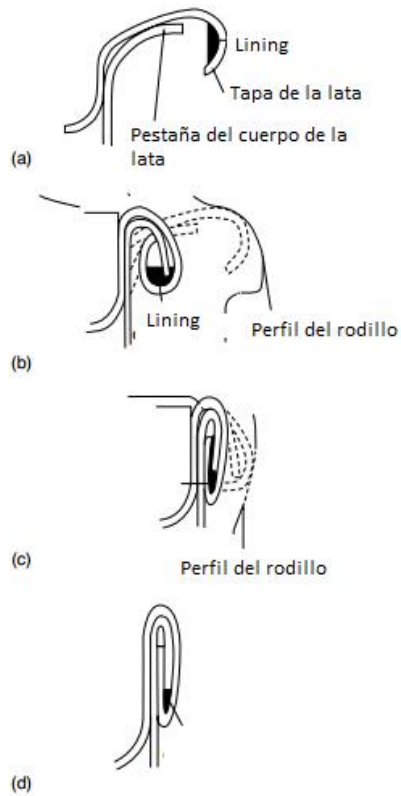
Los envases para los alimentos procesados térmicamente tienen que ser herméticamente sellados para evitar la recontaminación con la microflora del ambiente. La mayor parte de los productos preservados térmicamente se envasan en contenedores metálicos (FAO 2007).

La mayor parte de los envases metálicos son producidos con hojalata. Estas son generalmente cilíndricas. Sin embargo, existen en otras formas como rectangulares u ovaladas. La hojalata consiste en una lámina de acero recubierta electrolíticamente con estaño en ambos lados. El cuerpo de acero suele tener un espesor de 0,22 a 0,28 mm, mientras que el recubrimiento de estaño es muy delgado (de 0,38 a 3,08 micrómetros). Adicionalmente, el interior de la lata está cubierto con un compuesto sintético para prevenir cualquier reacción química entre la hojalata y el alimento envasado (FAO, 2007).

Las latas pueden ser de dos o de tres piezas. Las de tres piezas se componen del cuerpo, de la tapa y de la base. El cuerpo está hecho de una lámina de acero, cuyos extremos son soldados en forma cilíndrica (FAO 2007).

En las latas de dos piezas la base y el cuerpo son moldeados a partir de una sola pieza circular metálica. En estas latas el largo de las paredes laterales es limitado debido a la poca habilidad de amoldamiento del acero (FAO 2007).

Durante la operación de sellado la tapa de la lata se une al cuerpo a través de una operación de doble sello que se lleva a cabo en dos etapas: en la primera operación el bucle de la tapa y la pestaña del cuerpo de la lata se juntan y se doblan hacia dentro de forma tal que el gancho de la tapa se inserte apropiadamente debajo del gancho del cuerpo. La forma del rodillo de cerrado determina el contorno del cierre al final de esta etapa. En la segunda operación, el sello es ajustado a través de un segundo set de rodillos (Poças 2003). En la Figura 1 se muestran las dos operaciones de doble sello.

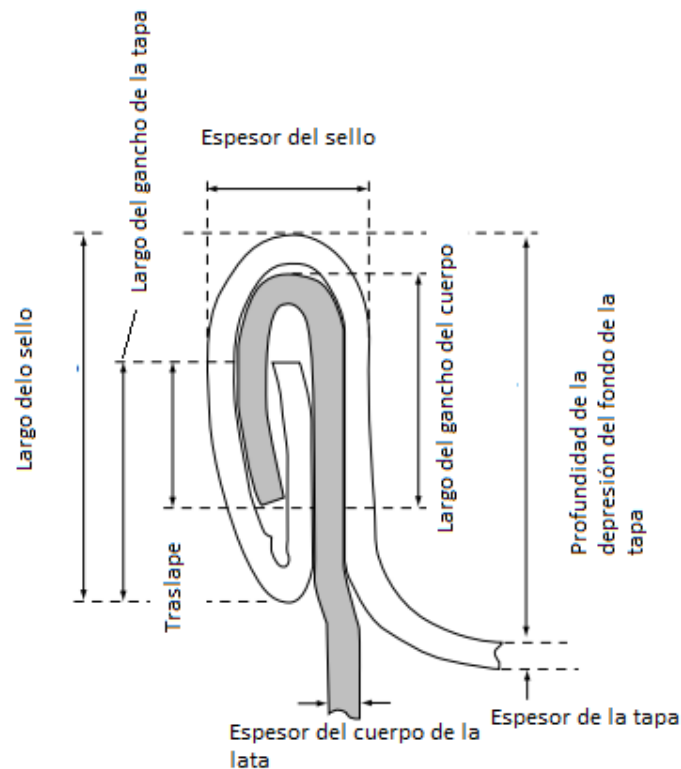


**Figura 1: Operaciones en el doble sello (a) y (b) primera operación de sellado; (c) y (d) segunda operación de sellado.**

FUENTE: Adaptado de Poças 2003

La calidad final del doble cierre se define a través de la medición de su largo, ancho y la extensión del traslape del gancho de la tapa con el gancho del cuerpo (Poças 2003). En la Figura 2 se muestra los componentes principales de un doble cierre.





**Figura 2: Componentes principales de un doble cierre.**

FUENTE: Adaptado de Poças 2003

Los frascos de vidrio consisten de un cuerpo de vidrio y una tapa metálica. El panel de sellado de la tapa metálica contiene un revestimiento de material sintético. Las tapas encajan en el cuerpo de vidrio debido a un anillo de goma (FAO 2007).

Las bolsas retortables son envases flexibles y laminados que pueden resistir temperaturas de procesamiento térmico y combinan las ventajas de las latas metálicas y los envases plásticos (Jun *et al.* 2006).

Usualmente la estructura laminada consta de cuatro capas. Las cuatro capas son, de adentro hacia afuera: polipropileno, aluminio, poliamida orientada y polietileno. El polipropileno se utiliza como una capa para el sellado térmico resistente al autoclavado. El espesor de esta capa afecta la fuerza del sello. El aluminio sirve como barrera al oxígeno, la luz y al vapor de agua. La capa de poliamida orientada provee la resistencia mecánica.

La capa de polietileno añade rigidez y resistencia a la tracción (Caufield 2013).

La mayor ventaja de estos envases es el uso más eficiente del material y su peso y volumen, reduciendo el costo asociado al almacenamiento y transporte y la cantidad de residuos (Caufield 2013).

Además, son más convenientes debido a que no tienen bordes afilados y no requieren el uso de un abrelatas y pueden ser fabricados para ser resellados. Por otro lado, las desventajas de las bolsas retortables son la falta de resistencia del material comparado a las latas metálicas, la propensión a la abrasión y a la perforación, el requerimiento de mayores cuidados y gastos para envasar en estas bolsas y la necesidad de monitorear más de cerca que en envases metálicos la presión dentro de la bolsa para asegurarse de que las bolsas no se expandan demasiado y de que el sello no se vea comprometido (Caufield 2013).

## **2.4 AUTOCLAVES**

En la esterilización el tratamiento con calor se lleva a cabo en autoclaves. Una autoclave puede ser de tipo estacionaria o con agitación y puede estar diseñada para operar con vapor saturado o con agua caliente. Con el tratamiento a presión en estos equipos es posible emplear temperaturas cercanas a 250 °F (121 °C) que aceleran considerablemente la destrucción de microorganismos y esporas (Sharma *et al.* 2003).

La industria de procesamiento de alimentos produce una amplia variedad de productos en una variedad de envases. Esto crea la necesidad de una variedad igualmente amplia de técnicas de procesamiento, diseños de autoclaves y de procedimientos de operación. Los sistemas de autoclavado pueden ser clasificados de varias formas (Rahman 2007):

- Por el Método de Procesamiento de los Envases: Se clasifican en autoclaves discontinuas y continuas. En los sistemas discontinuos la autoclave es llenada con producto, cerrada y puesta en marcha para un ciclo de procesamiento. Las autoclaves rotatorias son útiles para latas con contenido líquido o semilíquido, debido a que se logra el mezclado del producto resultando una penetración de calor acelerada. De esta forma el proceso de esterilización puede ser más corto y se asegura una mejor calidad sensorial de los productos (FAO 2010).

En los sistemas continuos los envases son alimentados continuamente dentro de la autoclave (Rahman 2007).

- Por el medio de calentamiento: Se clasifican en autoclaves calentadas con vapor saturado, con agua caliente y por flama. (Rahman 2007).
  - En las autoclaves calentadas con vapor saturado el calor latente del vapor es transferido al alimento cuando este se condensa en la pared del recipiente. Si queda aire atrapado en la retorta, se crea una película aislante alrededor de las latas que impide la condensación del vapor y causa que el producto sea sub-procesado. Por lo tanto, es importante remover todo el aire de la autoclave con el vapor introducido en un procedimiento denominado venteo. Después de la esterilización los recipientes son enfriados con agua. Durante este proceso el vapor se condensa rápidamente en la autoclave, pero el alimento se enfría más lentamente y la presión en el recipiente permanece alta. Por lo tanto, se necesita una sobrepresión de aire para prevenir la deformación del sello del recipiente (Rahman 2007).
  - En las autoclaves calentadas con agua caliente se procesan alimentos en envases de vidrio o bolsas retortables con una sobrepresión de aire. Los frascos de vidrio tienen mayor espesor que las latas metálicas y tienen menor conductividad térmica, por lo que se requieren mayores tiempos de procesamiento y un mayor riesgo de shock térmico en el envase. Por otro lado, los alimentos procesados en bolsas flexibles se calientan más rápidamente debido a su delgada sección transversal (Rahman 2007).
  - En las autoclaves calentadas por flama se consiguen altas velocidades de transferencia de calor a temperaturas de flama de aproximadamente 1770 °C. Los tiempos cortos en este tipo de procesamiento producen alimentos de una alta calidad y con un ahorro de energía del 20 por ciento en comparación con el procesado convencional. Sin embargo, las altas presiones internas limitan la aplicación de este método a latas de metal pequeñas (Rahman 2007).
  -

## **2.5 ESTUDIOS DE DISTRIBUCIÓN TÉRMICA EN AUTOCLAVES**

Sin importar el tipo de autoclave que se utilice los procedimientos de operación de la autoclave deben asegurar que se logra y mantiene una temperatura de procesamiento a través de todos los recipientes durante el proceso. La uniformidad de temperaturas en la autoclave debe ocurrir después del tiempo de calentamiento de la autoclave, que es el periodo de tiempo que transcurre desde que el vapor ingresa a la autoclave hasta que el aparato indicador de temperatura indica la temperatura de procesamiento (Ismail *et al.* 2013).

Los ensayos de distribución térmica permiten establecer procedimientos operativos para todos los tipos de autoclaves. Los sensores o termocuplas son colocados entre los recipientes de carga de la autoclave. Las temperaturas son monitoreadas durante el proceso para asegurar que el aparato indicador de temperatura de la autoclave es representativo de las temperaturas a través del interior de la autoclave (Ismail *et al.* 2013).

Estos estudios se realizan para asegurar una letalidad adecuada en cualquier punto de la autoclave y especialmente para identificar la zona de menor letalidad en la retorta. En el caso de autoclaves con sobrepresión de aire, las mediciones de las temperaturas del medio de calentamiento no son suficientes para asegurar el calentamiento uniforme de los productos en todos los puntos. Por lo tanto, puede ser necesario el análisis de la velocidad de calentamiento o de la distribución de letalidad a través de los envases procesados (Smout *et al.* 1998).

## **2.6 ESTUDIOS DE PENETRACIÓN DE CALOR EN ALIMENTOS ENLATADOS DE BAJA ACIDEZ**

Las pruebas de penetración de calor son de uso común en la industria alimentaria para determinar el tiempo de proceso apropiado para que un producto alimenticio alcance la esterilidad comercial (Sharma *et al.* 2003).

Los envases con alimentos no son calentados instantáneamente y, debido a que todas las temperaturas sobre un valor mínimo contribuyen a la destrucción de microorganismos, se requiere un mecanismo para determinar el efecto letal relativo de la temperatura cambiante durante el calentamiento y enfriamiento del alimento. El valor  $z$  es el parámetro que nos

permite comparar el efecto letal de varias temperaturas. La velocidad letal (L) describe, a través del uso del valor z, el efecto relativo de destrucción microbiana de una temperatura respecto a una cierta temperatura de referencia (Tref) (Berry y Pflug 1993):

$$L = 10^{\frac{T-T_{ref}}{z}}$$

El valor de esterilización es la acumulación del efecto letal durante el tiempo (t) de procesamiento térmico y se define como (Berry y Pflug 1993):

$$F = \int_0^t 10^{\frac{T-T_{ref}}{z}} dt \dots\dots\dots(1)$$

Cuando la temperatura (T) caracteriza la zona de calentamiento más lento en el recipiente que contiene al alimento, el valor de Z es de 10 °C y la temperatura de referencia es de 121,1 °C, entonces el valor de esterilización se conoce como Fo. El Fo es el tiempo en minutos de procesamiento a 121,1 °C que es equivalente en términos de letalidad al proceso en la autoclave y es específico para el alimento, el envase, las condiciones de procesamiento y el sistema de procesamiento. Un valor de Fo de tres min (Z=10 °C) es aceptado generalmente como un procesamiento realista para obtener productos enlatados de baja acidez seguros desde un punto de vista de la salud pública (Berry y Pflug 1993).

## **2.7 INSTRUMENTOS PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN LAS PRUEBAS DE DISTRIBUCIÓN TÉRMICA Y PENETRACIÓN DE CALOR**

Las termocuplas del tipo T (cobre/constantán) con aislamiento de PTFE (politetrafluoroetileno o teflón) son los instrumentos más comunes en las pruebas de distribución térmica y de penetración de calor debido a que son baratas, exactas dentro del rango de temperaturas deseado y responden rápidamente al cambio de temperatura (Richardson 2001).

Los “*dataloggers*” modernos son típicamente sistemas multi-canales con respuestas digitales que permiten guardar la información directamente en una laptop o PC para mostrar y mantener las lecturas. Cuando la unidad de monitoreo es remota se utilizan instrumentos basados en el cambio de la resistencia eléctrica con la temperatura, como los termistores y los termómetros de resistencia de platino (pt100). Estos se denominan detectores de resistencia-temperatura o RTDs (Richardson 2001).

El IFTPS (IFTPS 2014) indica que los instrumentos de medición de temperatura o TMDs pueden ser termocuplas, *data-loggers* inalámbricos u otros instrumentos similares. Todos estos instrumentos deben ser de una exactitud y tamaño adecuados y deben estar disponibles en cantidad suficiente para monitorear adecuadamente y con exactitud el ambiente del proceso. Antes de realizar los estudios los instrumentos deben ser estandarizados o calibrados. Idealmente las termocuplas deben ser calibradas en la autoclave de prueba. Alternativamente, los TMDs pueden ser calibrados fuera de línea en un programa de calibración establecido en el rango de temperaturas a ser usado durante la recolección de datos. La diferencia de temperaturas entre los TMDs y un instrumento de referencia de exactitud conocida debe ser calculada. Esta diferencia puede ser aplicada como un factor de corrección para cada TMD.

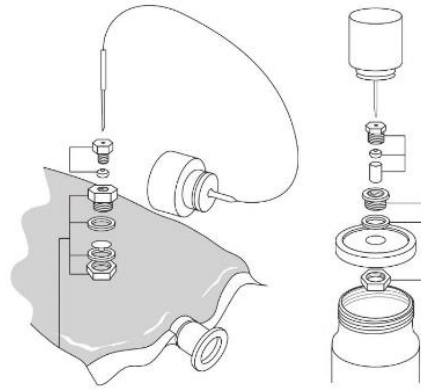
Dentro de los “*dataloggers*” *DataTrace* existen dos tipos de monitores de temperatura:

- Los monitores MPIII, son monitores de temperatura inalámbricos que pueden registrar temperaturas en un rango de -20 a 140 °C con una exactitud de 0,1 °C y cuyo elemento sensor es un termistor o RTD. Su pequeño tamaño incrementa la versatilidad y la exactitud, permitiendo posicionarlos muy cerca o dentro de los artículos monitoreados (DataTrace 2005).
- Los monitores MPRF, que son monitores inalámbricos que pueden registrar temperaturas en un rango de -40 a 140 °C con una exactitud de 0,1 °C y cuyo elemento sensor es un RTD. Permiten la medición de temperatura en tiempo real (DataTrace 2005).

Ambos tipos de monitores son programados y leídos a través de una interfase y de un software que permite el manejo de datos en forma segura y la realización de reportes. El *software* con la norma FDA 21 CFR Part 11 para registros electrónicos.

Los monitores deben de ser calibrados anualmente en 17 puntos con trazabilidad NIST y se utilizan una serie de accesorios, dependiendo de la aplicación, para proteger y ubicar el monitor en la región deseada.

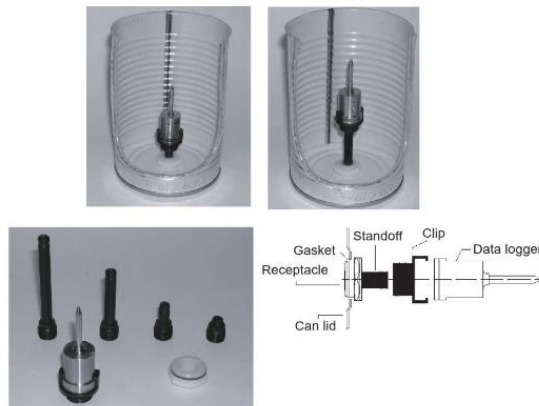
El accesorio más simple permite un punto de acceso a través de la pared del recipiente a la sonda del monitor como se muestra en la Figura 3 (Richardson 2008).



**Figura 3: Accesorios simples para posicionar las sondas de temperatura en bolsas retortables y frascos de vidrio.**

FUENTE: Tomado de Richardson 2008.

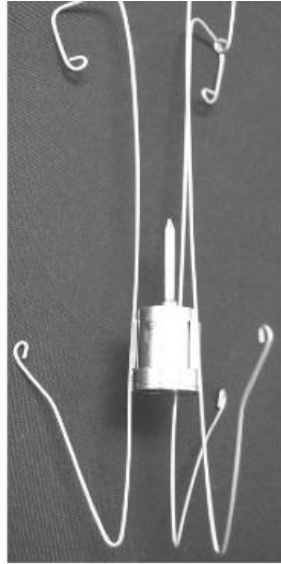
Además, los monitores inalámbricos pueden ser montados internamente en el envase en aquellos casos en los que el montaje externo pueda interferir con la operación de la autoclave. Un sistema típico de montaje externo se muestra en la Figura 4 (Richardson 2008).



**Figura 4: Sistema para el montaje interno en una lata de un monitorador inalámbrico miniatura.**

FUENTE: Tomado de Richardson 2008.

Una técnica alternativa para montar un monitoreador inalámbrico se muestra en la Figura 5. En este sistema un soporte elástico sostiene el monitoreador y se expande hacia las paredes del recipiente. La principal ventaja de este sistema es que no se requieren hacer modificaciones en el envase (Richardson 2008).

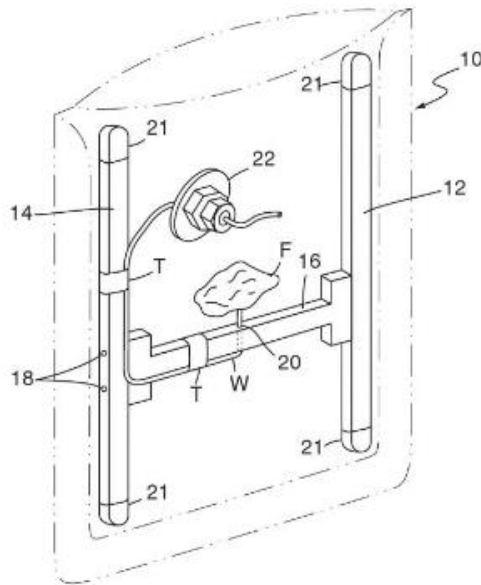


**Figura 5: Accesorio elástico para el montaje interno de un monitoreador inalámbrico en una lata o frasco de vidrio.**

FUENTE: Tomado de Richardson 2008

El montaje de las sondas de temperatura en una posición fija dentro de las bolsas retortables puede ser particularmente difícil debido a que las bolsas tienden a flexionarse durante el procesamiento térmico. Una solución a este problema ha sido propuesta por Nioras (Nioras, citado por Richardson 2008). Como se muestra en la figura 6, Nioras propuso un marco rígido que se inserta dentro de la bolsa antes del procesamiento. El marco provee soporte a las paredes de la bolsa y provee una posición rígida para el montaje de la termocupla. El mismo accesorio puede utilizarse para un monitoreador inalámbrico con montaje interno o externo (Richardson 2008).





**Figura 6: Accesorio para montar una termocupa dentro de una bolsa retortable.**

FUENTE: Tomado de Richardson 2008

Para minimizar los errores causados por los equipos de medición las sondas son generalmente delgadas y hechas de acero inoxidable, un conductor térmico relativamente pobre. Cualquier accesorio utilizado debe ser construido del tamaño más pequeño posible para minimizar la conducción térmica. Adicionalmente pueden ocurrir errores debido a la diferencia de masa entre el alimento y el monitreador montado internamente. En la práctica, si se usan los nuevos monitreadores pequeños, este efecto es mínimo. Finalmente, un monitreador internamente montado puede tener una influencia en las corrientes de convección en el envase. El minimizar el tamaño de los accesorios y el utilizar los monitreadores más pequeños debería minimizar estos efectos (Richardson 2008).

En un estudio reciente utilizando estos monitreadores pequeños, no se encontraron diferencias significativas en las características de calentamiento entre envases monitoreados con termocupas y aquellos con monitreadores inalámbricos internamente montados (Awuah *et al.*, citado por Richardson 2008). Aparentemente, el tamaño más pequeño de la nueva generación de monitreadores ha aliviado mucho el problema de la influencia del cuerpo del monitreador en las características de calentamiento del producto (Richardson 2008).

## 2.8 DETERMINACIÓN DEL VALOR DE FO

Con la información sobre la cinética de destrucción microbiana y sobre la temperatura en el alimento es posible determinar el tiempo y temperatura adecuados de procesamiento (Stoforos 1995).

Según Stoforos (1995) podemos obtener dos expresiones para el valor F:

$$F_{Tref}^z = D_{Tref} (\log Ca - \log Cb) = \int_{ta}^{tb} 10^{\frac{(T(t)-Tref)}{z}} dt$$

En donde  $D_{Tref}$  es el tiempo en minutos para lograr una reducción logarítmica en la población microbiana a una temperatura  $Tref$ ,  $Ca$  es la concentración inicial de microorganismos y  $Cb$  la final.

La primera expresión define básicamente un valor F objetivo o deseado, es decir el tiempo a una temperatura de referencia constante requerido para destruir un porcentaje dado de microorganismos (Stoforos 1995).

La segunda expresión define el F del proceso, es decir, el tiempo equivalente a una temperatura de referencia constante que va a producir la misma destrucción de microorganismos que el proceso real. Esta ecuación es la ecuación básica para el diseño de procesamientos térmicos (Stoforos 1995).

Básicamente los procedimientos matemáticos usados para el cálculo de procesamientos térmicos ofrecen alguna forma de calcular los valores de F a través de la segunda expresión. Dependiendo de cómo se enfoca el problema los métodos matemáticos se pueden dividir en dos categorías: los métodos generales y los métodos de fórmula (Stoforos 1995).

En los primeros la relación tiempo-temperatura dada en la ecuación no se da explícitamente, ya que utiliza valores de temperatura en puntos discretos de tiempo. Dentro de estos métodos se ha propuesto la integración gráfica de datos experimentales. Estos métodos no tienen un requerimiento específico sobre la forma de la curva tiempo-temperatura y son, por lo tanto, exactos y deben ser los métodos a ser elegidos al manejar datos de temperatura complejos (Stoforos 1995). En el método de Bigelow se eligen pequeños intervalos de tiempo en la

gráfica experimental de tiempo-temperatura. En cada intervalo de tiempo se calcula la temperatura promedio y la letalidad (Friso 2013).

En los métodos de fórmula se utiliza una fórmula de la temperatura del alimento como una función explícita del tiempo. Estos métodos se han dividido en fórmulas empíricas y teóricas. Las fórmulas empíricas (por ejemplo Ball 1923; Hayakawa 1970; Stumbo, 1973, citados por Stoforos 1995) suelen basarse en curvas de calentamiento y enfriamiento que tienen una relación logarítmica lineal en la diferencia de temperaturas del medio y del producto versus el tiempo; mientras que las fórmulas teóricas (por ejemplo Gillespy 1953; Teixeira *et al.* 1969a, 1969b; Flambert y Deltour 1972b, citados por Stoforos 1995) están basadas en soluciones analíticas o numéricas de las ecuaciones teóricas de transferencia de calor (Stoforos 1995).

A continuación, se desarrolla la revisión del método de fórmula empírica más utilizado: El Método de Ball.

### **2.8.1 MÉTODO DE BALL: FÓRMULA EMPÍRICA**

Durante el calentamiento del alimento, debido a que la temperatura del alimento  $T$  se aproxima de manera exponencial a la temperatura de la autoclave  $T_R$ , se calcula la diferencia,  $T-T_R$  y se representa en papel semilogarítmico. La gráfica resultante puede dividirse en dos partes (Sharma *et al.* 2003):

- La fase de retraso donde la pendiente de la curva aumenta.
- La fase lineal donde los datos se ajustan a una línea recta.

El objetivo consiste en describir ambas partes de esta curva con una sola ecuación lineal (Sharma *et al.* 2003):

$$\log(TR - T) = \log(TR - T_a) - \frac{t}{fh} \dots(2)$$

En donde  $t$ = tiempo de procesamiento (min),  $T$ = temperatura en el punto frío del alimento en el tiempo  $t$ ,  $T_R$ = temperatura de procesamiento en la autoclave,  $T_a$ = temperatura inicial aparente que se necesita para obtener una línea recta y  $fh$ = tiempo necesario para que la curva de penetración de calor atraviese un ciclo logarítmico.

La diferencia entre la intersección aparente y la verdadera es (Sharma *et al.* 2003):

$$Diferencia = \log(TR - T_a) - \log(TR - T_o) \dots(3)$$

Denominado a esta diferencia  $\log(jh)$  y sustituyendo en la ecuación (2) obtenemos (Sharma *et al.* 2003):

$$\log(TR - T) = \log(jh(TR - T_o)) - \frac{t}{f_h} \dots\dots(4)$$

Reacomodando los términos se obtiene (Stoforos 2010):

$$T(t) = TR - jh(TR - T_o)10^{\frac{-t}{f_h}} \dots\dots(5)$$

Esta ecuación asume una temperatura de autoclave constante a través de todo el ciclo de calentamiento (Stoforos 2010). Debido a que el método de Ball asume que la temperatura de proceso se alcanza instantáneamente, el procedimiento introduce el famoso factor de corrección (42 por ciento del levante ó CUT), asumiendo que la contribución del CUT al valor F no ha sido tomado en cuenta (Simpson *et al.* 2010).

Combinando la ecuación (5) y (1) y después de integrar se obtiene el resultado de Ball y Olson para la fase de calentamiento (Friso, 2013):

$$Fh = \frac{-fh}{2.3} * 10^{\frac{TR-121.1}{z}} * (Ei\left(\frac{-2.3*g}{z}\right) - Ei\left(\frac{-2.3*44.4}{z}\right)) \dots\dots(6)$$

En donde Fh es la letalidad durante el proceso de calentamiento, g es la diferencia de temperatura entre la autoclave y el producto en el punto más frío al final del calentamiento y la función Ei se denomina integral exponencial. Los valores de ésta pueden ser fácilmente calculables a través de las siguientes series (Friso, 2013):

$$-Ei(-x) = 0.5772 - \ln(x) + x - \frac{x^2}{2*2!} + \frac{x^3}{3*3!} - \frac{x^4}{4*4!} + \dots \frac{x^p}{p*p!} \dots\dots(7)$$

En la ecuación (6) se asume que la diferencia inicial de temperatura entre la autoclave y el producto es de 44,4 °C (80 °F) (Friso 2013).

La curva de enfriamiento está descrita por dos ecuaciones: una para la parte inicial de la curva y otra para la línea recta de la curva, debido a que al inicio del enfriamiento la temperatura del producto es alta y esto debe ser tomado en cuenta para calcular correctamente el proceso. Así que Ball utilizó la ecuación de una hipérbola para describir la parte inicial de la curva de enfriamiento, mientras que para la porción recta de la línea se procede como en el caso de la curva de calentamiento. Existen tres principales restricciones

impuestas en el método de Ball debido a suposiciones durante el ciclo de enfriamiento (Stoforos 2010):

- La ecuación utilizada para describir la parte inicial de la curva de enfriamiento no permite que la temperatura del producto aumente al inicio del enfriamiento.
- El valor de  $j_c$  (que describe el retardo en la curva de enfriamiento) asumido por Ball es de 1,41. Este valor no suele ser verdadero. En los alimentos calentados por convección forzada y con completo mezclado se espera un valor de  $j_c$  de 1, mientras que en alimentos calentados conductivamente el valor teórico de  $j_c$  es de 2,04.
- La suposición de que  $f_c = f_h$  facilita los cálculos.

El valor de esterilización  $U$  puede ser definido como el tiempo requerido a la temperatura de la retorta para lograr un procesamiento térmico de un valor  $F$  dado (Friso, 2013):

$$U = F * 10^{\frac{121,1-TR}{z}}$$

Ball descubrió que, para un valor único de  $z$ , a cualquier relación de  $f_h/U$  le corresponde un valor  $g$  y desarrolló una tabla de los valores  $f_h/U$  versus  $g$  para diferentes valores de  $z$  (Friso 2013).

Luego se encontró que mientras la relación entre  $f_h/U$  y  $g$  era virtualmente independiente de los parámetros del proceso como la temperatura de la autoclave, la temperatura inicial del producto, la temperatura del agua de enfriamiento, las dimensiones de la lata y el factor de retardo en el calentamiento, era muy dependiente del factor de retardo del enfriamiento ( $j_c$ ). En reconocimiento a esta dependencia Stumbo desarrolló 57 tablas de la relación  $f_h/U$  y  $g$  que cubría un amplio rango de factores de retardo de enfriamiento (0,4-2) y valores  $Z$  (4,4°C-111,1 °C), pero bajo la condición de que  $f_c = f_h$  (Friso 2013).

## 2.9 ENFOQUE DE LAS CONDICIONES MÁS CRÍTICAS

Aunque las pruebas de penetración de calor sean llevadas a cabo cuidadosamente y sean repetidas, se encuentran diferencias en los valores de  $F_0$  atribuibles a varios factores como: posicionamiento de las termocuplas en el envase, diferencias en las respuestas de las termocuplas, calibración y verificación de los sensores, diferencias en las rutas de convección, diferencias en el espesor de las partículas, deformación de los envases flexibles, presencia de aire en los envases (sobre todo en el caso de envases flexibles), espacio de cabeza variable en envases rígidos, fallas en el equipamiento de adquisición de temperatura durante los ensayos de penetración de calor, fallas en el posicionamiento de los productos en las termocuplas (sobre todo en alimentos específicos que pueden desprenderse durante el proceso), disminución o incremento en la transferencia de calor debido a la posición que algunos envases pueden tener durante los ensayos, oscilación de la presión durante el enfriamiento (causando daños en el envase), diferencias en el tamaño y masa dentro del envase y temperatura inicial no homogénea de los envases (Gumerato y Schmidt 2009).

Por lo tanto, en los ensayos de penetración de calor se miden los “puntos más fríos” dentro del envase, con el fin de trabajar con las condiciones más críticas del proceso. Siempre se estudian las peores condiciones de transferencia de calor, ya que el objetivo de los ensayos de penetración de calor es encontrar los valores más bajos de letalidad. La ingeniería del proceso debe excluir todas y cada una de las posibilidades de error que pueden causar un incremento en la variabilidad de las mediciones físicas de temperatura (Gumerato y Schmidt 2009).

Los valores puntuales de  $F$  ( $F_c$ ) se calculan usando información de un solo punto crítico del producto: el punto menos afectado (en términos de destrucción microbiológica) por el tratamiento térmico. Esto se basa en el hecho de que si este punto llega a ser comercialmente estéril después del procesamiento, entonces el resto del producto también lo será. En alimentos calentados conductivamente en envases metálicos se suele considerar el centro geométrico como el punto crítico; mientras que en alimentos calentados convectivamente en este tipo de envases (colocados en una posición vertical y procesados de forma estática) se suele considerar que el punto crítico está localizado dentro del 25 por ciento inferior de la altura del contenedor (Stoforos 1995).

## **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 MATERIALES**

- Monitores inalámbricos de temperatura *DataTrace* MPIII y MPRF®.
- *Software* DataTrace Pro®.
- Protectores de acero inoxidable para monitores inalámbricos de temperatura MPIII®.
- Accesorios de acero inoxidable para fijar los monitores en el punto deseado de monitoreo en el envase.

### **3.2 MÉTODOS**

Durante los estudios se consideraron las directivas del IFTPS (IFTPS 2008 y IFTPS 2014) y del Ministerio de Salud (MINSAs 2008).

Los monitores fueron programados y leídos y la información registrada según el procedimiento estándar recomendado por el fabricante.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 PROCEDIMIENTO PARA LOS ESTUDIOS DE DISTRIBUCIÓN TÉRMICA EN AUTOCLAVES ESTÁTICAS Y ROTATORIAS**

Antes de realizar los estudios se realiza una inspección general del sistema de esterilización: suministro de vapor, la sala de autoclaves, las autoclaves y el equipo de carga. Se debe describir y documentar toda la información de la autoclave.

En el Cuadro 1 se muestra un ejemplo de registro de la información de una autoclave de vapor previo al estudio.



**Cuadro 1: Registro de información de una autoclave de vapor**

<b>CALDERA</b>	Marca	DISTRAL
	Tipo	Pirotubular
	Modelo	D3B-400-150
	Capacidad	300 BHP
	Diámetro de Tuberías	4 pulg
	Longitud de tuberías	130 m
<b>AUTOCLAVE</b>	Diámetro (interior)	1.17m.
	Longitud (interior)	3,74 m.
	Tubería de línea de vapor (tamaño)	2 pulgadas
	Válvulas de vapor (tipo y tamaño)	1 ½ pulgadas, automática
<b>EQUIPAMIENTO DE CARGA</b>	Forma de Estibación de carga	A granel
	Número de coches	4
	Dimensiones de los coches	100 cm de ancho x 90 cm de largo x 90 cm de altura
<b>CONTROLADOR DE VAPOR</b>	Parámetro de control (Presión o Temperatura)	Temperatura
	Elemento de control (tipo y localización)	Pt-100, tipo electrónico marca <i>Shimaden</i> ®
<b>SISTEMA DE AIRE PARA CONTROLADORES</b>	Tamaño de los compresores	De 4 pistones, localizado al exterior de la nave

«continuación»

<b>TUBERÍAS</b>	Distribución de Vapor	
	Largo de Tubería(s)	10 m
	Diámetro de Tubería(s)	2 pulgadas
	Ubicación de la(s) tubería(s)	Zona lateral del equipo
	Agujeros (Número, diámetro)	12, de 1 3/8" (salida de vapor)
	Venteo	
	Diámetro de tuberías	1 ½ pulgadas
	Localización	Superior
	Tipo y tamaño de válvulas	1 pulgada, tipo globo de apertura rápida.
	Drenaje	
	Localización	Parte inferior
	Diámetro	3 pulgadas
	Suministro de agua	
	Localización	Parte inferior
	Diámetro	2 pulgadas
	Tipo y tamaño de válvula	2 pulgadas (tipo de compuerta)
	Suministro de aire	
	Localización	Parte Superior
	Diámetro	½ pulgada
	Tipo y tamaño de válvula	½ pulgada (de apertura rápida)
<b>CONTROL DE TEMPERATURA</b>	Termómetro de Mercurio (Marca y modelo)	Taylor®
	Termo-Registrador (marca y modelo)	SYSCON RKC, CCR 5000, digital. ®

En el Cuadro 2 se muestra un ejemplo de registro de la información de una autoclave rotatoria previo al estudio.

**Cuadro 2: Registro de información de una autoclave rotatoria**

<b>AUTOCLAVE</b>	Marca/Fabricante	JBT SA155 SuperAgi™Sterilizer
	Diámetro (interior)	1,550 m
	Longitud (interior)	6,51 m
<b>EQUIPAMIENTO DE CARGA</b>	Forma de Estibación de carga	Estibado Automático
	Número de coches y dimensiones	5 coches. Dimensiones: 99 cm de largo, 99 cm de ancho y 93 cm de largo
	Número de separadores/bandejas (si aplica)	5 separadores por coche perforados con agujeros de 18mm con una distancia de 25 mm entre centros. Se utiliza, además, una placa de 51 mm de espesor para completar la altura del coche
	Número máximo de envases por separador	314 latas
<b>SISTEMA DE CONTROL</b>	<p>Sistema LOG-TEC TM E de manejo de procesos basado en PLC Siemens</p> <p>Detector RTD Thermo Electra, tipo 2 x PT100 SN 39-2009, en la parte posterior de la autoclave</p> <p>Transmisor de Presión Endress+ Hausser PMC41 – RE11P1A11 M1 Cerabar - M 0/10 bar- SN C2044E010120</p>	
<b>CALDERA</b>	<p>GONELLA 125 psi – Pirotubular (15 t de capacidad)</p> <p>CLEAVER BROOKS 125 psi – Acuotubular (7 t de capacidad)</p> <p>APIN 125 psi – Acuotubular (4 t de capacidad)</p> <p>Distancia desde el suministro de vapor hasta la sala de esterilizado es de aproximadamente 200 m.</p>	

«continuación»

<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO</b>	Sistema de Distribución de Vapor	
	Dimensiones	Forma rectangular (30x60mm)
	Ubicación de la(s) tubería(s)	Por encima del nivel de agua
	Boquillas (Número, diámetro, localización)	486 boquillas por tubería de 5 mm de diámetro, espaciados cada 20mm y localizados en la parte inferior de la tubería
	Válvula de control de vapor (tipo y tamaño)	Válvula proporcional de globo de 3 pulgadas Samson V2001
	Drenaje	
	Tipo	Válvula on/off DN 40
	Venteo	
	Válvula de liberación de presión	Válvula proporcional de globo de 1.5 pulgadas Samson V2001
	Sistema de Distribución de Agua	
	Ubicación	8 tuberías longitudinales de distribución por spray (P/N S7034-005-023), con uniones giratorias
	Boquillas	40 boquillas por tubería, distancia entre boquillas: 118mm
	Ubicación de las boquillas	20° encima y debajo del centro
	Sistema de recirculación de agua	
	Bomba y Motor de Recirculación	Bomba: KSB ETABLOC GN 125-200/1504 G11 - SN 9971607365000300 01 Motor de bomba: KSB UD 0908/71497856-8 - SN 1LA9166-4KA66ZX77A
	Caudal normal de operación	$272 \pm 5 \text{ m}^3/\text{h}$

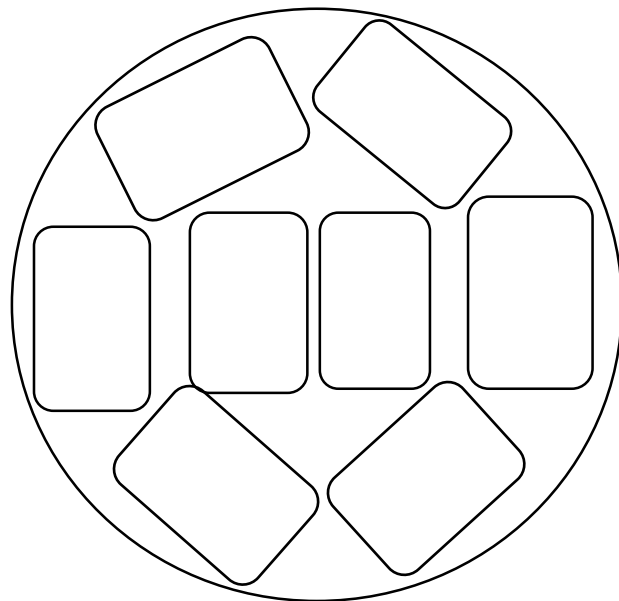
«continuación»

<b>CARÁCTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO</b>	Intercambiador de Calor	
	Marca y Tipo	Alfa Laval Lund AB, Sweden, Tipo M10-BFG SN 30106-05936, 2007
	Volumen de agua	26,3 L
	Número de placas	79
	Sistema de aire	
	Almacenamiento - Presión	2 tanques de almacenamiento de aire comprimido de capacidad de 1400 gl. Un regulador Festo reduce la presión de entrada de aire de 7 a 6 bar
<b>ELEMENTOS DE MEDICIÓN</b>	Temperatura	MIG (Mercury in Glass Thermometer)
	Manómetro de Presión	TECOL FMC 666 – 170 °F a 300 °F, cada 1 °F
	Caudalímetro	CL 1.0, rango de 0 a 6 bar (división cada 0,1 bar)
	Sensor de nivel	Endress + Hauser 50P1F-ECOAPAAOABAA, SN 990C6419000.
<b>SISTEMA DE ROTACIÓN</b>	Medidor de velocidad de rotación	Kubler, tipo BMG DN20 PN16 VK M500 B60 R/I 4,20-2C
	Sistema de rotación	Tacómetro
	Velocidad de rotación	Tambor rotatorio

Se estiban los coches tomando en cuenta y reportando el tipo de envase utilizado, el contenido de los envases, la forma de estiba – incluyendo el uso de placas divisoras. Se localizan los monitores de temperatura. Un monitor debe estar cerca al termómetro de referencia y otra cerca al sensor del controlador de vapor. Se utilizan al menos tres monitores por cada canastilla o coche de forma tal que los elementos sensores no estén en contacto directo con envases o superficies materiales. Se deben de considerar los efectos de rotación.

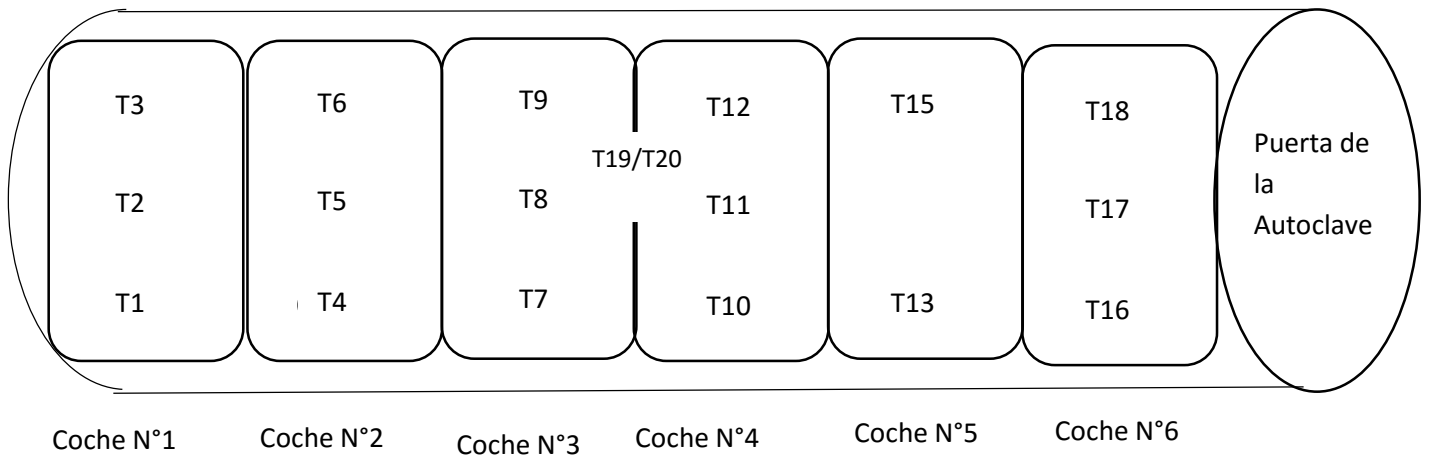
Se debe registrar el número de serie de cada monitor correspondiente a cada posición.

En la Figura 7 se muestra un ejemplo de registro de la forma de estiba de de bolsas retortables tetralaminadas (300 mm x 230 mm) de un kilogramo en una autoclave vertical de vapor con sobrepresión de aire. Las bolsas son estibadas sobre mallas de acero inoxidable con una luz de 2,5 cm x 2,5 cm. Los envases no muestran traslape y la distancia entre mallas es de 10 cm. En total entran 10 mallas por canastilla, y se utilizan un total de tres canastillas.

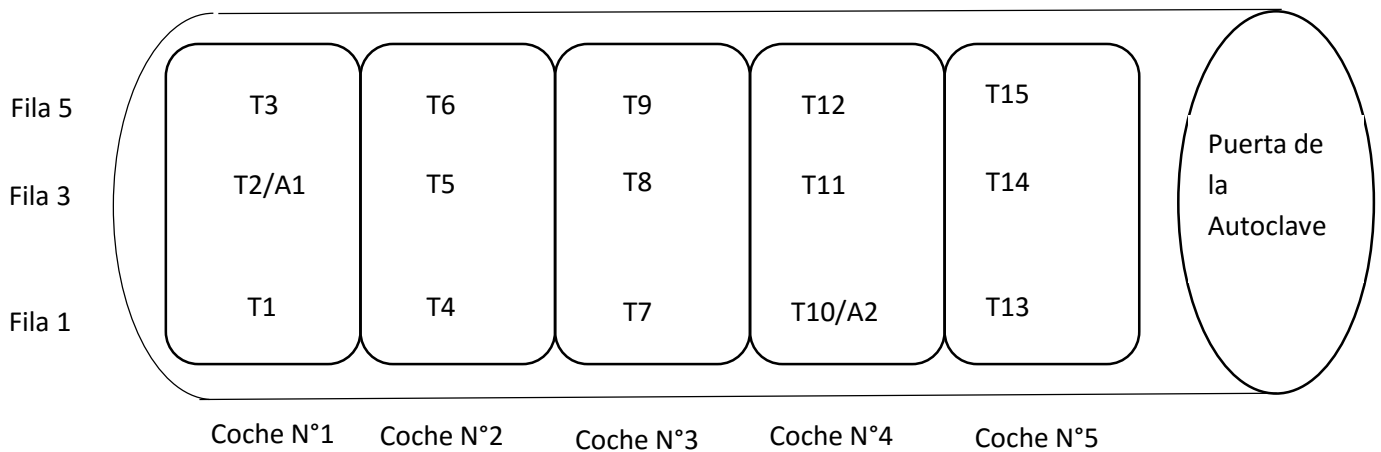


**Figura 7: Forma de estiba de bolsas retortables tetralaminadas (300 mm x 230 mm) de un kilogramo en una autoclave vertical de vapor con sobrepresión de aire.**

En las Figuras 8 y 9 se muestran las localizaciones de los monitores para una prueba de distribución térmica en una autoclave estacionaria y en una autoclave rotatoria. En la autoclave estacionaria se consideran distintas alturas respecto a la base del coche, mientras que en la autoclave rotatoria se deben de considerar distintos radios respecto al eje de rotación.



**Figura 8: Localización de los monitores en una autoclave estacionaria.**



**Figura 9: Localización de los monitores en una autoclave rotatoria (seis filas en total).**

Se registra el procedimiento de operación de la autoclave. En los Cuadros 3y 4 observamos ejemplos de registros de operación para una autoclave de vapor y para una autoclave de cascada.

**Cuadro 3: Registro del procedimiento de operación en una autoclave de vapor utilizando latas de ½ lb (307x109) como carga**

<b>Tiempo de CUT</b>	30 minutos
<b>Temperatura programada de esterilización</b>	116 °C
<b>Tiempo programado de proceso</b>	60 minutos
<b>Temperatura y tiempo de venteo</b>	105 °C por 8 minutos
<b>Temperatura y tiempo de cierre de drenaje</b>	105 °C, después del primer minuto de venteo

**Cuadro 4: Registro del procedimiento de operación en una autoclave de cascada**

<b>PASO</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>TEMPERATURA</b>	<b>PRESIÓN</b>
Calentamiento 1	30 minutos	110 °C	1,5 bar
Calentamiento 2	3 minutos	116 °C	1,8 bar
Procesamiento	75 minutos	116 °C	1,8 bar
Enfriamiento	40 minutos	40 °C	1,5 bar



En el caso de la autoclave de cascada el calentamiento se realiza en dos pasos para favorecer la distribución térmica en la autoclave. En esta autoclave el agua recircula desde la parte inferior de la autoclave hasta la parte superior, pasando a través de un intercambiador de calor en donde se encuentra la válvula de control de vapor. Previamente se determinó que durante el calentamiento la diferencia de temperaturas entre la zona superior e inferior de la autoclave era de 6 °C. En el primer paso de calentamiento la temperatura de la pT 100 ubicado en la zona inferior de la autoclave marca 110 °C y la temperatura en la zona superior de la autoclave es de 116 °C. Durante la segunda etapa, el agua se recircula hasta llegar lentamente a homogeneizarse.

Para realizar el estudio de distribución térmica se debe reportar en función del tipo de autoclave: la temperatura inicial de la carga, tiempo y temperatura de cierre del drenaje y la hora de apertura de vapor, tiempo y temperatura de apertura de venteo, la temperatura inicial del agua de recirculación, el tiempo y nivel de llenado de la autoclave con agua, hora en que el equipo de referencia de medición de temperatura alcanza la temperatura de proceso, la hora en que el controlador empieza el conteo de la esterilización, la medición de temperatura en el termómetro de mercurio y en los monitores a intervalos suficientes (de máximo 1 minuto), la velocidad de rotación a intervalos suficientes incluyendo los puntos en los que puede haber variación durante el proceso, presión de la autoclave a intervalos suficientes, la temperatura del agua para el enfriamiento, presión de entrada de vapor, el caudal de recirculación de agua a intervalos suficientes, la actividad de operación de otras autoclaves durante el estudio. En el Cuadro 5 se muestra el reporte de las condiciones de operación en un estudio en una autoclave de vapor con sobrepresión de aire.

**Cuadro 5: Condiciones de operación en una autoclave de vapor con sobrepresión de aire**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>AUTOCLAVE 3</b>
Temperatura de esterilización programada	123 °C
Tiempo de esterilización programado	75 min
Presión inicial de ingreso de vapor durante el calentamiento. Autoclave 1 y 2 funcionando simultáneamente.	92 psi
Temperatura inicial de la carga	4°C
Hora de apertura de llave de vapor	15:20
Hora de inicio de venteo	16:00
Hora de fin de venteo	16:04
Presión en la autoclave durante la esterilización	20 psi
Hora de inicio del conteo del proceso	16:08
Hora de cierre de llave de vapor	17:27
Hora de fin de Enfriado	18:05
Tiempo de levante (CUT)	48 min
Tiempo de estabilización	11 min
Tiempo de esterilización registrado	79 min
Tiempo de enfriado	38 min

Además, se debe registrar la temperatura, presión de entrada de vapor, presión de entrada de aire y presión de la autoclave a intervalos de 1 minuto.

El tiempo de esterilización debe ser como mínimo el tiempo de mantenimiento en un proceso típico. Se debe reportar la temperatura de la autoclave durante el enfriamiento hasta alcanzar la temperatura de 94 °C, este punto es especialmente importante si la letalidad del enfriamiento será tomada en cuenta en el proceso programado. El enfriamiento debe continuar hasta que el producto llegue a una temperatura de 40-50 °C. Al final del estudio se debe hacer una inspección para asegurarse de que las condiciones de los monitores, las latas y otros atributos de la carga no han cambiado durante el proceso.

Idealmente todos los dispositivos de monitoreo deben de medir como máximo 0.6°C por debajo o por encima del equipo de referencia de medición de temperatura una vez que éste haya indicado que la temperatura de proceso programada ha sido alcanzada. Las situaciones o condiciones que no cumplen con este criterio deben de ser evaluadas por un experto en procesamiento térmico. Se debe realizar al menos una repetición de la prueba para demostrar la repetitividad.

La Norma Sanitaria Aplicable a la Fabricación de Alimentos Envasados de Baja Acidez y Acidificados destinados al Consumo Humano. NTS N°069-MINSA/DIGESA-V.01 (MINSA 2008) indica que los estudios de distribución térmica deben ser realizados por personal calificado y se debe realizar con tres sensores como mínimo por coche, canastilla o jaula, ubicándolos en diferentes niveles. El diseño del ensayo debe tomar en cuenta la situación de mayor riesgo. El número de repeticiones de ensayos deberá tomar en cuenta la variabilidad del proceso. En la práctica se utiliza el mismo criterio de aceptación citado.

En el Cuadro 6 se muestran las temperaturas monitoreadas durante un estudio de distribución térmica en la autoclave rotatoria mostrada en la Figura 9. En este estudio todas las temperaturas de esterilización se encuentran en el intervalo permitido. Sin embargo, durante el enfriamiento las temperaturas de algunos puntos se encuentran fuera del rango permitido. Por lo tanto, durante las pruebas de penetración de calor no se considerará la letalidad aportada por el enfriamiento. En la realidad industrial peruana no es común controlar los parámetros de enfriamiento, por lo que no se suele considerar la letalidad de esta etapa.

**Cuadro 6: Temperaturas monitoreadas en °C durante un estudio de distribución térmica en una autoclave rotatoria. Temperatura programada: 118,5 °C**

HORA	T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T10(°C)	T11(°C)	T12(°C)	T13(°C)	T14(°C)	T15(°C)	TERMÓMETRO (°C)
14:35:00	28,5	28	29,2	28,1	27,6	28	28,4	27,4	28	27,8	27,6	28	28,5	27,7	28,1	28,2
14:36:00	33,2	30,3	28	31,9	31,3	31,9	32,8	30,5	32,5	31,9	31,5	31	34	30,9	31,2	32,5
14:37:00	37,7	35,2	31,5	37,2	36,2	36,4	38,3	35,1	37,6	37,1	36,5	36,6	40,1	35,4	35,8	37,1
14:38:00	41,9	39,4	36,6	42,3	40,8	40,7	43,6	40	42,3	42	41,2	41,9	45,7	39,6	40	42
14:39:00	47	44	40,9	47,8	45,4	46,2	49,8	45	48,2	47,8	46,3	47,7	52,1	45,1	45,3	46,7
14:40:00	53,1	49,3	46	54,8	51,1	52	56,2	50,6	54,2	54,8	52,3	52,7	58,8	50,1	50,9	52,5
14:41:00	61	56	51,5	62	57,5	58,4	63,1	57	61,3	60,9	58,5	58,7	64,8	56,8	56,7	58,7
14:42:00	68,8	63,9	58,3	69	65,3	65,7	69,8	64,7	67,6	68,5	66	65,8	70,3	64,3	64,8	66,1
14:43:00	75,3	70,7	66	74,6	71,6	72,4	75,8	71,5	73,2	74,2	71,7	72	75,6	70,4	71,2	72,8
14:44:00	81,7	76,9	72,4	81,3	77,6	78,3	81,4	77,6	79,3	80,7	77,6	78	82,1	76,4	77,2	78,6
14:45:00	87	82,9	78,4	87,7	83,7	84,8	87,5	83,7	85,1	86,4	83,7	84,2	88,2	82,4	83,3	84,4
14:46:00	93,3	88,9	83,8	94	89,6	90,7	93,2	90	91,2	92,7	90	90,4	94,3	88,5	89,1	89,8
14:47:00	99,3	95	89,8	99,9	95,4	96,6	98,8	95,7	97,3	98,5	96	96,6	100,5	94,5	95,3	95,6
14:48:00	105,3	100,7	95,5	105,7	101,6	102,3	104	101,4	103	105	101,6	102	105,7	99,9	101	101,3
14:49:00	110	106,3	101,2	110,5	107	107,8	109,1	107	107,4	110,2	106,9	107,1	110,1	105,1	106,5	106,6
14:50:00	112,7	110,1	106,7	113,1	110,7	111,5	112,1	110,3	110,7	113,2	110,4	110,8	112,2	108,9	110,4	110,4
14:51:00	116,1	114	110,6	116,9	114,5	115,6	115,7	114,3	114,7	116,6	114,2	114,6	115,5	112,9	114,4	114,3
14:52:00	117,6	116,2	114,6	118	116,6	117,1	117,4	116,3	116,7	117,5	116,2	116,5	117	115,4	116,4	116,2
14:53:00	118,3	117,2	116,6	118,6	117,4	117,8	118	117,3	117,6	118,3	117,3	117,5	118,2	116,7	117,4	117
14:54:00	118,9	118,1	117,5	119	118,2	118,5	118,6	118,1	118,4	118,9	118,2	118,3	118,7	117,7	118,2	117,8

«continuación»

Inicio del Proceso																
14:55:00	118,7	118,3	118,2	118,8	118,5	118,6	118,6	118,3	118,5	118,6	118,4	118,4	118,6	118	118,4	118,2
14:56:00	118,4	118,3	118,4	118,5	118,4	118,4	118,4	118,2	118,3	118,5	118,3	118,3	118,3	118	118,3	118,2
14:57:00	118,3	118,2	118,3	118,3	118,3	118,3	118,2	118,2	118,2	118,3	118,2	118,2	118,1	118	118,2	118,1
14:58:00	118,2	118,1	118,2	118,2	118,2	118,2	118,2	118,1	118,2	118,2	118,1	118,1	118	118	118,2	118
14:59:00	118,5	118,4	118,2	118,5	118,4	118,5	118,4	118,4	118,4	118,5	118,4	118,4	118,3	118,2	118,4	118,3
15:00:00	118,6	118,5	118,4	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,5	118,6	118,5	118,4	118,5	118,4
15:01:00	118,5	118,5	118,6	118,5	118,5	118,6	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,4	118,4	118,5	118,4
15:02:00	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,4	118,4	118,4	118,4
15:03:00	118,6	118,5	118,5	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5
15:04:00	118,5	118,5	118,5	118,5	118,6	118,6	118,5	118,5	118,6	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5
15:05:00	118,5	118,5	118,5	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,5	118,5	118,5	118,5	118,5
15:06:00	118,5	118,5	118,5	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,5	118,5	118,5	118,5
15:07:00	118,5	118,5	118,5	118,5	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,5	118,5	118,5	118,5
15:08:00	118,5	118,5	118,5	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,5	118,5	118,5	118,5
15:09:00	118,5	118,5	118,5	118,5	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,5	118,5	118,5	118,5
15:10:00	118,5	118,5	118,5	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,5	118,5	118,5	118,5
15:11:00	118,5	118,5	118,5	118,5	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,5	118,5	118,5	118,5
15:12:00	118,5	118,5	118,5	118,5	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,6	118,5	118,5	118,5	118,5
Cierre de llave de vapor																
15:13:00	117,9	118,1	118,5	117,9	118,2	118,1	118	118,1	118,1	117,9	118,1	118,1	117,9	118,1	118	118
15:14:00	115	116,1	118	114,9	116,5	116	115,5	116,1	115,9	114,9	116,4	116,2	114,8	116,4	115,9	116,1
15:15:00	110,3	112,5	116	110,1	112,8	112,1	110,9	112	111,8	110,3	112,7	112,5	109,6	112,9	112,1	112,4
15:16:00	105,6	108,5	112,1	105,5	109	108,1	106,5	107,8	107,5	105,8	108,8	108,5	104,4	108,9	108	108,4
15:17:00	100,6	104	107,9	100,9	104,7	103,9	101,8	103,4	102,9	100,8	104,3	104	99,5	104,6	103,4	103,7

Al término del ensayo de distribución térmica de la autoclave se determina la zona más fría en base a los puntos monitoreados cuya temperatura es menor al inicio del conteo de la esterilización y que tienen menor promedio de temperatura durante esta etapa. En la Tabla 6 observamos que la zona más fría es la del monitoreador de la tercera columna que registra una temperatura de 118,2 °C al inicio de la esterilización. El monitoreador fue colocado en el radio más cercano al eje de rotación del último coche. Se debe confirmar con una prueba de transferencia de calor que el producto en esta zona se calienta más lentamente debido a una menor agitación para que las muestras sean ubicadas en esta zona durante las pruebas de penetración de calor.

### **5.1.1 FACTORES QUE PUEDEN AFECTAR LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE DISTRIBUCIÓN TÉRMICA**

A continuación, se ejemplifican algunos de los factores importantes en los estudios de distribución térmica en función del tipo de autoclave:

#### **Caso A: Cambio de bomba en una autoclave de aspersión**

En el Cuadro 7 se muestra la distribución térmica en una autoclave con una bomba de fabricación nacional y con la bomba original del equipo. Con la bomba de fabricación nacional se observó poca uniformidad de temperaturas, encontrándose las temperaturas más bajas en la parte inferior de la autoclave. Se recomendó contactar con el fabricante para conseguir la bomba de diseño del equipo. Al hacerse el cambio de equipo se normalizó la uniformidad de temperaturas.

**Cuadro 7: Efecto del cambio de bomba en la dispersión de temperaturas en una autoclave de aspersión. Temperatura programada 116 °C**

TIEMPO DE PROCESO (MIN.)	ESTUDIO CON BOMBA DE FABRICACIÓN NACIONAL		ESTUDIO CON BOMBA ORIGINAL DEL EQUIPO	
	TEMPERATURA MÍNIMA(°C)	TEMPERATURA MÁXIMA(°C)	TEMPERATURA MÍNIMA(°C)	TEMPERATURA MÁXIMA(°C)
0	81,0	117,0	115,4	116,6
1	86,0	116,9	115,7	116,8
2	89,8	117,0	115,7	116,6
3	93,1	117,0	115,8	116,5
4	97,0	116,7	116,0	116,7
5	99,4	116,6	115,9	116,6
6	101,4	116,5	116,0	116,6
7	104,6	116,9	116,1	116,7
8	106,1	116,6	116,1	116,6
9	106,4	116,6	116,2	116,8
10	108,5	116,7	116,2	116,6
11	109,2	116,5	116,3	116,7
12	110,4	116,8	116,3	116,6
13	110,9	116,6	116,3	116,6
14	111,4	116,7	116,4	116,7
15	111,8	116,6	116,3	116,7
16	112,4	116,5	116,4	116,6
17	112,8	116,6	116,4	116,6
18	113,1	116,5	116,4	116,6
19	113,5	116,6	116,4	116,6
20	113,9	116,9	116,4	116,7
21	114,2	116,7	116,4	116,6
22	114,4	116,7	116,5	116,6
23	114,5	116,7	116,4	116,7
24	114,8	116,8	116,5	116,6
25	114,9	116,6	116,5	116,7
26	115,1	116,6	116,4	116,6
27	115,2	116,7	116,5	116,7
28	115,3	116,6	116,5	116,6
29	115,5	116,8	116,5	116,7
30	115,5	116,6	116,5	116,8
31	115,6	116,6	116,5	116,6
32	115,7	116,6	116,5	116,6
33	115,8	116,7	116,6	116,7
34	115,9	116,6	116,6	116,8

La bomba en este tipo de autoclaves afecta el caudal de circulación de agua en la autoclave, por lo que cualquier cambio en ésta debe ser reportado. Se debe tomar en cuenta que estas bombas están fabricadas para trabajar a altas temperaturas, por lo que no pueden ser reemplazadas por otras que tienen el mismo rendimiento a temperatura ambiente. Al disminuir el caudal de recirculación de agua se subprocesa el producto ubicado en la zona inferior de la autoclave, significando un grave riesgo en la inocuidad del enlatado. Por lo mencionado, la autoclave debe contar con un caudalímetro para registrar el caudal de agua de recirculación e identificar posibles fallas en la bomba de recirculación.

### **Caso B: Desnivel en una autoclave de cascada**

La malla de distribución de agua en una autoclave de cascada debe estar nivelada para asegurar que el agua sale con la misma presión de todos los puntos. En el Cuadro 8 se muestra la distribución de temperaturas en una autoclave antes y después de la nivelación de la autoclave.

**Cuadro 8: Dispersión de temperaturas antes y después de la nivelación en una autoclave de cascada. Temperatura programada de proceso 116,5 °C**

<b>TIEMPO DE PROCESO (min)</b>	<b>ANTES DE LA NIVELACIÓN</b>		<b>DESPUÉS DE LA NIVELACIÓN</b>	
	<b>Temperatura mínima (°C)</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>	<b>Temperatura mínima(°C)</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>
0	69,8	120,1	116,2	116,7
1	76,2	119,2	116,2	116,7
2	82,5	118,7	116,3	116,7
3	88,7	118,7	116,5	116,8
4	94,6	118,8	116,6	117,1
5	99	118,3	116,5	116,7
6	103	118,1	116,6	117,1
7	106,1	118	116,6	116,8
8	108,3	117,6	116,4	116,6
9	109,9	117,3	116,7	117
10	111,2	117,1	116,5	116,7
11	112	116,9	116,5	116,6
12	113	116,8	116,6	117,1
13	113,8	116,7	116,6	116,7
14	114,2	116,5	116,5	116,6
15	114,7	116,5	116,6	117,1
16	115,3	116,4	116,6	116,7
17	115,6	116,3	116,5	116,6



«continuación»

18	115,7	116,2	116,6	117,1
19	115,8	116,2	116,6	116,7
20	115,8	116,3	116,5	116,6
21	115,8	116,4	116,6	117,1
22	115,9	116,5	116,6	116,7
23	116	116,6	116,5	116,6
24	116	116,7	116,6	116,7
25	116,1	116,6	116,6	116,7
26	116,1	116,6	116,5	116,6
27	116,2	116,6	116,6	116,7
28	116,2	116,6	116,5	116,6
29	116,2	116,5	116,5	116,6

En la prueba antes de la nivelación se encontró que los puntos más fríos eran tres puntos en la parte posterior de la autoclave, en el primer y segundo coche. Se encontró que la autoclave estaba desnivelada, por lo que se procedió a subir ligeramente la autoclave por la parte delantera. Una vez que la autoclave fue nivelada la temperatura a lo largo de la autoclave se uniformizó.

**Caso C: Efecto de la presión de vapor sobre la dispersión de temperaturas en una autoclave vertical de vapor con sobrepresión de aire**

Durante el mantenimiento de la válvula automática de ingreso de vapor de la autoclave vertical de vapor con sobrepresión de aire se instaló una válvula reductora de presión. En el Cuadro 9 se muestra la variación en la dispersión de temperaturas después del cambio.

**Cuadro 9: Variación en la dispersión de temperaturas después de la instalación de una válvula reductora de presión en una autoclave con sobrepresión de aire. Temperatura programada 124 °C**

	<b>ANTES DE LA INSTALACIÓN DE LA VÁLVULA. PRESIÓN PROMEDIO DE ENTRADA DE VAPOR: 80 PSI</b>		<b>DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DE LA VÁLVULA. PRESIÓN PROMEDIO DE ENTRADA DE VAPOR: 45 PSI</b>	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura mínima(°C)</b>	<b>Temperatura máxima(°C)</b>	<b>Temperatura mínima(°C)</b>	<b>Temperatura máxima(°C)</b>
0	123,8	125,0	121,7	127,2
1	123,8	124,5	123,6	127
2	123,6	124,5	124,1	126
3	123,6	124,4	124	125,3
4	123,7	124,5	123,7	124,7
5	123,7	124,5	123,1	123,8
6	123,5	124,3	122,8	123,7
7	123,5	124,2	122,5	123,1
8	123,6	124,3	122,5	123,4
9	123,9	124,6	122,3	123,3
10	123,5	124,5	122,2	123,4
11	123,5	124,6	122,2	123,4
12	123,7	124,6	121,7	122,8
13	123,8	124,5	119,3	122,9
14	123,7	124,5	120,9	122,7
15	123,8	124,3	121,4	122,7
16	123,8	124,5	121,5	122,8
17	123,8	124,5	121,2	122,8
18	123,9	124,8	121,3	122,9
19	124,0	124,4	121,5	123,3
20	124,0	124,4	121,9	123,3
21	124,0	124,4	121,8	123,1
22	124,0	124,4	121,7	123,2
23	123,9	124,3	121,9	123,4
24	123,8	124,2	121,6	122,9
25	123,7	124,1	121,9	123,2
26	123,6	124,1	121,8	122,8
27	123,9	124,3	121,9	123,5
28	123,9	124,4	121,7	122,9
29	123,8	124,2	121,8	122,8
30	123,8	124,2	121,5	122,8
31	123,7	124,1	121,6	123,5
32	123,8	124,2	121,6	123,1
33	123,8	124,2	121,4	123,8

«continuación»

34	123,7	124,1	121,6	123,1
35	123,7	124,2	121,6	122,9
36	123,9	124,3	121,5	123,2
37	123,7	124,1	121,3	122,9

Se reguló la válvula reductora de presión para una salida de vapor de 80 psi y la uniformidad de temperaturas se normalizó. La presión de entrada de vapor a la autoclave es muy importante para lograr una distribución uniforme de temperaturas, por lo que ésta debe ser registrada y se deben realizar estudios con las condiciones normales de operación y con las condiciones más críticas (por ejemplo, todas las marmitas y autoclaves de la planta operando al mismo tiempo).

## 4.2 ESTUDIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

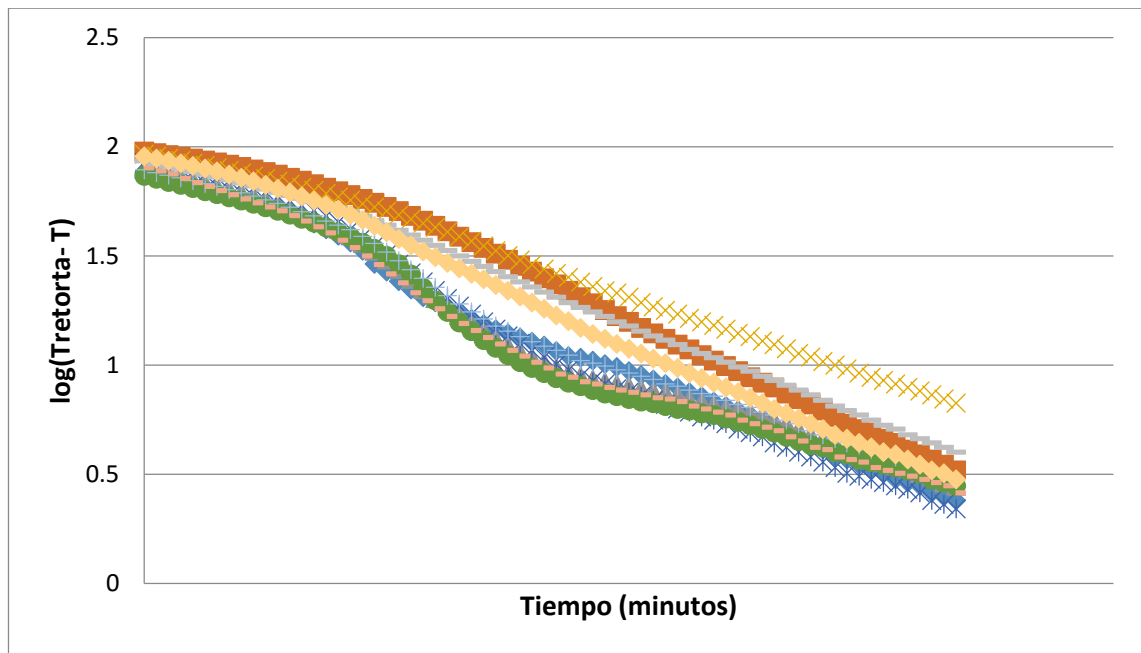
Se consideraron las directivas del IFTPS (IFTPS 2014). En los casos en que la uniformidad de temperaturas no siempre está correlacionada con una adecuada transferencia de calor al producto a través de la retorta puede ser necesario realizar un estudio de transferencia de calor. Por ejemplo:

- Cuando se introduce un gas no condensable como nitrógeno o aire para lograr la sobrepresión.
- Cuando se trabaja con autoclaves rotatorias y se quiere saber el efecto de la distancia del producto al eje sobre la letalidad.

Para realizar la prueba de transferencia de calor las muestras de producto con monitores ubicados en el punto más frío del producto son colocadas en las zonas de calentamiento más lento sospechadas o conocidas. Se debe monitorear la temperatura de la autoclave cerca de las muestras para calcular con exactitud los valores de fh. Como mínimo se deben usar cinco muestras ubicadas en zonas separadas de calentamiento más lento sospechadas o conocidas dentro de cada canastilla. Todas las canastillas deben de tener muestras. La prueba se debe realizar por duplicado para evaluar la repetitividad. Si al final de la prueba los coeficientes de variación de los valores de fh son menores o iguales a cinco por ciento, se confirma la uniformidad en la transferencia de calor y las muestras para las pruebas de penetración de calor pueden ser ubicadas en cualquier sitio dentro de la autoclave. Sin embargo, si el coeficiente de variación es mayor a cinco por ciento se tienen dos alternativas:

- Confirmar que los puntos de calentamiento más frío han sido determinados con suficiente confianza y rigor y realizar los estudios de penetración de calor del producto en esta zona.
- Realizar cambios en la autoclave o en la carga para lograr un coeficiente de variación menor o igual a cinco por ciento.

En la Figura 10 se muestran los resultados de un estudio de transferencia de calor en una autoclave de vapor con sobrepresión de aire de dos canastillas.



**Figura 10:  $\log(T_{\text{retorta}} - T_{\text{producto}})$  a lo largo del tiempo de Ball de diferentes puntos en un estudio de transferencia de calor en una autoclave de vapor con sobrepresión de aire.**

Durante el procesamiento se observa que algunos puntos presentan una ruptura en la curva de calentamiento, debido a la mayor proporción de aire en la mezcla en el ingreso de aire. Durante esa ruptura el valor de  $f_h$  del punto de menor calentamiento aumentó de 40,2 minutos a 47,3 minutos. Es decir, la transferencia de calor en ese punto disminuyó significativamente. Se recomendó instalar una tubería de distribución de aire o un ventilador.

### **4.3 DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CALENTAMIENTO MÁS LENTO Y ESTUDIOS DE PENETRACIÓN DE CALOR**

Para la determinación del punto más frío del producto la normativa del MINSA (MINSA 2008) indica que la ubicación del punto de calentamiento más lento del producto está determinada por una combinación específica de producto/envase/proceso y se determina experimentalmente mediante pruebas en la autoclave, insertando un sensor por cada muestra, en diferentes ubicaciones y con tres repeticiones como mínimo por cada ubicación. Además, deben de considerarse las peores situaciones que puedan considerarse en condiciones de producción.

Como indica Fellows (2000) la zona de calentamiento más lento en envases cilíndricos es el centro geométrico para alimentos calentados por conducción y aproximadamente 1/3 arriba de la base para alimentos calentados por convección. Sin embargo, en alimentos calentados convectivamente la posición varía y debe ser determinada experimentalmente.

En el siguiente caso se muestra la determinación del punto de calentamiento más lento en un producto pesquero.

#### **Caso A: Determinación del punto de calentamiento más lento en un producto pesquero con líquido de gobierno a base de pasta de tomate**

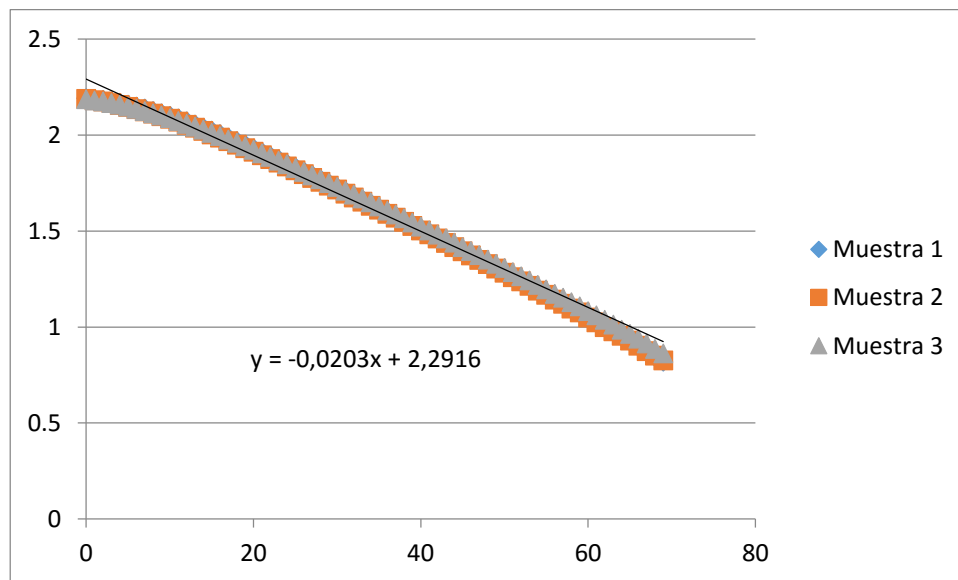
Se consideraron las peores situaciones que puedan anticiparse en producción:

- Peso envasado máximo.
- Máxima viscosidad de la salsa. Mayor cantidad de espesante en la formulación.
- Temperatura inicial mínima.
- Autoclave más crítica (la más alejada de la línea de suministro de vapor) y zona de calentamiento más lento dentro de la autoclave.
- Apilamiento de la carga. En el caso de envases que pueden ser apilados, se debe realizar la prueba de penetración de calor con y sin apilamiento.

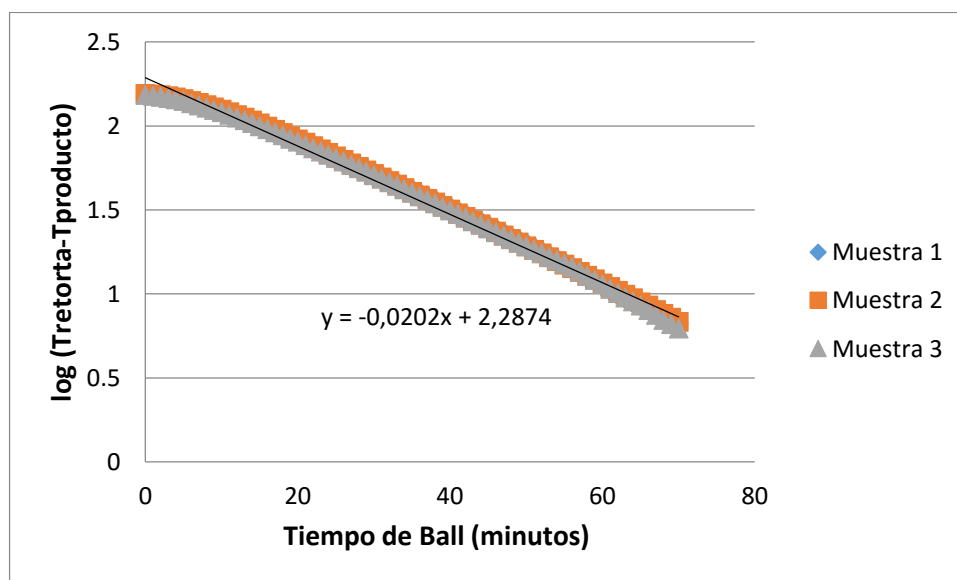
Luego se ubicaron los monitores en el eje del envase de hojalata cilíndrico de 1 lb tall (73x112mm) a tres alturas distintas e insertados en el producto. Las alturas consideradas

fueron: 1/6 de la base del envase, 1/3 de la base del envase y centro del envase. Se utilizaron tres muestras por cada altura.

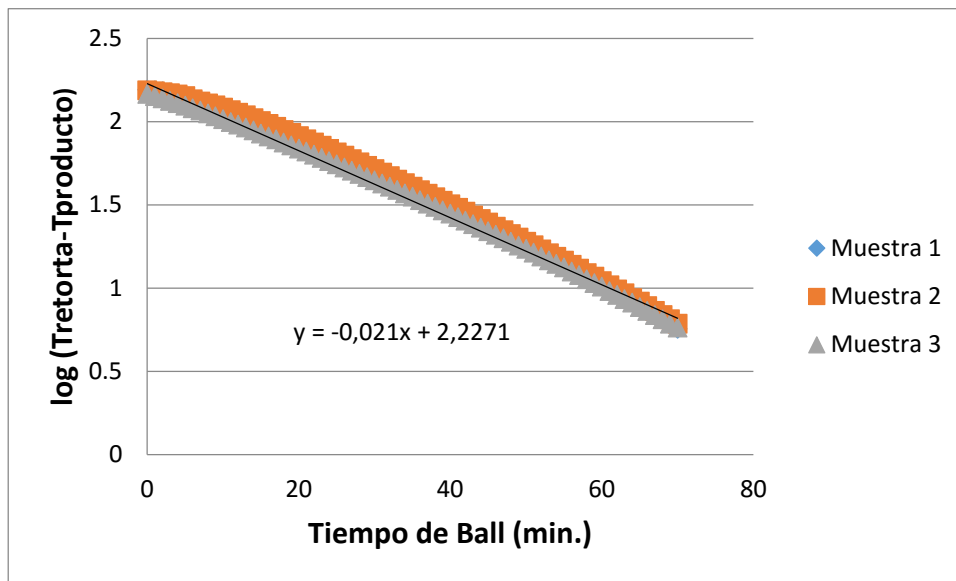
En las figuras 11, 12 y 13 se muestra la determinación de los valores de  $f_h$  para las tres muestras en cada posición.



**Figura 11: Determinación de los valores de  $f_h$  para las tres muestras en las que se monitoreó la posición ubicada a 1/6 de la base.**



**Figura 12: Determinación de los valores de  $f_h$  para las tres muestras en las que se monitoreó la posición ubicada a 1/3 de la base del envase.**



**Figura 13: Determinación de los valores de fh para las tres muestras en las que se monitoreó la parte central de la lata.**

En el Cuadro 10 se observan los valores de fh promedio determinados para cada posición.



**Cuadro 10: valores de fh obtenidos de la determinación del punto de calentamiento más lento en el producto.**

fh promedio a 1/6 de la base del envase	49,3 minutos
fh promedio a 1/3 de la base del envase	49,4 minutos
fh promedio en el centro del envase	48,5 minutos

Por lo tanto, el punto de calentamiento más lento es aquel con mayor valor promedio de fh (a 1/3 de la base del envase).

Antes de realizar el estudio de penetración de calor se debe haber realizado el estudio de distribución térmica en la autoclave. El objetivo en el estudio de penetración estudio es determinar las curvas de calentamiento y enfriamiento del producto bajo las peores condiciones en cuanto al producto, envase y proceso que se esperan que ocurran en la producción comercial del producto (IFTPS 2014).

La norma del MINSA (MINSA, 2008) indica que en los estudios de penetración de calor el número de muestras con sensores por prueba debe ser como mínimo 10 y se deben de repetir los ensayos de penetración de calor tomando en cuenta las variaciones del producto, envase y proceso. Además se deben de describir los procedimientos utilizados para llevar a cabo el ensayo.

En el siguiente enunciado se presenta un ejemplo de la descripción del ensayo de penetración de calor en un informe de este tipo de estudios en conservas de pescado en una autoclave de cascada:

“Procedimiento de operación Standard para sistemas Datatrace, validado para la norma ISO/IEC 17025. Este sistema ha sido desarrollado por Mesa Laboratories, Inc. y cumple con las regulaciones del FDA, cuyo número de registro es: 1720309. Adicionalmente, presenta certificación NIST y cumple con los requerimientos CE/ Norma para Compatibilidad Electromagnética: EN 55022 y EN 50082-2.

Las evaluaciones de Penetración de Calor se realizaron en cada autoclave y bajo las condiciones más críticas determinadas en el proceso: máximo peso envasado, carga máxima de la autoclave, mayor dimensión de los trozos, menor temperatura inicial del producto y menor tiempo de calentamiento. Los monitores de temperatura fueron ubicados en el centro geométrico de 10 muestras del producto a evaluar. La autoclave fue llenada a carga máxima con envases conteniendo producto y estibada sobre placas divisorias. Las muestras fueron colocadas en el punto más frío determinado en los estudios de distribución térmica. Un monitor de temperatura adicional fue colocado cerca al termómetro de mercurio para registrar la temperatura de la autoclave.

El cálculo del  $F_0$  fue realizado por medio del Método General en el software DataTrace Pro utilizando las siguientes constantes de letalidad:  $T_x = 121,1^\circ\text{C}$ ;  $z = 10^\circ\text{C}$ .

Si bien no existe ninguna regulación que determine el valor de  $F_0$  objetivo en la práctica el valor de  $F_0$  objetivo se define en función del producto y de la autoridad sanitaria:

- Para productos inspeccionados por DIGESA el valor mínimo de  $F_0$  es de 5 al final del proceso.
- Para productos inspeccionados por SANIPES (productos con más de 30 % de ingredientes de origen pesquero) el valor mínimo de  $F_0$  es de 6 al final de la esterilización
- Para los productos que van destinados a programas sociales como *Qali Warma* el  $F_0$  mínimo requerido es de 6 al final del proceso (incluyendo el enfriamiento) y para productos destinados a zonas cálidas (temperaturas mayores a  $35^\circ\text{C}$ ) el valor de  $F_0$  mínimo es de 10 minutos (incluyendo el enfriamiento) (Qali Warma 2014).

Algunos de los factores que deben ser tomados en cuenta durante el estudio de penetración de calor y considerados por el IFTPS (IFTPS 2004) son:

- Del producto:
  - Formulación del producto y variación en el peso de los ingredientes.
  - Peso envasado (considerar 5 a 10 % más del peso nominal del producto).
  - Temperatura inicial del producto
  - Peso drenado (máximo esperado en condiciones de producción).
  - Viscosidad en productos semi-líquidos o líquidos.

- Tamaño, forma y peso de los componentes sólidos antes y después del proceso.
- Procesado antes del tratamiento térmico (por ejemplo, el escaldado).
- La aglutinación del producto.
- Cambios del tipo de calentamiento del producto debido a componentes (por ejemplo, almidón).
- Entre otros.

En el siguiente caso se demuestra la importancia de la temperatura inicial del producto en productos viscosos.

**Caso A: Efecto de la temperatura inicial del producto en la letalidad final en pastas de ají pasteurizadas**

Se realizaron las pruebas de penetración de calor de la pasteurización de pasta bases de ají. En el Cuadro 11 se observan los resultados del estudio de penetración de calor. Los valores de Pu fueron calculados tomando como referencia los parámetros de termo-resistencia de *Bacillus coagulans*.

**Cuadro 11: Resultados de los estudios de penetración de calor para pastas de ajíes a diferentes temperaturas iniciales.**

PRODUCTO	ENVASE	TEMPERATURA DE PASTEURIZACIÓN (°C)	TIEMPO DE PASTEURIZACIÓN (min.)	MÍNIMA TEMPERATURA INICIAL (°C)	Pu AL CIERRE DE LA VÁLVULA DE VAPOR	Pu TOTAL (min.)
Pasta Ají Amarillo	Frasco de vidrio de 460 cc	100,3	35	51,4	0,7	5,2
Pasta Ají Amarillo	Frasco de vidrio de 460 cc	98,9	35	83,4	19,5	33,1

En el Cuadro 11 se observa la importancia de la temperatura inicial en este tipo de productos. Además, se debe tomar en cuenta que en esta clase de productos viscosos se añade una gran parte de la letalidad total durante el enfriamiento del producto.

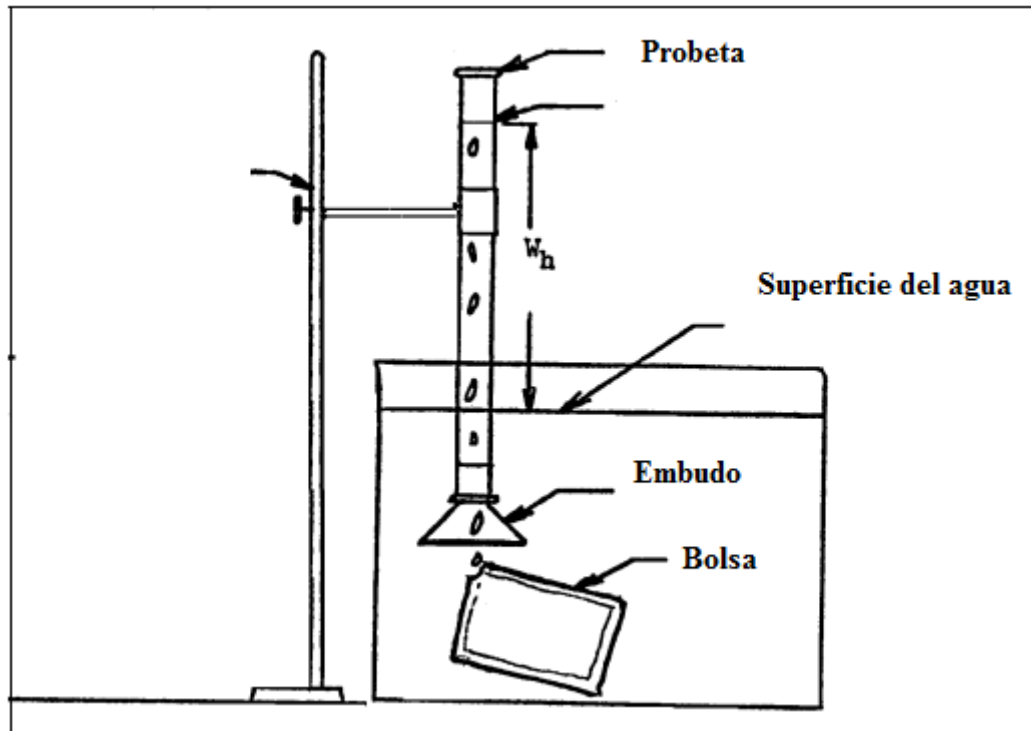
- Del envase:
  - Nombre del fabricante y marca.
  - Tipo de envase, tamaño y dimensiones.
  - Vacío y espacio de cabeza en contenedores rígidos. En envases flexibles se debe considerar el volumen de gases residuales. El espacio de cabeza es un factor crítico en los productos tratados en autoclaves rotatorias.
  - Espesor máximo en envases flexibles.
  - Orientación del envase en la retorta.
  - Se debe realizar una post-inspección de los envases para asegurarse de que la hermeticidad del envase no ha sido afectada y que el sensor se ha mantenido en el punto de calentamiento más lento.

En el caso de envases flexibles se determina el volumen de gases residuales a través del equipo descrito por la *Canadian Food Inspection Agency* (2002): se sujeta el *pouch* bajo agua debajo de un embudo unido a un cilindro graduado lleno con agua. Se corta una esquina de la bolsa debajo del embudo y el aire se libera. La cantidad de aire en la bolsa se mide a través del desplazamiento de agua en el cilindro. La medida volumétrica de aire puede ser corregido a la presión atmosférica utilizando la ley de Boyle:

$$V_1 = \frac{(P_a - W_h) V_m}{P_a}$$

En donde V1 es el volumen de aire a presión atmosférica (ml), Pa es la presión atmosférica, Wh es la presión del nivel de agua en el cilindro graduado, Vm es el volumen medido de aire (ml).

En la Figura 14 se muestra un esquema del equipo utilizado.



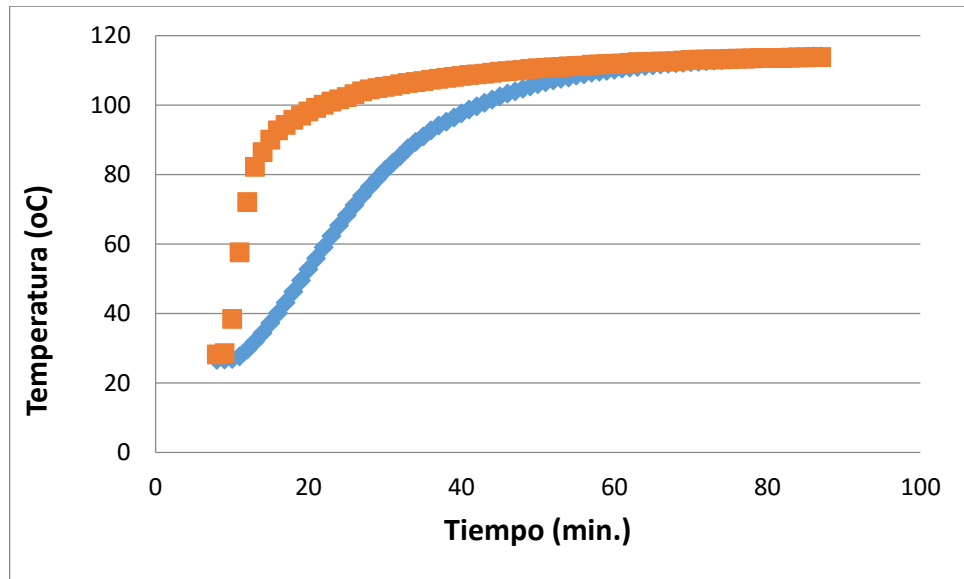
**Figura 14:** esquema del equipo utilizado para la determinación de aire residual en bolsas retortables.

FUENTE: Tomado de Canadian Food Inspection Agency 2002

El espesor máximo de las bolsas se determina en planta. Después del aplanado de las bolsas se hacen cortes con cuchillo en una cara de la bolsa en diferentes partes del envase y se determina la distancia a la otra cara del envase utilizando el pie de rey.

### **Caso B: Medición de temperaturas en el líquido de gobierno.**

Durante las evaluaciones de penetración de calor de productos sólidos en un medio líquido el sensor de temperatura debe estar insertado en el producto sólido. Es necesario verificar esta condición al abrir los envases, ya que muchos productos se deshacen durante el autoclavado y los monitores empiezan a registrar la temperatura del líquido de gobierno. En la Figura 15 observamos la curva de calentamiento registrada por un monitor insertado en un producto pesquero (entero de caballa) y de los que registran la temperatura del líquido de gobierno (aceite vegetal).



**Figura 15: Diferencia en las curvas de calentamiento registradas por un monitreador insertado en el producto (celeste) y otro que registra la temperatura del líquido de gobierno (anaranjado).**

El monitreador que registraba la temperatura del líquido de gobierno muestra un calentamiento mucho más rápido debido al calentamiento convectivo de éste. El establecer el procesamiento térmico en base a este monitreador significará un grave riesgo para la inocuidad del alimento enlatado.

- Del proceso:
  - Durante las pruebas de penetración de calor el tiempo desde el inicio del proceso hasta el inicio de conteo de la esterilización (Come Up Time o CUT) debe ser el mínimo posible que sea consistente con la obtención de una distribución de temperaturas satisfactoria.
  - Se pueden utilizar mallas divisorias para separar las capas de recipientes, restringir la expansión de envases semi-rígidos y flexibles, para proveer soporte y canales de circulación en envases delgados y asegurarse de que el máximo espesor de las bolsas no se excede.

### **Caso C: Efecto del CUT durante el estudio de penetración de calor**

Debido a bajas de presión en la planta durante las pruebas de penetración de calor el CUT puede resultar más largo que el CUT mínimo determinado en el estudio de distribución térmica. En el Cuadro 12 se observan los resultados de un producto tratado en un proceso con CUT largo comparándolos con el mismo producto tratado en un proceso con CUT mínimo.

**Cuadro 12: Efecto del CUT durante el estudio de penetración de calor en una conserva de pollo**

<b>Producto</b>	<b>Trozos de Pollo</b>	<b>Trozos de Pollo</b>
<b>CUT (minutos)</b>	13 minutos	5 minutos
<b>Lata (dimensiones)</b>	Lata ½ lb (83 mm x 40 mm)	Lata ½ lb (83 mm x 40 mm)
<b>Temperatura inicial del producto (°C)</b>	32	31,4
<b>Temperatura promedio de esterilización (°C)</b>	115,9 °C	115,9 °C
<b>Tiempo de Esterilización (minutos)</b>	75 minutos	75 minutos
<b>Fo al cierre de la llave de vapor</b>	14,1	11,1
<b>Tiempo para alcanzar un Fo de 5 en la esterilización (minutos)</b>	45 minutos	51 minutos
<b>Fo al final del proceso</b>	15,6	11,4

En la primera prueba con CUT largo el producto ingresa a la esterilización a una temperatura significativamente mayor en comparación a la prueba con CUT corto. Por lo que para un mismo tiempo de esterilización el valor de Fo del primero es mucho mayor que del segundo. Por lo tanto, para establecer el procesamiento térmico de producción, el CUT en producción debe ser igual o mayor al CUT registrado en el informe de penetración de calor.

**Caso D: Utilización del método de Ball adaptado a la industria peruana para la determinación de tiempos de proceso y procesos alternativos.**

Como ya se ha afirmado, en la gran mayoría de plantas conserveras de alimentos de baja acidez no se controlan los parámetros de la etapa de enfriamiento, por lo que algunas autoridades (por ejemplo SANIPES) no permiten considerar la letalidad en esta etapa.

A continuación se muestra cómo aplicar el método de Ball considerando solamente la letalidad del calentamiento, con el fin de recomendar procesos alternativos que permitan el manejo de desviaciones del proceso en las plantas (por ejemplo una caída de temperatura).

En el Cuadro 13 se presentan los resultados del ensayo de penetración de calor en el monitreador que obtuvo la letalidad más baja en la esterilización.

**Cuadro 13: Datos de la curva de penetración de calor en el monitreador que obtuvo una letalidad más baja en la esterilización**

<b>Tiempo (min.)</b>	<b>Temperatura del producto (°C)</b>	<b>Temperatura de la Autoclave (°C)</b>
0	49	33,6
1	48	55,7
2	47,3	77,2
3	47	85,8
4	47,1	93,8
5	47,9	99,5
6	49,6	104,3
7	51,8	108,1
8	54,5	111,7
9	57,4	115,8
10	60,5	116,1
11	63,7	116,1

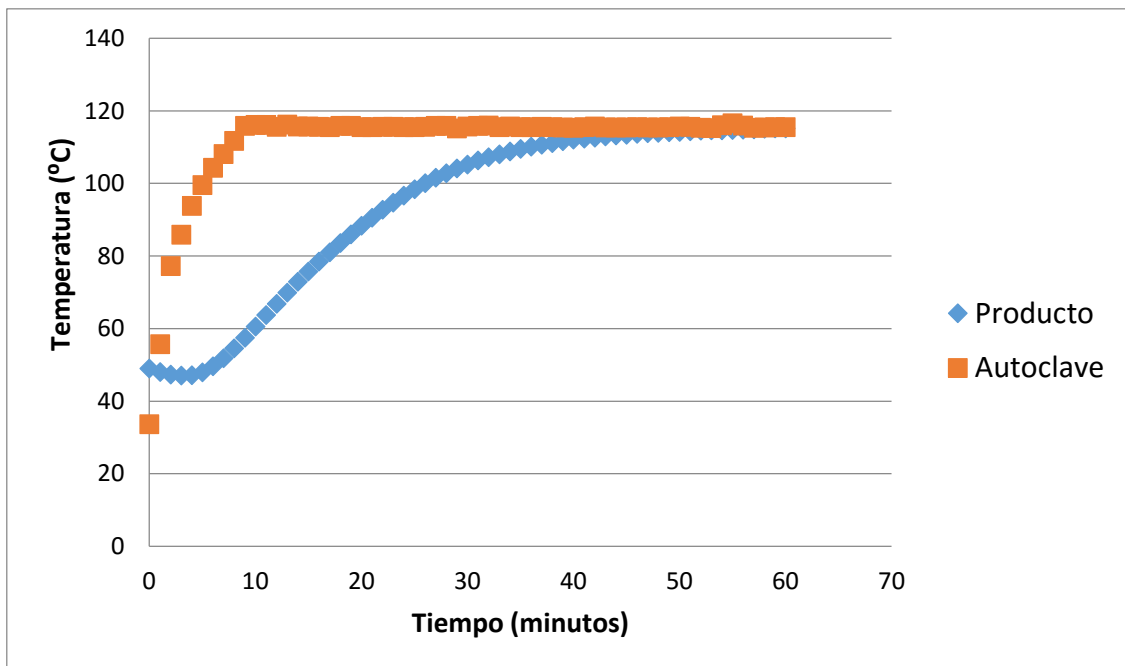


«continuación»

12	66,8	115,6
13	69,9	116,2
14	72,9	115,7
15	75,7	115,7
16	78,4	115,6
17	81	115,5
18	83,5	115,8
19	85,9	115,8
20	88,3	115,5
21	90,5	115,5
22	92,7	115,6
23	94,7	115,6
24	96,6	115,5
25	98,4	115,5
26	100	115,6
27	101,5	115,8
28	102,8	115,8
29	104,1	115,1
30	105,2	115,7
31	106,3	115,8
32	107,2	115,9
33	108	115,5
34	108,8	115,7
35	109,5	115,5
36	110,1	115,5
37	110,6	115,6
38	111,1	115,5
39	111,6	115,4
40	112	115,3
41	112,3	115,5
42	112,6	115,7
43	112,9	115,4
44	113,2	115,4
45	113,4	115,4
46	113,6	115,5
47	113,8	115,4
48	113,9	115,4
49	114,1	115,5
50	114,2	115,7
51	114,3	115,6
52	114,5	115,3
53	114,6	115,2

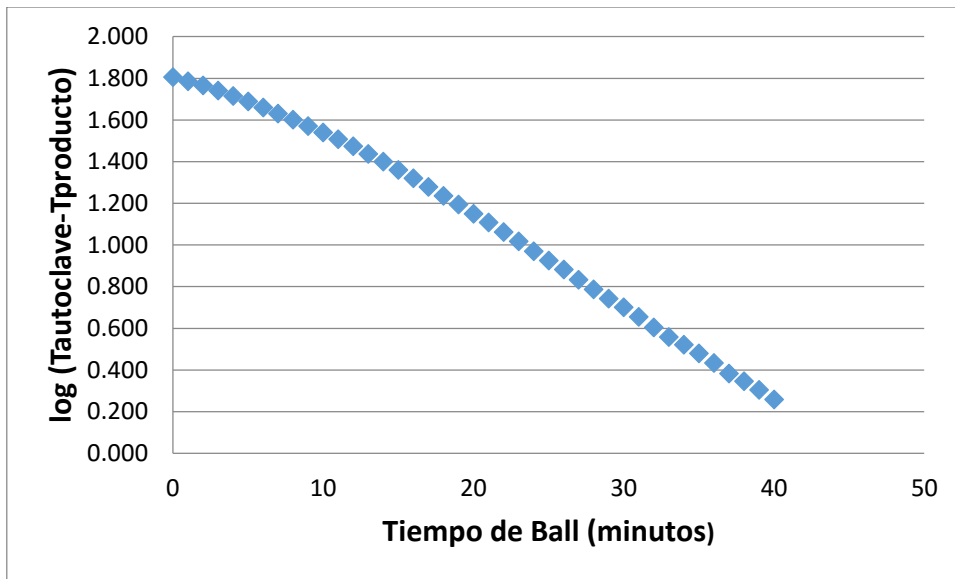
«continuación»

54	114,6	116
55	114,7	116,5
56	114,8	115,9
57	114,9	115,3
58	115	115,4
59	115,1	115,5
60	115,1	115,5



**Figura 16: Representación gráfica de la curva de penetración de calor**

Se determinó que la etapa de CUT dura 10 minutos. Se trabajará con el 42 por ciento del CUT (4 minutos). La temperatura promedio de la autoclave durante la etapa de esterilización es de 115,6 °C. A continuación, se muestra la gráfica del logaritmo de la diferencia entre la temperatura de la retorta y la temperatura del producto a través del tiempo para la fase de calentamiento.



**Figura 17: logaritmo de la diferencia entre la temperatura de la retorta y la temperatura del producto a través del tiempo para la fase de calentamiento.**

Realizando la regresión lineal en la porción recta de la curva obtenemos la siguiente ecuación:

$$\log(T_{retorta} - T_{producto}) = -0,0428 * tiempo\ de\ Ball + 2,028$$

De donde obtenemos  $f_h = 23,36$  y  $j_h = 1.62$ .

Reemplazando los términos en la ecuación (5) obtenemos:

$$T(t) = TR - 1,62(TR - T_o)10^{\frac{-t}{23,36}}$$

Si, por ejemplo, se quiere determinar el tiempo de Ball para alcanzar una letalidad de 6 en la esterilización a 114 °C con la misma temperatura inicial (49,6 °C) para actuar ante una eventual desviación del proceso. Reemplazamos los datos en la ecuación:

$$T(t) = 114 - 1,62(114 - 49,6)10^{\frac{-t}{23,36}} = 114 - (104,328) 10^{\frac{-t}{23,36}} \dots(6)$$

Reemplazando la temperatura del producto en función del tiempo en la ecuación (1) con un Z de 10°C para C. botulinum, obtenemos:

$$6 = \int_0^t 10^{-0,71 - 10,4328 * 10^{\frac{-t}{23,36}}} dt = \int_0^t e^{-1,635 - 24,022 * e^{-0,0986t}} dt \dots(7)$$

Haciendo cambio de variable  $-24,022e^{-0,0986t} = x$  ; obtenemos  $dx = -0,0983dt$

Cuando  $t = 0$ ;  $x = -24,022$  y cuando  $t = t$ ;  $x = -24,022e^{-0,0986t}$ . Reemplazando en la ecuación (7) obtenemos:

$$6 = -1,981 \int_{-24,022e^{-0,0986t}}^{-24,022} e^x \frac{dx}{x} \dots (8)$$

Aproximando mediante la serie de Taylor obtenemos que:

$$\frac{e^x}{x} = \frac{1}{x} + 1 + \frac{x}{2!} + \frac{x^2}{3!} + \dots$$

Por lo tanto, reemplazando en (8) obtenemos:

$$-3,028 = \ln x + x + \frac{x^2}{2 * 2!} + \frac{x^3}{3 * 3!} + \dots$$

Volviendo a hacer el cambio de variable obtenemos:

$$\begin{aligned} -3,028 = \ln(-24,022) - 0,0986t - 24,022e^{-0,0986t} + \frac{(-24,022e^{-0,0986t})^2}{2 * 2!} \\ + \frac{(-24,022e^{-0,0986t})^3}{3 * 3!} + \dots \end{aligned}$$

Aplicando los límites ( $t = t$  y  $t = 0$ ) obtenemos:

$$\begin{aligned} -3,028 = -0,0986t - 24,022e^{-0,0986t} + 24,022 + \frac{(-24,022e^{-0,0986t})^2}{2 * 2!} - \frac{(-24,022)^2}{2 * 2!} \\ + \frac{(-24,022e^{-0,0986t})^3}{3 * 3!} - \frac{(-24,022)^3}{3 * 3!} + \dots \end{aligned}$$

Realizando la iteración en Excel con los cien primeros números de la serie obtenemos que  $t$  de Ball = 69 minutos para obtener un Fo de 6 minutos a 114 °C.

Por ejemplo, se tiene un procesamiento térmico programado a 115,6 °C por 53 minutos para obtener un Fo al final de la esterilización de 6 minutos con el fin de cumplir con la normativa de SANIPES (que no toma en cuenta la letalidad del enfriamiento). Si durante el proceso la

temperatura de la autoclave cae a 114 °C, se puede realizar un proceso con un tiempo de Ball de 69 minutos (tiempo de proceso de 65 minutos, restando el 42 % del CUT) para obtener el mismo Fo de 6 al cierre de la llave de vapor.

Asimismo, este enfoque puede ser utilizado durante la investigación y desarrollo de nuevos productos. Se puede calcular el tiempo para alcanzar un Fo de 6 al final de la esterilización a diferentes temperaturas sin sobreprocesar las muestras y permitiendo la medición de otros parámetros de calidad como el peso drenado y la evaluación sensorial.

## **V. CONCLUSIONES**

- Debido a su pequeño tamaño, los monitores inalámbricos modernos no afectan el resultado de los estudios de tratamiento térmico.
- Durante la realización de estudios de tratamiento térmico de alimentos enlatados se deben de identificar todos los factores que pueden intervenir en la letalidad del proceso en función del tipo de producto, envase y autoclave, registrar estos factores y realizar los estudios teniendo en cuenta las condiciones más críticas y siguiendo las normas vigentes y recomendaciones del IFTPS (IFTPS 2004, 2008 y 2014).
- En la industria de enlatado peruana no es común controlar los parámetros de enfriamiento de los productos, por lo que es más seguro no considerar la letalidad de esta etapa en los estudios y en la recomendación de procesos alternativos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Cuando se requieran accesorios adicionales para utilizar los monitores en estudios de tratamiento térmico, éstos deben de ser tan delgados y pequeños como sea posible y de preferencia de acero inoxidable.
- Se recomienda validar la adaptación propuesta del método de Ball con estudios prácticos de penetración de calor en diferentes tipos de productos, envases y autoclaves. Además, se recomienda utilizar un procedimiento similar para calcular procesos alternativos en alimentos pasteurizados en el envase.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbatemarco, C. 1993. Heating behavior and quality factor retention in canned foods as influenced by thermal processing in a rotary autoclave. department of food science and agricultural chemistry (en línea). Montreal, Canada, Macdonald Campus of McGill University. Consultado 14 ene. 2016. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-4557.1993.tb00113.x/full>
- Ahmed, J; Rahman, M. 2012. Handbook of food process design. First Edition. Blackwell Publishing Ltd.
- Berry, MR; Plug, IJ. 1993. Canning of foods – principles of canning (en línea). Food technology and nutrition academic. London, UK, Press Limited. Consultado 14 ene. 2016. Disponible en [http://www.drpfplug.com/PDFs/Berry\\_Pflug\\_1993.pdf](http://www.drpfplug.com/PDFs/Berry_Pflug_1993.pdf)
- CFIA (Canadian Food Inspection Agency, Canada). 2002. Flexible Pouch Defects Manual – Identification and Classification (en línea). Consultado 30 oct. 2015. Disponible en <http://www.inspection.gc.ca/food/fish-and-seafood/manuals/flexible-retortpouch/eng/1350916942104/1350932698250>
- Caufield, H. 2013. Development of continuous processing method for pouches in rotary retorts (en línea). Tesis M.Sc. University of Illinois at Urbana-Champaign. Consultado 20 ene. 2016. Disponible en [https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/46606/Haley\\_Caufield.pdf?sequence=1](https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/46606/Haley_Caufield.pdf?sequence=1)
- CODEX ALIMENTARIUS. 1993. Recommended international code of hygiene practice for low and acidified low acid canned foods. CAC/RCP 23-1979. Rome, Italy, Joint FAO/WHO Food Standards Program.
- DataTrace. 2005. Brochure. MPIII Temperature Data Logger (en línea). Consultado 17 ene. 2016. Disponible en <http://datatrace.mesalabs.com/wp-content/uploads/sites/19/2014/01/MPIII-Temperature-Brochure.23NOV2015.pdf>



- Drotz, H. 2012. Development of Thermal Process for Gaen Phed Gai in Retort Pouches (en línea). Swedish University of Agricultural Sciences. Consultado 25 ene. 2016. Disponible en [http://stud.epsilon.slu.se/4896/1/drotz\\_h\\_121003.pdf](http://stud.epsilon.slu.se/4896/1/drotz_h_121003.pdf)
- Evancho, GM; Tortorelli, S; Scott, V. 2009. Microbiological spoilage of canned foods (poster). *In: Sperber WH, Doyle MP (eds) Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages*. New York, USA, Springer.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2007. Meat processing technology for small- to medium-scale producers (en línea). Consultado 20 ene. 2016. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai407e/ai407e00.pdf>
- FDA (Food and Drug Administration, USA). 2016. Guidance for commercial processors of acidified and low-acid canned foods (en línea). Consultado 13 ene. 2016. Disponible en <http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/AcidifiedLACF/default.htm>
- Fellows. 2000. Food processing technology: principles and practice. Second Edition. Woodhead Publishing Limited.
- Friso, D. 2013. A new mathematical model for food thermal process prediction. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2013, 21.
- Gould. 1995. *New Methods of Food Preservation*. First Edition. Springer Science & Business Media.
- Gumerato, H; Schmidt, F. 2009. Introducing the concept of critical Fo in batch heat processing. *Food Science and Technology (Campinas)* 29(4):847-856.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). 2011. *Microorganisms in food 8*. Springer Science & Business Media.
- IFTPS (Institute For Thermal Processing Specialists). 2004. Protocol for carrying out heat penetration studies (en línea). Consultado 26 oct. 2015. Disponible en [http://www.iftps.org/pdf/heat\\_pen\\_6\\_04.pdf](http://www.iftps.org/pdf/heat_pen_6_04.pdf)
- IFTPS (Institute for Thermal Processing Specialists). 2008. Temperature and heat transfer distribution guide lines for processing in batch agitating retorts (en línea). Consultado

26 oct. 2015. Disponible en [http://www.iftps.org/pdf/temperature%20and%20heat%20distribution\\_VG\\_007\\_V1.pdf](http://www.iftps.org/pdf/temperature%20and%20heat%20distribution_VG_007_V1.pdf)

IFTPS (Institute for Thermal Processing Specialists). 2014. Guidelines for conducting thermal processing studies (en línea). Consultado 17 ene. 2016. Disponible en [http://www.iftps.org/pdf/guidelines/Retort\\_Processing\\_Guidelines\\_02\\_13\\_14.pdf](http://www.iftps.org/pdf/guidelines/Retort_Processing_Guidelines_02_13_14.pdf)

Ismail, I; Fahmy, Al; Azab, A; Abadir, M; Fateen, Se. 2013. Optimizing the sterilization process of canned food using temperature distribution studies (en línea). IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS), 6(4). Consultado 17 ene. 2016. Disponible en <http://iosrjournals.org/iosr-javs/papers/vol6-issue4/E0642633.pdf>

Jun, S; Cox, L; Huang, A. 2006. Using the flexible retort pouch to add value to agricultural products (en línea). University of Hawai at Manoa. Disponible 20 ene. 2016. Disponible en <http://www.ctahr.hawaii.edu/hnfas/publications/foodSafety/flexiblePouch.pdf>

MINSA (Ministerio de Salud, Perú). 2008. Norma sanitaria aplicable a la fabricación de alimentos envasados de baja acidez y acidificados destinados al consumo humano (en línea). NTS N°069-MINSA/DIGESA-V.01. Consultado 26 oct. 2015. Disponible en [http://www.digesa.sld.pe/NormasLegales/Normas/RM\\_495-2008-MINSA.pdf](http://www.digesa.sld.pe/NormasLegales/Normas/RM_495-2008-MINSA.pdf)

Montville, TJ; Sapers G. 1981. Thermal resistance of spores from pH, elevating strains of *Bacillus licheniformis*. Journal of food science 46(6):1710-1712.

Odling, TE; Pflug, IJ. 1979. *Clostridium botulinum* growth and toxin production in tomato juice containing *Aspergillus gracilis*. Applied and environmental microbiology 37(3): 496-504.

Poças, M. DE F. 2003. Canning: cans and their manufacture (en línea). Portugal, Universidade Catolica Portuguesa. Consultado 17 jul. 2014. Disponible en <http://www2.esb.ucp.pt/twt/embalagem/MyFiles/biblioteca/publicacoes/0160a.pdf>

QALI WARMA. 2014. Fichas técnicas de alimentos: del servicio del programa nacional de alimentación escolar Qali Warma (en línea). Consultado 30 oct. 2015. Disponible en <ftp://ftpqw.qw.gob.pe/3PC/FICTECALIMPR.pdf>

- Rahman, M. 2007. Handbook of food preservation. Second Edition. CRC press.
- Richardson, P. 2001. Thermal technologies in food processing. Cambridge, Inglaterra, Taylor & Francis.
- Richardson, P. 2008. In-pack processed foods. Improving quality. Cambridge, Inglaterra, Taylor & Francis.
- Silva, F; Gibbs, P. 2004. Target selection in designing pasteurization processes for shelf-stable high- acid fruit products. Critical reviews in food science and nutrition 44(5):353-360.
- Sharma, S; Mulvaney, S; Rizvi, S. 2003. Ingeniería de Alimentos. Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. Limusa.
- Simpson, R; Almonacid, S; Sanchez, M; Nuñez, H; Teixeira, A. 2010. Ball's Formula Method Revisited (en línea). Consultado 24 ene. 2016. Disponible en <http://www.icef11.org/content/papers/mcf/MCF256.pdf>
- Smout, C.; Van Loey, A.; Hendrickx, M. 1998. Heat distribution in industrial-scale water cascading (rotary) retort. Journal of food science 63(5):882-886.
- Stephen, G. 2008. Development and application of time- temperature integrators to thermal food processing (en línea). University of Birmingham. Consultado 15 oct. 2015. Disponible en <http://etheses.bham.ac.uk/144/1/Tucker08PhD.pdf>
- Stoforos, N. 1995. Thermal process design. Food Control 6(2):81-94.
- Stoforos, N. 2010. Thermal process calculations through Ball's original formula method: a critical presentation of the method and simplification of its use through regression equations. Food Engineering Reviews 2(1):1-16.
- Wade, WN; Beuchat LR. 2003. Proteolytic activity of fungi isolated from decayed and damaged tomatoes and implications associated with changes in pH favorable for survival and growth of foodborne pathogens. Journal of Food Protection, 66, 111-117.