

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
E INGENIERIA DE ALIMENTOS



**“DISEÑO Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN
SISTEMA PARA ESTERILIZACIÓN COMERCIAL DE
ALIMENTOS”**

PRESENTADO POR:

PABLO GABRIEL MENDOZA CHAMAGUA
KARLA PATRICIA ZAVALA ESPINOZA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO DE ALIMENTOS

CIUDAD UNIVERSITARIA MARZO, 2013

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO

:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
E INGENIERIA DE ALIMENTOS

DIRECTOR

:

INGRA. TANIA TORRES RIVERA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
E INGENIERIA DE ALIMENTOS**

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO DE ALIMENTOS

Título :

**“DISEÑO Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN
SISTEMA PARA ESTERILIZACIÓN COMERCIAL DE
ALIMENTOS”**

Presentado por :

**PABLO GABRIEL MENDOZA CHAMAGUA
KARLA PATRICIA ZAVALA ESPINOZA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

**LIC. ANA ISABEL PEREIRA DE RUÍZ
ING. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RIOS LAZO**

San Salvador, Marzo de 2013

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

LIC. ANA ISABEL PEREIRA DE RUÍZ

ING. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RIOS LAZO

DEDICATORIA

A mi padre, mi mejor amigo **Amos Tosado** que en la tierra y ahora desde el cielo has estado pendiente de mí y que has sido mi guía en toda mi carrera ayudándome a tomar las mejores decisiones, porque cada vez que existió una dificultad sentí la presencia de tu espíritu ayudándome a encontrar una salida. Gracias Padre Amosito, este logro te lo debo y dedico a ti.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre **Marina Espinoza Bonilla** por todos sus esfuerzos, su dedicación, su lucha y entrega para verme un día formada como profesional, gracias mami por todo, pero infinitas gracias por su paciencia, porque sé que este camino se hizo largo pero las dos en nuestros corazones sabíamos que un día tendría un final feliz. **¡Lo logramos mami!**

A mi tío **Adolfo Bonilla** por esa bondad y ese inmenso cariño, los consejos y confianza, porque muchas veces gracias a su ayuda no faltó el alimento sobre mi mesa, por haberme brindado transporte durante tanto tiempo facilitándome el camino hacia la culminación de mi carrera.

A mi tío **Hugo Bonilla** por ese ejemplo de honestidad, esfuerzo y disciplina y por brindarme siempre ese consejo y esa guía a seguir frente a una situación difícil y creer en mi capacidad para lograr culminar una carrera de ingeniería.

A mis hermanos **Marina Zavala y Francisco Zavala** por ese apoyo incondicional a ti hermana por haber compartido mis primeros años de universidad y a ti Fran por haber compartido los últimos, son verdaderamente un gran ejemplo para mi vida, su forma de enfrentar la vida me ha enseñado de que todo esfuerzo tiene su recompensa. **¡Gracias hermanos!**

A mi gran amigo y compañero de estudio **José Roberto Martínez**, por su confianza, apoyo, ayuda incondicional, por creer en mí, eres el ángel que dios puso en mi vida para hacer este camino más fácil, siempre tuve de ti esa palabra

de fortaleza, ese hombro cuando las cosas se tornaron difíciles, gracias por tantos días y noches de desvelo compartidas, por haber tenido la paciencia de estudiar conmigo y convertirte en ocasiones en mi maestro personal, me abriste las puertas de tu casa y siempre me sentí como en la mía, la palabra **gracias** es demasiado pequeña para todo lo que tú has hecho por mí. **Dios te bendiga Robert te quiero mucho!**

A mis amigos y compañeros de estudio **Bere, Flor, Sulma, Sara, Ruth, Eva, Beatriz, Fernando y Rene**, sin ustedes la vida en la universidad no hubiese sido la misma, gracias por tantas experiencias, cumpleaños, finales e inicios de ciclo celebrados y por tanta ayuda en el momento oportuno, siempre los llevare en mi corazón.

A mis asesores **Ing. Salomón Torres y Lic. Ana Isabel de Ruiz**, por su guía, ayuda y apoyo en este proceso y a mis maestros por su enseñanza académica que me brindaron durante toda la carrera.

A mi gran compañero de fórmula **Pablo Gabriel Mendoza** por haber creído en mí, cuando tome la decisión de irme contigo en la tesis desde un inicio supe que no estaba cometiendo un error, gracias Pablito por tu confianza y ayudarme a finalizar mi carrera de la mejor manera. Dios te guie, cuide y te bendiga mucho, te deseo muchos éxitos en tu vida personal y profesional, no tengo duda de que serás un profesional excelente.

Y finalmente a mi sobrinito Eugenio Andrés por haber llegado al mundo en el momento justo y llenar de alegría mi vida y hacer este final algo especial, te amo mi niño.

¡Dios los bendiga a todos por ser parte de mi formación profesional y por llenar mi vida de felicidad!

Karla.

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que apoyaron la realización de este proyecto es por eso que deseo extender los agradecimientos siguientes:

A nuestros asesores Lic. Ana Isabel Pereira de Ruíz e Ing. Salomón Torres, por su apropiada guía y consejo.

A la Directora de la Escuela de Ingeniería Química, Ingra. Tania Torres por su ayuda para poder hacer los análisis microbiológicos y al personal de la Planta Piloto por facilitarnos el uso de las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería de Alimentos.

A la Licenciada Amy Morán de CENSALUD por su valiosa colaboración desinteresada.

A los Ingenieros Edwin Zepeda padre e hijo por su asesoría en el diseño y puesta en funcionamiento del equipo.

Al Señor Emilio Meléndez por su ayuda en el diseño y construcción del equipo.

Al personal de Proyect de El Salvador por su aporte intelectual, por la mano de obra y por su contribución económica para la construcción del equipo, gracias: Ing. Enrique Baudrexel, Ingra. Esmeralda García, Gilberto Ventura, Carlos Ramírez, Cindy de Navas, Pablo Daniel Santos, Marvin Reyes, Henry Paz, Jaime Arias, Josué y Daniel Cruz, Miguel Cornejo, Luis Cerón, Eduardo Rivera, Salvador Navarro, Rodolfo Henríquez, Aníbal Cornejo y demás compañeros.

Al Ing. Zuleta de la Escuela de Ingeniería Mecánica por sus recomendaciones para el diseño y construcción del equipo.

A Karla Zavala por su ayuda, comprensión, optimismo y la confianza en la realización del proyecto.

Los siguientes son agradecimientos personales a quienes ayudaron en mi formación académica:

A mis padres por tantos años de esfuerzo y bondad.

A mis hermanos y cuñadas por su motivación.

A todos mis familiares por su cariño sincero.

A profesores quienes mostraron interés en mi desarrollo académico.

A amigos y compañeros de estudios por ser pacientes y colaboradores.

A la gran Alma Máter y a la Sociedad Salvadoreña que me brindó la oportunidad de realizar estudios superiores.

Pablo Mench

RESUMEN

Se realizó el diseño de un equipo de esterilizado comercial de alimentos, la construcción del mismo fue documentada y se realizaron pruebas de funcionamiento y microbiológicas con sopa de frijoles en frasco de vidrio y frijoles molidos en bolsa flexible. La entrega del autoclave a la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos se hizo para que se cuente con un equipo para la práctica del esterilizado comercial y el aprendizaje de este proceso térmico.

Se recopiló información de los distintos equipos de con los que se realizan las operaciones de esterilizado, sobre los envases utilizados, tipos de procesos, control y funcionamiento de un autoclave, control de calidad, influencia sobre las propiedades sensoriales y nutricionales, conceptos de calor y muerte térmica y tratamientos térmicos recomendados y obligatorios para diferentes tipos de alimentos.

El diseño se hizo teniendo en cuenta los requerimientos y limitaciones del Laboratorio de Ingeniería de Alimentos, basándose en la teoría de los recipientes a presión se encontraron los espesores de las láminas con que se tendrían márgenes de seguridad no menores de 2.0; también teniendo en cuenta el procedimiento para realizar el esterilizado y las recomendaciones de asesores externos se llegó al diseño final que pasó a la etapa de construcción. El equipo fue construido en talleres que tienen experiencia en la manufactura de este tipo de equipo, utilizándose materiales resistentes a la corrosión para reducir los mantenimientos y gastos por anticorrosivos. Por último se realizaron pruebas para asegurar el funcionamiento y se procesaron frijoles en dos tipos de envase.

Al final se cuenta con un equipo que puede procesar alimentos y llevarlos al esterilizado comercial, siempre y cuando se trabaje bajo los tratamientos obligatorios y recomendados, y las limitaciones del equipo. Con el desarrollo del trabajo de graduación se cumple uno de los objetivos para los profesionales egresados de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos: trabajar de manera multidisciplinaria en cálculos y diseños de procesos,

proyectos y equipos a utilizar en el procesamiento de alimentos (<http://www.fia.ues.edu.sv/documents/10948/41633/Descripcion%20ing.%20de%20alimentos.pdf>).

Además utilizando el equipo podría investigarse temas como: los tratamientos térmicos para productos tradicionales y poder aumentar su vida de anaquel; la evaluación de la influencia del esterilizado comercial en las propiedades nutricionales y sensoriales de los alimentos.

INDICE GENERAL

TEMA	NOMBRE	NUMERO DE PAGINA
	CAPITULO I	
	INTRODUCCION	1
1.0	OPERACIONES DE ESTERILIZADO	2
1.1.	Esterilizado Comercial	3
1.1.1.	Ambiente de anaerobiosis del <i>Clostridium botulinum</i>	6
1.2.	Esterilizado según el envase	7
1.2.1.	Recipientes de metal	7
1.2.2.	Recipientes de vidrio	9
1.2.2.1.	Propiedades de vidrio	10
1.2.3.	Recipientes de plástico	12
1.2.3.1.	Sistemas de cierre para recipientes de plástico aptos para tratamientos en el autoclave.	13
1.2.3.2.	Oxígeno en el espacio libre superior	14
1.2.3.3.	Sistemas de cierre	15
2.0	EQUIPOS PARA ESTERILIZADO COMERCIAL	17
2.1.	Sistemas discontinuos	17
2.1.1.	Autoclaves discontinuos con vapor	17
2.1.2.	Sistemas de autoclave vapor/aire	21
2.1.3.	Autoclaves para tratamiento de agua	22
2.1.4.	Autoclaves sin cestillos	24
2.1.5.	Autoclaves de vapor autogenerado	25
2.2.	Sistemas de autoclave continuo	26
2.2.1.	Sistemas de autoclaves hidrostáticos	27
2.2.2.	Sistema Hydrolock	28
2.2.3.	Sistemas de autoclave de tambor y espiral	29
2.2.4.	El esterilizado universal	31
3.0	ESTERILIZACION POR CALOR HUMEDO (Agente esterilizador de un autoclave)	32
3.1.	Temperatura y tiempo de esterilización	33
3.1.1.	Tiempo de esterilización como concepto estadístico	34
4.0	CONTROL EN EL PROCESO DE ESTERILIZADO	37
4.1.	Importancia de la remoción de aire	37
4.1.1.	Consideraciones sobre la remoción de aire	37
4.2.	Medida del tiempo de esterilizado	38
4.3.	Requerimientos de registro	39
5.0	FUNCIONAMIENTO DE UN AUTOCLAVE	40
5.1.	Autoclaves verticales para recipientes de vidrio	40
5.2.	Autoclaves verticales para recipientes de metal	43
5.3.	Autoclaves Horizontales y Verticales para recipientes de	44

	vidrio	
6.0	CLASIFICACION DE LOS METODOS DE ESTERILIZACION	45
6.1.	Agentes físicos	45
6.2.	Agentes mecánicos	47
6.2.1.	Filtración por membrana	47
6.2.1.1.	Aplicaciones en alimentación	48
6.3.	Agentes químicos	49
7.0	CONTROL DE CALIDAD: INDICADORES DE MONITOREO, INSPECCION DE ESTERILIZACION COMERCIAL Y PRUEBAS DE ESTERILIZADO	50
7.1.	Indicadores de monitoreo	50
7.1.1.	Indicadores físicos	50
7.1.2.	Indicadores químicos	50
7.1.3.	Indicadores biológicos	51
7.1.4.	Pruebas microbiológicas	52
7.1.4.1.	Transferencia Directa a Medios de Cultivo	52
7.1.4.2.	Promoción de Crecimiento	52
7.2.	Influencia de la conservación por el calor sobre la calidad del producto	52
7.2.1.	Efecto por el calor y calidad sensorial	53
7.2.1.1.	Textura	54
7.2.1.2.	Color	56
7.2.1.3.	Sabor	58
7.2.2.	Conservación por el calor y nutrición	58
7.2.2.1.	Proteínas	59
7.2.2.2.	Vitaminas	59
7.2.2.3.	Minerales	60
7.2.2.4.	Carbohidratos	60
7.2.2.5.	Lípidos	61
8.0	CONCEPTO DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y TIEMPOS DE MUERTE TERMICA	61
8.1.	Ley de Fourier de la conducción de calor	62
8.2.	Ley de Newton de la conservación de calor	64
8.3.	Radiación y esterilización comercial	64
8.4.	Curvas de supervivencia y reducción decimal (valor D)	65
8.5.	Curva de resistencia térmica y diferencia de temperatura para disminución de concentración microbiológica en un ciclo log (valor z)	67
8.6.	Curvas de tiempo de muerte térmica	69
8.7.	Tiempo de muerte térmica de <i>C. botulinum</i> a 121°C (Fo)	71
8.8.	Historia de la temperatura de un proceso	72
8.9.	La velocidad letal	74
8.10.	Calculo de la letalidad	76

8.10.1.	Método de Bigelow	77
8.10.2.	Método trapezoidal	79
8.10.3.	Método de Patashnik	79
8.10.4.	Regla de Simpson	80
8.10.5.	Hoja de cálculo electrónica	80
8.11.	Instrumentos de medición de temperatura	82
9.0	NATURALEZA DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS, TRATAMIENTOS RECOMENDADOS Y OBLIGATORIOS	83
9.1.	Alimentos de baja acidez (pH >4.5)	84
9.2.	Productos lácteos	85
9.3.	Productos ácidos (pH<4.5)	85
9.4.	Frutas de verduras (Franco, 2010)	87
	CAPITULO II	90
	INTRODUCCION	90
1.	DISEÑO DE UN AUTOCLAVE NIVEL DE LABORATORIO	91
1.1.	Bases de diseño.	91
1.2.	Descripción del diseño del autoclave	93
1.2.1.	Tamaño del envase	93
1.2.2.	Tamaño de lote	94
2.0.	DISEÑO DE AUTOCLAVES	95
2.1.	Recipiente a presión	95
2.2.	Tipos de recipientes	95
2.2.1.	Por su uso	96
2.2.2.	Por su forma	96
2.3.	Tipos de tapas de autoclaves	97
2.3.1.	Tapas planas	97
2.3.2.	Tapas planas con ceja	97
2.3.3.	Tapas únicamente abombadas	97
2.3.4.	Tapas abombadas con ceja invertida	97
2.3.5.	Tapas toriesféricas	97
2.3.6.	Tapas semielípticas	98
2.3.7.	Tapas semiesféricas	99
2.3.8.	Tapas 80:10	99
2.3.9.	Tapas cónicas	99
2.3.10.	Tapas toricónicas	99
2.3.11.	Tapas toriesféricas	101
2.4.	Presión de operación (Po)	101
2.5.	Presión de diseño (P)	101
2.6.	Presión de prueba (Pp)	101
2.7.	Presión de trabajo máxima permisible	102
2.8.	Esfuerzo de diseño a la tensión (S)	102
2.9.	Eficiencia de las soldaduras (E)	103
3.0.	MATERIALES EN RECIPIENTES A PRESIÓN	103

3.1.	MATERIALES MÁS COMUNES	103
3.1.1.	Propiedades que deben tener y requisitos que deben llenar los materiales para satisfacer las condiciones de servicio	103
3.1.1.1	Propiedades mecánicas	103
3.1.1.2	Propiedades físicas	104
3.1.1.3.	Propiedades químicas	104
3.1.1.4.	Soldabilidad	105
3.1.2.	Evaluación de los materiales sugeridos	105
3.1.2.1.	Vida estimada de la planta	105
3.1.2.2.	Duración estimada del material	105
3.1.2.3.	Confiabilidad del material	106
3.1.2.4.	Disponibilidad y tiempo de entrega del material	106
3.1.2.5.	Costo del material y de fabricación	106
3.1.2.6.	Costo de mantenimiento e inspección	106
3.1.3.	Selección del material	106
3.1.3.1.	Requisitos Técnicos	106
3.1.3.2	Requisitos Económicos	106
4.0.	DISEÑO DEL AUTOCLAVE	107
4.1.	Presión de trabajo	107
4.2.	Presión de diseño	107
4.3.	Selección del material del casco cilíndrico	108
4.3.1.	Margen o sobre espesor de corrosión (c)	108
4.4.	Eficiencia de soldadura (E)	109
4.5.	Diseño de casco cilíndrico	109
4.5.1.	Espesor requerido de Diseño y Nominal	109
4.6.	Selección de tapas y material de construcción	111
4.6.1.	Diámetro Plano de Tapas	114
4.7.	Calor disperso en el casco	115
5.0.	CALCULO DE QUEMADOR	118
5.1.	Calculo de la cantidad de gas para este proceso	120
6.0.	PRUEBAS EN RECIPIENTES A PRESIÓN	120
6.1.	Prueba Hidrostática	120
6.2.	Pruebas Neumáticas	121
6.3.	Prueba de elasticidad	121
7.0.	COSTEO DE MATERIALES Y MANO DE OBRA	123
7.1.	ACCESORIOS DEL AUTOCLAVE	124
	CAPITULO III	125
	INTRODUCCIÓN	125
1.0.	CONSTRUCCIÓN DE AUTOCLAVE	126
1.1.	Descripción del proceso de construcción del autoclave	126
1.1.1.	Compra de materiales	126
1.1.2.	Corte de lámina y pletinas	127
1.1.3	Tumbado de fondos	128

1.1.4.	Rolado de cilindro y enrollado de bridas y anillos	128
1.1.5.	Armado del casco cilíndrico y las tapas	131
1.1.6.	Soldadura del autoclave	132
CAPITULO IV		136
INTRODUCCION		136
1.0.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS DE ESTERILIZACIÓN	137
1.1.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	137
1.1.1.	Prueba 1	137
1.1.1.1.	Observaciones	138
1.1.1.2.	Decisión	138
1.1.2.	Prueba 2	139
1.1.2.1.	Observaciones	140
1.1.2.2.	Decisiones	141
1.1.2.3.	Recomendaciones	141
1.1.3.	Prueba 3	141
1.1.3.1.	Observaciones	142
1.1.3.2.	Decisión	142
1.1.4.	Prueba 4	143
1.1.4.1.	Observaciones	144
1.1.4.2.	Decisión	144
1.1.4.3.	Recomendaciones	144
1.1.5.	Prueba 5	145
1.1.5.1.	Observaciones	146
1.1.5.2.	Conclusión	147
2.0.	PRUEBAS DE ESTERILIZACIÓN	147
2.1.	Prueba 1	148
2.1.1.	Indicador utilizado	148
2.1.2.	Metodología	148
2.1.3.	Resultado	150
2.1.	Prueba 2	150
2.1.1.	Indicador utilizado	150
2.1.2.	Metodología	151
2.1.3.	Resultado	155
3.1.	Prueba 3	155
3.1.1.	Indicador Utilizado	155
3.1.2.	Metodología	155
3.1.3.	Resultado sopa de frijol en frasco de vidrio	160
3.1.4.	Resultado de Muestra de frijol molido en bolsa retortable	161
CONCLUSIONES		163
RECOMENDACIONES		168
BIBLIOGRAFIA		169
ANEXOS		172

ANEXO A. Láminas de acero inoxidable en el mercado	173
ANEXO B. Tipos de juntas	174
ANEXO C. Propiedades de los materiales. Acero inoxidable	175
ANEXO D. Guías de laboratorio e instrucciones de servicio	176
ANEXO E. Resultado de análisis microbiológicos	212

FIGURAS

FIGURA	NOMBRE	NUMERO DE PAGINA
CAPITULO I		
Figura 1.1	Técnicas para conseguir un escaso contenido de oxígeno residual en el espacio libre superior.	15
Figura 1.2	Principio del cerrado térmico simple.	16
Figura 1.3	Un autoclave vertical discontinuo	18
Figura 1.4	Un autoclave horizontal	19
Figura 1.5	El sistema Lagarde	20
Fig.1.6	Autoclave de vapor/aire	22
Figura 1.7	Autoclave con pulverización de agua	24
Figura 1.8.	Sistemas de autoclave sin cestillos	25
Figura 1.9	Sistema de autoclave hidrostático	27
Figura 1.10	Figura 1.10. El sistema de autoclave Hydrolock	29
Figura 1.11	Recorrido de las latas a través de un cocedor/refrigerador de tambor y espiral	30
Figura 1.12	El esterilizador universal	31
Figura 1.13	Esterilizador para productos alimenticios enlatados	32
Figura 1.14	Autoclave Vertical para recipientes de vidrio	42
Figura 1.15	Autoclave vertical para recipiente de metal	43
Figura 1.16	Ley de Fourier de la transferencia de calor	63
Figura 1.17	Ley de Newton de la transferencia convectiva de calor	64
CAPITULO II		
Figura 2.1	Comparación de las alturas de latas.	94
Figura 2.2	Comparación de diámetros de latas.	95
Figura 2.3	Tipos de recipientes a presión	96
Figura 2.4	Tipo de tapas de autoclaves	98
Figura 2.5	Tipo de tapas de autoclaves continuación.	100
Figura 2.6	Esfuerzos y espesor del casco cilíndrico	111
Figura 2.7	Tapa torisférica y parámetros de diseño	112
Figura 2.8	Flujo de calor disperso en el casco cilíndrico	115
Figura 2.9	Radio interior y exterior del casco cilíndrico	115
CAPITULO III		
Figura. 3.1	Lámina acero inoxidable AISI 304 acabado 2B	126
Figura. 3.2	Pedazos de tubo cuadrado de 2" para las patas	127
Figura 3.3	Prensa de corte o cizalla	128
Figura 3.4	Trazos en la lámina y forjado de fondos	128
Figura. 3.5	Posición triangular de la roladora de tres rodillos	129
Figura.3.6	A. Ingreso de la lámina a la roladora. B y C. Pre-curvado. D. Primera pasada. E y F. Segunda pasada	130
Figura. 3.7	Roladora de perfiles	131

Figura.3.8	Proceso de soldadura TIG	133
Figura. 3.9	Soldadura de camisas para accesorios y soldaduras de la tapa	133
Figura. 3.10	Soldadura de casco cilíndrico, patas y accesorios para fijación	134
Figura. 3.11	Autoclave soldado y con sus accesorios roscados	135
CAPITULO VI		
Figura. 4.1	Indicador cinta de esterilización	148
Figura. 4.2	Cinta testigo antes y después del proceso de esterilización	150
Figura. 4.3	Indicador biológico antes de proceso de esterilización	151
Figura. 4.4	Indicador Biológico con cambio de color	153
Figura. 4.5	Incubación de indicador biológico	154
Figura. 4.6	Indicador biológico sin cambio de color	155
Figura. 4.7	Procedimiento de eliminado de aire a frascos con producto	157
Figura 4.8	Procedimiento de esterilizado	158
Figura. 4.9	Procedimiento de empaçado de frijoles en bolsas térmicas	159
Fig. 4.10	Muestras microbiológicas de fríjol esterilizado después de incubación. Ausencia de crecimiento de microorganismos	161

TABLAS

TABLA	NOMBRE CAPITULO I	NUMERO DE PAGINA
Tabla. 1.1	Efecto sobre el tratamiento térmico en los alimentos	54
Tabla. 1.2	Efecto sobre el tratamiento térmico en los alimentos	55
Tabla 1.3	Datos de supervivencia de esporas bacterianas a distintos intervalos de tiempo	66
Tabla.1.4	Las velocidades letales L contra el tiempo	76
Tabla.1.5	Temperaturas aproximadas de desarrollo y resistencia de algunas bacterias y virus	78
Tabla 1.6	Cálculo de la letalidad de un proceso por el método de Patashnik	80
Tabla 1.7	Integración del área de la curva (proceso de letalidad) en una hoja de cálculo electrónica	81
Tabla 1.9	Valores de pH de diversos productos	86
CAPITULO II		
Tabla 2.2	Propiedades mecánicas del acero	108
Tabla 2.3	Descripción de los tipos de tapas	113
Tabla 2.4	Factor M para cálculo de espesor de tapa torisférica	114
CAPITULO IV		
Tabla 4.1	Temperaturas externas del autoclave en proceso de esterilización	147

GRAFICAS

GRAFICAS	NOMBRE CAPITULO I	NUMERO DE PAGINA
Gráfica 1.1	Temperatura del autoclave y temperatura del producto vs tiempo	34
Gráfica 1.2	Microorganismos sobrevivientes en función del tiempo	36
Gráfica 1.3	Semilogarítmica de microorganismos supervivientes contra tiempo	67
Gráfica. 1.4	Curva de supervivencia para determinar varios valores D, A) y una curva de resistencia térmica para determinar el valor z, B)	68
Gráfica. 1.5	Curvas de resistencia térmica (valores D contra temperatura) y muerte térmica (valores F contra temperatura)	70
Grafica 1.6.	Curvas de tiempo de muerte térmica (valores F contra temperatura) para determinar el valor Fo a 250°F	72

Grafica 1.7	Perfil de temperatura-tiempo característico de un autoclave	73
Grafica 1.8	Seguimiento de la temperatura del producto en el centro de una lata durante el procesamiento en el autoclave	74
Gráfica 1.9	Velocidad letal contra tiempo obtenida durante el procesamiento en el autoclave	76
CAPITULO IV		
Grafico 4.1	Prueba de funcionamiento 1	137
Grafico 4.2	Prueba de funcionamiento 2 Temperatura	139
Grafico 4.3	Prueba de funcionamiento 2.Presión	140
Grafico 4.4	Prueba de funcionamiento 3. Temperatura	142
Grafico 4.5	Prueba de funcionamiento 4. Temperatura	143
Gráfico. 4.6	Prueba de funcionamiento 4. Presión	144
Gráfico. 4.7	Prueba de funcionamiento 5. Temperatura	145
Gráfico. 4.8	Prueba de funcionamiento 5. Presión	146
Grafico 4.9	Prueba de esterilización	149
Gráfico 4.10	Prueba de esterilización 1. Presión	149
Grafico 4.11	Prueba de esterilización 2. Temperatura	152
Grafico 4.12.	Prueba de esterilización 2. Presión	152

CAPITULO I

INTRODUCCION

La esterilización de alimentos es un método de estabilización microbiológica cuyo fundamento es provocar una elevación de la temperatura, la cual destruye los agentes de deterioro, enzimas y especialmente, microorganismos como bacterias, hongos y levaduras. También inactiva virus que son agentes infecciosos, aunque no deterioren el alimento.

A diferencia de la pasteurización es un tratamiento térmico energético que tiene como objetivo la destrucción total de todos los microorganismos presentes en el alimento tratado. La esterilización se lleva a cabo a temperaturas elevadas, de al menos 100°C, normalmente superiores, y su severidad es de varios órdenes superior a la pasteurización.

Comparada con la pasteurización, la esterilización produce alimentos con tiempos de vida muy superiores, que llegan a muchos meses e incluso años. Por otra parte, la calidad organoléptica de los productos esterilizados es peor. En muchas ocasiones el empleo de condiciones de esterilización produce graves deterioros y pérdidas de nutrientes, si no se es muy cuidadoso.

Por lo tanto el diseño de un equipo para esterilización conlleva hacerlo tanto para producir la muerte térmica deseada como para preservar los nutrientes más susceptibles.

El objetivo principal de la esterilización es eliminar los microorganismos capaces de provocar intoxicación alimenticia y reducir el contenido de gérmenes alterantes hasta un nivel comercialmente aceptable. Para un alimento de baja acidez, con un $\text{pH} > 4,5$, este proceso exige el calentamiento del producto hasta temperaturas

superiores a 100°C, generalmente dentro del margen 115-130°C durante un tiempo suficiente para conseguir una reducción de 12 ciclos logarítmicos en el número de esporas de *Clostridium botulinum*. Las prácticas actuales se encaminan, sin embargo, hacia la aplicación de temperaturas incluso más elevadas con la consiguiente reducción en los tiempos de tratamiento de forma que el producto retenga al máximo sus cualidades organolépticas y nutritivas. En este capítulo se estudian los principios operativos de diversos sistemas de tratamiento térmico junto con la referencia a técnicas más moderadas que todavía se encuentran en diversas fases de desarrollo.

1. OPERACIONES DE ESTERILIZADO

1.1. Esterilizado Comercial

Cuando se precisa una conservación a más largo plazo, resulta necesario aplicar tratamientos térmicos bastante más enérgicos. En este caso, hay que recurrir al proceso denominado conserva alimenticia, appertización o esterilización comercial. Se trata de una operación a realizar con alimentos introducidos en recipientes cerrados, que posteriormente se someten a los efectos del calor proporcionado por un autoclave, que siempre alcanza temperaturas mayores de 100 ° C.

Es un método de conservación de alimentos que hace referencia a tratamientos industriales de esterilización térmica, en los que una adecuada combinación del binomio temperatura-tiempo permite la destrucción de los microorganismos patógenos y de todos aquellos que producen toxinas, así como algunos otros alterantes que podrían ocasionar problemas de estabilidad bajo condiciones normales de almacenado o manipulación. Aunque esta operación presenta gran eficacia sobre la calidad higiénica del alimento y permite un almacenado a largo plazo, la mayoría de veces los alimentos tratados de este modo pueden contener un cierto número de esporas bacterianas termoresistentes, aunque lo normal es que no se puedan desarrollar en el alimento durante la vida comercial estipulada.

La operación se lleva a cabo en autoclaves y, por lo general, los efectos del calor suelen modificar las propiedades sensoriales de las materias primas tratadas. El proceso tradicional implica la realización de seis fases sucesivas de operaciones tecnológicas:

1. *Recepción y preparación del alimento*, que puede variar de acuerdo con su naturaleza: selección y calibrado de materias primas, lavado de verduras, pelado y troceado de frutas, eliminación de partes no comestibles, eviscerado, escaldado, etc. Cuando se realiza de modo correcto, o se emplea unas instalaciones mal diseñadas, puede incidir en un incremento de la contaminación

bacteriana, con perjuicio del proceso térmico que puede llegar a resultados totalmente inadecuados.

2. *Escaldado*, a realizar cuando se trata de alimentos de origen vegetal, que tiene por objeto acondicionar el producto de tal modo que se asegure su estabilidad posterior al favorecer la inactivación de las enzimas, la muerte de algunos microorganismos y la eliminación de casi todo el aire ocluido en la masa alimenticia.

3. Corte y mezclado: operación que tiene por objeto reducir y mezclar los vegetales en los tamaños y cantidades estandarizadas.

4. *Envasado*: operación mediante la cual al producto acondicionado se introduce en el envase definitivo de acuerdo con las posibilidades técnicas actuales, que permite el llenado de modo mecánico y automatizado, aunque también puede hacerse a mano, como en tiempos anteriores. En cuanto al llenado, se debe presentar atención a dos factores: la exactitud en el peso que se introduce en el envase y el control del modo de llenado para que retenga la menor cantidad de aire posible. Este segundo aspecto resulta bastante difícil cuando se trata de productos semisólidos o de salsas espesas mezcladas con trozos sólidos.

5. *Expulsión del aire y cierre hermético*, la primera de las operaciones puede efectuarse por el empleo de calor, por inyección de vapor o de modo mecánico. No obstante, siempre debe quedar un mínimo de aire residual para que no se deforme el envase durante el tiempo de enfriamiento, que implica diferencias de presión entre el interior y el exterior. En algunos casos puede llevar hasta la rotura de los cierres herméticos, con el riesgo de fugas y contaminaciones microbianas posteriores. La operación de cierre hermético se suele realizar mediante suturas con cerradoras automáticas.

6. *Tratamiento térmico*, una vez perfectamente envasados y cerrados los alimentos se introducen en los correspondientes autoclaves y se someten al tratamiento térmico previamente establecido para los parámetros de temperatura y tiempo, adecuados para la instalación y tipo del alimento envasado, con el fin de alcanzar la esterilidad comercial. Estos parámetros han de estar de acuerdo con los valores de tiempo de muerte térmica deducidos para cada caso concreto. Recordemos que el tiempo necesario para alcanzar la esterilidad comercial depende de la contaminación microbiana inicial, que si fuera muy elevada requeriría tiempos demasiados prolongados, normalmente incompatibles con la integridad de la calidad del alimento. De aquí que tenga gran importancia el estudio previo de cada instalación y alimentos a tratar para conocer como llegara la penetración del calor a todas las partículas y de modo especial hasta el denominado punto frío de cada envase.

7. *Refrigeración*, que debe ser llevada a cabo con la máxima rapidez, una vez que haya sido dado por concluido el tratamiento térmico.



Ejemplo de diagrama de flujo para la producción de ENCURTIDO

1.1.1 Ambiente de anaerobiosis del *Clostridium botulinum*

La causa más frecuente de botulismo de los alimentos es la elaboración y consumo de conservas caseras, que son procesadas de manera inapropiada, creando un ambiente anaeróbico que favorece la supervivencia de las esporas, su germinación, reproducción y síntesis de toxina.

Formas leves de botulismo pueden no requerir asistencia médica en absoluto, por lo que sí un paciente presenta sólo náuseas y ligeros síntomas neurológicos, existe la posibilidad de que un caso de botulismo pueda no ser diagnosticado. La mayoría de los casos de botulismo se relacionan con alimentos de preparación casera.

El botulismo es una enfermedad paralizante debida a neurotoxinas secretadas por una bacteria anaeróbica, formadora de esporas: *Clostridium botulinum*. Existen siete toxinas inmunológicamente distintas, designadas con las letras A hasta la G. Los tipos A, B, E y F provocan la mayoría de los casos en el hombre. Las neurotoxinas de *C. botulinum* bloquean, en la presinapsis, las placas neuromusculares colinérgicas autónomas, lo que impide la estimulación de las fibras motoras.

El botulismo es causado por la ingesta de alimentos que contienen la neurotoxina preformada de *C. botulinum*, cuyas esporas están omnipresentes en el medio ambiente. El adecuado proceso de la conservación de alimentos requiere de la eliminación o limitación de los factores necesarios para que los microorganismos patógenos puedan crecer y del correcto enfriamiento y almacenamiento para limitar la recontaminación. Para poder crecer y producir toxinas, *C. botulinum* requiere una atmósfera anaeróbica, nutrientes, temperatura apropiada, disponibilidad suficiente de agua, un ambiente con la acidez necesaria y libre de inhibidores del crecimiento.

Se puede controlar el crecimiento de *C. botulinum* en productos alimenticios a través del control de la acidez (pH) y de la actividad de agua (*A_w*), refrigeración y conservantes químicos. Para que un alimento sea seguro, su conservación debe realizarse en un medio ácido (pH de 4,6 o menor); a estos niveles se inhibe la producción de la letal toxina del botulismo.

Los alimentos que tienen un pH por encima de 4,6 son alimentos de baja acidez, por ende, peligrosos, pues exponen al riesgo de adquirir botulismo.

1.2 Esterilizado según el envase.

1.2.1. Recipientes de metal:

Los envases metálicos han dominado sectores de los mercados de alimentos y bebidas durante muchos años por su relación coste/calidad, durabilidad y por la protección global que proporcionan a sus contenidos. Durante los últimos 40 años se han producido cambios notables en la tecnología de la fabricación de las latas y en los materiales utilizados para las latas y los cierres. La fabricación de latas ha ido incorporando progresivamente una alta tecnología.

Las latas para alimentos pueden elaborarse de acero, con distintas formas, y de varias aleaciones de aluminio, utilizando muy diversos procedimientos de fabricación (Rees y Bettison, 1991).

Los recipientes para alimentos deben gozar de suficiente solidez y robustez para permitir la manipulación, llenado y tratamiento, almacenamiento y distribución sin experimentar alteraciones indebidas. Los recipientes llenos y cerrados necesitan también una resistencia adecuada para soportar las condiciones de temperatura y presión aplicadas durante el proceso de esterilización de alimentos en el interior de las latas.

Las propiedades de resistencia mecánica de los recipientes (llenos) se miden en términos de:

- **Solidez axial:** resistencia a plegarse por carga en su parte superior.
- **Resistencia al aplastamiento:** resistencia a la presión externa y al vacío en el interior de la lata.
- **Resistencia al abombamiento:** resistencia a la presión en el interior de la lata.

En la práctica, la solidez axial y la resistencia al aplastamiento se encuentran íntimamente interrelacionadas en el diseño del cuerpo de las latas modernas. La resistencia al abombamiento se consigue mediante la profundidad del avellanado de lo(s) cierre(s) y por la realización de moldaduras circulares (para expansión).

1.2.1.1. Elección de los materiales del recipiente y su influencia sobre la corrosión.

La hojalata sigue siendo el material dominante para la fabricación de latas y tapas para alimentos aunque cada vez se emplea más el acero sin estaño para tapas fijas (no de fácil apertura) y para cuerpos de latas estirados-reestirados. Una segunda tendencia consiste en que van descendiendo los niveles de estaño en la hojalata que son compensados por sistemas protectores de lacado cada vez más eficaces. El empleo de recubrimientos de estaño más pesados se reserva para recipientes sin lacar en los que precisa la disolución del estaño por razones organolépticas o para productos muy ácidos como ciruelas rojas, remolacha de mesa y pepinillos en vinagre y para zumo concentrado de pomelos.

Recipientes de hojalata: en términos generales, los productos ácidos son más corrosivos para la hojalata que los no ácidos aunque no existe una relación exacta entre pH y velocidad de la corrosión.

Acero sin estaño: Las latas y las tapas de hojalata son considerados generalmente como “sistemas seguros”, al menos en cuanto se refiere a la mayoría de los productos alimenticios. El acero sin estaño no puede ser utilizado sin lacar por su carencia de resistencia a la corrosión y porque su dura superficie provoca un desgaste inaceptable en la herramientas.

Aluminio: En algunos países, alimentos como pescado en aceite y pates son envasados en recipientes totalmente de aluminio con resultados sumamente satisfactorios. Los productos que contienen salmuera no serán envasados en este tipo de recipientes ya que provocan una corrosión rápida e intensa en los mismos. Esta corrosión ha determinado en muchos casos la perforación del recipiente y/o del tapa en 24 horas.

Cada vez los investigadores buscan mejores instrumentos y técnicas que les permitan predecir el rendimiento de los envases y conocer las complejas reacciones que se producen entre recipientes y contenido.

1.2.2. Recipientes de vidrio:

El término vidrio se aplica a diversas sustancias elaboradas a partir de distintos materiales. Los recipientes de vidrio han sido usados comercialmente para la conservación de alimentos mediante calor durante casi dos siglos. En realidad, los primeros recipientes para alimentos tratados usados por el francés Nicholas Appert, a finales del siglo XVIII, estaban fabricados de vidrio. Aunque Appert puso a punto su técnica de conservación de mediante el calor en 1791, la mantuvo en secreto hasta 1809, cuando la ofreció al gobierno francés en respuesta a una demanda para un método que permitiese la conservación de los alimentos para aprovisionar de alimentos envasados a las fuerzas de Napoleón en Europa Oriental. Desde aquellos remotos días, en los que se empleaban corchos naturales para cerrar los tarros de vidrio, la industria ha introducido diversos tipos

de cierres, habiéndose producido los avances más importantes durante los 45 últimos años (Rees y Bettison, 1991).

1.2.2.1 Propiedades del vidrio.

1. El vidrio es quizás la elección perfecta como material para recipientes destinados a una amplia gama de alimentos conservados mediante el calor; es inerte, impermeable a los gases, olores y sabores, y resistente al ataque químico, frente a los compuestos químicos que suelen contener los alimentos.
2. Los recipientes de vidrio son normalmente transparentes, y esto permite que el consumidor examine el producto antes de adquirirlo (aunque esto supone una posible desventaja con ciertos alimentos sensibles a la luz).
3. Aunque el vidrio es considerado como un material frágil, una fibra de vidrio fabricada recientemente soportara doble peso que una fibra equivalente de acero. Por desgracia, en la forma en que aparece normalmente el vidrio en la vida real tiene una milésima parte de su resistencia teórica; como el vidrio tiene la estructura y las propiedades de un líquido, cualquier defecto en su seno se difundirá sin obstáculo por la totalidad de su masa y, en consecuencia, disminuirá su resistencia. La fragilidad debe considerarse, por consiguiente, como una desventaja que presentan los recipientes de vidrio convencional usados para envasar productos alimenticios.
4. El vidrio es mal conductor del calor, y los cambios súbitos de temperatura, normalmente superiores a 60-65°C, pueden provocar tensiones peligrosas en los recipientes de vidrio como consecuencia de un shock térmico; sin embargo, el calentamiento súbito, que provoca compresión sobre la superficie del vidrio, es menos peligroso que el enfriamiento brusco, que provoca tensión en la superficie. También es importante señalar, con la creciente tendencia hacia las comidas de consumo inmediato y con la poca

preparación casera de los alimentos, que el recipiente de vidrio puede usarse en los hornos microondas, una vez retirado cualquier cierre metálico.

5. Una desventaja final de los recipientes de vidrio es su peso en comparación con materiales alternativos usados para envases, aunque para reducirlo se están realizando diversas investigaciones; un bote de vidrio “peso ligero” aparecido recientemente era un 30% más ligero que los existentes, con igual resistencia.

Durante el tratamiento térmico a temperaturas superiores a 100°C (normalmente en el margen 115-121°C), la presión interna real creada en el interior del recipiente de vidrio cerrado con cierre sin salida de aire, es regulada mediante una combinación de las condiciones de llenado, cerrado y la temperatura aplicada para la esterilización. El término “sobrepresión” es usado para indicar la presión total en el interior de la cámara de esterilización, y es la suma de la presión de vapor precisa para alcanzar la temperatura de esterilización y la presión del aire comprimido que persiste en dicha cámara. Los recipientes de vidrio con cierre sin escape de aire son esterilizados normalmente con vapor-agua caliente, aunque también es posible esterilizarlos con vapor/aire en autoclaves construidos especialmente, en autoclaves con agua recirculante sometida a sobrepresión y con ciertos esterilizadores hidrostáticos.

Cuando se usan los autoclaves verticales estáticos convencionales para tratamiento bajo el agua es importante asegurar que todos los recipientes en el interior del autoclave se encuentran cubiertos al menos por 15 cm de agua, y que se deja un espacio libre de al menos 20 cm entre el nivel del agua y la parte superior del autoclave. Algunos autoclaves son capaces de girar los cestos que contienen los recipientes de vidrio lo que manteniendo controladas las condiciones, no supondrá mayor problema que la selección de cierres capaces de soportar satisfactoriamente estas rigurosas condiciones de tratamiento.

Las siguientes condiciones se aplican a todas las operaciones del proceso y deberán ser observadas para obtener el máximo rendimiento de los envases:

- a) La temperatura del producto en el interior de los recipientes al inicio del proceso será superior a la temperatura inicial del agua introducida en el autoclave.
- b) La temperatura del producto en el interior de los recipientes al final del proceso será inferior a la temperatura inicial de llenado del producto.
- c) Para mantener la calidad de los cierres, debe prestarse atención a todos los factores capaces de provocar corrosión externa, siendo los más importantes: tratamiento incorrecto o inadecuado del agua, mantenimiento inadecuado del equipo de tratamiento y de los servicios auxiliares, medios inapropiados para el tratamiento del agua, refrigeración excesiva de los recipientes (objetivo lograr 40⁰C en el centro del producto).

1.2.3. Recipientes de plástico:

El horno microondas ha supuesto una oportunidad para desarrollar una forma única de envasado de alimentos. Este nuevo concepto de recipientes no solamente realiza las funciones primarias del envase sino que representa también un receptáculo en el que los alimentos pueden ser preparados primero en el microondas y llevados posteriormente a la mesa. Los materiales plásticos son ideales para estos nuevos envases que pueden ser calentados ya que no solo disponen de las propiedades precisas para este tratamiento sino que además facilitan la transmisión de la energía del microondas (Rees y Bettison, 1991).

Las propiedades físicas de los materiales plásticos (polímeros) presentan algunas diferencias notables cuando se comparan con materiales tradicionales tales como metal o vidrio. Los polímeros suelen ser más blandos y más flexibles. En términos

técnicos su coeficiente de rigidez disminuye con el incremento de la temperatura y este hecho varía para los distintos polímeros. Los polímeros muestran también “deslizamiento” o movimiento al ser sometidos a tensiones, principalmente a elevadas temperaturas. Este fenómeno supone, por ejemplo, que el cierre de los recipientes mediante junta doble debe efectuarse de forma óptima en recipientes de plástico tratados en autoclave ya que deben soportar las fuerzas ejercidas por las elevadas temperaturas alcanzadas durante su tratamiento térmico.

1.2.3.1 Sistemas de cierre para recipientes de plástico aptos para tratamientos en el autoclave.

Un factor clave en los recipientes comerciales de comidas preparadas o de otros preparados estables es su “comodidad real”. Esto no debe olvidarse en cuanto se refiere al sistema de cierre, en cuyo caso, *la facilidad de apertura* es una característica importante.

Además de este requisito, otras características necesarias para el envasado de alimentos de baja acidez son:

- Un cierre “bio hermético”
- Un proceso controlable que pueda ser manejado por el fabricante entre los límites conocidos de control del proceso.
- Un sistema de cierre económico.
- Un sistema de cierre compatible con las tolerancias de tratamiento de los plásticos acordadas con los fabricantes de los envases.

Para el futuro de los envases de plástico que pueden ser tratados en el autoclave, debe desarrollarse un proceso en el que se tengan presentes todos estos aspectos en el diseño final del equipo empleado, sea de doble junta, de cerrado térmico, de soldadura ultrasónica, etc. debe señalarse que la industria todavía

tiene que recorrer un largo camino en el conocimiento y desarrollo del proceso cerrado y que existe un enorme deseo de mejorar tal proceso.

1.2.3.2. Oxígeno en el espacio libre superior.

Los polímeros de plástico tienen resistencia a las temperaturas del autoclave mucho menor que los materiales tradicionales de vidrio o de metal. En consecuencia, es importante la protección de los recipientes frente a una tensión excesiva sobre sus paredes originada por el diferencial de presión entre el interior del envase y la presión externa del autoclave durante los ciclos de calentamiento y de enfriamiento. Suelen reducirse al mínimo los efectos de la tensión sobre el recipiente estableciendo una sobrepresión en el interior del autoclave (típicamente 1.75-2.0 bar en total a 121°C), aunque mientras persiste algo de gas en el espacio de cabeza del recipiente, será muy difícil reducir al mínimo el diferencial de presión.

Estas tensiones generadas principalmente durante el calentamiento y el enfriamiento, cuando las temperaturas son transitorias, son las que provocan la deformación de los envases. El método mas apropiado para mejorar esta situación consiste en cerrar los envases de forma que se elimine el gas en el espacio libre superior. Al realizar esto la sobrepresión puede actuar entonces sobre un envase “hidráulicamente sólido” reduciendo así al mínimo las tensiones sobre las paredes de los recipientes. En estas condiciones, puede aplicarse una sobrepresión constante desde el inicio hasta la finalización del ciclo del autoclave. La reducción al mínimo del espacio libre superior proporciona también un envase con un contenido mínimo de oxígeno y asimismo un buen contacto entre la pared del recipiente y su contenido para una mejor transferencia del calor.

Otro hecho a considerar cuando se emplea esta técnica para reducir al mínimo las tensiones sobre la pared de los envases durante el tratamiento en el autoclave es que podrán usarse recipientes de menor peso que los usados cuando existe

espacio libre superior. Las técnicas comunes para conseguir un mínimo espacio libre superior como se ve en la Figura 1.1 son:

- Uso de tapaderas cóncavas
- Aplicación de flujo de vapor durante el proceso de cierre
- Creación de vacío sobre el recipiente antes de cerrarlo
- Llenado hasta el borde



Figura 1.1. Técnicas para conseguir un escaso contenido de oxígeno residual en el espacio libre superior. Ref "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991

1.2.3.3 Sistemas de cierre

Los dos sistemas de cierre más utilizados para envases de plástico que pueden ser tratados en el autoclave son los laminados de hoja fina de metal o lamina de plástico y los cierres de doble juntura de apertura total, variedad apertura fácil.

El sistema de cierre de doble juntura "apertura fácil" puede resultar atractivo para determinados envasadores de alimentos porque pueden estar ya familiarizados con la tecnología de la doble juntura y pueden usar algún equipo presente en su

factoría para el cierre de latas. Aunque el sistema de cierre con doble juntura aplica el mismo proceso básico que para el cierre de latas de metal, algunas técnicas, ajuste de la cerradora y perfiles de los componentes, difieren bastante de las aplicadas para el metal para tener en cuenta las distintas propiedades de las láminas y envases de plástico. Los sistemas de cierre con láminas de plástico y hojas finas de metal tienen algunas ventajas en los aspectos del coste de material, aunque parte de las mismas son superadas por el proceso de cerrado que es más costoso.

En su forma más simple, el cerrado térmico consiste en la compresión del borde de polietileno del recipiente con una lámina de polietileno usando una mordaza fría y una mordaza caliente como se indica en la figura 1.2.

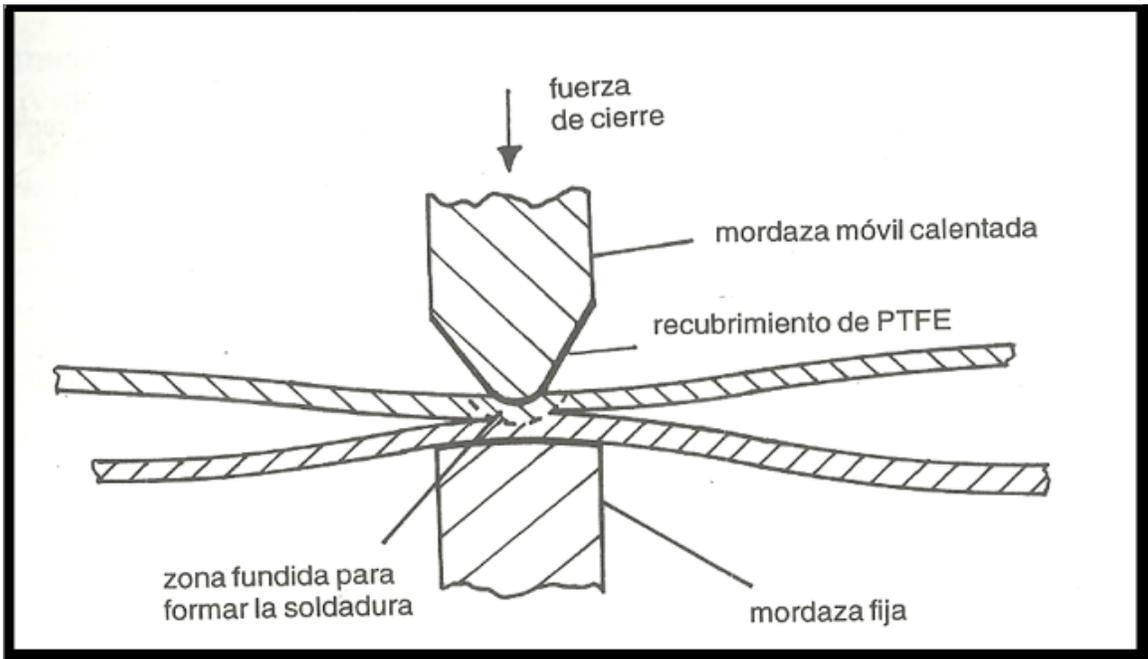


Figura 1.2. Principio del cerrado térmico simple. Ref "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991

2. EQUIPOS PARA ESTERILIZADO COMERCIAL.

La industria alimentaria produce una amplia gama de productos envasados en diversos recipientes siendo precisas, por consiguiente, diversas técnicas de tratamiento así como diseños de autoclaves y procedimientos operativos.

Los sistemas de tratamiento en autoclave pueden subdividirse de varias formas. La principal distinción se establece entre los sistemas de autoclaves continuo, es decir aquellos en los que los recipientes entran y salen del autoclave de forma continua, y sistemas discontinuos en los que el autoclave se llena de producto, se cierra y posteriormente se inicia un ciclo de tratamiento.

2.1. Sistemas discontinuos

2.1.1 Autoclaves discontinuos con vapor.

Suelen disponerse bien verticalmente (Figura 1.3) u horizontalmente (Figura 1.4) y se utilizan para productos enlatados que se colocan en cestas inmediatamente después de cerrar herméticamente las latas, que se introducen posteriormente en el interior del cuerpo del autoclave.

El autoclave consta de una carcasa o cuerpo de metal resistente a la presión provista de entradas para vapor, agua y aire y con bocas de salida para el escape de aire durante la puesta en funcionamiento del autoclave, y para drenado al final del ciclo. A un lado de la carcasa aparece un cuadro de instrumentos: termómetro, sonda para registro de temperaturas y manómetro. Para conseguir un movimiento adecuado del vapor alrededor de los instrumentos dispone de un suministro constante de vapor. En los autoclaves verticales la tapadera se encuentra encajada en la parte superior y asegurada a la carcasa durante el tratamiento mediante varios tornillos. Uno de los tornillos suele ser un tornillo de seguridad diseñado para permitir el escape de cualquier exceso de presión que pudiera haberse dejado inadvertidamente en el interior del autoclave al final del proceso cuando se suelta la tapadera. Los autoclaves con vapor de tipo horizontal

presentan un dispositivo similar con la diferencia de que la puerta se sitúa en un extremo de la máquina.

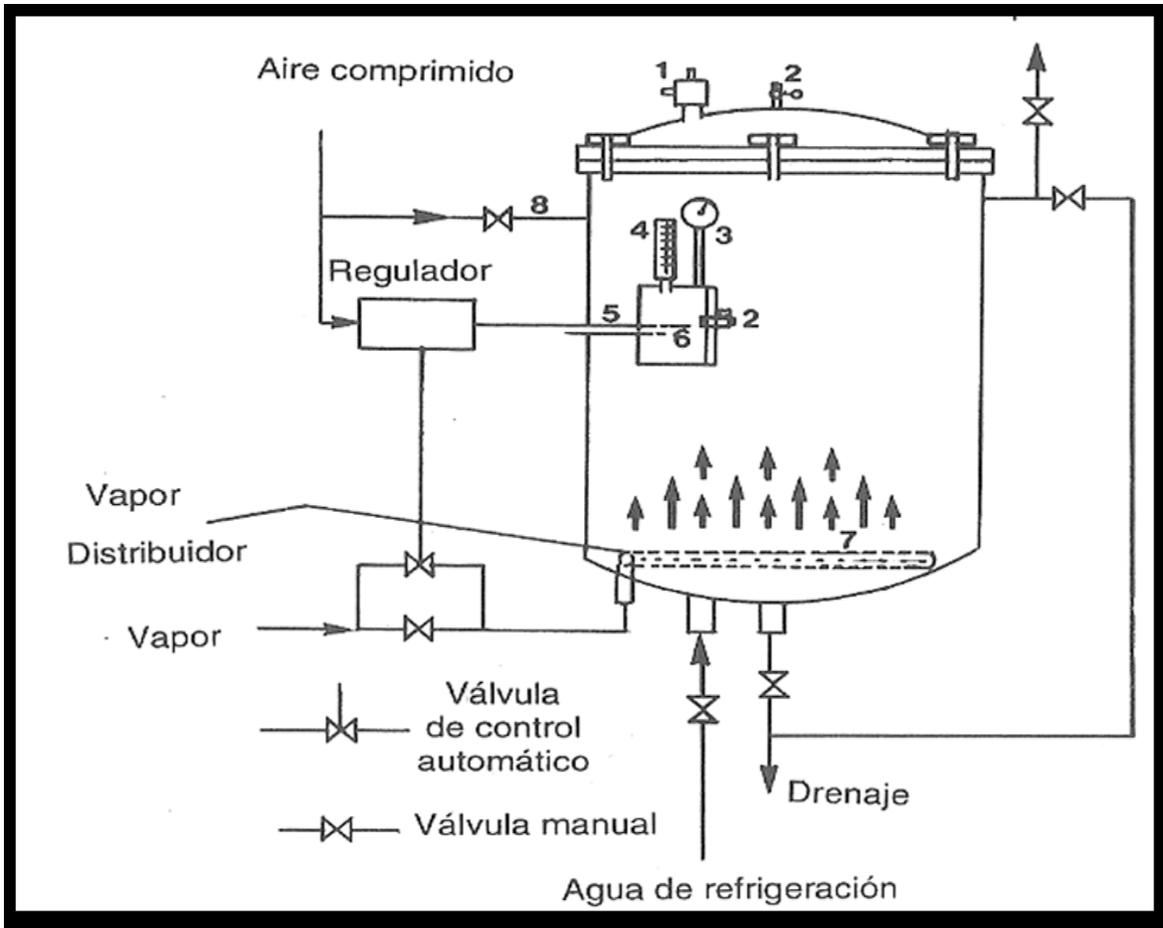


Figura1.3. Un autoclave vertical discontinuo. (1) Válvula de seguridad; (2) llave de purga que permite la salida de vapor del autoclave durante el proceso; (3) manómetro de presión; (4) termómetro; (5) elemento sensible de control; (6) termo-caja; (7) distribuidor de vapor; (8) entrada de aire para refrigeración bajo presión. Ref "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991

El ciclo operativo de este tipo de autoclave consiste en la puesta en marcha del aparato hasta alcanzar una temperatura de unos 100°C, y posteriormente se deja salir vapor del autoclave hacia la atmósfera de forma que se elimine todo el aire presente en el interior de la carcasa y entre las latas (purgado) antes de que finalmente se alcance la presión y la temperatura de tratamiento. Al final del periodo de tratamiento, se deja salir el vapor y se introduce en el interior de la carcasa una mezcla de agua refrigerante y de aire para enfriar las latas. La

finalidad del aire consiste en mantener la presión en el autoclave tras la condensación del vapor residual después de la introducción inicial de agua refrigerante. Si no se mantiene esta presión pueden deformarse los recipientes como resultado de los desequilibrios de presión que se establecen entre la presión interna de las latas y al autoclave. Según descende la temperatura, la presión del interior del autoclave puede ser controlada y reducida gradualmente hasta igualarla con la presión atmosférica y puede permitirse el flujo de agua a través del autoclave, refrigerando las latas hasta una temperatura de 40°C antes de sacarlas del aparato.

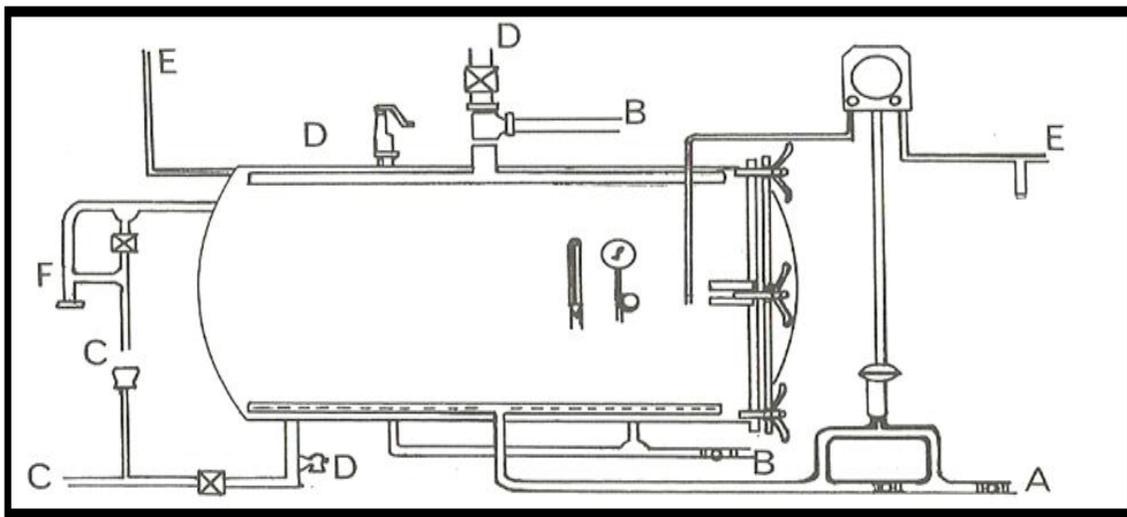


Figura 1.4. Un autoclave horizontal. (A) Vapor; (B) agua; (C) drenaje, rebosadero; (D) respiraderos, purgadores; (E) aire; (F) válvulas de seguridad, válvulas para reducir la presión.  Válvulas manuales: o, globular, de compuerta. Ref "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991

Las latas pueden ser extraídas del autoclave a esta temperatura ya que así se favorece el secado rápido de la superficie de las latas mediante evaporación reduciendo así el riesgo de alteración por fugas. Resulta preferible pulverizar el agua o, como alternativa, pueden llenarse el autoclave con agua que se deja en reposo durante un tiempo suficiente para que las latas se refrigieren hasta alcanzar la temperatura de descarga.

Ambos sistemas son de funcionamiento estático, con otros tipos de producto es posible acelerar la velocidad de la penetración del calor mediante la agitación de las latas en el ambiente de vapor mediante rotación sobre un eje horizontal en el autoclave horizontal o sobre un plano vertical en el autoclave vertical. Esto tiene la ventaja de reducir el tratamiento excesivo que podría originar el calentamiento por conducción en la superficie del producto cuando se busca alcanzar la temperatura deseada de tratamiento en el punto con calentamiento más lento.

Algunos autoclaves calentados con vapor incorporan un ventilador para forzar la entrada de vapor en el autoclave y aumentar la velocidad de la transferencia de calor desde el vapor de los recipientes. El sistema Lagarde en la figura 1.5.

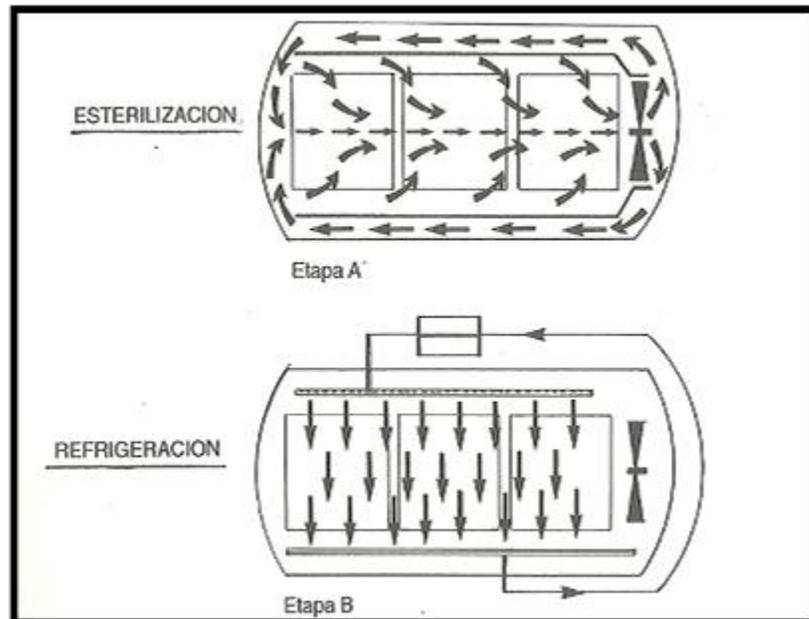


Figura 1.5. El sistema Lagarde. Etapa A: el proceso de esterilización utiliza circulación forzada de vapor. Etapa B: el enfriado rápido se logra pulverizando agua fría reciclada. Ref "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991

2.1.3. Sistemas de autoclave vapor/aire.

Con estos tipos de recipientes no suele ser suficiente confiar solamente en la resistencia de los recipientes para contrarrestar la presión interna que se genera durante el calentamiento, siendo precisa una sobrepresión constante de aire en proporciones calculadas para alcanzar la temperatura necesaria en el vapor y la sobreprotección de aire para mantener la integridad del envase. Para asegurar la mezcla correcta del vapor y el aire estos autoclaves van provistos de un sistema de ventiladores para dispersar el vapor y el aire, eliminando así la posibilidad de que se formen bolsas frías en la cámara de tratamiento.

Los recipientes son cargados en cajones o cestillas teniendo cuidado en asegurar un buen contacto entre el medio calefactor y el producto que va a ser esterilizado. Estos sistemas suelen funcionar por partidas, siendo preciso el llenado y cerrado hermético de los recipientes que se colocan en las cestillas que posteriormente son introducidas por un extremo del autoclave mediante una puerta. Posteriormente el autoclave es calentado hasta alcanzar la temperatura de tratamiento con la aplicación de una sobrepresión de aire suficiente para mantener la integridad de los envases en la cámara del autoclave mientras se realiza su tratamiento. Una vez transcurrido el tiempo preciso a la temperatura de tratamiento, se dejara salir el vapor y al autoclave se refrigera bien mediante la inmersión en agua de los recipientes o pulverizando agua. En todo momento resulta esencial el régimen adecuado de sobreprotección de aire en el interior del autoclave. Posteriormente pueden sacarse del autoclave los cestillos o cajones con el producto.

El control de este tipo de autoclaves puede ser difícil, particularmente al pretender asegurar una distribución adecuadamente uniforme de la temperatura en el ambiente de la cámara del autoclave cuando se efectúa la mezcla de vapor con aire comprimido frío. En este caso, a diferencia de lo que sucede en los autoclaves que funcionan con vapor saturado, la presencia de aire no debe permitir una reducción en la presión parcial del vapor y, por consiguiente, en la temperatura del

autoclave, sino solamente proporcionar la sobreprotección necesaria para asegurar la integridad de los envases. Sin embargo, el vapor y el aire deben encontrarse íntimamente mezclados de manera que en el interior del autoclave no se formen bolsas frías en la mezcla de vapor/aire con el consiguiente tratamiento incorrecto de las latas.

Un ejemplo de dicho procedimiento es el sistema Steristeam. El vapor es introducido por la parte superior de este sistema de autoclave horizontal y mezclado con aire, siendo posteriormente dispersado hacia el interior del autoclave mediante el ventilador o los ventiladores centrífugos situados a un lado del autoclave. La presión excesiva de aire puede ser librada a través de un respiradero que es controlado mediante un sistema de control con microprocesador. La refrigeración se consigue bien mediante inyección de agua refrigerante desde un reservorio o usando aire refrigerado. El agua refrigerante puede ser reciclada.

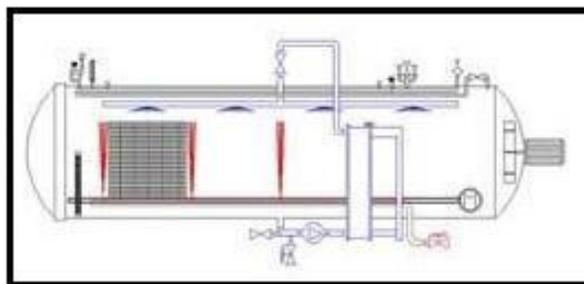


Fig.1.6. Autoclave de vapor/aire. Ref. <http://www.steritech.es/autoclaves-batch/autoclaves-vapr.html>

2.1.3. Autoclaves para tratamiento con agua.

Este sistema de autoclave ha experimentado un rápido crecimiento durante los últimos años. El primer autoclave importante que uso este medio de calentamiento fue el utilizado para el tratamiento de botes de cristal. Se trataba de autoclaves estáticos discontinuos en los que se introducían cestillos con botes de cristal, que eran sumergidos en agua caliente y posteriormente calentados hasta alcanzar la temperatura de tratamiento mediante la inyección de vapor directo en el autoclave.

El agua era sometida a recirculación para evitar la aparición de zonas calientes y frías. El agua experimentaba varios ciclos de recirculación por minuto en este tipo de autoclave para asegurar una distribución uniforme de la temperatura. Las prácticas actuales con recipientes semi-rígidos aplican tanto técnicas de inmersión en agua como en forma de lluvia con o sin rotación. Para el tratamiento térmico de recipientes semi-rígidos, es necesario estudiar la colocación de los envases en cestillos o cajones apropiados para el autoclave de forma que se produzca un flujo suficiente de agua para calentar los productos hasta alcanzar las temperaturas de esterilización durante el ciclo de calentamiento.

Las técnicas de agua en forma de lluvia como se ve en la Figura 1.7 requieren el empleo de un sistema externo de inyección de vapor o de un sistema intercambiador de calor fuera del ambiente directo del autoclave. En este último caso, el agua fría que alimenta el sistema se combina con el medio calefactor reciclado y se calienta hasta alcanzar la temperatura precisa antes de penetrar en la cámara de esterilización mediante un dispositivo pulverizador. Los recipientes habrán sido colocados para permitir un buen contacto entre el agua caliente calefactora y el producto utilizando barras espaciadoras o placas de distribución. Es imperativo que se logre una buena distribución del agua ya que en caso contrario puede producirse estratificación y determinados productos recibirán un tratamiento térmico incorrecto. El control de la temperatura resulta difícil en este sistema aunque la práctica más segura consiste en basar el tratamiento térmico recibido por el producto en la temperatura a la salida del autoclave, es decir, en la temperatura medida en la línea de retorno del agua hacia el intercambiador de calor. La velocidad del flujo del agua en estos sistemas es tan crítica como en los sistemas de inmersión en agua, ya que si es demasiado lenta o quedan bloqueados efectivamente algunos de los canales entre los envases, puede observarse una distribución inadecuada de la temperatura en el interior del autoclave que puede conducir a un tratamiento deficiente.

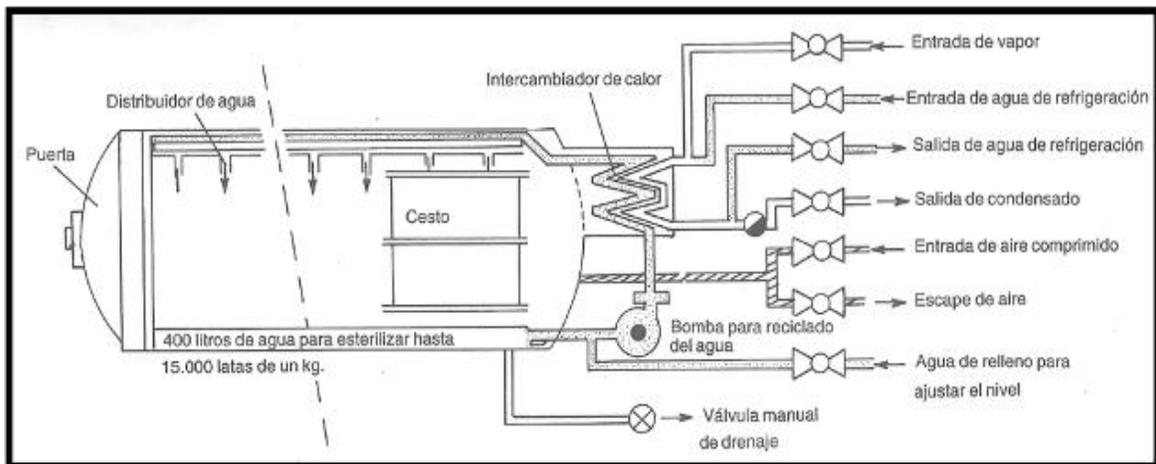


Figura 1.7. Autoclave con pulverización de agua. Ref "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991

La velocidad del agua en estos autoclaves al pasar sobre los envases tiene una importancia vital ya que influirá en la velocidad de la transferencia de calor hacia el producto como consecuencia de su influencia sobre el coeficiente de transferencia de calor.

Esto es improbable que suceda en los procesos en autoclaves con vapor saturado donde el coeficiente de transferencia de calor puede ser considerado como infinito.

2.1.4. Autoclaves sin cestillos.

El sistema de autoclave sin cestillos como se observa en la Figura 1.8 puede describirse como un sistema semicontinuo, ya que los recipientes de un autoclave múltiple están siendo llenado y accionados en paralelo de forma continua. Las latas circulan sobre un transportador calentado en exceso hasta un recipiente del autoclave y se dejan caer en el interior de la cámara sobre un colchón de agua fría. Una vez lleno el recipiente del autoclave, se purga el agua mediante la introducción de vapor que posteriormente se deja salir durante un periodo predeterminado de tiempo.

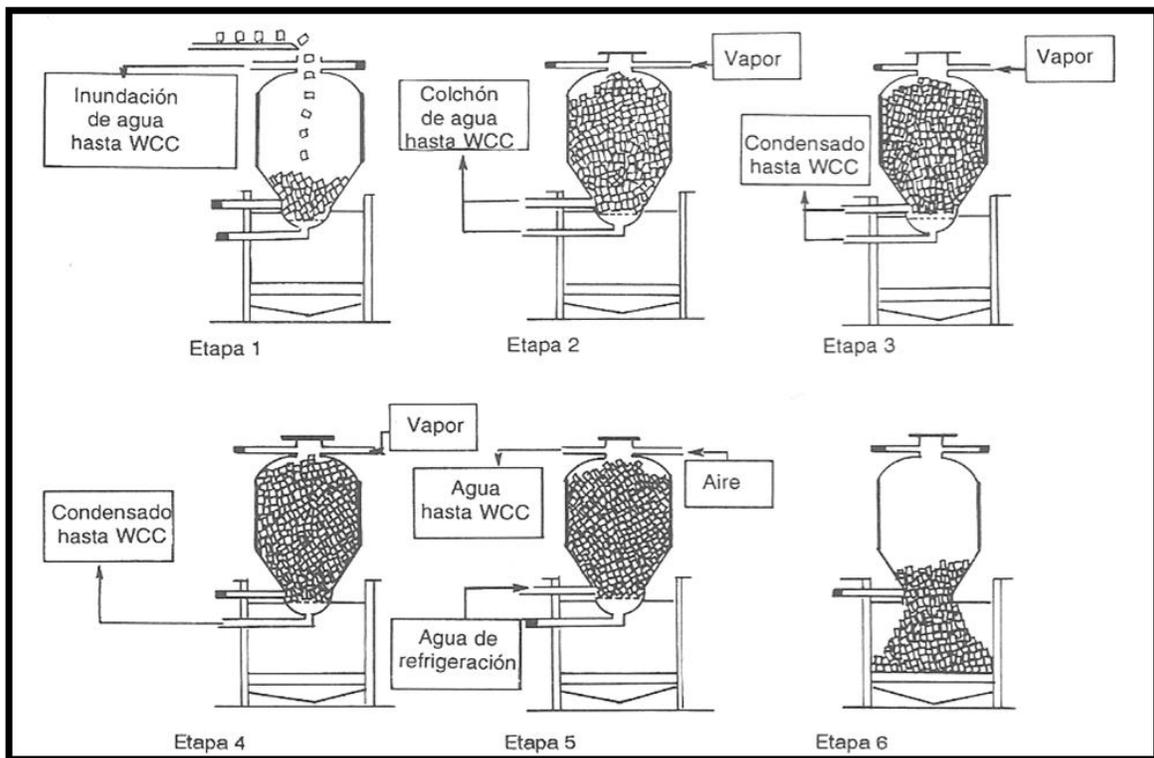


Figura 1.8. Sistemas de autoclave sin cestillos (WCC: centro de control de agua). Ref "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991.

El vapor penetra de nuevo en el autoclave y se deja que aumente la presión hasta alcanzar los niveles de tratamiento y se mantiene durante el tiempo preciso. Al final del proceso, se usa agua y aire para enfriar las latas. Cuando se ha producido una refrigeración suficiente, se llena el autoclave con agua y se abre la puerta de su parte inferior para que las latas caigan al canal de refrigeración. Los sistemas suelen disponer de cinco o seis recipientes para tratamiento. Una de las principales ventajas de este sistema estriba en la posibilidad de tratar grandes volúmenes de producto similares a los de los sistemas totalmente continuos aunque goza también de flexibilidad en cuanto a la selección del tipo de tratamiento como sucede en los sistemas por partidas.

2.1.5. Autoclaves de vapor autogenerado.

Los autoclaves utilizados por la industria conservera de alimentos generalmente utilizan vapor como medio calefactor, el cual es generado externamente en una

caldera. Esto implica entre otras cosas disponer, además de la caldera, de un equipo para el tratamiento de agua, de líneas de vapor y de personal matriculado para operar equipos a presión. Dado el incremento de iniciativas para la elaboración artesanal de alimentos envasados, y que los requerimientos antes indicados son difíciles de alcanzar en pequeños emprendimientos productivos, existen autoclaves para aplicarlos a la elaboración de productos envasados en plantas de producción de pequeña escala con autogeneración de vapor.

Los autoclaves de vapor autogenerado son aquellos que son capaces de producir su propio vapor para esterilizar. Se identifican porque poseen su propio generador de vapor. Lo controlan desde su estado líquido, lo aprovechan en cada paso del ciclo de esterilización y finalmente se encargan de desecharlo una vez esterilizado el producto.

Estos equipos tienen generación interna de energía mediante un quemador sin la necesidad de una caldera, permiten esterilizar envases de hojalata, de vidrio y plásticos, el enfriamiento de los envases se realiza con agua y sobrepresión de aire, y cuentan con un visor de nivel y con los accesorios para la instalación del instrumental básico para el control manual o automático del proceso.

El cuerpo de los equipos puede construirse en talleres metalúrgicos bajo las especificaciones y supervisión de los profesionales, y según los requerimientos de capacidad de producción y las características de los productos a elaborar en pequeños emprendimientos.

2.2. Sistemas de autoclave continuo.

Cuando la fabricación de productos enlatados es muy abundante, el sistema de autoclave por partidas no resulta eficaz bajo punto de vista económico, razón por la cual se ha pasado a los sistemas de autoclave continuo. Normalmente se utilizan dos tipos principales, llamados el autoclave hidrostático y el sistema

tambor y espiral o calentador/refrigerador. Existen otros sistemas como el autoclaves Hydrolock, además de sistemas semicontinuos como el Universal.

2.2.1. Sistemas de autoclaves hidrostáticos.

Este tipo de sistema aparece ilustrado en la Figura 1.9. Las latas preparadas son introducidas de forma continua en el autoclave sobre barras portadoras. Posteriormente las barras portadoras ascienden y descienden a través de columnas de agua hasta zonas de mayor presión antes de penetrar en la cámara de vapor, donde las latas son calentadas y mantenidas a la temperatura de tratamiento durante un periodo de tiempo suficiente para que el producto pase a ser comercialmente estéril antes de salir de la cámara de vapor hacia las columnas refrigeradoras del autoclave.

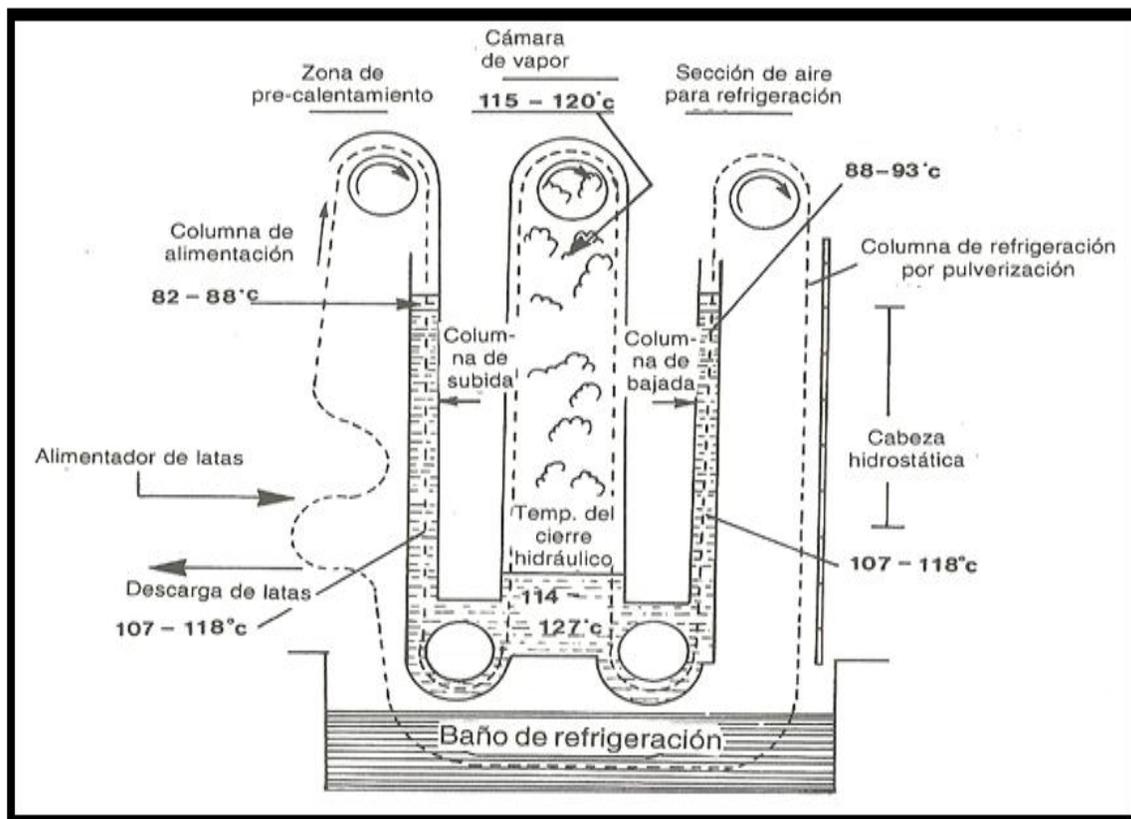


Figura 1.9. Sistema de autoclave hidrostático. Ref. "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acirbia. 1991.

De nuevo se hace uso de columnas hidrostáticas para reducir gradualmente la presión sobre el exterior de las latas hasta alcanzar la presión atmosférica. Las latas son refrigeradas inicialmente mediante pulverización, después son enfriadas mediante inmersión antes de salir del autoclave para ser etiquetadas y envasadas.

En el interior de un sistema de autoclave hidrostático existe un grado limitado de agitación para facilitar la transferencia de calor ya que las latas cambian de dirección al pasar sobre la parte superior de las columnas y de manera similar en la base de las columnas.

La posición del cierre hidráulico en el interior de la cámara de vapor resulta crítica y es controlada cuidadosamente ya que determina el punto en el que las latas entran y salen de la zona del autoclave calentada mediante vapor, es decir, de la zona en que se produce la esterilización. Al igual que en todos los tipos de autoclave la medición del tiempo y de la temperatura es un fundamental para determinar el tratamiento térmico recibido por las latas y por esta razón debe ser controlada cuidadosamente la temperatura en la cámara de vapor. Resulta normal la existencia de varios termómetros montados a diferentes niveles en la cámara de vapor y para esterilizar un control adicional de la temperatura en todas las restantes columnas del sistema. El tiempo de tratamiento es regulado mediante el control de la velocidad de la cadena de transmisión sobre la que van montadas las barras portadoras. Con el fin de realizar tratamientos de distinta intensidad, puede variarse la velocidad de la cadena de transmisión en estos autoclaves para regular así el tiempo de permanencia de las latas en el interior de la cámara de vapor.

2.2.2. Sistema Hydrolock.

El sistema de autoclaves Hydrolock permite el tratamiento continuo de latas en un ambiente de vapor/aire de una forma similar que en el autoclave hidrostático calentado por vapor, excepto por el hecho de que las latas son introducidas y extraídas del ambiente de vapor presurizado mediante una puerta a presión como se ve en la Figura 1.10. Las latas son colocadas en una cadena transportadora

antes de atravesar la puerta a presión. La cadena atraviesa un cierre hidráulico para penetrar en el ambiente con vapor donde efectúa múltiples pases a través de la cámara por la que circula vapor/aire mediante ventiladores para asegurar un tratamiento adecuado.

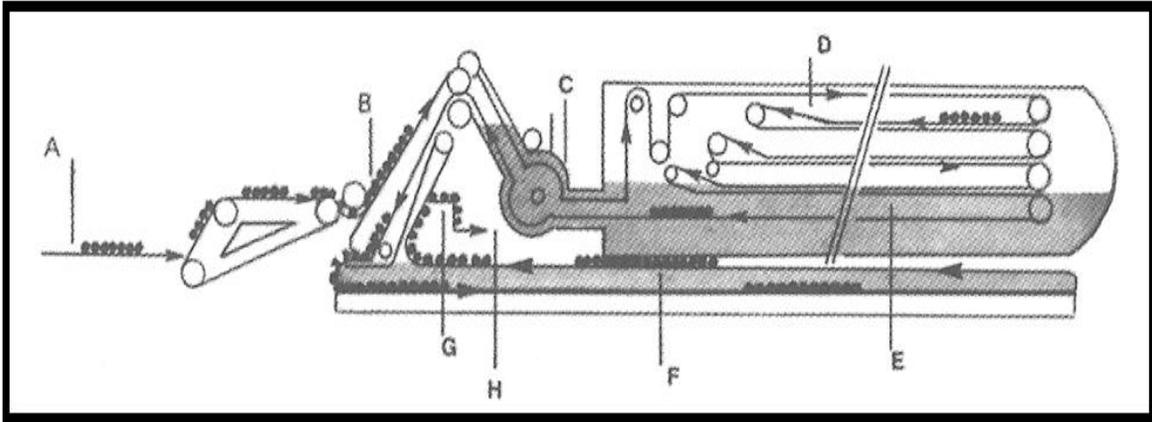


Figura 1.10. El sistema de autoclave Hydrolock: (A)-(B) Carga; (C) válvula de cierre de agua; (D) zona de esterilización del vapor; (E) agua a presión, zona de refrigeración; (F) agua a presión atmosférica, zona de refrigeración; (G)-(H) descarga. La zona sombreada indica la sección de refrigeración. Ref. "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991.

2.2.3. Sistemas de autoclave de tambor y espiral.

Este segundo tipo de autoclave continuo difiere del sistema hidrostático en que permite el tratamiento continuo de latas sometida a cierta rotación que agita el contenido de las latas alcanzando así las ventajas de una transferencia de calor mas rápida. Este sistema aparece ilustrado en la Figura 1.11.

Cada cámara está conectada con la otra mediante un mecanismo de válvula de transferencia que puede incluir una puerta a presión. El primer recipiente del sistema se encuentra a presión atmosférica y sirve para el precalentamiento de las latas. En el segundo recipiente la presión es más alta y es aquí donde tiene lugar el tratamiento térmico antes de que las latas pasen a los recipientes de refrigeración.

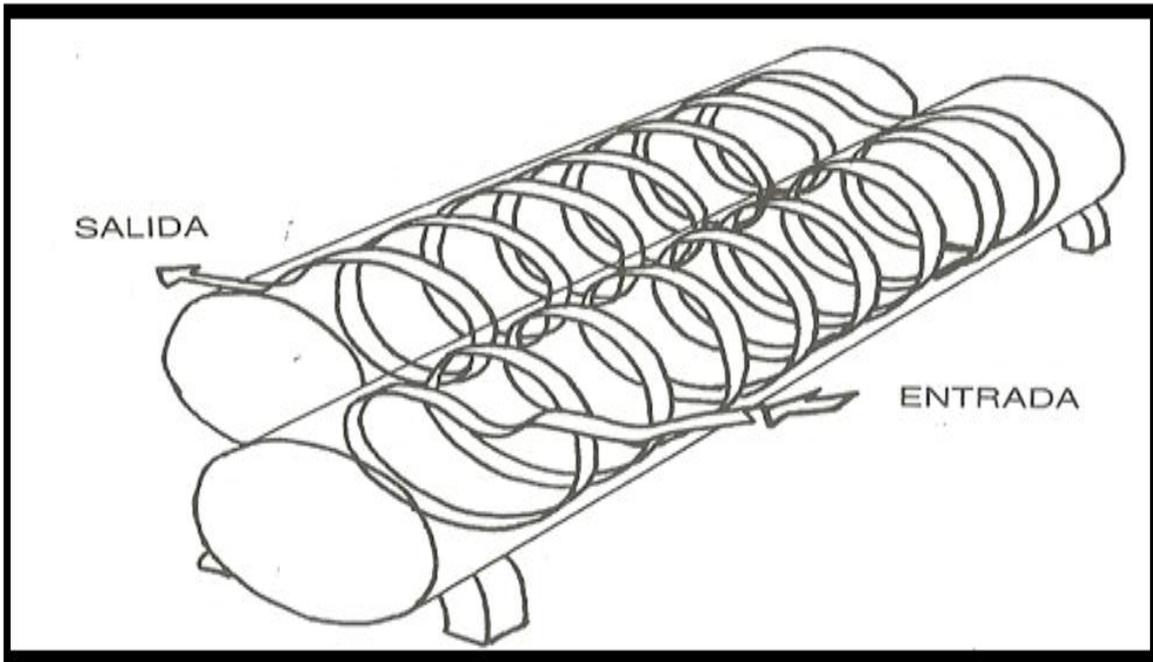


Figura 1.11. Recorrido de las latas a través de un cocedor/refrigerador de tambor y espiral. Ref. "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991.

En estos últimos desciende la temperatura aunque se mantiene una sobrepresión en el aire adecuada para conservar la forma de las latas durante la operación de refrigeración. Cuando las latas penetran en el sistema, son situadas sobre un tambor giratorio que gira con una velocidad de hasta 6 revoluciones/minuto. Según gira el tambor, las latas son conducidas a través del autoclave mediante una espiral unida al interior de la carcasa permitiendo así un movimiento helicoidal con giro a través de la carcasa del autoclave. Para asegurar la sincronización del movimiento de las carcassas, todas son accionadas por un motor y unidas mediante engranajes interconectados. Los envases dañados descompensan fácilmente el sistema, por lo que estas instalaciones suelen ir precedidas de un equipo para la inspección de las latas. En el caso de que una lata alterada provoque un atasco en el sistema, el sistema conductor lleva incorporado un pasador de cierre para evitar una avería en el sistema motor.

2.2.4. El esterilizador universal.

Este sistema de autoclave se observa en la Figura 1.12 y permite la automatización del tratamiento térmico de recipientes, de cristal o de plástico, introducidos en cestillos o cajas. Los cestillos o cajas llenos son transportados de forma continua hacia la parte frontal de este sistema horizontal equipado con una puerta a presión en cada final. El medio calefactor es agua que es calentada externamente en un intercambiador de calor. Cada partida es admitida en el autoclave a través de una doble puerta de presión y transportada posteriormente mediante un tornillo de propulsión positiva a través de una puerta doble a presión en el extremo opuesto del autoclave para una refrigeración y drenado finales antes de la descarga.

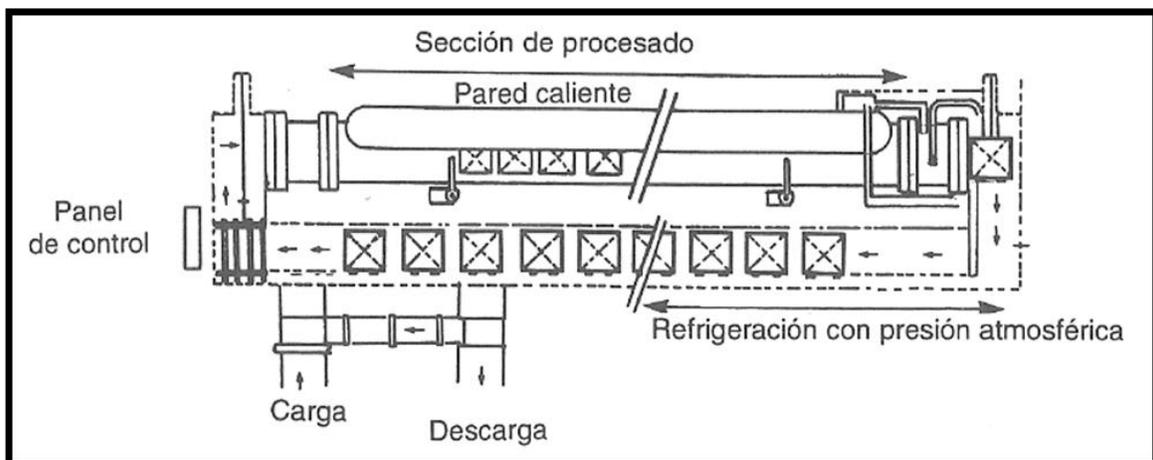


Figura 1.12. El esterilizador universal. Ref. "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991.

El agua caliente incide sobre los recipientes desde la parte superior aunque existen deflectores que, aseguran la distribución tanto horizontal como vertical del agua caliente alrededor de los envases que han de ser calentados. El agua retorna desde la base del esterilizador hacia el intercambiador de calor.

3. ESTERILIZACIÓN POR CALOR HUMEDO (Agente esterilizador de un autoclave).

La esterilización es el proceso de destrucción de los microorganismos, sean cuales sean sus características, siendo lo mismo que sean patógenos o no, que estén sobre el material o dentro de él. La esterilización por calor húmedo se realiza en una máquina esterilizador (autoclave), mediante vapor saturado a presión.

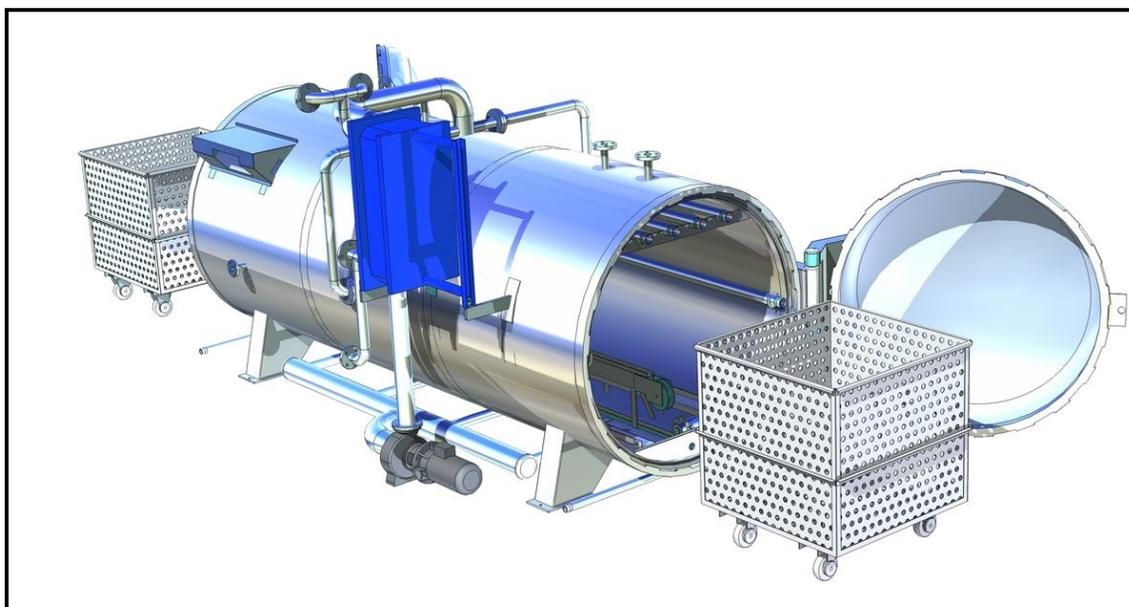


Figura 1.13. Esterilizador para productos alimenticios enlatados.

Ref. http://www.hermasa.com/web/en_US/line/3/semiautomatic-sardine-line.html

El autoclave es en su forma más básica un aparato provisto de una llave y manómetro para regular la presión y la temperatura. El vapor saturado por sí solo no esteriliza, se requiere someter el autoclave a una presión mayor que la atmosférica, lo que aumenta la temperatura del vapor, siendo de esta forma como se consigue la destrucción de todos los microorganismos; el vapor saturado debe estar sometido a una temperatura y tiempo determinados. El vapor penetra en la cámara de esterilización, alcanza la presión deseada y se condensa por contacto con los materiales fríos. Esta condensación libera calor, humedeciendo y calentando simultáneamente cada material. Por ello es necesario que no haya aire

en el autoclave, lo que se consigue succionando el mismo por medio de un sistema de vacío ó introduciendo el vapor de forma brusca, para así forzar la salida del aire por el escape (venteo) del autoclave. La esterilización por calor húmedo es una forma segura y económica, que entre sus características tiene como ventajas y desventajas principales las siguientes:

Ventajas:

- ✓ No deja residuos tóxicos, es rápida y es cómoda, ya que los autoclaves son automáticos.

Desventajas:

- ✓ Corroe los materiales metálicos, deteriora los materiales de goma o plástico, requiere mucho tiempo para la preparación de paquetes, bultos y también requiere mucho cuidado en la carga del autoclave, hay que colocar el material de forma adecuada dejando espacio suficiente para la entrada del vapor saturado de forma uniforme dentro de la cámara.

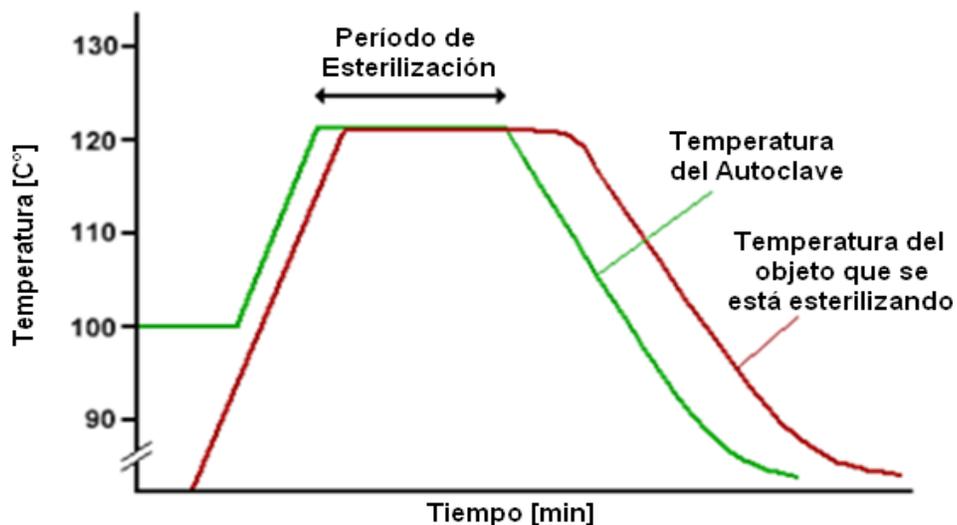
3.1. Temperatura y tiempo de esterilización

Los niveles de temperaturas y tiempos de esterilización dependen de cada tipo de producto y envasado, estos puntos de operación deben ser calculados con sumo cuidado, y por personal altamente calificado en esa materia. La selección de los parámetros de esterilización, repercute en la calidad del producto y en la eficiencia de la producción, por ejemplo, un excesivo tiempo de esterilización puede generar la pérdida de propiedades importante en los nutrientes del producto.

Para asegurar la esterilidad en la producción de alimentos enlatados, es necesario conocer la dinámica de calentamiento del producto a esterilizar. Si el tratamiento térmico es excesivo, el alimento pierde valor nutritivo, debido a la

disminución de su contenido vitamínico y puede adquirir características sensoriales indeseables, tales como aroma y sabor a quemado, además de la consiguiente pérdida de proteínas y carbohidratos. En caso contrario, si no se esteriliza adecuadamente el alimento, existe el peligro de que se desarrollen microorganismos.

Como se muestra en la Gráfica 1.1, durante el proceso de esterilización por calor húmedo se debe tener en cuenta que el tiempo de esterilización comienza cuando se ha alcanzado la temperatura óptima en el interior del autoclave, y que generalmente el contenido de un autoclave puede requerir tiempos más largos para alcanzar la temperatura de esterilización, pero a su vez puede requerir tiempos más largos para su enfriamiento, esto dependerá también del método de enfriamiento aplicado.



Gráfica 1.1. Temperatura del autoclave y temperatura del producto vs tiempo.

3.1.1. Tiempo de esterilización como concepto estadístico

A continuación se resume la forma por la cual se podría realizar el proceso de cálculo del parámetro de tiempo de esterilización, basado en un concepto estadístico y en unas constantes determinables. Claro está no se hace hincapié en este concepto, lo que se desea observar es que el cálculo de estos tiempos

requiere de un estudio profundo. La cantidad de tiempo a la cual sea sometido el producto es directamente proporcional a la muerte de microorganismos, es decir, a mayor tiempo mayor muerte de los mismos. Como se muestra en la ecuación (1), este proceso es asintótico y por lo tanto nunca se llega a eliminar el 100% de los microorganismos

$$N = N_0 \cdot e^{-kt} \quad (1)$$

Dónde:

N: número de microorganismos viables.

N₀: número de microorganismos viables iniciales.

K: tasa de muerte. Este coeficiente es función de las condiciones de esterilización y de la resistencia del microorganismo al proceso de esterilización.

t: tiempo de exposición al agente.

En la ecuación (2) se muestra la expresión que utiliza el término “tiempo de reducción decimal”, tiempo requerido para reducir la población microbiana un 90% o un orden de magnitud.

$$N = N_0 \cdot 10^{-t/D} \quad (2)$$

Dónde: D: se denomina Tiempo de reducción decimal.

El valor de D se deduce cuando t=D y por lo tanto N=0.1 N₀. Evaluando lo anterior en la ecuación (1), se obtiene la siguiente expresión:

$$D = \ln 10 / K = 2.303 / K \quad (3)$$

En la ecuación (3) se puede observa como D es inversamente proporcional a K, por lo tanto, la eliminación de los microorganismos dependerá del tiempo D al que

sean expuestos. La pendiente de la recta está determinada por las condiciones de esterilización y de la resistencia del microorganismo.

El logaritmo del número de microorganismos supervivientes en función del tiempo de exposición a un determinado agente esterilizante, da como resultado una recta, véase en la Gráfica 1.2. La pendiente está dada por $-1/D$ y la ordenada al origen es $\log N_0$.



Gráfica 1.2. Microorganismos sobrevivientes en función del tiempo.

Es decir, cuando el valor del logaritmo del número de sobrevivientes sea -1 significa que hay 0.1 microorganismos viables por unidad, o correctamente expresado una unidad contaminada por cada 10 unidades idénticas procesadas.

Por ejemplo, un producto en general se puede considerar estéril cuando la probabilidad de encontrar unidades contaminadas es menor o igual a 10^{-6} , esto es, una unidad contaminada por millón de unidades idénticas procesadas.

Dependiendo del microorganismo y el estado donde se encuentre, se requerirá de mayor o menor tiempo de esterilización, para así conseguir la población de microorganismos vivientes deseada, para que el producto se pueda considerar estéril.

4. CONTROL EN EL PROCESO DE ESTERILIZADO.

4.1. Importancia de la remoción de aire.

Los procesos térmicos para alimentos enlatados se determinan por exámenes hechos con latas en “vapor puro” (libre de aire) y por eso cuando estos procesos se aplican a la práctica comercial, todo el aire debe ser eliminado con el objeto de que se utilice el mismo medio de vapor puro.

Los resultados de una remoción de aire inadecuada son:

1. El aire es menos eficiente como medio de calentamiento que el vapor.
2. El aire alrededor de las latas actúa como un aislante evitando que el vapor y el calor por conducción tenga contacto con las latas.
3. El aire en presencia de humedad a altas temperaturas causa que el acero de las latas se oxide.

Los exámenes han demostrado que aun pequeñas cantidades de aire en el autoclave pueden producir procesamiento térmico insuficiente y deterioro en las latas. Los autoclaves deben ser construidos y operados de tal manera que el producto enlatado pueda ser calentado por un tiempo especificado y a una temperatura especificada en vapor puro.

4.1.1. Consideraciones sobre la remoción de aire.

No hay un solo método de remoción de aire que sea aplicable a todos los autoclaves estacionarios. Para asegurar una completa remoción del aire deberá cumplirse los requisitos de tiempo y temperatura determinados para cada instalación de autoclave en particular. La medición del tiempo del proceso no deberá iniciarse sino hasta que el aire haya sido convenientemente removido del autoclave y la temperatura de esterilización haya sido alcanzada y mantenida. Las

temperaturas son medidas y registradas durante el periodo de calentamiento inicial hasta que todos los puntos están en concordancia y todos los puntos fríos han sido eliminados. En este momento el tiempo de remoción de aire y temperatura se anotan y las válvulas de escape se cierran.

A causa de que los procesos térmicos para alimentos enlatados son determinados en latas calentadas en una atmósfera de vapor libre de aire, es esencial que todo el aire sea removido del autoclave antes de empezar a contar el tiempo del proceso. Un autoclave horizontal totalmente cargado con latas posee aun 70 a 80 por ciento de su espacio ocupado por aire y un autoclave vertical totalmente cargado tiene más del 60 por ciento de su espacio ocupado por aire. Los tiempos y temperaturas para la remoción de aire se determinan mediante pruebas de distribución de calor. Se distribuyen termopares entre las latas situadas dentro del autoclave y los alambres son conectados a un potenciómetro registrador.

Los procedimientos para la remoción de aire han sido establecidos para autoclaves de tipo vertical, horizontal y sin canastas, por medio de arreglos normales de tubería. Para autoclaves con arreglos de tubería, procedimientos de carga, descarga y operación no usuales, las puertas de distribución de calor deben ser hechos para establecer los tiempos de remoción de aire y temperatura adecuados. Para cualquier sistema las pruebas de distribución de calor son las bases para el establecimiento de programas adecuados de remoción de aire.

4.2. Medida del tiempo de esterilizado.

El tiempo de un proceso térmico no debe empezar a medirse sino hasta que la temperatura programada para el proceso se observe en el termómetro de mercurio en vidrio. Aparatos de medición exactos deben emplearse para registrar información de tiempos de esterilización. Los relojes de bolsillo o de pulsera no deben considerarse satisfactorios para este propósito ya que son difíciles de leer o pueden estar dañadas, resultando un tiempo de esterilización erróneo.

4.3.Requerimientos de Registro.

Existen ciertos requerimientos específicos para autoclaves estacionarios. Estos requerimientos específicos dicen que el registro escrito debe incluir: hora a que se abre el vapor, tiempo de remoción de aire, temperatura a la cual se removió el aire, tiempo que tarda en alcanzar la temperatura de procesamiento y hora a que se cierra el vapor.

Resumen:

1. Los procesos térmicos son determinados mediante pruebas en una atmósfera de vapor “puro”.
2. Las válvulas de remoción de aire deben ser instaladas y operadas de tal manera que el aire se remueva del autoclave antes que se comience a medir el proceso de esterilización.
3. La tubería de entrada de vapor al autoclave debe ser lo suficientemente grande para proveer suficiente vapor para la apropiada operación del autoclave.
4. Las válvulas de purga deben estar totalmente abiertas durante todo el proceso de esterilización incluyendo el periodo inicial de calentamiento.
5. Cada autoclave deberá estar equipado con un termómetro de mercurio en vidrio.
6. Debe haber en cada autoclave un termómetro registrador preciso.
7. Los distribuidores de vapor son requeridos en todos los autoclaves horizontales.
8. Cada autoclave debe estar equipado con un manómetro.

5.0 FUNCIONAMIENTO DE UN AUTOCLAVE

5.1. Autoclaves Verticales para recipientes de vidrio:

Antes de cargar las canastas llenas en el autoclave, este se llena con agua aproximadamente hasta la mitad. El agua se calienta más o menos a la temperatura de llenado del producto antes de cargar el autoclave. Es importante que la temperatura exacta del agua sea lo más cercana a la temperatura de llenado del producto. El adecuado precalentamiento del agua evita que el agua del autoclave, más fría, disminuya la temperatura del producto en los frascos y reduzca la temperatura efectiva inicial programada para el proceso. El precalentamiento controlado del agua evita también que el agua del autoclave, más caliente, abra parcialmente los frascos o desplace las tapas antes de colocarlas bajo presión.

Después de cargar las canastas en el autoclave, es importante asegurarse de que el agua cubra la capa superior de los frascos. Debe mantenerse un manto de agua, preferiblemente de 6 pulgadas y no menos de 4 pulgadas de profundidad, entre la capa superior de frascos y la tubería de rebalse. Sobre la tubería de rebalse y hasta el techo del autoclave debería existir un colchón de aire de 4 pulgadas aproximadamente. En algunos autoclaves antiguos esto no es posible de alcanzar, pero debe mantenerse por lo menos al manto de agua por encima de la capa superior de frascos, aun cuando para el autoclave fuera necesario no poner dicha capa de envases en la canasta superior.

Después del llenado del autoclave, la tapa se cierra y el proceso de esterilización está listo para comenzar véase la Figura 1.14. La válvula del ramal paralelo al control de descarga de presión debe estar cerrada. Se abren las válvulas de aire en el fondo del autoclave y se deja libre la entrada de vapor. El flujo de aire debe ser controlado al nivel más alto durante el tiempo de calentamiento inicial y al nivel más bajo durante los periodos de procesamiento y enfriamiento.

Cuando el autoclave alcanza la temperatura de esterilización, la válvula de la tubería de aire para el periodo de calentamiento inicial se cierra, aunque la tubería principal de aire se deja a través del orificio más pequeño, en la “tubería de aire para el proceso de esterilización”, asegurando así una buena distribución de calor durante la esterilización y un enfriamiento uniforme.

Si el aire utilizado durante el tiempo de calentamiento inicial no se cierra cuando se ha alcanzado la temperatura de esterilización, ocurrirá una vibración excesiva en el autoclave. Esto puede producir un desgaste severo en el barniz de los cierres. Esto también hará que se desperdicie una cantidad considerable de aire y posiblemente baje el nivel de agua del autoclave. Al final de periodo de esterilización adecuado, se corta la entrada de vapor al sistema de control, pero la válvula de aire debe dejarse abierta, al igual que durante el periodo de esterilización. El nivel de agua en el autoclave se revisa por medio de las válvulas de purga o por mirilla de vidrio. Si el nivel es satisfactorio, se abre la entrada superior de agua para enfriamiento.

Si el nivel del agua está debajo de las capas de envases superiores, el operador debe anotar exactamente el nivel de agua encontrado, para que los envases expuestos a la atmósfera de aire y vapor sean segregados cuando se descarguen las canastas. Esta desviación debe ser anotada por el operador en el registro de control de proceso para añadirse lentamente al autoclave a través de la válvula de agua inferior hasta que alcance el nivel adecuado. En este momento se cierra la válvula de agua inferior se abre la válvula de agua de enfriamiento superior. La temperatura a la que se enfrían los frascos dependerá de si se desea enfriar por completo en el mismo autoclave o si el proceso de enfriamiento se continuara en un canal de enfriamiento después de que las canastas se saquen del autoclave. El enfriamiento debe continuarse en el autoclave al menos hasta una temperatura a la que se forme vacío en el interior de todos los frascos.

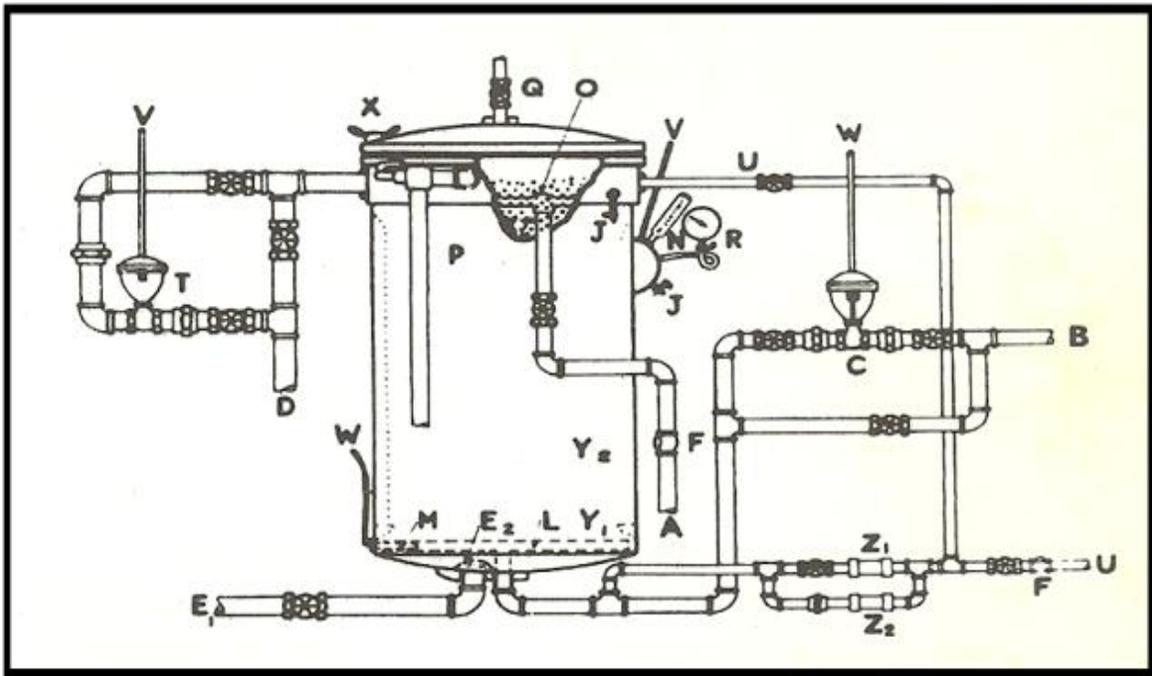


Figura 1.14. Autoclave Vertical para recipientes de vidrio.
 Ref. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4274/Capitulo7.pdf>

- | | |
|---|--|
| A Tubería de agua | R Manómetro de presión |
| B Tubería de vapor | S Control de entrada de aire |
| C Control de temperatura | T Control de presión |
| D Tubería de rebosadero | U Tubería de aire |
| E ₁ Tubería de drenaje | V A los instrumentos de control de presión |
| E ₂ Tamiz | W A los instrumentos de control de temperatura |
| F Válvula de retención | X Tuercas de orejas (se requieren 8) |
| G Tubería de almacenamiento de agua caliente | Y ₂ Guías de canastas |
| H Tubería de succión y tubo múltiple | Z ₁ Válvula de orificio de flujo constante que se usa durante el periodo inicial de calentamiento |
| I Bomba para circulación | Z ₂ Válvula de orificio de flujo constante que se usa durante la esterilización. |
| J Válvulas de purga | |
| K Tubería de recirculación | |
| L Distribuidor de vapor | |
| M Terminal del sistema control de temperatura | |
| N Termómetro | |
| O Espaciador de agua | |
| P Válvula de seguridad | |
| Q Espaciador de agua | |

5.2. Autoclaves Verticales para recipientes de metal:

Estos autoclaves se caracterizan por ser estacionarios, son recipientes cerrados, que operan de forma discontinua (por carga), sin agitación, para la esterilización de alimentos enlatados.

Las latas están apiladas o en desorden en canastas, carros, cestos o bandejas para cargar o descargar el autoclave. En el caso de autoclaves del tipo sin canastas, las latas se alimentan por la parte de arriba del autoclave, el cual se llena de agua para amortiguar la caída y se descargan por el fondo después del procesamiento térmico. A causa de que los autoclaves son recipientes a presión, están manufacturados de lamina de caldera de $\frac{1}{4}$ " de grosor o mas, formadas y remachadas o soldadas entre si. Las puertas o tapaderas son hechas de hierro fundido o de lámina gruesa. Se utilizan varios tornillos especiales y cierres para asegurar la tapadera en su sitio cuando esta cerrada. Estos cierres especiales son tan importantes y deben estar siempre en buenas condiciones para asegurarse de que la tapadera o puerta no vuele violentamente durante la operación. La presión en contra de la tapadera es tremenda, con 15 lb/pulg² de presión, a 250°F, aproximadamente 10 toneladas de fuerza operan en contra de la tapadera de un autoclave vertical.

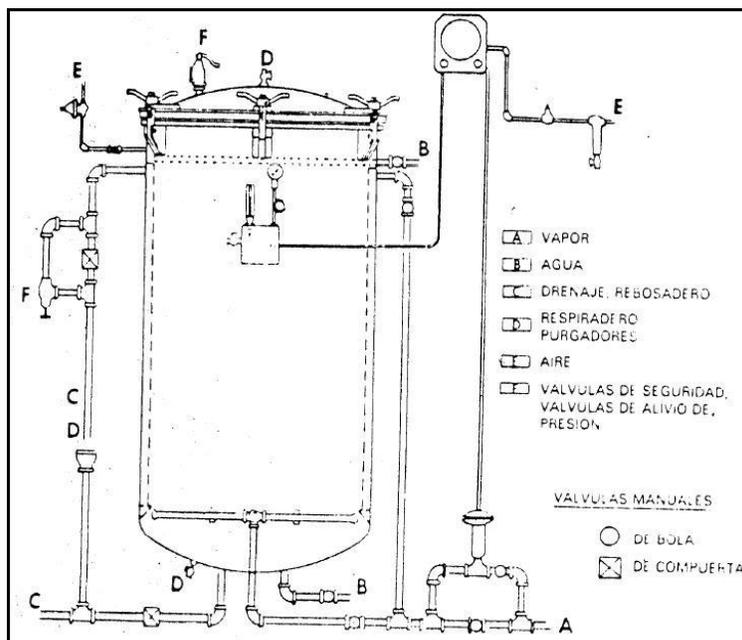


Figura 1.15. Autoclave vertical para recipiente de metal. Ref. Alimentos Enlatados.

5.3. Autoclaves Horizontales y Verticales para recipientes de vidrio:

La operación de los autoclaves horizontales para la esterilización de recipientes de vidrio, difiere de los autoclaves verticales en lo siguiente.

1. Los carros llenos de frascos se introducen al autoclave estando vacío y el agua se agrega después que se cierra el autoclave.
2. Para que la operación sea más eficiente, el agua se precalienta en un tanque separado y se añade al autoclave a la temperatura aproximada de llenado de producto.
3. La bomba de circulación se utiliza durante el ciclo de esterilización completo para obtener una distribución de calor uniforme y un enfriado eficiente después de la esterilización.
4. Se suministra aire en forma controlada al espacio libre durante el ciclo completo de esterilización para mantener una presión que mantenga las tapaderas en su lugar.
5. Al comienzo del periodo de enfriamiento, el agua debe ser introducida por el lado de succión de la bomba.

De esta manera el agua fría se mezcla con el agua caliente y se previene que los frascos se rompan por el cambio brusco de temperatura. Cerca del final del periodo de enfriamiento, el agua puede suministrarse rápidamente a través del distribuidor en la parte superior del autoclave.

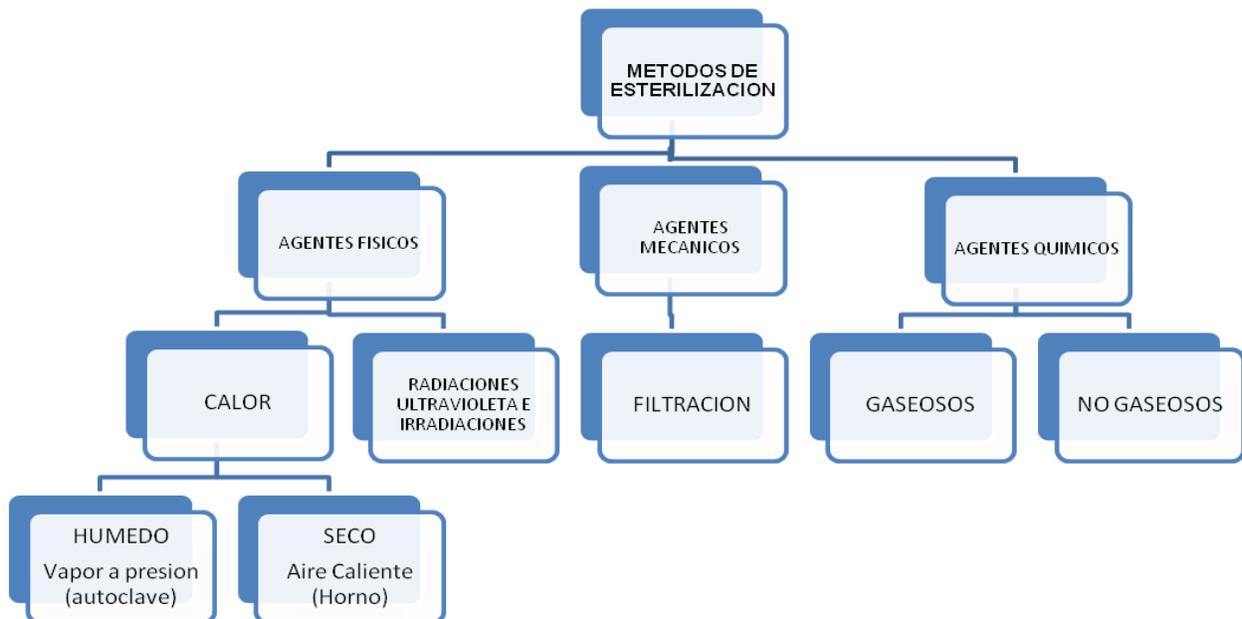
Resumen:

1. Los recipientes de vidrio son esterilizados y enfriados bajo agua.
2. Debe ser suministrado aire comprimido al autoclave.
3. Debe ser añadida una válvula de control de presión en la línea del rebosadero del autoclave.
4. La temperatura del autoclave se controla independientemente de la presión.

5. Para mantener una temperatura uniforme en el autoclave, debe ser mantenida una circulación de aire o agua continuamente durante el tiempo de calentamiento inicial y los periodos de esterilización y enfriamiento.
6. Debe haber un medio par determinar el nivel de agua durante la operación del autoclave para procesamiento térmico de recipientes de vidrio.

6. CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ESTERILIZACIÓN

A continuación se presenta un esquema de los principales métodos de esterilización, clasificados de acuerdo al tipo de agente que actúa.



6.1. Agentes físicos

- i. **El calor** se puede aplicar como agente esterilizante de dos formas: el calor húmedo el cual destruye a los microorganismos por desnaturalización de las proteínas y el calor seco que destruye a los microorganismos por oxidación de sus componentes celulares. El calor es considerado como el método de

esterilización por excelencia siempre y cuando el material a esterilizar soporte altas temperaturas sin sufrir ningún tipo de daño.

- ii. **Radiación ultravioleta** la penetración de la radiación UV es pequeña en los líquidos e insignificante en los alimentos sólidos, su principal aprovechamiento reside en la destrucción de microorganismos suspendidos en el aire o que se encuentren sobre las superficies.

Existe una amplia variación en la resistencia de las distintas especies microbianas a la irradiación y entre los factores previos al tratamiento que pueden determinar la eficacia letal de las radiaciones ultravioletas, cabe destacar: la fase del ciclo de crecimiento y la concentración microbiana.

- iii. **Irradiación** denominada también radurización y pasteurización o esterilización fría, consiste en una serie de procesos mediante los cuales se aplican radiaciones ionizantes a los alimentos. La subsiguiente formación de radicales libres destruye los microorganismos y las células germinativas de algunos alimentos como tubérculos y semillas. Se considera un método alternativo a los tratamientos térmicos para la conservación de alimentos.

Puede aplicarse con los fines siguientes:

- Prevención de germinación y brote de patatas, cebollas y ajos y otras hortalizas.
- Desinfección de granos, frutas, hortalizas y frutos secos.
- Retardo de la maduración y el envejecimiento de hortalizas y frutas.
- Prolongación de la vida útil y prevención de enfermedades de transmisión alternativa, reduciendo el número de microorganismos viables, y destrucción de agentes patógenos en pescados, marisco, carnes frescas y carnes de aves de corral.

Técnicamente hay tres métodos diferentes de irradiación:

- **Rayos gamma:** Presentan una gran capacidad de penetración en los alimentos, alcanzando una profundidad media de aproximadamente un metro.
- **Haz de electrones:** se emplea para alimentos de escasos centímetros de grosor. Este tipo de radiación a dejado de utilizarse en la actualidad pero a existido durante 15 años.
- **Rayos X:** es la forma mas reciente de irradiación y de amplia aplicación en la conservación de alimentos a escala industrial

6.2. Agentes mecánicos

6.2.1. Filtración por membrana

La filtración por membrana constituye un modo eficaz de lograr una calidad similar a la de los alimentos frescos con una menor contaminación microbiana. La filtración por membrana es una de las tecnologías más modernas utilizadas para la clarificación, concentración, separación de componentes, desalación y purificación de bebidas. También puede aplicarse para incrementar la seguridad de algunos productos alimentarios sin tener que recurrir a tratamientos térmicos.

El principio de actuación de esta técnica es bastante simple. La membrana funciona como una pared de separación selectiva. De esta forma, algunas sustancias pueden atravesar la membrana, mientras que otras quedan atrapadas en ella. Por ello, la filtración de membrana se puede utilizar como una alternativa a la floculación, las técnicas de purificación de sedimentos, la adsorción (filtros de arena y filtros de carbón activado, intercambiadores iónicos), extracción y destilación.

Hay dos factores que determinan la efectividad de un proceso de filtración de membrana y que dependen del tipo de membrana utilizado:

- Selectividad: se expresa mediante un parámetro llamado factor de retención o de separación ($L/m^2/h$)
- Productividad: se expresa mediante un parámetro llamado flujo ($L/m^2/h$).

No obstante, los fluidos no atraviesan las membranas porque sí, sino que requieren energía, factor que obliga a aplicar alta presión, a mantener un gradiente de concentración en ambos lados de la membrana y/o la introducción de un potencial eléctrico.

6.2.1.1 Aplicaciones en alimentación.

La filtración por membrana se aplica sobre todo a productos líquidos. Los productos por excelencia a los que se les aplica la tecnología de la filtración por membrana son la leche y los zumos. Se trata de productos líquidos, relativamente abundantes, baratos y con un nivel de consumo importante. Entran en este apartado los zumos de fruta y verdura, como el de manzana o zanahoria; algunos quesos y productos lácteos, como el queso cheddar, la ricota y algunos postres lácteos; los helados, la mantequilla o algunas leches fermentadas; los productos lácteos desnatados o bajos en lactosa; la leche microfiltrada; la cerveza, el vino y la sidra sin alcohol, entre otros.

Las técnicas clásicas empleadas para incrementar la conservación y la seguridad de estos productos se basan en tratamientos térmicos, como la pasteurización y la esterilización. Estos tratamientos requieren importantes cantidades de energía, por lo que la filtración no encarece el producto, e incluso, puede conseguir un ligero abaratamiento.

Al mismo tiempo, las técnicas de tratamiento por calor modifican algunas propiedades sensoriales, especialmente el sabor. La microfiltración constituye una alternativa a los tratamientos térmicos ya que puede conseguir una reducción de la carga microbiana, manteniendo el sabor del producto fresco, recién exprimido u ordeñado. En este sentido, la consecuencia es clara, si reducimos la cantidad de bacterias podemos aumentar la vida comercial del producto.

Donde la ultrafiltración representa una innovación real es en la elaboración del queso, sector en el que ofrece ventajas considerables a fabricantes y consumidores. Durante

el proceso de fabricación del queso, algunos de los nutrientes presentes en la leche se pierden en el suero (carbohidratos, vitaminas solubles y minerales). Estas pérdidas tienen importantes consecuencias económicas que encarecen la operación de procesado. La ultrafiltración es un medio eficaz para recuperar estos nutrientes, que pueden utilizarse posteriormente para elaborar o enriquecer otros alimentos.

6.3. Agentes químicos

La adición de sustancias químicas puede contribuir sustancialmente a la conservación de los alimentos, al generar un ambiente inhibitor del crecimiento de los microorganismos y de las reacciones químicas y bioquímicas.

Así la acidez de algunos alimentos puede aumentarse por la adición de sustancias ácidas como el vinagre, al zumo de limón, ácido acético, lo cual produce el mismo efecto inhibitor sobre el deterioro de los alimentos que una fermentación biológica.

En general, el efecto de la adición de sustancias químicas sobre los nutrientes es pequeño, aunque algunos aditivos pueden ocasionar pérdidas notables de algunas vitaminas que se alteran por procesos de oxidación/reducción. Con un pH alcalino, los sulfitos destruyen parcialmente la vitamina B, aunque estabilizan la vitamina C. Los nitritos reaccionan con las vitaminas C, B y folatos y provocan la destrucción de la vitamina A en el intestino por oxidación.

Los metales presentes en sales (hierro, cobre, etc.) actúan como catalizadores en los procesos de oxidación de las vitaminas B, C, carotenos, vitaminas A, D, E y folatos. Existen sin embargo, aditivos que aportan valor nutritivo al alimento, como las vitaminas antioxidantes C y E, ciertos colorantes, como algunos carotenoides y la riboflavina y nucleótidos empleados como potenciadores del sabor (glutamato, guanilato e inosinato), y ácidos grasos utilizados como emulgentes.

La adición de CO₂ o la utilización de una mezcla de gases inertes (CO₂, N₂) en distintas concentraciones esta siendo aplicada satisfactoriamente en el envasado y la

conservación de diversos alimentos (productos vegetales, carnes, pescados) como objeto de retardar el crecimiento microbiano y evitar su deterioro.

7. CONTROL DE CALIDAD: INDICADORES DE MONITOREO, INSPECCIÓN DE ESTERILIZACIÓN COMERCIAL Y PRUEBAS DE ESTERILIZADO

7.1 Indicadores de monitoreo

Todos los procesos de esterilización se deben controlar para poder asegurar que han sido efectivos. Para ello se pueden utilizar indicadores físicos, químicos y/o biológicos, los cuales deben ser colocados en cada carga de esterilización. Estos controles que se realizan sobre el método de esterilización monitorean y controlan si el proceso de esterilización funciona correctamente. En la actualidad no es suficiente someter los materiales al proceso de esterilización, sino además se requiere cierto grado de seguridad en la eficiencia del procedimiento.

7.1.1. Indicadores físicos

Entre los principales indicadores físicos se encuentran los medidores de presión, sensores de carga, válvulas, sistemas de registro y los termómetros los cuales permiten constatar las condiciones físicas dentro de la cámara de esterilización. También existen los termógrafos los cuales, además de registrar la temperatura alcanzada en el proceso, permiten conocer durante cuánto tiempo ésta se mantuvo. Estos monitoreos físicos son de gran utilidad, pero no son suficientes como indicadores de esterilización. Deben de ser calibrados periódicamente.

7.1.2. Indicadores químicos

Los indicadores químicos son productos comerciales consistentes en sustancias químicas que cambian de color si se cumple un elemento clave del proceso de esterilización como por ejemplo la temperatura necesaria; un indicador es una sustancia natural o sintética que produce un cambio físico que es apreciable por los sentidos (generalmente un viraje de color). Este cambio en el indicador se produce

debido a que durante el análisis se lleva a cabo un cambio en las condiciones de la muestra e indica el punto final de la valoración. Algunos indicadores requieren más de un parámetro como cierto tiempo de exposición y humedad para cambiar de color.

La mayoría de estos indicadores son cintas adhesivas que se adhieren al material a esterilizar. Estas cintas están impregnadas con una sustancia química que cambia de color cuando el material ha sido sometido al proceso de esterilización. Este tipo de cintas no son completamente confiables debido a que muchas veces sólo indican que se llegó a la temperatura deseada, pero no indican por cuanto tiempo ésta se mantuvo. También existen cintas diseñadas de manera que el cambio de color es progresivo, estas cintas son un poco más seguras porque permiten estimar si el tiempo de esterilización fue el adecuado.

Todos estos indicadores tienen la desventaja de que pueden reaccionar cambiando de color aún cuando no se han dado los parámetros necesarios para obtener la esterilización.

7.1.3. Indicadores biológicos

Son preparaciones de una población específica de esporas de microorganismos, las cuales son altamente resistentes a un proceso de esterilización en particular. Estos indicadores se deben colocar junto con la carga de esterilización, en el sitio que se considera que es más difícil que llegue el vapor y después del proceso, se deben incubar durante 24 horas en condiciones adecuadas. Si después de este periodo hay evidencia de crecimiento microbiano (por ejemplo cambio de color del medio de cultivo), el proceso de esterilización no fue satisfactorio.

Cuando se utilizan indicadores biológicos se debe verificar: Tipo de microorganismo, tipo de proceso de esterilización, número de lote, fecha de expiración, medio de cultivo utilizado, condiciones de incubación del indicador después de aplicado el proceso de esterilización, métodos de descontaminación para evitar la diseminación de esporas en

el medio ambiente. Con este tipo de indicadores se controlan la esterilización por vapor a presión, por calor seco y la esterilización con óxido de etileno.

7.1.4.Pruebas microbiológicas

7.1.4.1.Transferencia Directa a Medios de Cultivo

Tras el proceso de esterilizado se transfiere una parte de la muestra a medios de cultivos apropiados que permitan el crecimiento de cualquier contaminante.

Algunos medios de cultivo pueden ser: Tioglicolato para anaerobios y aerobios (37°C) y Soya-Trypticaseína para aerobios (25°C). Las muestras representativas se incuban en estos medios durante un período de 14 días, al cabo del cual no se debe observar ningún tipo de crecimiento. Puede ocurrir que la muestra no se encuentre estéril pero que no se produzca crecimiento durante la incubación por algún motivo inherente al medio o a la muestra, por ejemplo presencia de algún inhibidor, etc.

7.1.4.2. Promoción del Crecimiento

Es un testigo del control de esterilidad. Son testigos que se utilizan para los medios de crecimiento del control ya que estos medios tienen capacidad de promover el crecimiento. Para estos testigos se utilizan microorganismos con exigencias nutricionales. Los medios deben ser inoculados con un bajo número de microorganismos, se incuban durante 7 días, al cabo de los que se debe observar un abundante crecimiento.

7.2. Influencia de la conservación por el calor sobre la calidad del producto.

La aplicación del tratamiento térmico para la destrucción de microorganismos y la conservación de los alimentos es un principio establecido. La intensidad del tratamiento térmico que recibe un alimento depende de la composición y de las características físicas del producto y es el resultado de una combinación de tiempo y temperatura. Las reacciones físicas y químicas que se producen durante el procesado pueden ser

deseables o no deseables, y resultan con frecuencia más importantes y ciertamente mucho más rápidas que las que tienen lugar durante el almacenamiento. Según se ha indicado anteriormente la intensidad del tratamiento varía según el producto. A su vez los cambios que experimenta el alimento dependen del tiempo y de la temperatura del proceso, de la composición y propiedades del alimento y del ambiente. En las secciones siguientes se estudian los cambios provocados por el propio proceso y durante el almacenamiento y se centra sobre aquellos que ejercen un impacto sobre la calidad sensorial y nutritiva del alimento.

7.2.1. Efecto por el calor y calidad sensorial

El tratamiento térmico provoca por sí mismo un efecto importante sobre la calidad de un alimento y es responsable de diversos cambios que experimenta véase la Tabla 1.1. La gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas estructurales tienen una influencia directa sobre la textura de un alimento. Las reacciones inducidas por el calor, tales como la reacción de Maillard¹, influyen sobre el color y el sabor así como sobre las cualidades nutritivas de los alimentos.

Sin embargo, una de las reacciones más importantes es la oxidación que puede producirse durante el tratamiento térmico y posterior almacenamiento. Se ha demostrado que el sabor, el color y ocasionalmente los cambios estructurales están relacionados con la oxidación, aunque en la mayoría de los casos no han sido aclarados los mecanismos exactos. Antes de que pueda presentarse cualquier cambio de oxidación, debe haberse producido un contacto con oxígeno molecular en algún momento de la vida del alimento, incluso formando parte de la bioquímica de los componentes o ingredientes del alimento como seres vivos.

¹ Las reacciones de Maillard (técnicamente: glucosilación o glicación no enzimática de proteínas) se trata de un conjunto complejo de reacciones químicas que se producen entre las proteínas y los azúcares reductores que se dan al calentar (no es necesario que sea a temperaturas muy altas) los alimentos o mezclas similares, como por ejemplo una pasta. Se trata básicamente de una especie de caramelización de los alimentos, es la misma reacción la que colorea de marrón la costra de la carne mientras se cocina al horno. Los productos mayoritarios de estas reacciones son moléculas cíclicas y policíclicas, que aportan sabor, color y aroma a los alimentos, aunque también pueden ser cancerígenas.

Las siguientes tablas muestran un resumen de los efectos causados por el calor en los tratamientos térmicos:

Efecto del tratamiento térmico sobre la calidad sensorial	
Textura Lesión en las membranas celulares Separación celular Desnaturalización de las proteínas Gelatinización del almidón	Perdida de consistencia Perdida de firmeza Solidez, gelificación Gelinación
Color Rotura de pigmentos naturales Reacciones de Maillard Otras, por ej. Vitamina C	Decoloración Perdida de color Oscurecimiento Decoloración
Sabor Sabor básico Perdida de compuestos volátiles (oxidación)	Estable Perdida de olor
Formación de compuestos volátiles (Maillard) (Oxidación) (Piracainas)	Olor a quemado, amargo Olor a rancio Olor a quemado

Tabla. 1.1. Efecto sobre el tratamiento térmico en los alimentos. Ref. Ref. "Procesado térmico y envasado de alimentos". J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991.

7.2.1.1 Textura

La textura parece ser relativamente estable durante el almacenamiento de los alimentos conservados mediante calor, aunque determinados productos han resultado ser vulnerables, por ejemplo las ciruelas amarillas enlatadas experimentan un notable reblandecimiento y descomposición durante el almacenamiento. Las frutas pueden presentar problemas particulares, especialmente los albaricoques y los melocotones, consecuencia de una contaminación por mohos antes del tratamiento y la formación de

enzimas pectinolíticas² termoestables que sobreviven al proceso térmico. La fruta se descompone gradualmente durante el almacenamiento, algunas veces hasta el extremo de no quedar propiedades estructurales reconocibles. No obstante, son más generales los cambios que ocurren durante el propio tratamiento térmico. La lesión tisular (daño en los tejidos) que experimenta la materia vegetal durante el tratamiento térmico es de dos tipos. La destrucción o alteración de las membranas celulares semipermeables, y la rotura de las estructuras intercelulares con el resultado de una separación celular. Los efectos de estos tipos de lesión tisular son una pérdida de turgencia y adhesión celular que provoca una falta de consistencia y reblandecimiento de los productos tratados mediante calor.

Nutriente	Efecto
Sustancia seca	Perdida de sólidos totales en el líquido Dilución Deshidratación
Proteína	Inactivación enzimática Pérdida de aminoácidos esenciales Pérdida de digestibilidad Mejora de la digestibilidad
Carbohidratos	Gelatinización del almidón y aumento de digestibilidad Sin cambio aparente en el contenido de carbohidratos
Fibra de la dieta	Generalmente sin pérdida de valor fisiológico
Lípidos	Conversión de ácidos grasos cis a trans por oxidación Pérdida de actividad de ácidos grasos esenciales
Vitaminas hidrosolubles	Elevadas pérdidas de vitaminas C y D, por lixiviación y degradación por el calor. Aumento de la biodisponibilidad de niacina por inactivación de enzimas
Vitaminas liposolubles	Principalmente termoestables Pérdidas por oxidación de lípidos
Minerales	Posible aumento de los niveles de sodio y calcio por captación de los contenidos en el líquido enlatado

Tabla. 1.2. Efecto sobre el tratamiento térmico en los alimentos. Ref. Ref. “Procesado térmico y envasado de alimentos”. J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991

² Las enzimas pectinolíticas son las responsables de degradar las pectinas en los productos vegetales. Se aplican en los zumos de fruta para clarificarlos ya que las pectinas enturbian el producto.

Otras influencias importantes sobre la textura de los alimentos calentados es el resultado de la desnaturalización de las proteínas. Incluso con un tratamiento térmico relativamente ligero puede apreciarse un cambio de conformación que afecta a la estructura terciaria de la proteína. El paso siguiente puede ser la desnaturalización de las proteínas. Se produce la rotura de los enlaces de hidrógeno, que mantienen la estructura secundaria y superior de la proteína y predomina la estructura espiral al azar. Esto puede conducir a cambios considerables en las propiedades químicas y físicas de las proteínas debido a pérdidas de solubilidad, elasticidad y flexibilidad. Los almidones son polímeros de la glucosa y son ampliamente usados en los alimentos procesados como espesantes. La gelatinización del almidón se inicia dentro de un margen de temperaturas, correspondiente a la solubilidad de las macromoléculas, y depende del tipo de almidón presente. Esta se da cuando los almidones son expuestos a calor en presencia de agua.

7.2.1.2.Color

El color viene determinado por el estado y la estabilidad de algunos pigmentos naturales o añadidos y por el desarrollo de algún tipo de coloración durante el procesamiento y almacenamiento.

Los pigmentos naturales son generalmente compuestos inestables que se descomponen por el calor y durante el almacenamiento aunque su estabilidad depende de muchos factores.

Las antocianinas³ (frutos rojos) son compuestos bastante termoestables aunque intervienen en bastantes reacciones, por ejemplo con el ácido ascórbico, con productos de la descomposición del azúcar tales como hidroximetil furfural y con otros compuestos fenólicos reactivos que determinan su descomposición.

³ Las antocianinas (del griego ἀνθος (anthos): ‘flor’ + κυανός (kyáneos): ‘azul’) son pigmentos hidrosolubles que se hallan en las vacuolas de las células vegetales y que otorgan el color rojo, púrpura o azul a las hojas, flores y frutos. Desde el punto de vista químico, las antocianinas pertenecen al grupo de los flavonoides y son glicósidos de las antocianidinas, es decir, están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace glucosídico. Sus funciones en las plantas son múltiples, desde la de protección de la radiación ultravioleta hasta la de atracción de insectos polinizadores.

Los factores que aceleran su degradación incluyen niveles altos de oxígeno en los productos y la temperatura de almacenamiento.

Los carotenoides⁴ son sumamente liposolubles y determinan la coloración amarilla, naranja y roja. Son compuestos insaturados y, por consiguiente, susceptibles de experimentar oxidación provocando malos sabores y decoloración. Pueden experimentar dos tipos de isomerización, y se considera que la temperatura de almacenamiento influye más sobre la isomerización que el proceso térmico por sí mismo.

Las clorofilas⁵ y los compuestos hemo, ambos muy sensibles al calor, son los dos principales grupos de pigmentos basados en la porfirina. Durante el tratamiento térmico, la clorofila se transforma en feofitina con una pérdida asociada de color verde. Se han realizado varios intentos para reducir la pérdida de color tales como ajustar el pH y el empleo de tratamientos HTST (altas temperaturas, tiempos cortos). En el último caso aunque se observaron mejoras inmediatamente después del tratamiento, se perdieron durante el almacenamiento.

Al igual que la descomposición de los pigmentos, la oxidación y la reacción de Maillard pueden provocar la aparición de coloraciones durante el tratamiento y almacenamiento. El tratamiento térmico por sí mismo en presencia de oxígeno ejerce un efecto importante sobre la calidad del producto final.

El ácido ascórbico se emplea con frecuencia como antioxidante y puede ser eficaz en la mejora de la coloración en determinados productos, por ejemplo en las setas. Sin

⁴ Los carotenoides son pigmentos orgánicos del grupo de los isoprenoides que se encuentran de forma natural en plantas y otros organismos fotosintéticos como algas, algunas clases de hongos y bacterias. Su color, que varía desde amarillo pálido, pasando por anaranjado, hasta rojo oscuro, se encuentra directamente relacionado con su estructura: los enlaces dobles carbono-carbono interactúan entre sí en un proceso llamado conjugación. Mientras el número de enlaces dobles conjugados aumenta, la longitud de onda de la luz absorbida también lo hace, dando al compuesto una apariencia más rojiza.

⁵ Las clorofilas son una familia de pigmentos de color verde que se encuentran en las cianobacterias y en todos aquellos organismos que contienen cloroplastos en sus células, lo que incluye a las plantas y a los diversos grupos de protistas que son llamados algas. Su nombre viene de las palabras griegas, *χλωρος*, "verde" y *φύλλον*, "hoja". La clorofila es una biomolécula extremadamente importante, crítica en la fotosíntesis, proceso que permite a las plantas absorber energía a partir de la luz.

embargo puede ser degradado hasta productos reactivos capaces de formar posteriormente pigmentos de color castaño.

7.2.1.3. Sabor

En general, la conservación mediante calor no altera significativamente los sabores básicos dulces, amargos ácidos o salados. Los cambios principales pueden presentarse, sin embargo, por compuestos volátiles con sabor. Una de las fuentes de compuestos volátiles es la oxidación de los lípidos o enranciamiento oxidativo. La oxidación de los lípidos puede producirse durante el tratamiento como el almacenamiento cuando existe oxígeno disponible y supone un problema especial en alimentos grasos y en algunas hortalizas fundamentalmente en cereales, leguminosas y legumbres secas.

7.2.2. Conservación por el calor y nutrición

En los alimentos conservados por el calor se producen reacciones tanto físicas como químicas, que influyen sobre el valor nutritivo. Factores físicos como pérdida de nutrientes solubles, o lixiviación⁶, pueden ser importantes en productos en los que existe un líquido que debe ser eliminado antes del consumo. Las reacciones químicas incluyen alteración química de nutrientes lábiles tales como las vitaminas.

No obstante, cuando se considera el impacto que tiene la conservación mediante calor sobre la calidad nutritiva deben hacerse otras dos consideraciones. En primer lugar que la cantidad absoluta de un nutriente en particular suele ser menos importante que su disponibilidad para el organismo y, en segundo lugar, que en el punto de consumo deben realizarse comparaciones con un equivalente “fresco”.

Muchos estudios han fracasado al no tener en cuenta la degradación que se produce durante el almacenamiento, la preparación y el cocinado de los alimentos frescos. Tan

⁶ La lixiviación es un proceso por el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido. Por ejemplo, el azúcar se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente.

solo cuando se determina dicha degradación es posible establecer comparaciones verdaderas con el alimento conservado mediante calor.

7.2.2.1. Proteínas

La conservación mediante calor puede provocar cambios tanto deseables como no deseables en la calidad nutritiva de las proteínas. Son susceptibles no solamente al calor sino también a la oxidación, ambientes alcalinos y a la reacción con otros componentes del alimento tales como azúcares reductores y productos que oxidan los lípidos. La cantidad total de proteínas bruta suele aparecer relativamente sin modificación por efecto del tratamiento térmico aunque puede experimentar lixiviación hacia el componente líquido de algunos productos.

Algunas pérdidas descubiertas en las patatas enlatadas pueden ser consecuencia de la lixiviación de la proteína en la salmuera, aunque la principal causa de la pérdida de aminoácidos en la conservación por el calor es la reacción de Maillard.

7.2.2.2 Vitaminas

El efecto de la conservación por el calor es generalmente perjudicial para las vitaminas aunque el calentamiento ligero puede tener efectos beneficiosos sobre la biodisponibilidad de ciertas vitaminas, particularmente de la biotina y la niacina. Esto es consecuencia de la inactivación de enzimas y de agentes fijadores. La estabilidad de las vitaminas varía según distintas condiciones, siendo la vitamina C y la tiamina las más susceptibles a la degradación por acción del calor.

Las vitaminas liposolubles son más estables, aunque pueden ser degradadas mediante oxidación, en especial cuando son calentadas. Las pérdidas de vitaminas hidrosolubles pueden ser considerablemente mayores durante el tratamiento térmico.

La vitamina C es la más lábil de las vitaminas y puede perderse durante el almacenamiento de los productos frescos, preparación, lavado y escaldado de los alimentos así como ser degradada por el calor y experimentar lixiviación hacia líquidos durante el procesado. Buena parte de la vitamina C pérdida durante el enlatado y el

almacenamiento del producto enlatado es lixiviada hacia el líquido contenido en el interior de las latas.

Conviene señalar que las pérdidas experimentadas por los alimentos conservados mediante calor deben considerarse en un contexto junto con las que se producen durante el almacenamiento y la preparación casera de los alimentos. Los alimentos conservados por el calor suelen precisar menos tiempo de cocción que los alimentos frescos y pueden ser casi despreciables las diferencias en contenido de vitaminas entre alimentos frescos y procesados en el momento de su consumo.

7.2.2.3. Minerales

Los minerales son generalmente estables ante la mayoría de las condiciones encontradas en la conservación mediante calor, es decir, calor, aire/oxígeno, ácido o álcali. Sin embargo, pueden producirse pérdidas de los minerales durante el procesado, especialmente en hortalizas, debido a su lixiviación en el líquido de cobertura. Por el contrario, algunos minerales, por ejemplo sodio y calcio, pueden ser captados por el alimento de los líquidos de cocción o de cobertura.

7.2.2.4. Carbohidratos

Los carbohidratos son menos susceptibles que la mayoría de los restantes componentes de los alimentos a los cambios químicos que se producen durante el tratamiento térmico. Los niveles de carbohidratos totales y disponibles de las hortalizas son muy estables durante el enlatado y posterior almacenamiento de hortalizas enlatadas.

La gelatinización del almidón favorece la digestibilidad de los alimentos. Un buen ejemplo de esto lo tenemos en las patatas que crudas son sumamente indigestibles.

La celulosa, el principal componente de la fibra de la dieta, las hemicelulosas y las pectinas son responsables conjuntamente de la estructura y textura de los alimentos de origen vegetal y pueden ser descompuestas por el calor con lo que el alimento resulta más blando, generalmente sin que experimente pérdida el valor fisiológico de la fibra de la dieta. Aunque se considera que la fibra de la dieta no es afectada casi nada por el

tratamiento térmico, es preciso estudiar mejor la descomposición de la fibra de la dieta y la cuantía de la pérdida de nutrientes derivada de la descomposición de la fibra.

7.2.2.5 Lípidos

Los lípidos, especialmente los lípidos insaturados, son propensos a la oxidación cuando se calientan en presencia de aire u oxígeno, provocando pérdidas del valor nutritivo de los alimentos. Aunque el principal efecto de la oxidación de los lípidos se traduce en alteraciones del olor y sabor de los alimentos, la oxidación puede originar que ácidos grasos naturales cis⁷ se conviertan en ácidos grasos trans⁸.

La oxidación de los lípidos ha sido relacionada asimismo, según se ha indicado anteriormente, con la pérdida de calidad de la proteína y puede inhibir la actividad de las vitaminas liposolubles A, D y E así como también de la vitamina C.

Sin embargo la oxidación de las grasas en los alimentos procesados puede ser controlada mediante exclusión o reducción al mínimo del oxígeno y usando antioxidantes. Generalmente, puede considerarse despreciable el efecto de la conservación mediante calor sobre el valor nutritivo de las grasas.

8.0. CONCEPTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y TIEMPOS DE MUERTE TÉRMICA

La transferencia de calor es una de las operaciones unitarias⁹ del procesamiento de alimentos más importantes. Casi todos los procesos requieren transferencia de calor,

⁷ Un ácido graso cis es un ácido graso insaturado que posee los grupos semejantes o idénticos (generalmente grupos -H) en el mismo lado de un doble enlace. Los ácidos grasos cis son isómeros de los ácidos grasos trans, en los que los -H se disponen uno a cada lado del doble enlace. Los ácidos grasos con dobles enlaces cis no son cadenas rectas sino que poseen un "codo" en el punto donde está el doble enlace; por el contrario, los trans son rectilíneos; los dobles enlaces cis son mucho más comunes en los seres vivos que los trans.

⁸ Los ácidos grasos trans (en inglés trans fatty acids, TFA) son un tipo de ácido graso insaturado que se encuentra principalmente en alimentos industrializados que han sido sometidos a hidrogenación o al horneado como los pasteles, entre otros. También se encuentran de forma natural en pequeñas cantidades en la leche y la grasa corporal de los rumiantes. Estos ácidos grasos pueden ser particularmente peligrosos para el corazón y se asocian con el mayor riesgo de desarrollo de algunos cánceres. Los estudios más recientes demuestran que las concentraciones más altas de ácidos grasos trans pueden incrementar el riesgo de diabetes de tipo II.

⁹ **Operación Unitaria:** Una operación unitaria puede definirse como un área o etapa de un proceso o un equipo donde se incorporan materiales, insumos o materias primas y ocurre una función determinada, son actividades básicas que forman parte de un proceso. Este concepto fue introducido en 1915 por el profesor Little, del Massachusetts Institute of Technology (M.I.T). La definición dada entonces, fue la siguiente: "... todo proceso

ya sea en forma de entrada de calor o en forma de eliminación del mismo, para modificar las características físicas, químicas y biológicas del producto. Durante el almacenamiento de frutas, verduras, carnes y productos lácteos se elimina el calor a fin de que el producto se enfríe y se conserve por un periodo largo. El calentamiento implica la destrucción de patógenos y otros microorganismos que causan el deterioro de los alimentos, para así hacer a éstos seguros y estables por periodos de almacenamiento más prolongados. La transferencia de calor la regulan algunas leyes físicas que permiten predecir el fenómeno de calentamiento y determinar las condiciones óptimas de operación. Aquí se repasan algunos principios de la transferencia de calor y de la destrucción térmica de microorganismos como preparación para entender el procesamiento térmico.

8.1 Ley de Fourier¹⁰ de la conducción de calor

Esta ley establece que si existe un gradiente de temperatura a través de un material, se transferirá calor en dirección de la temperatura que disminuye a un ritmo que es proporcional al gradiente de temperatura dT/dX y el área A a través de la cual el calor se mueve (Sharma, 2003); lo anterior se representa en la Figura 1.16. La constante de proporcionalidad es característica del material particular y se conoce como “conductividad térmica” del material (ecuación 1.0):

químico conducido en cualquier escala puede descomponerse en una serie ordenada de lo que pudieran llamarse OPERACIONES UNITARIAS, como pulverización, secado, cristalización, filtración, evaporación, destilación... El número de estas operaciones básicas no es muy grande, y generalmente sólo unas cuantas de ellas intervienen en un proceso determinado."

¹⁰ Jean-Baptiste-Joseph Fourier (21 de marzo de 1768 en Auxerre - 16 de mayo de 1830 en París), matemático y físico francés conocido por sus trabajos sobre la descomposición de funciones periódicas en series trigonométricas convergentes llamadas Series de Fourier, método con el cual consiguió resolver la ecuación del calor. La transformada de Fourier recibe su nombre en su honor. Fue el primero en dar una explicación científica al efecto invernadero en un tratado. Se le dedicó un asteroide que lleva su nombre y que fue descubierto en 1992.

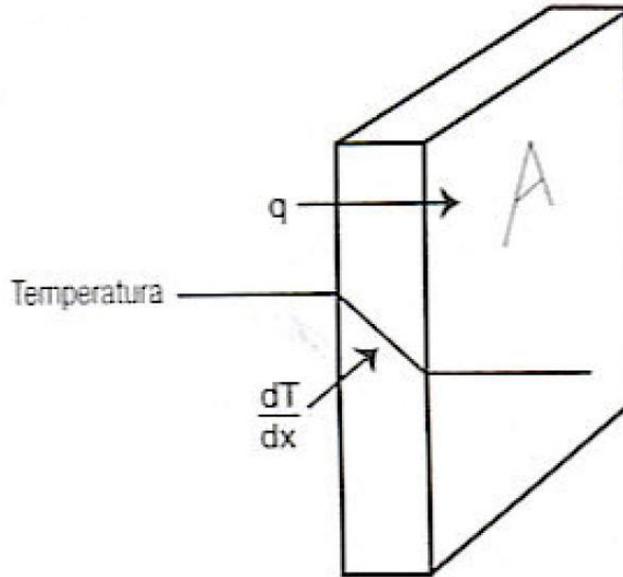


Figura 1.16. Ley de Fourier de la transferencia de calor. Ref. Ingeniería de Alimentos". Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

$$q = -kA \frac{dT}{dX} \quad (1.0)$$

en la que q = velocidad de transferencia de calor en J/s (W) o BTU/h, k = conductividad térmica del material ($W/m \cdot K$), A = área del material conductor perpendicular al gradiente de temperatura (m^2) y dT/dx = velocidad de cambio de temperatura por unidad de distancia (el gradiente térmico). El signo negativo de esta ecuación indica que el calor se mueve de una temperatura alta a una baja o hacia abajo en el gradiente de temperatura.

En el caso de grosor finito y condiciones de estado estacionario, la ecuación 1.0 se transforma en

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (1.1)$$

en la que ΔT = la diferencia de temperatura a través del material y Δx = el espesor del material.

8.2. Ley de Newton¹¹ de la convección de calor

Cuando un fluido a una temperatura hace contacto con el sólido de una temperatura diferente, se forma una capa límite térmica en el líquido, como se ilustra en la figura 1.17. Comúnmente, existe un gradiente de velocidad y uno de temperatura a través de esta capa a un ritmo determinado por la relación:

$$q = hA\Delta T \quad (1.2)$$

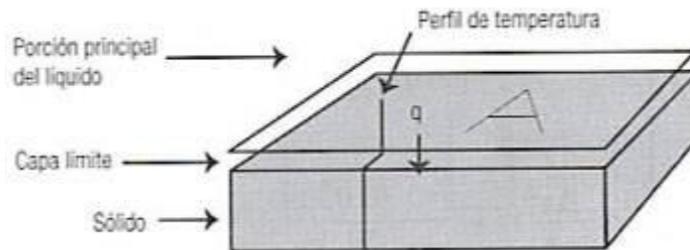


Figura 1.17. Ley de Newton de la transferencia convectiva de calor. Ref. Ingeniería de Alimentos”. Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

donde q = velocidad de transferencia de calor (W o kcal/h o BTU/h), A = área de contacto entre el líquido y el sólido (m^2), ΔT = diferencia en temperatura entre la porción principal del líquido y el sólido a través de la capa límite, y h = una constante de proporcionalidad llamada “coeficiente convectivo de transferencia de calor” que depende de la naturaleza del sistema (Sharma, 2003).

8.3. Radiación y esterilización comercial

En la esterilización realizada en autoclaves a vapor, o agua caliente el fenómeno de transferencia de calor por radiación es considerado despreciable y se trabaja para el cálculo de letalidad y transferencia de calor en los envases, con los fenómenos de conducción y convección de calor.

¹¹ **Sir Isaac Newton** (25 de diciembre de 1642 JU – 20 de marzo de 1727 JU; 4 de enero de 1643 GR – 31 de marzo de 1727 GR) fue un físico, filósofo, teólogo, inventor, alquimista y matemático inglés, autor de los *Philosophiae naturalis principia mathematica*, más conocidos como los Principia, donde describió la ley de la gravitación universal y estableció las bases de la mecánica clásica mediante las leyes que llevan su nombre. Entre sus hallazgos científicos se encuentran el descubrimiento de que el espectro de color; desarrolló una ley de convección térmica, que describe la tasa de enfriamiento de los objetos expuestos al aire; sus estudios sobre la velocidad del sonido en el aire; y su propuesta de una teoría sobre el origen de las estrellas. Fue también un pionero de la mecánica de fluidos, estableciendo una ley sobre la viscosidad.

8.4. Curvas de supervivencia y reducción decimal (valor D)

Cuando las bacterias o las esporas bacterianas se exponen al calor, mueren a una velocidad exponencial que es posible determinar a partir de una gráfica semilogarítmica. El tiempo que se requiere para cruzar un ciclo log se conoce como valor D (“reducción decimal”) y su recíproco es la pendiente (Sharma, 2003). El valor D (tiempo de reducción decimal) de un microorganismo se define como el tiempo necesario para que a una temperatura determinada, se reduzca 90% su población en el material tratado. Es una expresión de la resistencia de un microorganismo al efecto de la temperatura (Gerber S.A.). Cuanto más pequeño es el valor D, más rápido indica la velocidad de destrucción. Por lo general, se le pone un subíndice a D para indicar a la temperatura a la que se midió (Sharma, 2003).

Algunas esporas bacterianas se caracterizan por su acentuada resistencia al calor, que contrasta con la susceptibilidad de aquellas que se sitúan en el otro extremo. Por ejemplo, el tiempo requerido para disminuir el 90% de la población de las esporas con mayor termorresistencia de *B. stearothermophilus* mediante calentamiento a 100°, es de 10,000 veces más minutos, que el requerido por las esporas de *C. botulinum E*. Notablemente la termorresistencia de las esporas del tipo E de *C. botulinum* es mucho menor que la de los tipos A y B (Gerber S.A.).

La destrucción de los microorganismos por el calor se encuentra afectada por una diversidad de factores, incluida la A_w (actividad de agua), el pH, la presencia de materia orgánica y otros. Por ejemplo la tasa de inactivación de las esporas de *C. botulinum* es pH dependiente. Conforme su magnitud disminuye, la severidad del tratamiento térmico necesario es menor. Mientras para esterilizar maíz (pH 6.45) se requieren 465 min. a 95°C o 30 min. a 110°C; las peras (pH 3.75) deben tratarse sólo por 75 min. a 95°C o por 10 min. a 110°C. También se ha observado que el incremento del contenido de grasa disminuye la concentración de agua, lo cual afecta la transferencia de calor. Un calentamiento a 60°C por 2-3 min. destruye al menos 5 log₁₀

la concentración de *E. coli* O157:H7 en carne de res, puerca, pava y pollo (Gerber S.A.).

Ejemplo. Un cultivo que contiene 800 esporas por ml se divide entre varios recipientes y se somete a una temperatura de 245°F por diferentes tiempos hasta 50 minutos. El número de supervivientes por ml se registra en la Tabla 1.3. Los datos se localizan en una gráfica semilogarítmica de cuatro ciclos como la que aparece en la Gráfica 1.3. y se ajusta con una línea recta. A la línea ajustada le toma 14 minutos cruzar cada ciclo log, lo que indica que el número de esporas disminuye 10 veces cada 14 minutos. Por ejemplo, se requieren 14 minutos para pasar de 100 a 10 supervivientes, otros 14 minutos para ir de 10 a 1, etcétera. Así $D = 14$ minutos y la pendiente de la línea es

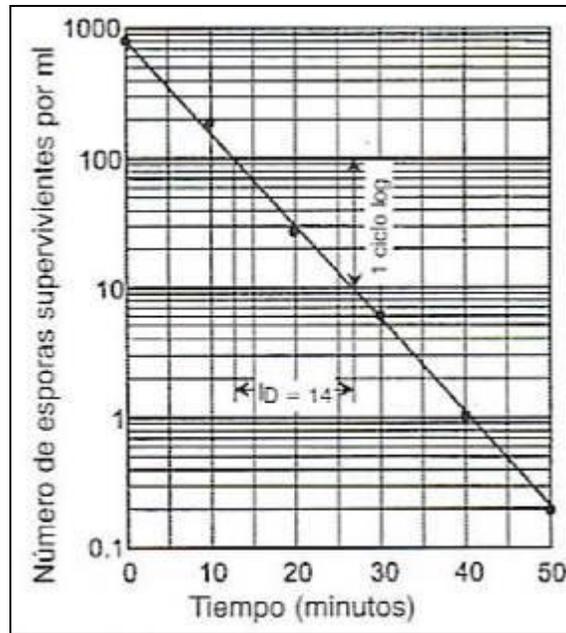
$$\text{Pendiente} = 1 / 14 = 0.0714$$

La ecuación para la línea es: $\text{Log}(n) = \text{Log}(800) - 0.0714t$

o, en forma de exponente de 10: $N = 800 \times 10^{0.0714t}$

Tiempo (min)	Esporas/ml
0	800
10	190
20	27
30	6
40	1
50	0.2

Tabla 1.3. Datos de supervivencia de esporas bacterianas a distintos intervalos de tiempo



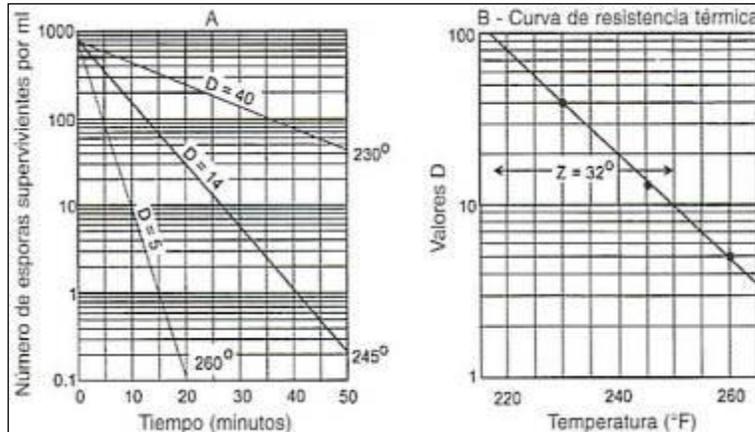
Gráfica 1.3. Semilogarítmica de microorganismos supervivientes contra tiempo. Ref. Ingeniería de Alimentos”. Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

8.5. Curva de resistencia térmica y diferencia de temperatura para disminución de concentración microbiológica en un ciclo log (valor z)

Los valores D están en función de la temperatura. Cuando la temperatura aumenta, la velocidad de destrucción de esporas aumenta y D disminuye véase la Grafica 1.4. Resulta que el cambio en el valor D es una función exponencial de la temperatura. Así, cuando nuevamente se localizan los valores en una gráfica semilogarítmica, la curva resultante se conoce como una curva de resistencia térmica, como se indica en la figura 1.21B. El incremento en °F o °C requerido para que disminuya un ciclo log se conoce como valor z (Sharma, 2003). Representa el incremento de temperatura que permitirá reducir diez veces el tiempo de muerte térmica. Este valor varía considerablemente entre los microorganismos. Es una expresión de la resistencia de un microorganismo a diferentes temperaturas (Gerber S.A.).

Ejemplo. El experimento descrito en la sección anterior se repite a 230°F, 245°F y 260°F. Los datos resultantes se ajustan a las curvas que se muestran en la figura 1.21A. A partir de estas curvas, se obtienen los siguientes valores D:

$$D(230) = 40 \text{ min}, D(245) = 14 \text{ min}, D(260) = 5 \text{ min}$$



Gráfica. 1.4. Curva de supervivencia para determinar varios valores D , A) y una curva de resistencia térmica para determinar el valor z , B). Ref. Ingeniería de Alimentos”. Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

Se traza una gráfica de D contra temperatura en papel semilogarítmico, como se muestra en la Grafica 1.4 B y se ajustan los puntos con una línea recta. Esta línea atraviesa un ciclo \log cada 32°F, lo que indica una disminución de 10 veces en D cada 32°F. Este es el valor z de este organismo particular.

Si se selecciona una temperatura de referencia (T_{ref}) y se mide D a esa temperatura (D_{ref}), entonces la curva de resistencia térmica de la Grafica 1.4 B tiene la ecuación

$$\text{Log}(D) = \text{Log}(D_{ref}) - \frac{1}{z}(T - T_{ref}) \quad (1.3)$$

El arreglo de la ecuación 1.3 da

$$\text{Log}(D) - \text{Log}(D_{ref}) = - (T - T_{ref}) / z$$

$$\text{Log} (D / D_{\text{ref}}) = (T_{\text{ref}} - T) / z \quad (1.4)$$

Ejemplo. Por lo general, la temperatura de referencia que se selecciona es 250°F (121°C). C. botulinum tiene un valor z de 18°F y un $D_{250} = 0.2$ minutos. ¿Cuál es el valor D a 240°F?

Ya que $T_{\text{ref}} = 250^\circ\text{F}$ y $D_{\text{ref}} = 0.2$, la curva de resistencia térmica para C. botulinum será

$$\text{Log} (D) = \text{Log} (0.2) - (T-250) / 18$$

$$\text{Log} (D) = - 0.70 - (T-250) / 18$$

De aquí, se calcula a $T = 240^\circ\text{F}$

$$\text{Log} (D_{240}) = - 0.70 - (240 - 250) / 18 = - 0.14$$

$$D_{240} = 10^{-0.14} = 0.72 \text{ minutos}$$

En otras palabras, a 250°F, t requiere 0.2 minutos para reducir las esporas de C. botulinum en un factor de 10. A 240°F, se requieren 0.72 minutos para alcanzar la misma reducción.

8.6. Curvas de tiempo de muerte térmica

Por lo general, se tiene interés en reducir los números de bacterias o de esporas en varios factores de 10. Una operación representativa de enlatado, por ejemplo, podría reducir el número de esporas desde una cuenta inicial de 10^3 a una cuenta final de 10^{-9} o una espora por 10^9 latas. (Cuando el número de esporas es menor que 1 por lata, se llama “probabilidad de una unidad no estéril” o PNSU). Lo anterior significa una reducción de 10^{-12} ó 12 ciclos log. Se definirá Y_n como el número de reducciones del ciclo log que se va a alcanzar. Así,

$$Y_n = \text{Log} (N_0) - \text{Log} (N) \quad (1.5)$$

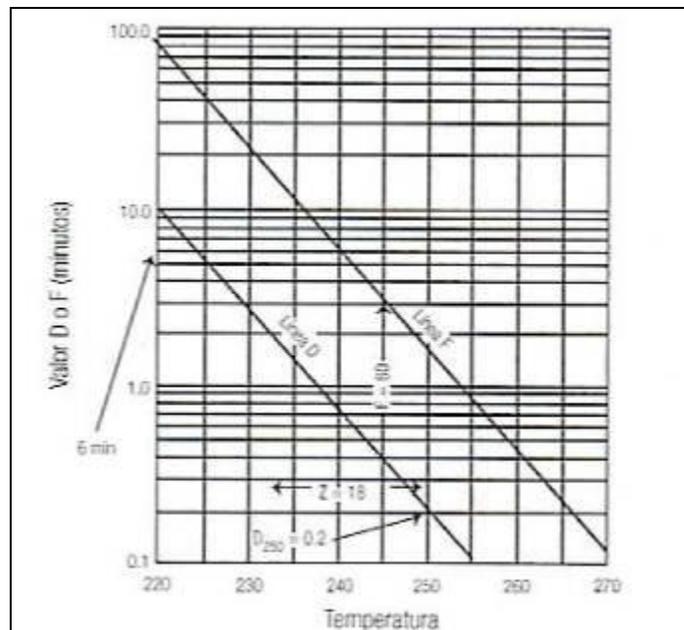
donde N_0 = la cuenta inicial de bacterias o de esporas y N = la cuenta final de bacterias, de esporas o PNSU que se quiere alcanzar (Sharma, 2003). Si se define F_t como el número de minutos que se requiere para alcanzar Y_n ciclos log de reducción, entonces

$$F_t = Y_n D_t \quad (1.6)$$

Ejemplo. Para cierto organismo, $D_{245} = 12$ minutos. ¿Qué tiempo se necesita para reducir una cuenta de 10^4 a un PNSU de 10^{-6} (una lata en un millón) a 245°F ?

$$Y_n = \text{Log}(10^4) - \text{Log}(10^{-6}) = 4 - (-6) = 10 \text{ ciclos log}$$

$$F_{245} = Y_n D_{245} = 10 (12 \text{ min}) = 120 \text{ min}$$



Gráfica. 1.5. Curvas de resistencia térmica (valores D contra temperatura) y muerte térmica (valores F contra temperatura). Ref. Ingeniería de Alimentos". Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

8.7. Tiempo de muerte térmica de *C. Botulinum* a 121°C (Fo)

La destrucción de *C. botulinum* tiene tal importancia en la industria del enlatado que se tiene un símbolo especial para el tiempo de muerte térmica a 250°F (121°C) cuando se le aplica a este organismo. Se define como $F_o = F_{250}$ cuando $z = 18$ (Sharma, 2003).

A fin de comparar dos procesos que podrían implicar diferentes tiempos, se convierten a la F_o equivalente, ya sea gráficamente o con las ecuaciones.

$$\text{Log}(F_o) = \text{Log}(F_t) + (T-250) / 18 \quad (1.7)$$

donde T = temperatura a la que el proceso se realiza en minutos, F_t = tiempo que la temperatura se aplica, y F_o = tiempo que se requiere a 250°F para la misma destrucción de *C. botulinum*. Si se resuelve para encontrar F_o , se tiene

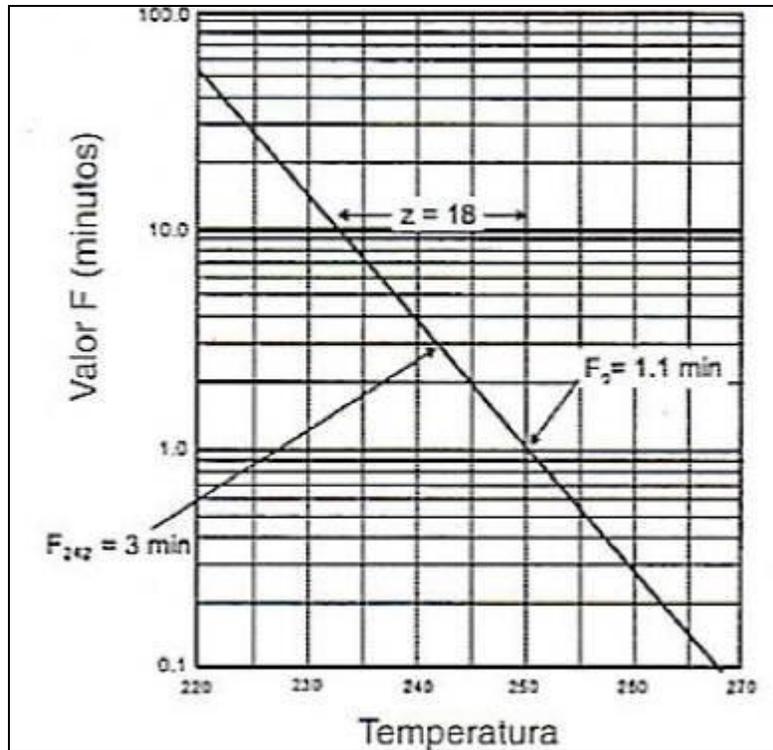
$$F_o = F_t 10^{[(T-250)/18]} \quad (1.8)$$

El número de ciclos log para la destrucción de *C. botulinum* se calcula mediante.

$$Y_n = F_o / 0.2 \quad (1.9)$$

Ejemplo. Un cultivo que contiene una población de esporas de *C. botulinum* de 10^2 se somete a 242°F durante 3 minutos. ¿Cuál es la probabilidad de una unidad no estéril (PNSU) después de este proceso?

Solución gráfica. En la figura 1.6. se traza una línea a través de 3 min a 242°F con un valor z de 18. La línea atraviesa 250°F a 1.1min, que es F_o para este proceso.



Grafica 1.6. Curvas de tiempo de muerte térmica (valores F contra temperatura) para determinar el valor F_0 a 250°F . Ref. Ingeniería de Alimentos”. Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

Solucion algebraica.

$$\text{Log}(F_0) = \text{Log}(3) + (242 - 250) / 18$$

$$F_0 = 1.08$$

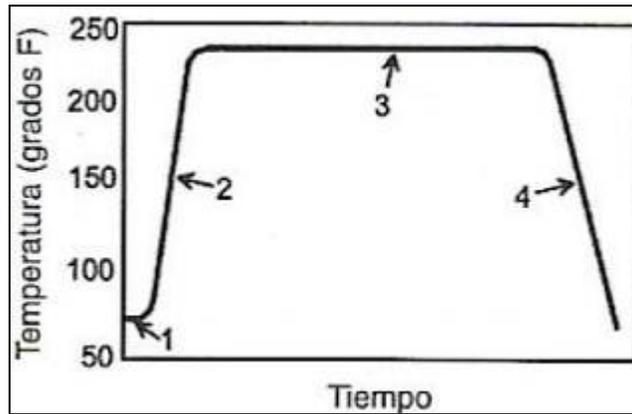
$$Y_n = 1.08 / 0.2 = 5.4 \text{ ciclos log}$$

$$\text{Log}(N) = \text{Log}(10^2) - 5.4 = -3.4$$

$$N = 10^{-3.4} = 3.98 \times 10^{-4}$$

8.8. Historia de la temperatura de un proceso

Cuando se procesan alimentos, se obtiene un perfil típico de temperatura de la cámara de autoclave como el de la Grafica 1.7.



Grafica 1.7. Perfil de temperatura-tiempo característico de un autoclave. Ref. Ingeniería de Alimentos". Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

1. Cuando el alimento se acaba de cargar, la cámara de la autoclave se halla aproximadamente a la temperatura ambiente.

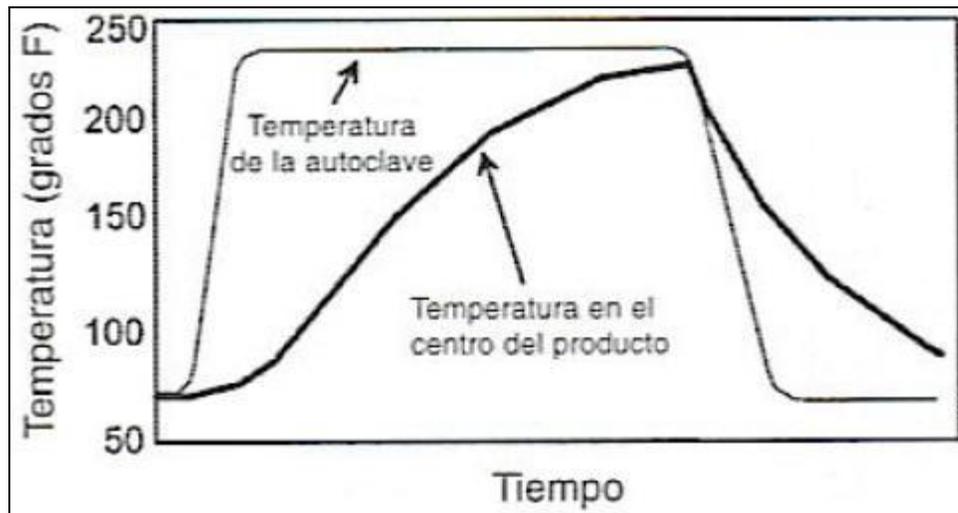
2. Cuando se introduce vapor o agua caliente, la temperatura de la cámara aumenta rápidamente para alcanzar el valor fijado en el controlador. El tiempo que se requiere para alcanzar la temperatura de procesamiento se llama tiempo de levante de temperatura.

3. La cámara se mantiene a esta temperatura durante el periodo necesario. El tiempo que se sostiene esta temperatura se conoce como tiempo de calentamiento. A la suma del tiempo de levante y el tiempo de calentamiento se le denomina tiempo de procesamiento.

4. Cuando el agua fría reemplaza al vapor, la temperatura disminuye. El tiempo que se requiere para alcanzar aproximadamente la temperatura ambiente se conoce como tiempo de enfriamiento.

A causa de la resistencia térmica y la capacidad calorífica del alimento y el recipiente, la temperatura del alimento cambia más lentamente que la cámara del autoclave

(Sharma, 2003). En particular, un punto cerca del centro del recipiente es el que cambia con más lentitud. La historia típica de temperatura en el centro de una lata durante el proceso en el autoclave se represente con una línea gruesa en la Grafica 1.8.



Grafica 1.8. Seguimiento de la temperatura del producto en el centro de una lata durante el procesamiento en el autoclave. Ref. Ingeniería de Alimentos”. Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

8.9 La velocidad letal

Por lo general las esporas de *C. botulinum* son destruidas a un ritmo de un ciclo log cada 0.2 minutos en una solución amortiguadora de fosfato a 250°F. Asimismo, se ha observado que a otras temperaturas, el tiempo de procesamiento puede ajustarse a un tiempo equivalente a 250°F con la siguiente ecuación:

$$F_o = F_t 10^{(T - 250) / 18} \quad (1.10)$$

donde F_t = minutos de procesamiento a $T^\circ\text{F}$, F_o = minutos de procesamiento a 250°F y $10^{(T - 250) / 18}$ = un factor de conversión. Aunque en términos estrictos este factor es adimensional, es útil pensar presenta unidades de “minutos a 250°F por minuto a $T^\circ\text{F}$ ”. El 250 en este factor es la temperatura elegida de modo arbitrario, pero comúnmente

utilizada, que se conoce como temperatura de referencia. El 18 es el valor z para C. Botulinum.

1. En general, el factor de conversión en la ecuación 1.10 se conoce como velocidad letal. En otras palabras,

$$\text{Velocidad letal} = L = 10^{(T - 250) / 18} \quad (1.11)$$

2. F_0 se conoce como letalidad de un proceso.

3. La letalidad F_0 de un proceso se calcula multiplicando la velocidad letal L por el tiempo a la temperatura $T(F_t)$, como se representa en la ecuación 1.10:

$$\text{Letalidad} = F_0 = F_t L \quad (1.12)$$

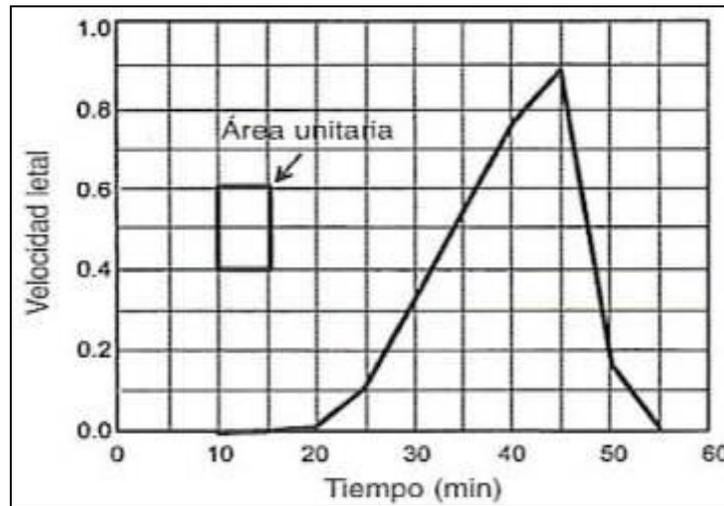
La temperatura de una lata varía de manera continua como se indica en la Grafica 1.8. Por consiguiente, no se puede calcular simplemente una sola velocidad letal para el proceso y multiplicarla por el tiempo de procesamiento. En vez de ello, se calculan velocidades letales a varios intervalos a lo largo del proceso, luego se integra esta velocidad con respecto al tiempo. El siguiente ejemplo ilustra la manera de hacer lo anterior (Sharma, 2003).

Ejemplo. En la Tabla 1.4 se dan los datos representativos de tiempo-temperatura en el centro de una lata durante el procesamiento térmico. La velocidad letal, calculada aplicando la ecuación 1.11 se registra en la tercera columna. Por ejemplo, la velocidad letal a 30 minutos se calcula como:

$$L = 10^{(241 - 250) / 18} = 10^{-0.5} = 0.32 \text{ min a } 250^\circ \text{ por min a } 241^\circ\text{F}$$

Tiempo (min)	Temperatura en el centro (°F)	Velocidad letal
10	110	1.7×10^{-8}
15	180	1.3×10^{-4}
20	215	0.011
25	232	0.10
30	241	0.32
35	245	0.53
40	248	0.77
45	249	0.88
50	235	0.15
55	196	0.001

Tabla.1.4. Las velocidades letales L contra el tiempo. Ref. Ingeniería de Alimentos". Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003



Gráfica 1.9. Velocidad letal contra tiempo obtenida durante el procesamiento en el autoclave. Ref. Ingeniería de Alimentos". Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

8.10. Cálculo de la letalidad

Uno de los principales problemas en la industria de alimentos es la destrucción de los microorganismos presentes en los alimentos, no solo para prevenir su potencial contaminante, sino también con el objetivo primordial de preservar los alimentos durante períodos de tiempo lo más largo posible.

El objetivo principal es la destrucción de microorganismos, también se desea destruir enzimas, que son al mismo tiempo causantes alteraciones no deseadas en el producto.

El procesado térmico de productos enlatados se realiza en aparatos que utilizan vapor de agua o agua caliente como fluido calefactor, al igual que el escaldado, el cual es un tratamiento térmico a 95-100°C que dura varios minutos y tiene como finalidad destruir enzimas y microorganismos susceptibles al alterar ciertas características en los alimentos.

El calor se usa ampliamente para controlar las poblaciones microbianas, por lo que es esencial tener medidas precisas para determinar su eficiencia.

Según el ámbito de aplicación, se emplean diversas escalas arbitrarias para cuantificar los tratamientos térmicos. Para la esterilización comercial de alimentos la unidad adoptada es: 121.1°C. El tiempo térmico letal, F_o , se refiere al periodo de tiempo más corto en que se muere la totalidad de bacterias de una suspensión, sometida a una determinada temperatura y bajo condiciones específicas véase Tabla 1.5. Para el cálculo de F_o , se emplea un parámetro de termoresistencia característico de cada microorganismo denotado por z (Cárdenas y Vizcaíno).

8.10.1. Método de Bigelow

La letalidad del proceso se calcula integrando la velocidad letal con respecto al tiempo:

$$F_o = \int_0^t LdT \quad (1.13)$$

Note que, como se indica en la figura 1.26, la letalidad es una función del tiempo, esto es, $L=f(t)$. Sin embargo, no es una función que pueda expresarse como una simple ecuación, por lo que la integración indicada en la ecuación 1.13 no puede llevarse a cabo fácilmente. Ahora bien, ya que la integración puede considerarse como la suma del área bajo la función, cualquier método para calcular áreas funcionará (Sharma, 2003).

ESPECIE	MÍNIMA (17)	OPTIMA (17)	MÁXIMA (17)	Aerobios Anaerobios	Gram	Esporulados	No esporulados	T° C ICMSF	Tomo I Página ⁽¹⁹⁾	Tomo I Página ⁽¹²⁾	T° C Rey-Silvestre	Página ⁽⁵⁾	T° C		
GRUPO TERMOFILOS															
<i>Clostridium thermosaccharolyticum</i>	40°C	55°C 75°C	90°C	AN	+	X									
<i>Clostridium nigrificans</i>				AN	+	X		120 ³	34						
<i>Campilobacter jejuni</i> ⁽¹⁴⁾							-						57	68	
<i>Bacillus stearothermophilus</i>							A	+	X		120 ³	25			
<i>Bacillus coagulans</i>							A	+	X						
GRUPO MESOFILOS															
<i>Salmonellas enteritidis</i> (typhi, ⁽¹⁴⁾ endotoxinas)	5°C	30°C 45°C	47°C	A	-		X	90 ²⁶	23		83	57	74 ⁽²¹⁾		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>				A	-		X	55 ⁽⁴¹⁾	302						
<i>Shigella dysenteriae</i> y otras ⁽¹⁴⁾ (Neuro y enterotoxinas)				AF	-		X						80	96	
<i>Staphylococcus aureus</i> (toxinas) ⁽¹⁰⁾				AF	+		X		80 ⁽⁴¹⁾	295			100 ⁽²¹⁾	121	
SUBGRUPO PSICROTROFILOS⁽¹⁸⁾															
<i>Bacillus cereus</i> (Intoxicación) ⁽¹⁰⁾	-5°C	25°C 30°C	35°C	A	+	X		100 ³	256				80 ⁽¹⁵⁾		
<i>Bacillus subtilis</i>				A	+	X		80 ⁽⁸¹⁾		864					
<i>Clostridium sporogenes</i>				AN	+	X									
<i>Clostridium botulinum</i> A y B (toxinas) ⁽¹⁰⁾				AN	+	X			100 ⁶	25			125	117	
<i>Clostridium perfringens</i> ⁽¹⁰⁾				AN	+	X			84		864	70 ⁽⁷⁾	128	76 ⁽¹⁵⁾	
<i>Escherichia coli</i> sp. ⁽¹⁶⁾ (verotoxinas)				AF	-		X		60 ⁶	322			72	98	77 ⁽¹⁵⁾
<i>E. coli</i> enterohemorrágico (EHEC) sero grupo 0157:H7 y otros ⁽¹⁴⁾															83 ⁽²⁰⁾
<i>Streptococcus faecalis</i>				A	+		X		70	25					
<i>Streptococcus pneumoniae</i> ⁽¹⁴⁾				A	+		X		70	25					
<i>Listeria monocytogenes</i>				AF	+		X						76	112	
<i>Serratia</i> sp.									X						
<i>Vibrio cholerae</i>								-					80	84	
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>								-					70	88	80 ⁽¹⁵⁾
<i>Yersinia enterocolitica</i> (Algunas cepas: Enterotoxina termoestable)				AF	-		X						76 ⁽⁶⁾	106	60 ⁽¹⁴⁾
<i>Yersinia pseudotuberculosis</i> ⁽¹⁴⁾	AF	-		X											
GRUPO PSICROFILOS															
<i>Vibrio fischeri</i> (marinus)	-5	12°C 15°C	20°C		-		X								
VIRUS															
Rotavirus															
Virus hepatitis A ⁽¹⁴⁾													100 (13)		

Tabla.1.5. Temperaturas aproximadas de desarrollo y resistencia de algunas bacterias y virus. (Lerena, 1998). Ref. Ingeniería de Alimentos”. Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003.

8.10.2. Método trapezoidal

En este método, el área bajo la curva puede ser aproximada por una serie de paralelogramos, el área de cada paralelogramo se calcula con la altura promedio multiplicada por la anchura (Cárdenas y Vizcaíno):

$$A_t = \frac{L_{t-1} + L_t}{2} \Delta t \quad (1.14)$$

El área bajo la curva es la suma de todos los paralelogramos:

$$Fo = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta t}{2} (L_0 + 2L_1 + \dots + 2L_{n-1} + L_n) \quad (1.15)$$

8.10.3 Método de Patashnik

Este método es una simple adaptación de la regla trapezoidal, arreglada de modo que sea fácil calcular los valores de F_o mientras la autoclave está funcionando. Esto hace posible detener el proceso cuando se alcanza la F_o deseada (Sharma, 2003).

1. Las lecturas de temperatura se toman a intervalos regulares y se registran cada 5 minutos, como se indica en la Tabla 1.6.

2. A partir de cada lectura de temperatura, calcule la velocidad letal mediante la ecuación:

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

3. El total del primer ciclo de operación es igual a la primera velocidad letal. Los totales de los ciclos de operación subsiguientes son iguales al total del ciclo previo más la velocidad letal actual.

4. La letalidad se calcula mediante la ecuación

$Fo = (\text{Total del ciclo de operación previo} + \text{Velocidad letal actual} / 2) \times \text{Intervalo de tiempo}$

Tiempo (min)	Temperatura (°F)	L	Total del ciclo	F_0 (min)
10	110	1.69×10^{-8}	1.69×10^{-8}	
15	180	1.29×10^{-4}	1.29×10^{-4}	6.45×10^{-5}
20	215	0.0114	0.0115	0.039
25	232	0.1000	0.1115	0.308
30	241	0.3162	0.4277	1.348
35	245	0.5275	0.9552	3.457
40	248	0.7743	1.7295	6.712
45	249	0.8799	2.6094	10.847
50	235	0.1468	2.7562	13.414
55	196	0.0010	2.7572	13.783

Tabla 1.6. Cálculo de la letalidad de un proceso por el método de Patashnik. Ref. Ingeniería de Alimentos". Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

Ejemplo. Los cálculos hechos a los 30 minutos son:

$$L = 10^{(241 - 250) / 18} = 0.3162$$

$$\text{Total del ciclo} = 0.1115 + 0.3162 = 0.4277$$

$$F_0 = (0.1115 + 0.3162 / 2) 5 = 1.348$$

8.10.4. Regla de Simpson

La regla de Simpson requiere que haya un número par de intervalos o un número non de velocidades letales (Cárdenas y Vizcaíno). Utiliza la ecuación:

$$F_0 = \frac{\Delta t}{3} [L_0 + 4(L_1 + L_3 + \dots + L_{n-1}) + 2(L_2 + L_4 + \dots + L_n)] \quad (1.16)$$

8.10.5. Hoja de cálculo electrónica

La Tabla 1.7 muestra una hoja de cálculo electrónica, que es posible para implementar la regla trapezoidal (Sharma, 2003).

1. Anote los tiempos en una columna (columna A). No es necesario que los tiempos tengan el mismo espaciamiento.

2. En la siguiente columna, anote las temperaturas correspondientes.

	A	B	C	D	E
1	Tiempo	Temperatura	L	Área	F_0
2	10	110	0.0000	—	0.000
3	15	180	0.0001	0.0003	0.000
4	20	215	0.0114	0.0287	0.029
5	25	232	0.1000	0.2784	0.307
6	30	241	0.3162	1.0406	1.348
7	35	245	0.5275	2.1093	3.457
8	40	248	0.7743	3.2544	6.712
9	45	249	0.8799	4.1355	10.847
10	50	235	0.1468	2.5668	13.414
11	55	196	0.0010	0.3694	13.783
12					
13			$F_0 =$	13.783	

Tabla 1.7. Integración del área de la curva (proceso de letalidad) en una hoja de cálculo electrónica. Ingeniería de Alimentos". Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

3. En la tercera columna introduzca la fórmula para calcular la letalidad y cópiela abajo en la columna. Por ejemplo, la fórmula en la celda C2 de la Tabla 1.7 es

$$\text{Excel: } = 10^{[(B2 - 250) / 18]}$$

4. En la primera celda de la cuarta columna, introduzca una fórmula para calcular áreas de paralelogramos. Por ejemplo, la fórmula en la celda D3 de la tabla 1.7 es

$$\text{Excel: } = (A3 - A2) * (C2 + C3) / 2$$

5. A fin de integrar el área para todo el proceso, introduzca una sumatoria al final de la columna de área. Por ejemplo, la fórmula en la celda D13 es

$$\text{Excel: } = \text{Sum}(D3:D11)$$

6. A fin de estimar las integrales acumulativas durante todo el proceso, introduzca ecuaciones para hacer esto en la quinta columna. En la tabla 1.7,

inicie poniendo el número 0 en la celda E3 y cópielo abajo en el resto de la columna:

Excel: =E2 + D3

Observe que la última suma de la columna E es la misma suma de la celda D13.

8.11. Instrumentos de Medición de temperatura

Los autoclaves cuentan con instrumentos como: termómetro de mercurio, manómetro, registrador de temperatura, válvula de venteo, válvula de seguridad, entrada de aire a presión y entrada de agua para enfriamiento, los cuales sirven para controlar las condiciones de proceso.

La penetración de calor en un alimento envasado puede realizarse por conducción o por convección por el movimiento de líquidos y gases; o bien por la combinación de ambas que es como ocurre generalmente. Existen factores que afectan la velocidad de penetración de calor como son: tamaño y forma del envase, relación sólido líquido, consistencia del alimento, volumen de llenado del envase y material del envase.

El uso de termopares es hasta la fecha el método más empleado para conocer la temperatura en el punto frío de los alimentos envasados y la velocidad de la penetración de calor durante el proceso térmico.

Con este conocimiento se pueden obtener las curvas de penetración de calor y verificar que se alcancen en el punto más frío las condiciones de proceso (tiempo-temperatura) y se logre la esterilización comercial del alimento.

Se entiende por punto frío o punto crítico, al punto en el seno del alimento que alcanza la temperatura de proceso o bien el punto de más lento calentamiento.

En un alimento sólido enlatado en el cual se tiene un calentamiento por conducción (atún), el punto frío estará situado en el centro geométrico del

envase; mientras que en el caso de los alimentos que calientan por convección (alimentos líquidos), el punto frío se localiza por debajo del centro de la lata; en el caso de alimentos con alto contenido de almidón, se presenta primero un calentamiento por convección y posteriormente por conducción a partir del momento en que se llegue a la temperatura de gelatinización del almidón.

9.0 NATURALEZA DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS, TRATAMIENTOS RECOMENDADOS Y OBLIGATORIOS

Probablemente la temperatura es el más importante de los factores ambientales que afectan a la viabilidad y el desarrollo microbianos. Aunque el crecimiento microbiano es posible entre alrededor de -8 y hasta +90°C, el rango de temperatura que permite el desarrollo de un determinado microorganismo rara vez supera los 35°C.

Cualquier temperatura superior a la máxima de crecimiento de un determinado microorganismo resulta fatal para el mismo, y cuanto más elevada es la temperatura en cuestión tanto más rápida es la pérdida de viabilidad. Sin embargo, la letalidad de cualquier exposición a una determinada temperatura por encima de la máxima de crecimiento depende de la termorresistencia que es una característica fundamental del microorganismo considerado.

Siempre se debe tener en cuenta a la relación temperatura-tiempo. Las temperaturas superiores a las que los microorganismos crecen producen inevitablemente su muerte o les provocan lesiones subletales. Si hay lesiones subletales, las células lesionadas pueden permanecer viables pero son incapaces de multiplicarse hasta que la lesión no se haya subsanado. Las exposiciones drásticas provocan en las poblaciones un progresivo y ordenado descenso de sus tasas de crecimiento debido a la muerte de un número de células tanto más elevado cuanto más prolongado sea el tiempo de exposición. Los factores que afectan a la termorresistencia, además del tipo de microorganismo, son el número de células existente, la fase del crecimiento en que se encuentran, y las condiciones del medio en el que se efectúa el calentamiento de los microorganismos. Las esporas bacterianas son muy resistentes a las temperaturas extremas; Algunas pueden incluso sobrevivir

tratamientos de varios minutos a 120°C y horas a 100°C. Las células vegetativas de los gérmenes esporulados, al igual que las levaduras y los hongos, no son más termorresistentes que las bacterias vegetativas. La mayoría mueren tras unos minutos a 70°-80°C y en los alimentos húmedos ninguno resiste más que una exposición momentánea a 100°C. Cuanto más elevada sea la carga microbiana inicial, tanto más tardará una población en alcanzar un determinado valor. Un buen proceso está diseñado suponiendo una determinada carga microbiana en el producto fresco. El uso de prácticas defectuosas que permitan una excesiva multiplicación microbiana antes de su aplicación puede comprometer seriamente el éxito de un tratamiento térmico (Rees y Bettison, 1991).

9.1. Alimentos de baja acidez (pH ≥ 4,5)

El tratamiento térmico mínimo para un alimento enlatado de baja acidez debe de reducir la probabilidad de supervivencia de esporas de *C. botulinum* a menos de 1 de cada 10¹² recipientes. Esto suele interpretarse como un tratamiento térmico mínimo correspondiente a un valor Fo = 3. En la práctica, los industriales suelen aplicar tratamientos térmicos superiores a Fo = 3 (por ejemplo 6-7 o más) para asegurar el control de la flora alterante.

Existen diversas publicaciones que proporcionan orientación sobre temperaturas y tiempos de tratamientos recomendados para distintos productos y tamaño de los envases. Nunca se insistirá demasiado sobre la buena práctica que supone confirmar experimentalmente los tratamientos y realizar también pruebas sobre variaciones en la producción durante la implantación de un tratamiento térmico. También se recomienda comprobar los resultados del tratamiento tras realizar algún cambio en la producción que pueda afectar el tratamiento térmico (Rees y Bettison, 1991).

En los alimentos de baja acidez, es crucial asegurar la destrucción de *C. botulinum* pero el carácter logarítmico de la muerte bacteriana por el calor excluye el cálculo para 0 células sobrevivientes.

Cuando la población se ha reducido a una célula por g o mL ($\log_{10}=0$), la sobrevivencia en el siguiente ciclo es de 1 célula/10 g o mL, en el siguiente de 1/100 g o mL, etc. De manera arbitraria pero razonable, se introduce el concepto de valor 12-D, es decir, condiciones de tratamiento térmico que reduzcan una población de 10^{12} a 100 esporas/g o mL (Gerber S.A.).

9.2. Productos lácteos

La Federación Lechera Internacional¹² hace referencia a la esterilización de la leche como un proceso equivalente en letalidad a un mínimo de $F_0 = 3$. A 140°C es equivalente a 2,3 segundos. Deberá indicarse que un tratamiento $F_0 = 3$ puede no ser suficiente para destruir los esporos de los microorganismos que provocan la alteración del producto, por ejemplo, bacterias termofílicas (Rees y Bettison, 1991).

9.3. Productos ácidos (pH < 4,5)

Con valores del pH inferiores a 4.5 es sumamente improbable el riesgo de multiplicación y formación de toxina botulínica y, para productos con valores entre 4.0 y 4.5, los tratamientos térmicos buscan controlar la supervivencia y multiplicación de microorganismos formadores de esporos tales como *Bacillus coagulans*, *B. polymyxa*, *B. macerans* y anaerobios butíricos tales como *Clostridium butyricum* y *C. pasteurianum*. Se considera apropiado un tratamiento térmico para este propósito de $F_{121^\circ\text{C}} = 0.7$ con $z=10$. La Asociación Nacional de Enlatadores de EEUU, recomendó un tratamiento equivalente a 10 minutos a 93.3°C con $z = 8.3$ ($F_{93.3^\circ\text{C}} = 10$) con un pH entre 4.0 y 4.3. Cuando el pH es inferior a 3.7 el tratamiento térmico debe orientarse hacia el control de bacterias no esporuladas, levaduras y mohos. Estos agentes pueden ser controlados generalmente mediante tratamientos térmicos a temperaturas inferiores a 100°C (Rees y Bettison, 1991). La mayoría de las esporas

¹² La **Federación Internacional de Lechería** (FIL) es una organización privada sin ánimo de lucro que representa, a nivel internacional, los intereses de varios grupos de interés en lechería. La FIL fue fundada en 1903. Actualmente está representada en 56 países y sus miembros, que suponen aproximadamente el 86% de la producción total de leche en el mundo, están creciendo. Los miembros de la FIL están organizados en Comités Nacionales, que son asociaciones nacionales compuestas por representantes de todos los grupos nacionales relacionados con la lechería, incluidos productores de leche, industrias de transformación, suministradores, investigadores y gobiernos/autoridades de control alimentario.

bacterianas no germinan en jugos de frutas con valores de pH inferiores a 4.0. Ocasionalmente sin embargo, ciertos microorganismos esporulados participan en el deterioro de productos con pH de 3.7 o menor, tales como verduras y duraznos o peras. La prevención de estos incidentes se enfoca primariamente a acciones de sanidad y selección de materias primas, menos que a una intensificación de los tratamientos térmicos (Gerber S.A.).

	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Frutas:											
Ciuelas			■	■							
manzanas			■	■							
cerezas			■	■							
uva			■	■	■	■					
aceitunas			■	■	■	■					
frutilla			■	■							
durazno			■	■	■						
pera			■	■	■						
ananá			■	■	■						
damasco			■	■	■						
sandía							■	■			
melón dulce									■	■	
Hortalizas:											
tomates					■	■					
pimientos							■	■			
remolachas							■	■			
espárragos							■	■	■		
espinacas							■	■	■		
acelgas							■	■	■		
chauchas							■	■	■		
alcauciles							■	■	■		
porotos								■	■	■	
choclos									■	■	■
hongos									■	■	■
zanahorias								■	■	■	
papa								■	■	■	
batata								■	■	■	
repollo							■	■	■		
arvejas								■	■	■	

Tabla 1.9 Valores de pH de diversos productos (Franco, 2010)

9.4. Frutas y verduras (Franco, 2010)

Al considerar el tratamiento térmico que necesitan las distintas frutas y hortalizas es necesario destacar la importancia que reviste el pH del alimento que se desea envasar y el tratamiento previo que haya recibido.

La Tabla 1.9 muestra el pH diversas frutas y hortalizas que se industrializan para su posterior comercialización, como conservas vegetales.

Atendiendo al grado de precaución y control del tratamiento térmico y/o tratamientos preliminares al envasado de los alimentos vegetales, se puede usar un elemento didáctico de comparación con un semáforo.

Al considerar, por ejemplo, el tratamiento térmico a presión atmosférica que necesitan las frutas en conserva que se ubican, en su mayoría, en la zona verde, es preciso tener en cuenta dos grupos de microorganismos capaces de formar esporas.

El primer grupo está constituido por los termófilos, que es un grupo de bacterias anaerobias y aerobias caracterizadas por multiplicarse únicamente con temperaturas altas (entre 35 y 65°C). Algunas bacterias producen esporos que son sumamente resistentes al calor y con elevadas temperaturas de almacenamiento, pueden provocar alteración del producto aunque no originan intoxicaciones alimentarias. Este grupo cobra un interés especial cuando las conservas son comercializadas en zonas tropicales y subtropicales. Los termófilos también pueden multiplicarse cuando las latas, sometidas a tratamiento térmico, no son enfriadas inmediatamente o se lo hace a temperaturas superiores a las recomendadas. Esto puede ocasionar la pérdida de la conserva por deformación del envase (debido al gas interior producido por acción biológica) y el agriado de la misma sin deformación.

El segundo grupo está constituido por bacterias mesófilas esporuladas que se multiplican generalmente con temperaturas entre 5° y 50°C. Es necesario destruir este tipo de microorganismos porque si se aplica un tratamiento

térmico insuficiente, en este caso también se obtendrá como resultado la pérdida de la conserva por abombamiento de causa biológica y agriado.

Dentro de este grupo de bacterias se encuentra el *Clostridium botulinum*, una mesófila esporulada cuyas esporas son muy resistentes al calor y soportan holgadamente los tratamientos normales de esterilización. Las esporas de *Clostridium botulinum*, para pasar a vida vegetativa y así producir la toxina botulínica, necesitan de tres condiciones indispensables y excluyentes: ausencia de aire, temperaturas entre 15°C a 50°C, y un pH superior a 4,5.

En el caso particular de las frutas en conserva, en su mayoría (con las excepciones adjuntadas en tabla 1.9) poseen un pH inferior a 4,5, lo que hace que la naturaleza potencialmente perjudicial de esta bacteria pierda importancia en este tipo de producto.

Los alimentos de acidez media que reciben un tratamiento de esterilización industrial poseen, en circunstancias normales de almacenamiento, las condiciones óptimas para que las esporas del *Clostridium botulinum* pasen a vida vegetativa y liberen su potente toxina.

Una forma de detener el desarrollo en conservas de pimientos, espárragos, maíz dulce, etc. es disminuir el pH de la conserva. Se agrega ácido al líquido de cobertura para que luego del fenómeno de estabilización de la conserva el producto terminado acuse un pH ligeramente inferior a 4,5. Esto permite dar tratamientos térmicos menos intensos porque, bajo esas condiciones, las esporas de *Clostridium botulinum* no germinarán, no se multiplicarán ni producirán la toxina, obteniendo a la vez una conserva con mejores características organolépticas.

Otra alternativa de tratamiento para los alimentos de acidez media es mantener el pH natural de la hortaliza y someterla a tratamientos más intensos, que sólo se logran mediante la aplicación de presiones superiores a la atmosférica, lo que implica disponer de recipientes de presión (autoclaves).

Para la valoración del proceso son necesarios ensayos sobre destrucción térmica a más de una temperatura. Según datos experimentales el tiempo de muerte térmica de las esporas de *Clostridium botulinum* a 121°C se toma como 2,52 minutos.

En los alimentos de acidez baja desaparece la posibilidad de bajar el pH natural de la hortaliza ya que dicha metodología provocaría cambios organolépticos que harían a la conserva poco aceptable, por lo que las conservas de productos cuyos pH son superiores a 5,3 tales como arvejas, maíz, aceitunas negras californianas, etc. necesitan recibir tratamientos térmicos intensos bajo presión.

La naturaleza potencialmente nociva de los errores derivados de un tratamiento térmico inferior al preciso, determina la importancia de que para evitar confusiones y errores, el enlatador trabaje con el menor número posible de procesos térmicos.

El control del proceso real de envasado de frutas y hortalizas puede ser considerado en dos fases. La primera se refiere a los factores relacionados con las operaciones previas al tratamiento térmico, tales como el control de la temperatura antes de que la conserva entre al baño maría o autoclave según el caso, el control del tiempo transcurrido desde el cierre del envase hasta la recepción del tratamiento calórico y el control de cierre de los envases. La segunda fase consiste en supervisar el buen funcionamiento de los esterilizadores y sus dispositivos de medición

CAPITULO II

INTRODUCCION

En la aplicación del proceso térmico de los alimentos se requiere de equipos en los cuales sea posible llevar a cabo el calentamiento y enfriamiento rápidos con la finalidad de evitar reacciones de oscurecimiento, pérdida de valor nutritivo por sobrecalentamiento y la formación de olores y sabores indeseables.

Como ya vimos en el capítulo I existen varios tipos de autoclaves, los hay con calefacción directa e indirecta, horizontales y verticales, estáticos y agitados para acelerar la velocidad de transmisión de calor y por lotes y continuos.

El diseño de los autoclaves permite trabajar con vapor a presión lográndose temperaturas superiores a 100°C, lo cual es indispensable para lograr la esterilización de los alimentos.

El objetivo de diseñar y construir un autoclave para la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de alimentos, es lograr que los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Alimentos puedan realizar prácticas de laboratorio que les permita profundizar en conocimientos acerca de tratamientos térmicos.

En este capítulo veremos detallado el diseño de un autoclave nivel de laboratorio experimental, mediante el uso de la teoría del diseño de recipientes a presión.

1. DISEÑO DE UN AUTOCLAVE NIVEL DE LABORATORIO

1.1. Bases de diseño.

El autoclave estará diseñado para ser utilizado en prácticas de laboratorio que las asignaturas de la carrera de Ingeniería de Alimentos y otras carreras así lo requieran.

Por ser un autoclave diseñado para prácticas de laboratorio su tamaño deberá ser de escala pequeña, por lo que la capacidad de producciones será para fines de aprendizaje del proceso de esterilización comercial, transferencia de calor en los alimentos y tecnología del procesamiento de alimentos entre otros conocimientos importantes para la formación del Ingeniero encargado de procesos de fabricación de alimentos.

Su diseño tendrá la capacidad de esterilizar un promedio de 15 a 70 latas con las dimensiones de 10 cm de altura y 6.5 de diámetro, pero esto podrá variar dependiendo de los grupos de estudiantes en los laboratorios.

El equipo debe contar con autogeneración de vapor ya que en el laboratorio no existe una caldera para la generación de vapor, para ello se utilizara gas propano del suministro de laboratorio; contara con un sistema de encendido seguro del gas, un manómetro para medición de presión, y termómetro para medición de temperatura.

El autoclave estará diseñado para que el mantenimiento que requiera sea el mínimo posible, por lo que se hará una elección minuciosa en los materiales de construcción, y los demás accesorios como el manómetro, termómetro, válvulas de seguridad entre otros. Es importante que el equipo tenga una vida útil larga, este será robusto y resistente a la corrosión.

Para el diseño del autoclave se requiere tener en cuenta la seguridad del usuario, se debe de tener presente que se trabajara con un equipo a presión y a altas temperaturas, por lo que se colocara aislamiento a las paredes para evitar quemaduras; además se colocara una sujeción de la tapa al casco o

cilindro principal, también se debe de asegurar una correcta soldadura de los componentes para evitar fugas.

Contará con un sistema de seguridad para evitar que la presión aumente y exista riesgo de explosión, este consistirá en válvula de seguridad o válvula de alivio de presión.

Debe de poder mantener la temperatura de esterilizado para lo cual se colocara un arreglo de termostato, que encenderá y apagará el suministro de calor.

Se requiere un suministro de agua de enfriamiento para los productos, por lo que se colocara una entrada de agua en el autoclave.

Si se desea procesar en envases de vidrio o envase flexible, es necesario durante el enfriamiento tener una contrapresión de aire para evitar la deformación o ruptura de los envases, por lo cual se colocara una entrada de aire a presión, mediante un compresor de aire.

Para evacuar el agua de enfriamiento y residuo del procesado es necesario una salida o desagüe hacia el drenaje.

Para remover el aire en el interior del autoclave al inicio del esterilizado, se colocara una válvula de remoción de aire (válvula de venteo), para lograr la esterilización correcta y estará ubicada en la parte superior del equipo.

Debido a que es un recipiente a presión la tapa y el fondo deben de ser de perfil cóncavo para resistir las presiones internas.

Se requiere de una canasta para el manejo de los productos a esterilizar. La altura del equipo debe de ser el apropiado para introducir con facilidad las canastas con los productos, y el fácil manejo del mismo.

1.2. Descripción del diseño del autoclave

1.2.1. Tamaño del envase

En el autoclave se podrá esterilizar productos en recipientes como latas, vidrio o plástico.

Tamaño de lata	Peso neto promedio por lata	Medida fluida por lata	Diámetro	Altura	Volumen promedio por lata
No. 10	6 lb a 7lb 5 onz	2.72 kg a 3.31 kg	6 3/16"	7"	2.84 L a 3.24 L
No. 3 Cyl	51 onz o 46 fl onz	1.44 kg o 1.36 L	4 1/4"	7"	1.36 L
No. 2 1/2	26 onz a 30 onz	737 g a 850 g	4 1/16"	4 11/16"	0.83 L
No. 2 Cyl	24 fl onz	709 mL	3 7/16"	5 3/4"	0.71 L
No. 2	20 onz o 18 fl onz	567 g o 532 mL	3 7/16"	4 9/16"	0.59 L
No. 2 vacío	12 onz	340 g	3 7/16"	3 3/8"	0.36 L
No. 1 Picnic	10 1/2 onz a 12 onz	297 g a 340 g	2 11/16"	4"	0.30 L
No. 300 (new)	14 onz a 16 onz	396 g a 453 g	3"	4 7/16"	0.41 L
No. 303 (old)	16 onz a 17 onz	453 g a 481 g	3 3/16"	4 3/8"	0.47 L
Nota: fl. Oz. significa onzas fluidas					

Tabla 2.1 Tamaños comunes de latas. Ref. Food Buyin Guide for Childrens Programs <http://teamnutrition.usda.gov/resources/foodbuyingguide.html>

Los cálculos se harán sobre la base del tamaño de lata No. 1 (Picnic) de medidas equivalentes a 10 c.m. de alto x 6.5 c.m. de diámetro como puede observarse en la Tabla 2.1, Figura 2.1 y Figura 2.2.

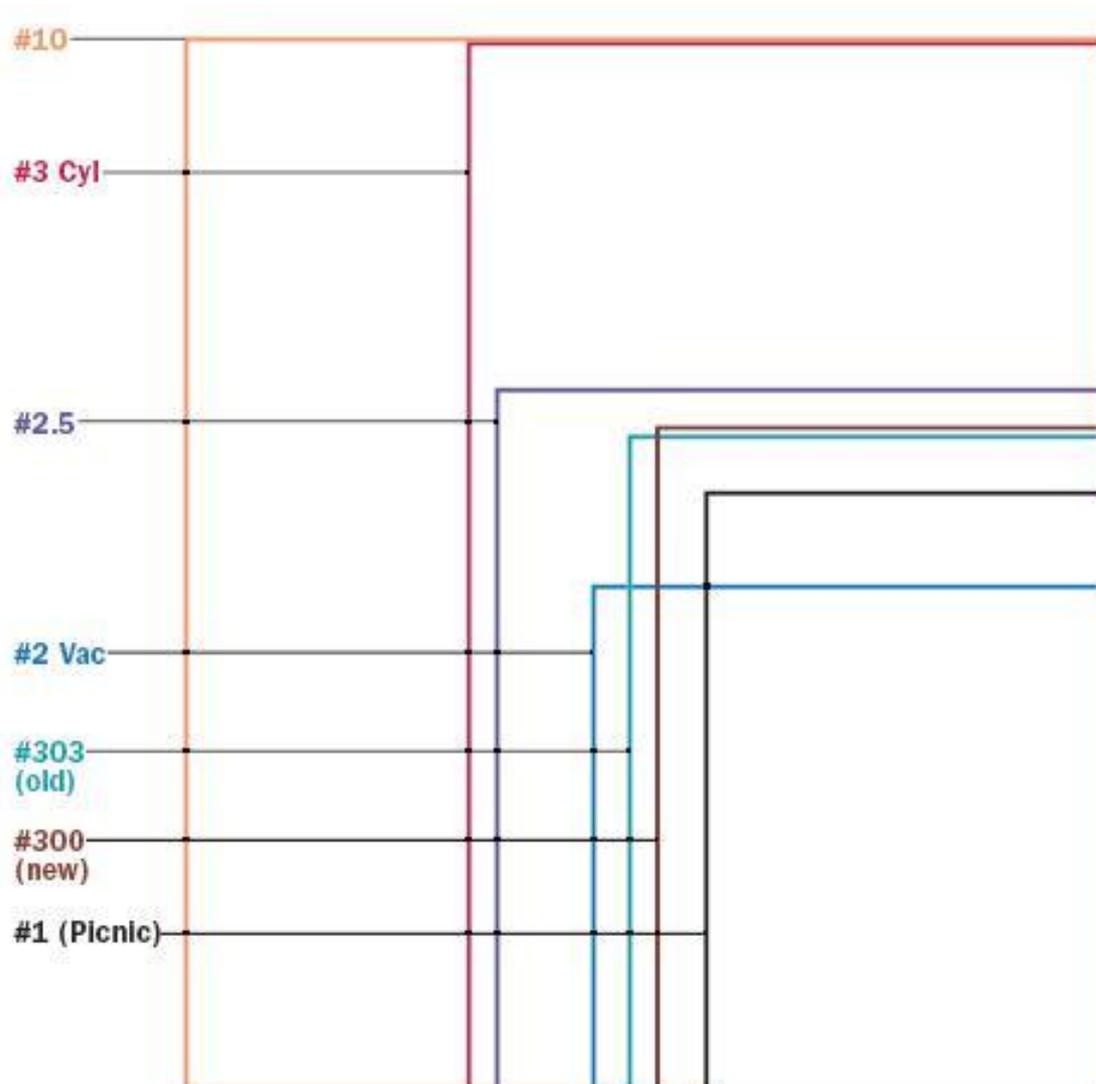


Figura 2.1 Comparación de las alturas de latas.
 Ref. Food Buyin Guide for Childrens Programs
<http://teammnutrition.usda.gov/resources/foodbuyingguide.html>

1.2.2. Tamaño de lote

El autoclave está diseñado para que sea ampliamente utilizado en prácticas de laboratorio como una medida elemental de esterilización de alimentos. Aunque cabe notar que, debido a que el proceso involucra vapor de agua a alta presión y temperatura, tiene ciertos riesgos, pese a esto es importante que el tamaño de lote no sobrepase la capacidad del recipiente.

Se ha estimado que el número de estudiantes tendrá un mínimo de 3 y un máximo de 15, si en cada practica surge la decisión de utilizar 5 latas por cada

estudiante los lotes variaran en cantidades de 15 a 70 latas por ciclo de esterilizado.

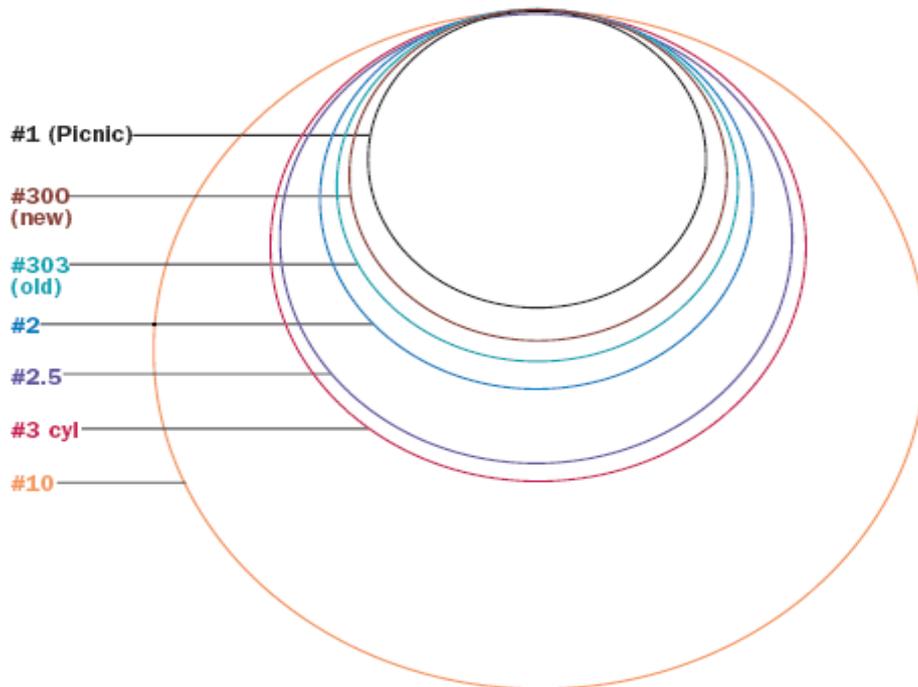


Figura 2.2 Comparación de diámetros de latas.
Ref. Food Buyin Guide for Childrens Programs
<http://teamnutrition.usda.gov/resources/foodbuyingguide.html>

2.0 DISEÑO DE AUTOCLAVES.

2.1. Recipiente a presión.

Se considera como un recipiente a presión cualquier vasija cerrada que sea capaz de almacenar un fluido a presión manométrica, ya sea presión interna o vacío, independientemente de su forma y dimensiones. Estos recipientes son calculados como cilindros de pared delgada.

2.2. Tipos de recipientes.

Los diferentes tipos de recipientes a presión que existen, se clasifican de la siguiente manera:



Figura 2.3 Tipos de recipientes a presión

2.2.1. Por su uso.

Por su uso los podemos dividir en recipientes de almacenamiento y en recipientes de proceso. Los primeros nos sirven únicamente para almacenar fluidos a presión, y de acuerdo con su servicio son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques de día, tanques acumuladores, etc. Los recipientes a presión de proceso tienen múltiples y muy variados usos, entre ellos podemos citar los cambiadores de calor, reactores, torres fraccionadoras, torres de destilación, etc.

2.2.2. Por su forma.

Por su forma, los recipientes a presión, pueden ser cilíndricos o esféricos. Los primeros pueden ser horizontales o verticales, y pueden tener, en algunos casos, chaquetas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según el caso. Los recipientes esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes a altas presiones. Puesto que la forma esférica es la forma “**natural**” que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna, ésta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión, sin embargo, la fabricación de este tipo de recipientes es mucho más cara en comparación con los recipientes cilíndricos.

2.3. Tipos de tapas de autoclaves

Para “cerrar” recipientes cilíndricos, existen varios tipos de tapas, entre otras tenemos las siguientes: Tapas planas, planas con ceja, únicamente abombadas, abombadas con ceja invertida, toriesféricas, semielípticas, semiesféricas, tapas 80-10, tapas cónicas, toricónicas, etc.

Las características principales y usos de estas tapas son:

2.3.1. Tapas planas

Se utilizan para “cerrar” recipientes sujetos a presión atmosférica generalmente, aunque en algunos casos se usan también en recipientes sujetos a presión. Su costo entre las tapas es el más bajo, se utilizan también como fondos de tanques de almacenamiento de grandes dimensiones.

2.3.2. Tapas planas con ceja

Al igual que la anterior, se utilizan generalmente para presiones atmosféricas, su costo también es relativamente bajo, y tienen un límite dimensional de 6 metros de diámetro máximo.

2.3.3. Tapas únicamente abombadas

Son empleadas en recipientes a presión manométrica relativamente baja, su costo puede considerarse bajo, sin embargo, si se usan para soportar presiones relativamente altas, será necesario analizar la concentración de esfuerzos generada al efectuar un cambio brusco de dirección.

2.3.4. Tapas abombadas con ceja invertida

Su uso es limitado debido a su difícil fabricación, por lo que su costo es alto, siendo empleadas solamente en casos especiales.

2.3.5. Tapas toriesféricas

Son las que mayor aceptación tienen en la industria, debido a su bajo costo y a que soportan altas presiones manométricas, su característica principal es que el radio de abombado es aproximadamente igual al diámetro. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 metros.

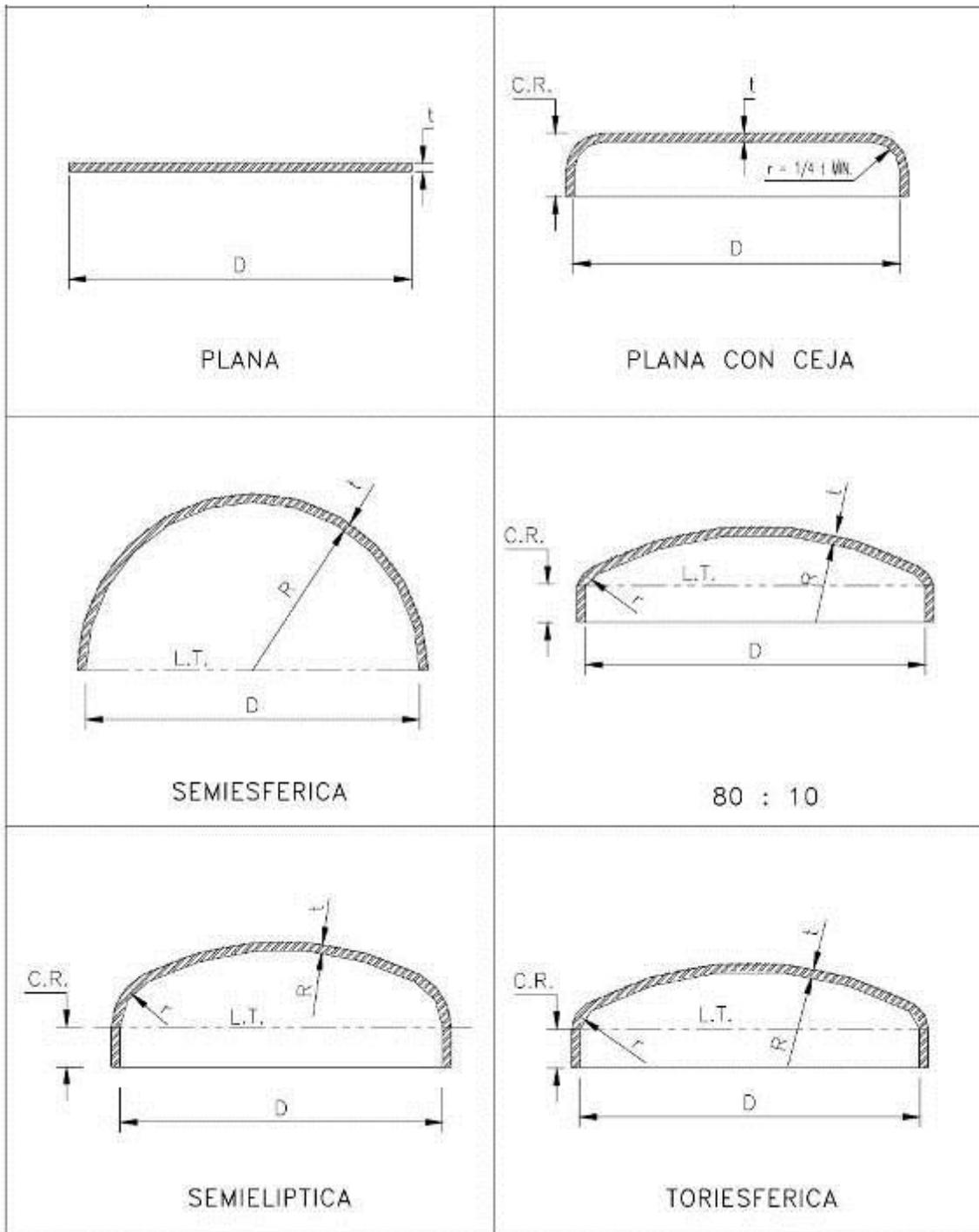


Figura 2.4 Tipo de tapas de autoclaves
Ref. Diseño de Recipientes a Presión

2.3.6. Tapas semielípticas

Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa toriesférica es relativamente alto, ya que las tapas semielípticas soportan mayores presiones

que las toriesféricas. El proceso de fabricación de estas tapas es el troquelado, su silueta describe una elipse relación 2:1, su costo es alto y se fabrican generalmente hasta un diámetro máximo de 3 metros.

2.3.7. Tapas semiesféricas

Utilizadas exclusivamente para soportar presiones críticas. Como su nombre lo indica, su silueta describe una media circunferencia perfecta, su costo es alto y no hay límite dimensional para su fabricación.

2.3.8. Tapas 80:10

El radio de abombado es el 80% del diámetro; y el radio de esquina o radio de nudillos es igual al 10% del diámetro. Estas tapas se usan como equivalentes a la semielíptica relación 2:1.

2.3.9. Tapas cónicas

Se utilizan generalmente en fondos donde pudiese haber acumulación de sólidos y como transiciones en cambios de diámetro de recipientes cilíndricos. Su uso es muy común en torres fraccionadoras o de destilación, no hay límite en cuanto a dimensiones para su fabricación y su única limitación consiste en que el ángulo del vértice no deberá ser mayor de 60° . Las tapas cónicas con ángulo mayor de 60° en el vértice, deberán ser calculadas como tapas planas. Deberá tenerse la precaución de reforzar las uniones cono-cilindro de acuerdo al procedimiento.

2.3.10. Tapas toricónicas

A diferencia de las tapas cónicas, este tipo de tapas tiene en su diámetro mayor un radio de transición que no deberá ser menor al 6% del diámetro mayor ó 3 veces el espesor. Tienen las mismas restricciones que la tapa cónica.

A continuación se muestran las ecuaciones usadas para calcular los espesores de las tapas toriesféricas.

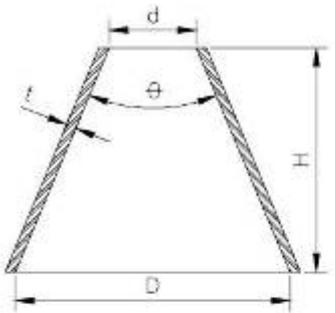
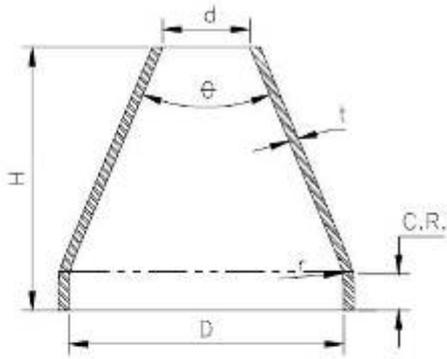
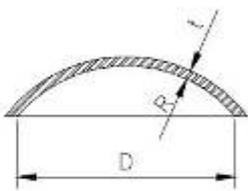
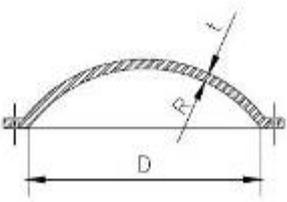
TIPOS DE TAPAS	
 <p>CONICA</p>	 <p>TORICONICA</p>
 <p>ABOMBADA CON CEJA INVERTIDA</p>	 <p>UNICAMENTE ABOMBADA</p>
 <p>ABOMBADA CON CEJA PLANA</p>	

Figura 2.5 Tipo de tapas de autoclaves continuación. Ref. Diseño de Recipientes a Presión

2.3.11. Tapas toriesféricas

$$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$$

Donde:

P = Presión de diseño, en lb/pulg.2 (KPa)

L = Radio de abombado en pulgadas. (mm.).

M = Factor adimensional que depende de la relación L/r.

r = Radio de esquina o radio de nudillos, en pulgadas. (mm.).

S = Esfuerzo máximo permisible del material de la tapa a tensión y a la temperatura de diseño, en lb/pulg.2 (Kpa).

t = Espesor mínimo requerido en la tapa, sin corrosión, en pulgadas.(mm).

E = Eficiencia de las soldaduras.

2.4. Presión de operación (Po)

Es identificada como la presión de trabajo y es la presión manométrica a la cual estará sometido un equipo en condiciones de operación normal.

2.5. Presión de diseño (P)

Es el valor que debe utilizarse en las ecuaciones para el cálculo de las partes constitutivas de los recipientes sometidos a presión, dicho valor será el siguiente:

Si $P_o > 300 \text{ lb/pulg}^2$.

Si $P_o \leq 300 \text{ lb/pulg}^2$

$P = 1.1 \cdot P_o$.

$P = P_o + 30 \text{ lb/pulg}^2$.

Donde P es la presión de diseño, y Po es la presión de operación.

Al determinar la presión de diseño (P), debe tomarse en consideración la presión hidrostática debida a la columna del fluido que estemos manejando, si éste es líquido sobre todo en recipientes cilíndricos verticales.

2.6. Presión de prueba (Pp)

Se entenderá por presión hidrostática de prueba y se cuantificará por medio de la siguiente ecuación:

$$P_p = P (1.5) S_{ta}/S_{td}$$

Donde:

P = Presión de diseño.

S_{ta} = Esfuerzo a la tensión del material a la temperatura ambiente.

S_{td} = Esfuerzo a la tensión del material a la temperatura de diseño.

2.7. Presión de trabajo máxima permisible

Es la presión máxima a la que se puede someter un recipiente, en condiciones de operación, suponiendo que él está:

- a) En condiciones después de haber sido corroído.
- b) Bajo los efectos de la temperatura de diseño.
- c) En la posición normal de operación.
- d) Bajo los efectos de otras cargas, tales como fuerza debida al viento, presión hidrostática, etc., cuyos efectos deben agregarse a las ocasionadas por la presión interna.

El término “Máxima presión de trabajo permisible nuevo y frío” es usado frecuentemente. Esto significa: La presión máxima permisible, cuando se encuentra en las siguientes condiciones:

- a) El recipiente no está corroído (nuevo)
- b) La temperatura no afecta a la resistencia a la tensión del material (temperatura ambiente) (frío)
- c) Tampoco se considera los efectos producidos por la acción del viento, presión hidrostática, etc.

El valor de la presión de trabajo máxima permisible, se obtiene despejando “p” de las ecuaciones que determinan los espesores del cuerpo y las tapas, y usando como “t” el espesor real del equipo y su valor será el que resulte menor.

2.8. Esfuerzo de diseño a la tensión (S)

Es el valor máximo al que puede someterse un material, que forma parte de un recipiente a presión, en condiciones normales de operación. Su valor es aproximadamente el 25% del esfuerzo último a la tensión del material en cuestión

2.9. Eficiencia de las soldaduras (E)

Se puede definir la eficiencia de las soldaduras, como el grado de confiabilidad que se puede tener de ellas. Sus valores están dados en el anexo en el cual se muestran los tipos de unión más comúnmente usados en la fabricación de recipientes a presión.

3.0 MATERIALES EN RECIPIENTES A PRESIÓN

En la etapa de diseño de recipientes a presión, la selección de los materiales de construcción es de relevante importancia, para lo cual, necesitamos definir una secuencia lógica en la selección de éstos. Cabe hacer la aclaración que éste es un tema muy amplio y complejo, por lo cual, será difícil llegar a dar recetas para la selección adecuada de los materiales a usar, en recipientes a presión.

3.1. Materiales más comunes

El Código A.S.M.E. indica la forma de suministro de los materiales más utilizados, la cual va implícita en su especificación.

3.1.1 Propiedades que deben tener y requisitos que deben llenar los materiales para satisfacer las condiciones de servicio.

3.1.1.1. Propiedades mecánicas.

Al considerar las propiedades mecánicas del material, es deseable que tenga buena resistencia a la tensión, alto punto de cedencia, por ciento de alargamiento alto y mínima reducción de área, con estas propiedades principalmente, se establecen los esfuerzos de diseño para el material en cuestión.

3.1.1.2 Propiedades físicas.

En este tipo de propiedades, se buscará que el material deseado tenga bajo coeficiente de dilatación térmica.

3.1.1.3. Propiedades químicas.

La principal propiedad química que debemos considerar en el material que utilizaremos en la fabricación de recipientes a presión, es su resistencia a la corrosión. Este factor es de muchísima importancia, ya que un material mal seleccionado nos causará múltiples problemas, las consecuencias que se derivan de ello son

I. Reposición del equipo corroído.

Un material que no sea resistente al ataque corrosivo, puede corroerse en poco tiempo de servicio.

II. Sobre diseño en las dimensiones.

Para materiales poco resistentes a la corrosión, es necesario dejar un excedente en los espesores, dejando margen para la corrosión, esto trae como consecuencia que los equipos resulten más pesados, encarecen el diseño y además de no ser siempre la mejor solución.

III. Mantenimiento preventivo.

Para proteger a los equipos del medio ambiente corrosivo es necesario usar pinturas protectoras.

IV. Paros debidos a la corrosión de los equipos.

Un recipiente a presión que ha sido atacado por la corrosión, necesariamente debe ser retirado de operación, lo cual implica pérdidas en la producción.

V. Contaminación o pérdida del producto.

Cuando en los componentes de los recipientes a presión se han llegado a producir perforaciones en las paredes metálicas, los productos de la corrosión contaminan el producto, lo cual en algunos casos es costosísimo.

VI. Daños a equipos adyacentes.

La destrucción de un recipiente a presión por corrosión, puede dañar los equipos con los que esté colaborando en el proceso.

VII. Consecuencias de tipo social.

La falla repentina de un recipiente a presión corroído, puede ocasionar desgracias personales, además de que los productos de la corrosión, pueden ser nocivos para la salud.

3.1.1.4. Soldabilidad.

Los materiales usados para fabricar recipientes a presión, deben tener buenas propiedades de soldabilidad, dado que la mayoría de sus componentes son de construcción soldada. Para el caso en que se tengan que soldar materiales diferentes entre sí, éstos deberán ser compatibles en lo que a soldabilidad se refiere. Un material, cuantos más elementos de aleación contenga, mayores precauciones deberán tomarse durante los procedimientos de soldadura, de tal manera que se conserven las características que proporcionan los elementos de aleación.

3.1.2. Evaluación de los materiales sugeridos.

En esta etapa, se toman en cuenta los aspectos relacionados con la vida útil de la planta donde se instalarán los recipientes o equipos que se estén diseñando y se fija la atención en los siguientes puntos:

3.1.2.1. Vida estimada de la planta.

Una planta se proyecta para un determinado tiempo de vida útil, generalmente 10 años, esto sirve de base para formarnos un criterio sobre la clase de posibles materiales que podemos utilizar.

3.1.2.2. Duración estimada del material.

Para esto, es necesario auxiliarnos de la literatura existente sobre el comportamiento de los materiales en situaciones similares, reportes de experiencias de las personas que han operado y conocen los problemas que se presentan en plantas donde se manejen productos idénticos para hacer buenas estimaciones.

3.1.2.3. Confiabilidad del material.

Es necesario tener en cuenta las consecuencias económicas de seguridad del personal y del equipo en caso de que se llegaran a presentar fallas inesperadas.

3.1.2.4. Disponibilidad y tiempo de entrega del material.

Es conveniente tener en cuenta la producción nacional de materiales para construcción de recipientes a presión, ya que existiría la posibilidad de utilizar los materiales de que se dispone sin tener grandes tiempos de entrega y a un costo menor que las importaciones.

3.1.2.5. Costo del material y de fabricación.

Por lo general, a un alto costo de material le corresponde un alto costo de fabricación.

3.1.2.6. Costo de mantenimiento e inspección.

Un material de propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión menor, requiere de mantenimientos e inspecciones frecuentes, lo cual implica tiempo fuera de servicio y mayores gastos por este concepto.

3.1.3. Selección del material

La decisión final sobre el material a utilizar será de acuerdo a lo siguiente:

Material más adecuado. Será aquel que cumpla con el mayor porcentaje de requisitos tales como:

3.1.3.1. Requisitos Técnicos.

Cumplir con el mayor número de requisitos técnicos es lo más importante para un material, ya que de éstos depende el funcionamiento correcto y seguro del equipo.

3.1.3.2. Requisitos Económicos.

Estos requisitos lo cumplen los materiales que impliquen los menores gastos como son los iniciales, de operación y de mantenimiento, sin que por este concepto se tenga que sacrificar el requisito técnico, que repetimos, es el más importante.

4.0 DISEÑO DEL AUTOCLAVE

Todo recipiente a presión está formado por la envolvente, dispositivos de sujeción o apoyo para el equipo, conexiones por las que entran y salen los fluidos, elementos en el interior y accesorios en el exterior del recipiente.

El cálculo mecánico de un recipiente consiste, básicamente, en la determinación de los espesores de las diferentes partes que lo forman, tomando como datos de partida: la forma del equipo, sus dimensiones, el material utilizado, las condiciones de presión y temperatura, las cargas debido al viento y sismos, el peso específico del fluido y la reglamentación y normas que debe cumplir el diseño del recipiente.

Para comenzar el cálculo se debe de disponer de los datos básicos de proyecto, tales como presión y temperatura de proyecto, tipo de material de construcción, margen o sobre-espesor para corrosión, normas entre otros.

4.1. Presión de trabajo:

Se refiere a la presión que se requiere en el proceso del que forma parte el recipiente, a la cual trabaja normalmente éste. Esta será la presión del vapor saturado a 121.1°C (temperatura de esterilizado, como se estudio en el capítulo I) y equivale a 205.562 kPa (29.8142 psig).

4.2. Presión de diseño:

Esta es la presión que se emplea para diseñar el recipiente. Se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes para una presión mayor que la de operación. Este requisito se satisface utilizando una presión de diseño de 30 psi o 10 % más que la presión de trabajo, la que sea mayor.

Para nuestro caso la presión de operación es 29.8142 psi y el 10% es 2.98 psi, por tanto la presión de diseño se tomará con un aumento de 30 psi. La operación de diseño será: $29.8142 + 30 = 59.8142$ psi.

Por lo tanto la presión de diseño se aproxima: PD=60 psi

4.3 Selección del material del casco cilíndrico

Los materiales utilizados comúnmente en la construcción de los recipientes son: aceros al carbono, acero de baja aleación, sobre todo de Cr, Cr-M o Ni, aceros inoxidables y en menor medida, otros materiales como el aluminio, plásticos reforzados, entre otros.

El material de construcción del cuerpo cilíndrico será acero inoxidable austenítico. Para la industria de alimentos se recomienda el empleo de aceros inoxidables tipo 304, 316, 347, Carpenter “20” y Hastelloy “B” y “C”. Siendo la mayoría de estos últimos de alto costo, por lo que se decidió que fuera el acero austenítico AISI 304, el cual es equivalente al ASTM A-240-340, por tener buenas características de soldabilidad, tenacidad, resistencia a la corrosión, además de que puede soportar el trabajo a la temperatura de diseño. A continuación se muestra una tabla con las propiedades físicas de este acero.

ASTM A-240-340		
Esfuerzo a la cedencia	25,000 lb/pulg ²	
Esfuerzo mínimo a la tensión	75,000 lb/pulg ²	
Esfuerzo máximo permisible en tensión (S)	A 200°F:15,600 lb/pulg ²	A 400°F:12,900 lb/pulg ²

Tabla 2.2 Propiedades mecánicas del acero
Ref. Tesis.uson.mx/digital/does/4053/Capitulo 4.pdf

Para poder conocer el esfuerzo permisible S, se obtienen a partir de la temperatura de diseño. A la presión de PD aproximada de 60 psi en un estado de equilibrio del vapor y el agua líquida, la temperatura de diseño será la de saturación a 60 psi. Mediante tablas de vapor en estado de saturación se obtiene que la temperatura de diseño será: Td = 292.43 °F (144.7°C).

Se utiliza entonces el esfuerzo máximo permisible de tensión a 300°F:

$$S = 14,250 \text{ lb/pulg}^2$$

4.3.1. Margen o sobre espesor de corrosión (c)

Cuando los fluidos son medianamente corrosivos, normalmente no se recurre a la solución de utilizar aceros inoxidables, puesto que su costo es superior a los aceros al carbón o bajo aleado, por lo que para compensar la corrosión que

van sufriendo los equipos se diseñan con un sobreespesor en su envolvente denominado de corrosión. El valor de este margen es habitualmente igual al máximo espesor corroído previsto durante diez años. Este valor, en la práctica, oscila de 1 a 6 mm y se incrementa a los espesores obtenidos para resistir las cargas a las que se encuentran sometidos los recipientes.

4.4. Eficiencia de soldadura (E)

La unión de chapas o láminas se realiza, normalmente, por medio de la soldadura, y ésta representa una discontinuidad dentro del trazado de chapa que puede producir una intensificación local de las tensiones a que se encuentra sometido el material. Esta razón junto con la posibilidad de producirse defectos en la realización de la soldadura y el calentamiento y rápido enfriamiento al que está sometida a zona próxima a la soldadura, dan pie a considerar la zona soldadura como debilitada. Teniendo en cuenta este hecho, en el cálculo de los recipientes se introduce una reducción en la tensión máxima admisible multiplicando a ésta por un coeficiente denominado eficiencia de la soldadura (E), cuyo valor varía según las normas o códigos, y de acuerdo a la soldadura y los controles efectuados sobre ella. Así para el código ASME VIII, Div. 1, el valor de la eficiencia es:

E = 0.85, si se realiza un radiografiado por puntos a las soldaduras.

E = 1, si el radiografiado de las soldaduras es total.

E = 0.7, si no es examinada.

El código AD-Merkblatt establece:

E = 0.8 para radiografiado por puntos

E = 1, para radiografiado total.

4.5. Diseño de casco cilíndrico

4.5.1. Espesor requerido de Diseño y Nominal

El espesor mínimo de la pared en esta definido bien por norma o código, o por requerimientos en transporte y operación. Como guía práctica se puede adoptar que el espesor en milímetros no sea menor que el mayor de:

$$e_{\min} \geq \frac{2.5 + De}{1000} + c$$

$$e_{\min} \geq 3 + c$$

Las normas son menos exigentes con los espesores mínimos en milímetros, siendo estos valores, para las más importantes normas, las siguientes:

ASME VIII, Div. 1 $e_{\min} = 2.5 + c$

AD-Merkblatt $e_{\min} = 2 + c$

En esta última norma alemana cuando $c = 0$, $e_{\min} = 3$ mm, salvo para los aceros inoxidables, en los que se admite el valor de $e_{\min} = 2$ mm.

La presión uniforme, interna o externa, induce en la costura longitudinal un esfuerzo unitario igual al doble del que obra en la costura circunferencial, por la geometría misma del cilindro.

La ecuación para determinar el espesor del casco cilíndrico, está expresada en función de las dimensiones interiores del mismo para la costura longitudinal ya que es la que rige generalmente.

$$e = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

Ref. Manual de recipientes a presión, capítulo I Esfuerzos sometidos a presión. Donde E es la eficiencia de la junta para este caso es de 0.7 debido a que no se revisaran las costuras, S esfuerzo máximo permisible en tensión del acero inoxidable 304, R radio en pulgadas y P la presión de diseño.

Por lo tanto la ecuación queda como sigue:

$$e = \frac{60\text{psi} * 9.843\text{plg}}{14,250\text{psi} * 0.70 - 0.6 * 60\text{psi}}$$

$$e = 0.05942\text{plg}$$

Esto equivale a una lámina de 1.5 mm de espesor. En el comercio será la lámina calibre 16.

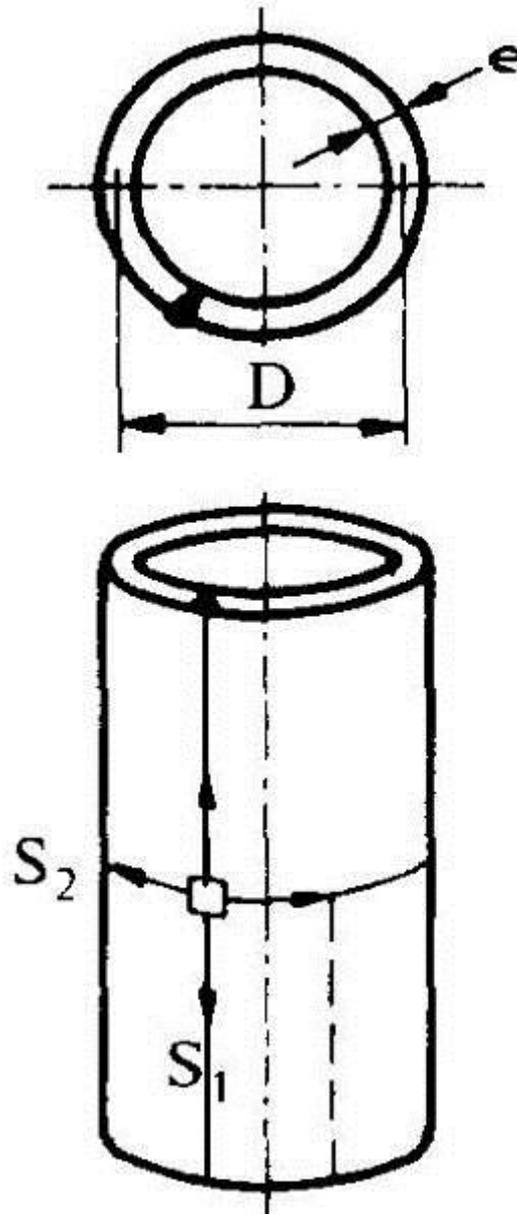


Figura 2.6 Esfuerzos y espesor del casco cilíndrico

4.6. Selección de tapas y material de construcción

En el diseño de recipientes a presión se tienen varios tipos de tapas, entendiéndose por estas al fondo y cúpula del recipiente; van desde las planas, torisféricas, elípticas, hemisféricas, modificadas, cónicas entre otras.

Su diferencia radica en el tipo de recipiente que se desee cubrir, la función del recipiente, las condiciones de operación y fluidos a contener.

En la Tabla 2.3 se muestran las posibles tapas a utilizarse, las ventajas, las limitantes y condiciones de fabricación de cada una de ellas para poder hacer una adecuada selección.

Se puede observar que las tapas torisféricas representan una buena opción para el cierre del autoclave, pues la presión de diseño del proceso (60 psi) se encuentra en el intervalo de presiones recomendadas para éstas, además de ser económicas.

En la Figura 2.7 se muestra un bosquejo de una tapa torisférica, en ella se indican los parámetros de diseño.

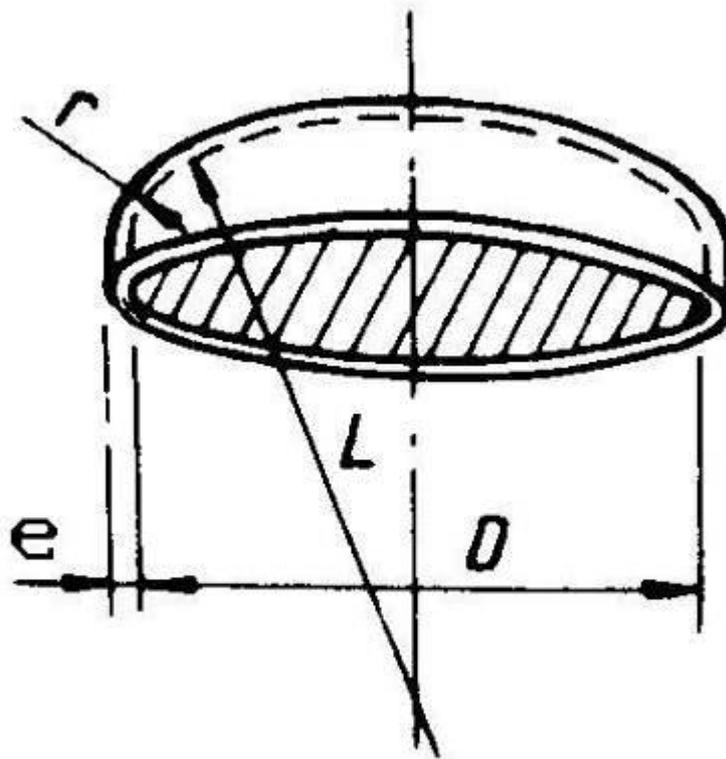


Figura 2.7 Tapa torisférica y parámetros de diseño

Donde:

r = Radio interior de las curvaturas en pulgadas

L = Radio interior del casquete en pulgadas

D = Diámetro interior, pulgadas

e = Espesor de pared, pulgadas

El material que se usará para la construcción de las tapas es el mismo que el del casco, ASTM A-240-304 por lo que el esfuerzo máximo permisible es el mismo: 14,250 psi.

La ecuación para conocer el espesor de diseño de la lámina de la tapa es la siguiente, cuando la relación L/r es menor 16.667:

$$e = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$$

Tapa	Intervalo de Presión	Dimensiones Recomendadas	Tipo de Recipientes	Usos	Observaciones
Plana	Muy bajas- 10 lb/plg ²	4-10 pie de diámetro	Horizontales atmosféricos	Almacenamiento de fluidos con densidad cercana a la del agua.	Para recipientes de diámetros mayores, no conviene su uso, aún a presiones menores de 1 lb/in ² , el espesor necesario resulta excesivo.
Abombada fuera de código	Muy bajas- 15 lb/plg ²	De gran diámetro	Atmosféricos	Almacenamiento	Están fuera de código, por lo que el diseñador y usuarios no tienen protección en procedimientos y revisiones.
Toriférica	15 - 200 lb/plg ²	$icr \geq 0.06d_c$ $icr > 3 e_1$ $r_s \leq d_c$	-----	Operación a presión interna	Económicas para ese intervalo de presiones. Se diseñan basándose en el espesor exterior del casco cilíndrico
Elíptica	150-600 lb/plg ²	Sin limitaciones	-----	Operaciones a presiones elevadas	No es económica
Hemisférica	400 lb/plg ² -adelante	Desde 12 plg - 94 plg de diámetro y espesores desde 3/8 plg - 3 1/2 plg	-----	Ideal para cierre de recipientes cilíndricos a presión	Alto costo de fabricación, pero menor que las elípticas

Tabla 2.3 Descripción de los tipos de tapas
Ref. Diseño de recipientes a presión

Resolviendo la ecuación para los presión de diseño de 60 psi, eficiencia de la soldadura de 0.7 por no ser inspeccionada y el radio interior del casquete de 16.667 plg (42.33 cm) y por lo con r igual a 1.2 plg (3.05 cm).

VALORES DEL FACTOR "M"																	
L/r	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
M	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.18	1.20	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36	1.39
L/r	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16.5	*
M	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77	

* LA MAXIMA RAZON PERMITIDA ES: L = D + 2r

Tabla 2.4 Factor M para cálculo de espesor de tapa torisférica
Ref. Diseño de recipientes a presión

Relación $L/r = 16.667\text{plg}/1.2\text{plg} \approx 14$, de la tabla $M = 1.69$.

$$e = 0.058 \text{ plg (1.49 mm)}$$

Ahora se comprueba que los valores obtenidos cumplan con las limitaciones para la tapa torisférica:

1. $r \geq 0.06 D$: donde $r=1.2\text{plg}$ y $D=19.69\text{plg}$, por lo tanto $1.2 \geq 1.18$
2. $r > 3e$, donde $e=0.058 \text{ plg}$, por lo tanto $1.2 > 0.174$
3. $L \leq D$, por lo tanto $16.667 \leq 19.685$

Podemos ver que cumple las tres condiciones para la tapa torisférica.

4.6.1. Diámetro Plano de Tapas

Siendo el espesor definitivo de la tapa menor a 1 plg, para determinar el diámetro plano se utiliza:

$$D_p = 1.0416D + 2(sf + r/3)$$

Con sf = longitud de ceja recta. Y para $sf=1 \text{ plg}$.

Sustituyendo en la ecuación:

$$D_p = 1.0416 * 19.685 \text{ plg} + 2(1 \text{ plg} + 1.2 \text{ plg}/3)$$

$$D_p = 23.3 \text{ plg} = 0.59182 \text{ m}$$

4.7. Calor disperso en el casco

El presente balance es para calcular las pérdidas de calor que se dan en el autoclave, para realizar dicho análisis se hace una analogía con el balance en una tubería ya que su comportamiento es similar. La temperatura de interfase entre el casco y el aislante es aproximadamente igual a la temperatura que hay en el interior del autoclave ya que la resistencia térmica a través de la pared del casco tiende a ser pequeña. Para visualizar el fenómeno del flujo de calor se hace una analogía con el fenómeno eléctrico y las resistencias al flujo.

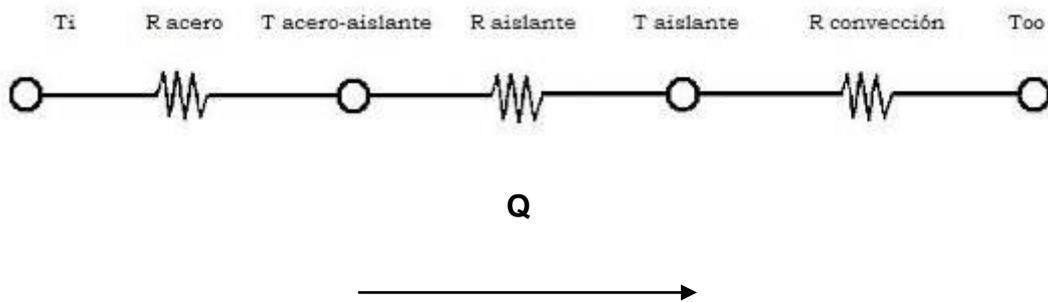


Figura 2.8 Flujo de calor disperso en el casco cilíndrico

Debido a que la resistencia térmica a través de la pared del casco es pequeña, se supondrá que la temperatura de interfase entre el tanque y el aislante $T_{\text{acero-aislante}}$, es la misma que la temperatura interior del autoclave.

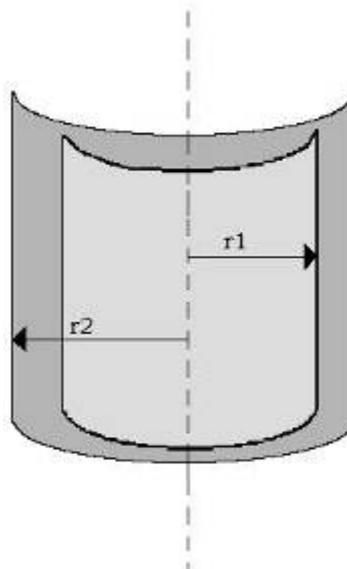


Figura 2.9 Radio interior y exterior del casco cilíndrico

Para determinar el calor disperso (Q_{disperso}) se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{disperso}} = \frac{\Delta T_{\text{sobre el total}}}{\sum R_i}$$

o bien,

$$Q_{\text{disperso}} = \frac{T_i - T_{\infty}}{R_{\text{acero}} + R_{\text{aislante}} + R_{\text{convección}}}$$

y sabemos que las resistencias de conducción y convección se expresan de la siguiente forma:

$$R_{\text{conducción}} = \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)}{2\pi k L}$$

$$R_{\text{convección}} = \frac{1}{2\pi r_{\text{ext}} L h}$$

Ignorando la resistencia del acero (R_{acero}) por ser muy pequeña, la ecuación del calor disperso es:

$$Q_{\text{disperso}} = \frac{T_i - T_{\infty}}{R_{\text{aislante}} + R_{\text{convección}}}$$

Para calcular la resistencia de convección se debe de conocer el coeficiente de transferencia de calor por convección el cual se calculará para un recipiente cilíndrico vertical suponiendo condiciones de turbulencia (J. Holman, Transferencia de calor):

$$h = 0.95(\Delta T)^{1/3} \quad [\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

Calculando la resistencia por conducción:

$$L = 34 \text{ cm} = 1.1150 \text{ pie}$$

$$r_{\text{int}} = 25 \text{ cm} = 9.84 \text{ pulg}$$

$$r_{\text{ext}} = 28 \text{ cm} = 11.02 \text{ pulg}$$

Conductividad térmica lana mineral de 19.7 Lb/pie³:

$$k = 0.024 \text{ Btu}/(\text{h pie}^2)(^\circ\text{F}/\text{pie})$$

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{11.02 \text{ pulg}}{9.84 \text{ pulg}}\right)}{2\pi \times 0.024 \frac{\text{Btu}}{h \cdot \text{pie} \cdot ^\circ F} \times 1.1150 \text{ pie}}$$

$$R_{cond} = 0.673106996 \frac{h \cdot ^\circ F}{\text{Btu}} = 1.275949109 \frac{^\circ C}{W}$$

Calculo de la resistencia por convección:

$$T_i = 121 \text{ } ^\circ C$$

$$T_\infty = 30 \text{ } ^\circ C$$

$$\Delta T = T_i - T_\infty = 121^\circ C - 30^\circ C = 91^\circ C$$

$$L = 34 \text{ cm} = 1.1150 \text{ pie}$$

$$r_{ext} = 28 \text{ cm} = 11.02 \text{ pulg}$$

$$h = 0.95(91^\circ C)^{1/3}$$

$$h = 4.273 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{2\pi \times 0.28m \times 0.34m \times 4.273 \frac{W}{^\circ C m^2}}$$

$$R_{conv} = 0.391246342 \frac{^\circ C}{W}$$

Ahora se procede a calcular el calor disperso por el casco cilíndrico con aislamiento:

$$Q_{disp} = \frac{91^\circ C}{1.275949109 \frac{^\circ C}{W} + 0.391246342 \frac{^\circ C}{W}}$$

$$Q_{disp} = 54.5827W$$

El calor disperso en el casco cilíndrico sin aislamiento:

$$R_{conv} = \frac{1}{2\pi \times 0.28m \times 0.5m \times 4.273 \frac{W}{^\circ C m^2}} = 0.266047512 \frac{^\circ C}{W}$$

Para el proceso a 121°C sin aislamiento:

$$Q_{disp} = \frac{91^{\circ}C}{0.266047512 \frac{^{\circ}C}{W}} = 342.04W$$

Se tomará el calor disperso en las tapas como el 60% del calor disperso sin aislamiento:

$$Q_{dispTapas} = 0.6 \times 342.04W = 205.2265W$$

La energía dispersa total a 121°C durante 20 min de proceso será la sumatoria de la energía dispersa en el casco mas la dispersa en las tapas:

$$Q_{total} = Q_{disp} + Q_{dispTapas} = 54.582W + 205.227W = 259.81W$$

$$\text{Energía} = 259.81 \text{ J/s} \times 1,200 \text{ s} = 311,772 \text{ J}$$

5.0 Calculo de Quemador.

Como se hablo ya en los cálculos anteriores, para efectos de conveniencia la lata a utilizar es la lata No. 1 picnic con las siguientes dimensiones:

Volumen: 0.3 lt.

Diámetro= $2 \frac{11}{16}$ " = 2.6875" = 6.83cm

Altura=10.16 cm

El tiempo del proceso de esterilización necesario para eliminar *Clostridium botulinum*, será aproximadamente de 1 hora y 20 minutos y el calor necesario para calentar el producto a esterilizar desde 30° C hasta 121° C en 60 minutos será calculado con la siguiente ecuación:

$$Q = mCp\Delta t$$

Utilizando el repollo encurtido como alimento a esterilizar debido a que este alimento tiene un valor de Cp alto y tomando en cuenta que si el autoclave es capaz de esterilizar un alimento con capacidad calorífica alta, también podrá esterilizar alimentos con menor capacidad calorífica,

La composición del repollo encurtido es: 85% de repollo y 15% de vinagre. Con estos datos se calculará el Cp del producto y la densidad de este.

$C_{p_{\text{repollo}}} = 3.94 \text{ KJ/Kg}$ Valor obtenido de la tabla 4.3.3. del Manual de datos para Ingeniero de Alimentos.

$$C_{p_{\text{vinagre}}} = 4.18 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\rho_{\text{repollo}} = 1,032.76 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{vinagre}} = 1,005.6 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{producto}} = (0.85)(1,032.76 \text{ kg/m}^3) + (0.15)(1,005.6 \text{ kg/m}^3)$$

$$\rho_{\text{producto}} = (877.85 + 150.84) \text{ kg/m}^3 = 1,028.69 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{p_{\text{producto}}} = X_{\text{repollo}} C_{p_{\text{repollo}}} + X_{\text{vinagre}} C_{p_{\text{vinagre}}}$$

$$C_{p_{\text{producto}}} = (0.85)(3.94 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}) + (0.15)(4.18 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}) = 3.976 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$$

El autoclave tendrá la capacidad para procesar 72 latas No.1 (Picnic) por lo tanto la masa del lote a esterilizar será de:

$$\begin{aligned} \text{Calculando el volumen total} &= 72 \text{ latas} \times 0.3 \text{ lt} \\ &= 21.6 \text{ lt} \end{aligned}$$

$$m_{\text{producto}} = \rho v$$

$$m_{\text{producto}} = (1,028.69 \text{ kg/m}^3)(0.0216 \text{ m}^3) = 22.22 \text{ kg} = 48.88 \text{ lb}$$

El proceso de esterilización va desde los 30°C hasta 121°C en 60 minutos, por lo tanto el ΔT es:

$$\Delta T = 121^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 91^\circ\text{C}$$

Entonces Q es igual a:

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$Q = (22.22 \text{ kg})(3.976 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C})(91^\circ\text{C}) = 8039.552 \text{ KJ}$$

Asumiendo una eficiencia del esterilizador de 60%, el calor necesario para el proceso será de:

$$Q_r = \frac{Q}{0.60} = \frac{8,039.552KJ}{0.60} = 13,399.253KJ$$

$$P = \frac{13,399,252.53J}{3,600s} = 3,722.02W = 12,700.45BTU/h$$

5.1. Calculo de la cantidad de gas para este proceso:

En este caso el poder calorífico del gas propano a utilizar en este proceso será el poder calorífico inferior, este dato es: 11.082Kcal/kg

Convertido en unidades equivalentes: Poder calorífico propano= 46367.1 KJ/Kg

Por lo tanto la masa necesaria de gas propano para el proceso de 30°C a 121°C y las perdidas de calor es:

$$m_{\text{gas propano}} = \frac{13,399.253KJ + 3.12KJ}{46,367.1KJ/Kg} = 0.289Kg \text{ de gas propano}$$

6.0. Pruebas en recipientes a presión

Durante la fabricación de cualquier recipiente a presión, se efectúan diferentes pruebas para llevar a cabo un control de calidad aceptable, estas pruebas son, entre otras, Radiografiado, Pruebas de partículas magnéticas, Ultrasonido, Pruebas con líquidos penetrantes, etc.

6.1. Prueba Hidrostática

Consiste en someter el recipiente a presión una vez terminado a una presión 1.5 veces la presión de diseño y conservar esta presión durante un tiempo suficiente para verificar que no haya fugas en ningún cordón de soldadura, como su nombre lo indica, esta prueba se lleva a cabo con líquido, el cual generalmente es agua.

Cuando se lleva a cabo una prueba hidrostática en un recipiente a presión, es recomendable tomar las siguientes precauciones:

1.- Por ningún motivo debe excederse la presión de prueba señalada en la placa de nombre.

- 2.- En recipientes a presión usados, con corrosión en cualquiera de sus componentes, deberá reducirse la presión de prueba proporcionalmente.
- 3.- Siempre que sea posible, evítese hacer pruebas neumáticas, ya que además de ser peligrosas, tienden a dañar los equipos.

6.2. Pruebas Neumáticas

Las diferencias básicas entre este tipo de pruebas y la prueba hidrostática, consisten en el valor de la presión de prueba y el fluido a usar en la misma, la presión neumática de prueba es alcanzada mediante la inyección de gases.

Como ya dijimos anteriormente, no es recomendable efectuar pruebas neumáticas, sin embargo, cuando se haga indispensable la práctica de este tipo de prueba, se deberán tomar las siguientes precauciones:

- 1.- Las pruebas neumáticas deben sobrepasar con muy poco la presión de operación, el Código A.S.M.E., recomienda que la presión de prueba neumática sea como máximo 1.25 veces la máxima presión de trabajo permisible y definitivamente deben evitarse en recipientes a presión usados.
- 2.- En las pruebas neumáticas con gases diferentes al aire, deben usarse gases no corrosivos, no tóxicos, incombustibles y fáciles de identificar cuando escapen. El Freón es un gas recomendable para efectuar las pruebas neumáticas.
- 3.- La mayoría de los gases para pruebas neumáticas, se encuentran en recipientes a muy alta presión, por lo tanto, es indispensable que se extremen las precauciones al transvasarlos al recipiente a probar, pues puede ocurrir un incremento excesivo en la presión de prueba sumamente peligroso.

6.3. Prueba de elasticidad

Esta prueba cuando se efectúa, se lleva a cabo de manera simultánea con la prueba hidrostática, su objetivo es verificar al comportamiento elástico del material de fabricación del recipiente y el procedimiento para llevarla a cabo se describe a continuación.

- 1.- Primeramente, se llena el recipiente a probar con agua hasta que por el punto más alto del recipiente escape el agua una vez que se haya abierto el venteo.

2.- Cerramos la válvula de venteo y comenzamos a inyectar agua a fin de elevar la presión, el agua que introduzcamos para este fin, la tomaremos de una bureta graduada para cuantificar de manera exacta el agua que inyectamos para levantar la presión hasta alcanzar el valor de la presión de prueba.

3.- Se mantendrá la presión de prueba durante el tiempo suficiente para verificar que no haya fugas y posteriormente, se baja la presión hasta tener nuevamente la presión atmosférica en el recipiente. Es sumamente importante recoger el agua sacada para bajar la presión, ya que compararemos este volumen con el inyectado para aumentar la presión y esta comparación nos indicará si las deformaciones sufridas por el recipiente mientras se sometió a la prueba hidrostática, rebasaron el límite elástico.

7.0 COSTEO DE MATERIALES Y MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
Lámina de acero inoxidable 304 4mm	u	1	\$ 241.00	\$ 241.00
Juego de válvulas de nivel de 1/2"	u	1	\$ 48.60	\$ 48.60
Válvula de alivio	u	1	\$ 4.06	\$ 4.06
Válvula globo de 1/2" bronce	u	2	\$ 36.00	\$ 72.00
Termómetro OMEGA de 0-140°C caratula de 5"	u	1	\$ 48.00	\$ 48.00
Manómetro de 0-6 bar carátula de 4"	u	1	\$ 20.00	\$ 20.00
Patas regulables de 80 mm	u	3	\$ 49.65	\$ 148.95
Platina de acero inoxidable 2 1/2"x1/2"x5.94m	u	1	\$ 310.00	\$ 310.00
Varilla de 1/2" cuadrada de acero inoxidable x 6 m	u	1	\$ 60.00	\$ 60.00
Pedacera de inoxidable	global	1	\$ 3.20	\$ 3.20
Accesorios roscados de acero inoxidable varias	global	1	\$ 48.74	\$ 48.74
Platina de acero inoxidable 2 x 1/4"x 2m	pza	1	\$ 30.00	\$ 30.00
Cocina a gas propano 1 hornilla	u	1	\$ 33.20	\$ 33.20
Termostato para freidor	u	1	\$ 85.00	\$ 85.00
Válvula solenoide GLP 1/2 psi	u	1	\$ 90.00	\$ 90.00
Piloto con electrodo 250°C	u	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Válvula de seguridad para marmita 1/2"x1/2"	u	1	\$ 47.46	\$ 47.46
Lata de discos de corte	u	1	\$ 14.46	\$ 14.46
Preparación de piezas para autoclave en taller	global	1	\$ 452.00	\$ 452.00
				\$ -
Soldadura de autoclave*	global	1	\$ 1,130.00	\$1,130.00
Total de costos				\$2,986.67
*costo de soldadura en el mercado				

7.1. Accesorios del autoclave

Los accesorios en autoclaves son todos los elementos útiles y necesarios para permitir y/o controlar el buen funcionamiento del equipo generador de vapor. Cada uno de los accesorios tiene una función específica que cumplir cuando el equipo este quipo está en servicio. El operador del autoclave debe conocer cada accesorio, la función que cumple y/o que indica cada uno de ellos.

Para este autoclave en particular se utilizaran los siguientes accesorios:

- ✓ 1 manómetro rango 0-100 psi que servirá para tener oportunidad de medir el proceso y las pruebas hidrostáticas.
- ✓ 1 termómetro de reloj o de dial.
- ✓ 1 visor de nivel de tubo rojo para alta presión
- ✓ 1 válvula de venteo para caldera.

CAPITULO III

INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe el proceso a través del cual se llevó a cabo la construcción de un autoclave diseñado para prácticas de laboratorio, además se hace mención de los materiales, accesorios y métodos de fabricación utilizados en cada etapa.

Se muestran imágenes de las diferentes etapas y a través de ellas se puede observar los avances y finalización de la construcción, cabe mencionar también la importancia de utilizar el método de soldadura TIG (Tungsten Inert Gas o Soldadura de Tungsteno y Gas Inerte) ya que por ser un autoclave de acero inoxidable se requiere de esta técnica y personal capacitado.

Entre los métodos de construcción que se utilizaron esta: corte de láminas y pletinas, forjado de los fondos, rolado de la lámina, pletinas y varillas, armado mediante punteo con soldadura TIG y la soldadura de todo el equipo.

Como último se procedió a colocar los accesorios con teflón y silicón para evitar fugas de vapor.

1.0. CONSTRUCCIÓN DE AUTOCLAVE

1.1 Descripción del proceso de construcción del autoclave.

1.1.1. Compra de materiales

Se compraron los materiales según las dimensiones del equipo y los espesores de las láminas para el casco cilíndrico y las tapas que se estipularon en la etapa de diseño.

La lámina que se compro es de acero inoxidable AISI 304^a de espesor de 4 mm, con dimensiones de 4 x 8 pies; el acabado es de 2B este se logra con el material laminado en frío, recocido y decapado, luego con un laminado final utilizando rodillos muy pulidos que proporciona una superficie lisa, reflectante y grisácea.

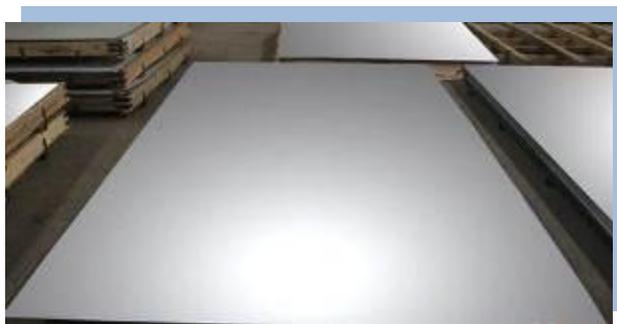


Figura. 3.1 Lámina acero inoxidable AISI 304 acabado 2B

Se compro también una varilla de $\frac{1}{2}$ " de sección cuadrada AISI 304 para el sello del casco cilíndrico con la tapa, para este mismo objeto se compro una platina de 2" por $\frac{1}{4}$ " en AISI 304, para soldarla de canto por la bajo de la tapa. Además para la formación de las bridas de la tapa y el casco cilíndrico se compro una pletina de acero inoxidable de $2\frac{1}{2}$ " x $\frac{1}{2}$ " de espesor en AISI 304.

Para las patas se compraron en una chatarrera pedazos de tubo cuadrado de 2" con las tuercas soldadas.

^a Los grados más utilizados, referidos generalmente como grados austeníticos estándares, son 1.4301 (comúnmente conocido como 304 en denominación AISI) y 1.4401 (AISI 316). Estos aceros inoxidables contienen entre un 17-18% de cromo y un 8-11% de níquel.



Figura. 3.2. Pedazos de tubo cuadrado de 2" para las patas

También se compraron camisas roscadas de acero inoxidable, codos y niples para colocar los accesorios al autoclave. Entre los accesorios está un juego de válvulas de nivel de $\frac{1}{2}$ " en bronce con tubo cinta roja, una válvula de alivio de bronce de $\frac{1}{4}$ ", dos válvulas de globo de $\frac{1}{2}$ " de bronce, un termómetro marca OMEGA de 0-140°C carátula de 5", un manómetro de 0-6 bar carátula de 4" y una válvula de seguridad marca Conbraco de $\frac{1}{2}$ " calibrada a 50 psi para vapor.

1.1.2. Corte de lámina y pletinas

Para formar las tapas y el casco cilíndrico se hacen los trazos en la lámina de 4 mm, y se llevan a cortar en una prensa de corte o cisalla^b.

Los cortes en las platinas también fueron realizadas en la cisalla.

^b Una cisalla o prensa de corte a escuadra corta hojas anchas con una cuchilla larga en su ariete o corredera. Esta cuchilla superior está inclinada en un ángulo para hacer un corte gradual a través de una hoja de metal contra una cuchilla inferior en la mesa. Una placa con dedos que presionan hacia abajo a lo largo de las cuchillas oprime el trabajo conforme se corta.



Figura 3.3. Prensa de corte o cisalla

1.1.3. Tumbado de fondos

El tumbado de los fondos (tapa y fondo del cilindro) se formaron mediante una prensa hidráulica siguiendo una patrón que se dibuja sobre la lámina cortada en disco.



Figura 3.4. Trazos en la lámina y forjado de fondos

1.1.4. Rolado^c de cilindro y enrollado de bridas y anillos

Para enrollar la lámina se utiliza una máquina roladora asimétrica, Su concepto se basa en tres rodillos: un solo rodillo superior y dos laterales inferiores. Es la más popular de las roladoras y representa la gran mayoría de las existentes. Su

^c El rolado de lámina, como lo indica su nombre, es un procedimiento para curvar o enrollar la lámina metálica simplemente mediante fuerza mecánica o hidráulica, hasta lograr el radio requerido o un tubo, sin necesidad de someter a elevación de temperaturas el material.

geometría permite un trabajo sin amarre específico de la lámina. El rodillo superior por encima de la lámina y los dos laterales por debajo, la presionan entre sí, lo que genera una fuerte sujeción y una curva; al girar el rodillo superior, éste obliga el desplazamiento de la lámina. En las diferentes “pasadas”, paulatinamente, se incrementa la presión de los laterales, lo cual logra cerrar el radio hasta conseguir el buscado.

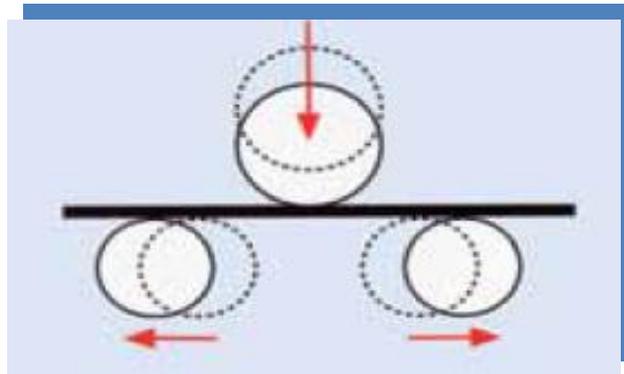


Figura. 3.5. Posición triangular de la roladora de tres rodillos

Ya es costumbre buscar diversas soluciones al radio del pre-curvado o curvado de los bordes: en algunas ocasiones es cortado, otras es pre-curvado en una máquina plegadora, otras es tolerado en la pieza a realizar; en nuestro caso este se realiza con un mazo golpeando la lámina para llegar al ángulo. El rolado de los anillos y las bridas se realiza con una máquina para el rolado de perfiles, estas son máquinas de curvado universal con 3 rodillos, doble pinzado inicial con sistema de ajustado hidráulico independiente para los 2 rodillos inferiores y motorización independiente para los 3 rodillos.

Estas unidades versátiles son ideales para curvar secciones tanto estándar como especiales, tubo, tuberías de todo tipo, pletinas, barras, varillas entre otros. En acero dulce inoxidable estructural, aluminio, bronce, cobre así como en otros materiales.



Figura.3.6. A. Ingreso de la lámina a la roladora. B y C. Pre-curvado. D. Primera pasada. E y F. Segunda pasada.

Para la tapa se roló una lámina de 4mm, una pletina de 2" por $\frac{1}{4}$ " rodada por el lado de 2" y una pletina de 2 $\frac{1}{2}$ " por $\frac{1}{2}$ " rodada por el lado de $\frac{1}{2}$ " como se ve en la figura de abajo. Para la parte superior del cilindro se roló otra pletina de 2 $\frac{1}{2}$ " por

½” y dos tramos de varilla cuadrada de ½”, para formar el sello entre la tapa y el cuerpo del autoclave.



Figura. 3.7. Roladora de perfiles

1.1.5. Armado del casco cilíndrico y las tapas

Una vez formadas las partes del autoclave, fondos, casco cilíndrico, bridas, varillas cuadradas y pletina de canto para el sello, se procede al armado del autoclave, este se realiza mediante la soldadura TIG por puntos, la cual consiste en fundir material de aporte entre dos piezas para que se unan, esto se realiza en diferentes puntos hasta que estén unidas todas las partes que conforman el autoclave. Las juntas no soportadas con sostenes, se deberán puntear para mantener una alineación y espaciado uniforme. Las puntadas se deberán hacer en secuencia para minimizar el efecto de contracción. Los puntos de soldadura en el acero inoxidable deberán estar considerablemente más juntos que lo que sería necesario para el acero al carbono, dado que una expansión térmica más grande del acero inoxidable causa mayor distorsión. Una guía aproximada es usar la mitad de la distancia que se usa en el acero al carbono, cuando la distorsión sea un factor importante. La longitud de las puntadas de soldadura debe ser tan corta como 3 mm, o un pequeño punto de soldadura para materiales finos, y hasta 25

mm de longitud para placas gruesas. Lo que es más importante, es que las puntadas no causen defectos en la soldadura final. Las puntadas gruesas o muy altas deberán ser esmeriladas. El tamaño de las puntadas se controla más fácil con el proceso TIG, siendo una buena elección para realizar puntadas de soldadura. Aquellas que se incorporen a la soldadura final deberán ser limpiadas con cepillo o esmeriladas. Se deberán inspeccionar para comprobar que no tengan rajaduras, o eliminarlas por esmerilado.

1.1.6. Soldadura del autoclave

La soldadura del autoclave se realizó mediante el proceso TIG. El proceso TIG (Tungsten Inert Gas) se usa ampliamente y es muy adecuado para soldar acero inoxidable. Un gas inerte (normalmente argón) se usa para proteger del aire al metal fundido de la soldadura. Si se necesita, se agrega metal de aporte en forma de alambre dentro del arco, bien manual o automáticamente.

Mediante el proceso TIG se puede soldar materiales tan finos como algunas centésimas hasta espesores grandes, pero normalmente se usa hasta 1/4" (6.4 mm). Se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, aleado a veces con torio o zirconio en porcentajes no superiores a un 2%. Dada la elevada resistencia a la temperatura del tungsteno (funde a 3410°C), acompañada de la protección del gas, la punta del electrodo apenas se desgasta tras un uso prolongado. Los gases más utilizados para la protección del arco en esta soldadura son el argón y el helio, o mezclas de ambos.

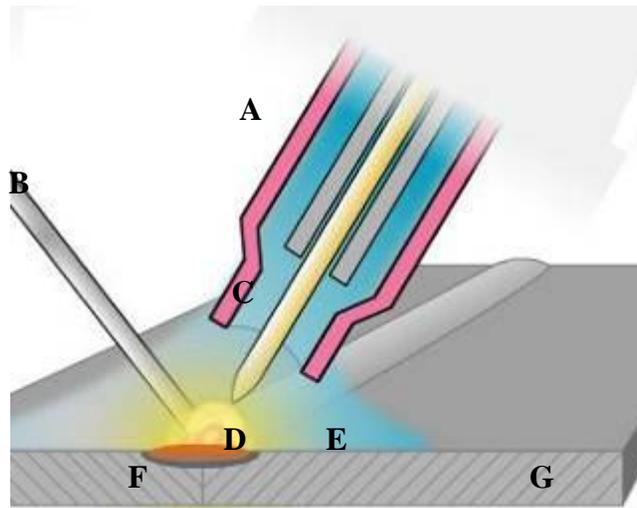


Figura.3.8. Proceso de soldadura TIG. A. Antorcha, B. Varilla de aportación, C. Electrodo de tungsteno, D. Arco eléctrico, E. Gas protector, F. Metal fundido, G. Metal base.

Mediante este proceso de soldadura se realizaron todas uniones de las láminas, varillas y pletinas; además de las camisas para roscar los accesorios.



Figura. 3.9. Soldadura de camisas para accesorios y soldaduras de la tapa.



Figura. 3.10. Soldadura de casco cilíndrico, patas y accesorios para fijación

Luego de las soldaduras se realiza una limpieza con una pasta decapante. El decapado es la eliminación de una fina capa de metal de la superficie del acero inoxidable.

Se suelen emplear mezclas de ácido nítrico y fluorhídrico para el decapado de los aceros inoxidables.

El decapado es el proceso utilizado para eliminar las manchas de termocoloración por soldadura de la superficie de elementos de acero inoxidable, en los que se ha reducido el contenido de cromo de la superficie del acero.



Figura. 3.11. Autoclave soldado y con sus accesorios roscados.

CAPITULO IV

INTRODUCCION

El autoclave diseñado y construido para ser utilizado en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos es un dispositivo que servirá para esterilizar alimentos, si así se requiera, pero también podrá ser utilizado para la esterilización de otros materiales siempre y cuando esta actividad no incurra en una contaminación ya sea química o física para posteriores esterilizaciones de alimentos.

El fundamento del autoclave es que coagula las proteínas de los microorganismos debido a la presión y temperatura, este funciona a través de una fuente de calor externa que lo calienta en un tiempo determinado y a través de monitoreo se vigila la temperatura y presión hasta que estos valores son de 121°C y 1.3 bar, para mantenerlas constantes y realizar el ciclo de esterilización.

Debido a que los alimentos a esterilizar en su mayoría son de estructura delicada, se requerirá de conocimiento fisicoquímico y organoléptico de cada uno de ellos, esto quiere decir que la presión y temperatura pueden ser distintas para cada uno de los productos autoclavados. En este capítulo se describirá cada una de las pruebas y cambios que han sido necesarios para obtener el buen funcionamiento del equipo y también se hace una descripción de las pruebas de esterilización realizadas para la comprobación de tal funcionamiento.

1.0 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS DE ESTERILIZACIÓN

1.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para llevar a cabo todas las pruebas de funcionamiento se determinó medir tres parámetros, presión, temperatura y tiempo y con estos tres valores evaluar el funcionamiento del autoclave. Además se debe de eliminar posibles fugas del equipo.

1.1.1 Prueba 1.

En esta primera prueba se evaluará el apriete de los pernos, la capacidad de generación de calor del quemador, el sellado del empaque, el funcionamiento del termómetro, manómetro y las demás válvulas.

La carga para esta prueba fue 10 litros de agua destilada.

<i>Tiempo (min)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
0	20
15	33
30	44
45	54
60	62
75	70

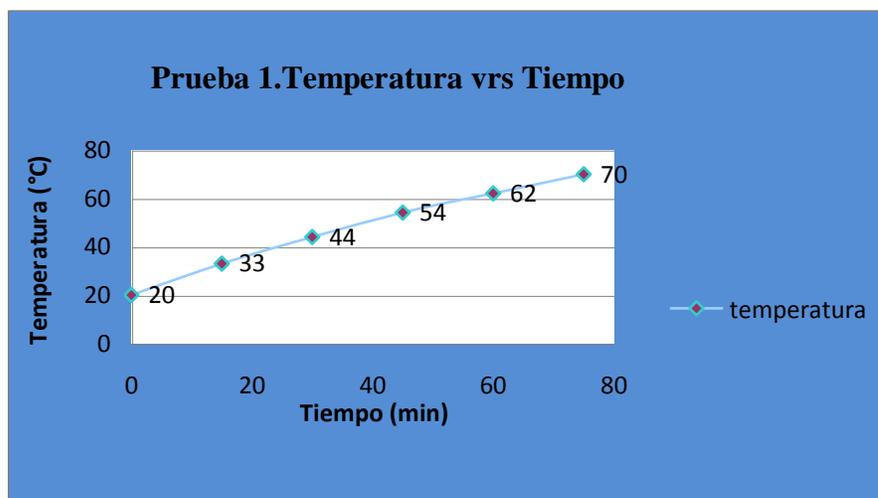


Gráfico 4.1. Prueba de funcionamiento 1. Temperatura contra tiempo.

El gráfico muestra el tiempo de funcionamiento del autoclave necesario para llegar a una temperatura de 70°C.

1.1.1.1. Observaciones:

- ✓ El manómetro y termómetro tienen correcto funcionamiento.
- ✓ El empaque de sellado y el apriete de los pernos no es el adecuado ya que a 70 °C se genera una fuga en el lado donde están ubicadas las válvulas de entrada y salida de agua del autoclave.
- ✓ El quemador necesita ser elevado unos centímetros para generar el calor suficiente para el calentamiento del autoclave.
- ✓ Se empiezan a tomar las medidas necesarias de seguridad para evitar un accidente.
- ✓ El quemador del autoclave se conectó al sistema de gas del laboratorio de ingeniería de alimentos.

1.1.1.2. Decisión:

- ✓ Cambiar el empaque de sellado

1.1.2. Prueba 2.

El cuadro muestra la toma de tiempo, temperatura y presión, tomadas en la prueba de funcionamiento N° 2.

Carga: 10 litros de agua destilada.

<i>Tiempo (min)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Presión (Bar)</i>
0	20	0
15	30	0
30	41	0
45	53	0
60	60	0
75	70	0
90	75	0.5
110	78	0.5
125	80	0.5
150	91	0.6
175	102	0.7
182	103	0.8

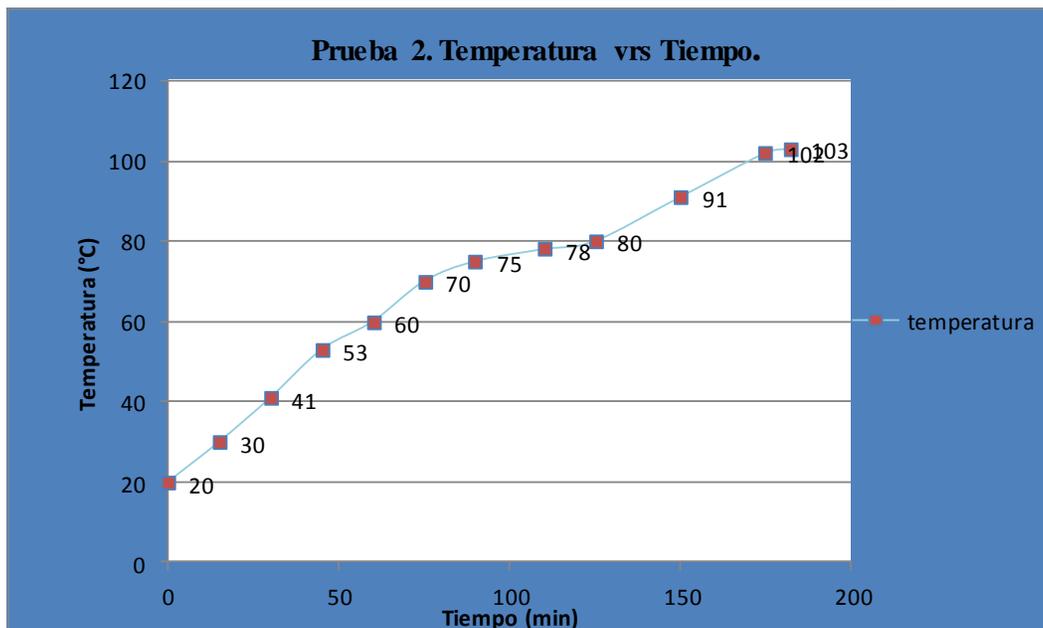


Grafico 4.2. Prueba de funcionamiento 2. Temperatura contra Tiempo.

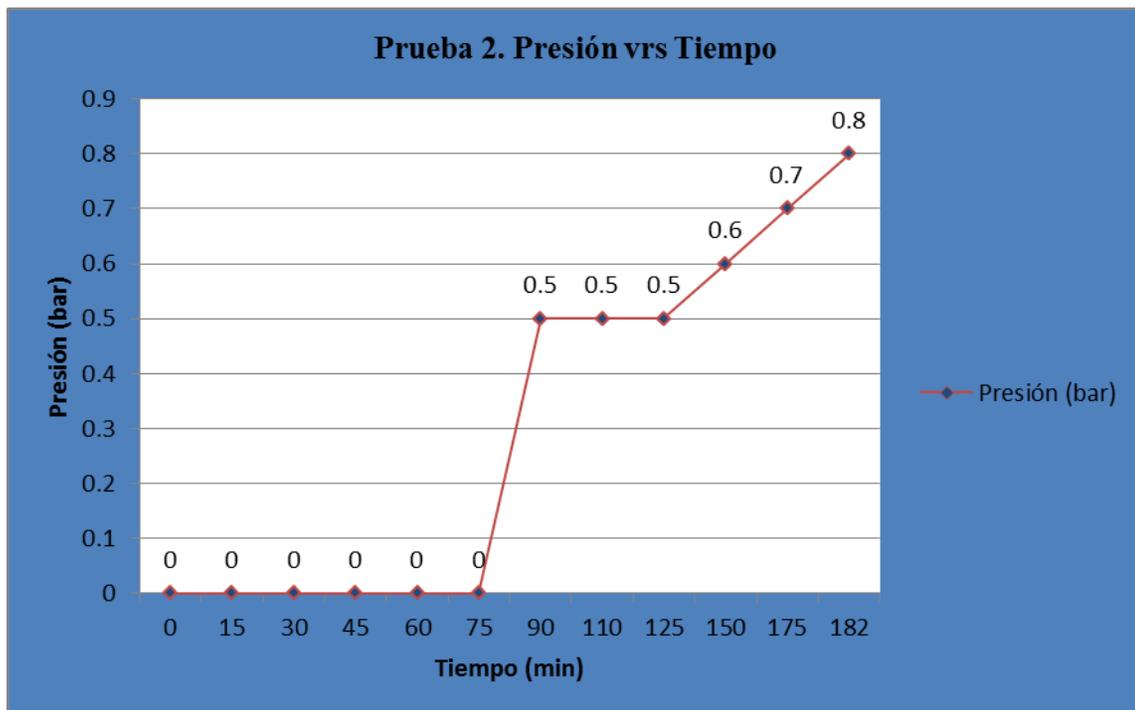


Grafico 4.3. Prueba de funcionamiento 2. Presión contra tiempo.

1.1.2.1. Observaciones:

- ✓ A los 78°C se observa que la presión del gas no es suficiente para la elevación de temperatura como lo indica la gráfica.
- ✓ Al hacer cambio de presión del gas la temperatura aumenta considerablemente.
- ✓ Al llegar a los 98°C fue necesario abrir la válvula de aire para que la presión descendiera, ya que un aumento de presión anterior a los 100°C indicaba aire dentro del autoclave.
- ✓ A los 182 min (3 horas con 7 minutos), una temperatura de 103°C y una presión de 0.8 Bar, el empaque vuelve a fallar generándonos fuga de agua en el mismo lugar antes indicado.
- ✓ Para esta prueba el quemador se conectó a la fuente de gas del laboratorio.

1.1.2.2. Decisiones:

- ✓ Aumentar la presión del gas con una nueva fuente de gas (tanque de 25 lb de gas propano y su respectiva válvula reguladora de presión).
- ✓ Abrir la válvula de para aire constantemente mientras la temperatura llega a los 100°C para liberar el aire dentro del autoclave.
- ✓ Sellar con silicón RTV rojo de alta temperaturas formador de juntas las uniones del empaque.
- ✓ Consultar con nuestro asesor acerca de la fuga y escuchar recomendaciones.
- ✓ Para la próxima prueba dar vuelta al empaque para comprobar que el problema de fuga se genera por el apriete de los pernos y no por la calidad del empaque.

1.1.2.3. Recomendaciones:

- ✓ Realizar una prueba con los las uniones del empaque sellado con silicón RTV rojo de alta temperaturas formador de juntas
- ✓ Si no funciona utilizar una palanca para mejorar el apriete de los pernos

1.1.3 Prueba 3.

Carga: 10 litros de agua destilada.

<i>Tiempo (min)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
0	20
15	49
30	60
40	70

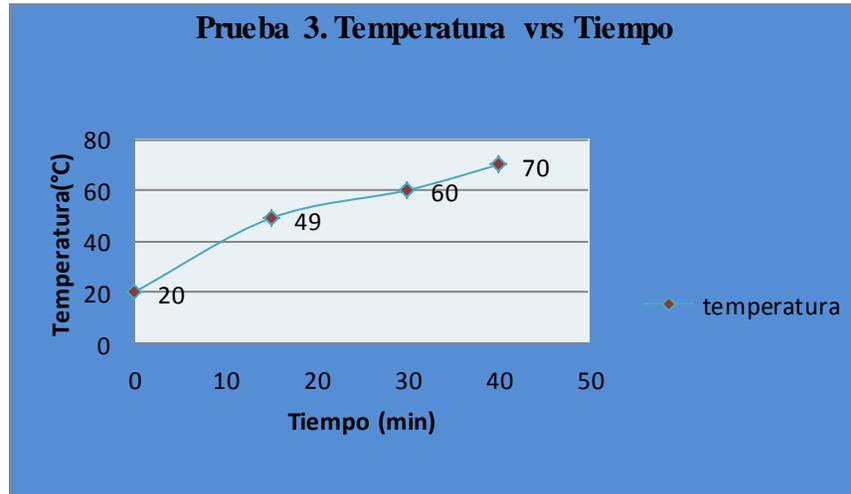


Grafico 4.4. Prueba de funcionamiento 3. Temperatura contra Tiempo.

1.1.3.1 Observaciones:

- ✓ Se realizó un cambio de posición del empaque para comprobar que el problema de la fuga no es generado por el empaque si no por el apriete de los pernos.
- ✓ Se utilizó silicón para el sellado de las uniones del empaque
- ✓ A los 70°C se vuelve a dar la fuga y siempre por el lugar antes mencionado del autoclave, con lo que concluimos que era problema de apriete y no del empaque.

1.1.3.2. Decisión:

- ✓ Utilizar una palanca rígida por ejemplo un tubo de hierro de ½" sobre los pernos para mejorar el apriete.

1.1.4. Prueba 4.

Tabla de datos tomados en la prueba 4.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Presión (Bar)
0	20	0
15	50	0
30	70	0
45	90	0
60	105	0.5
75	116	1.2
85	121	1.2
90	121	1.5
105	121	1.5

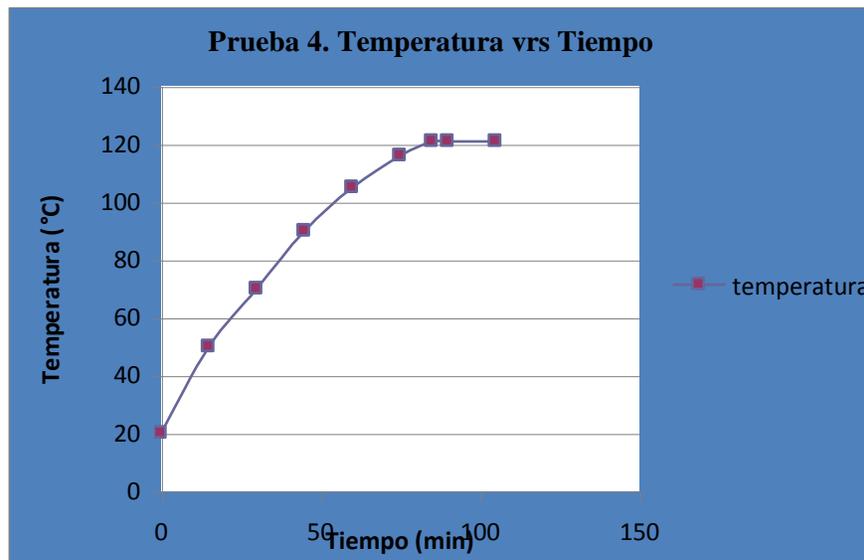


Grafico 4.5. Prueba de funcionamiento 4. Temperatura contra Tiempo

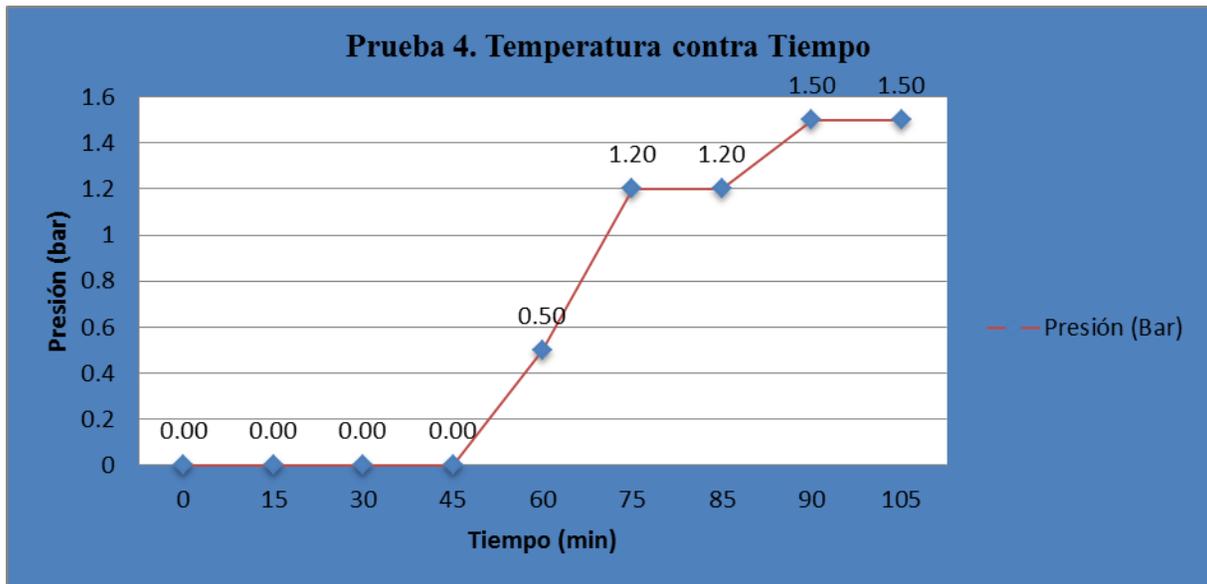


Gráfico. 4.6. Prueba de funcionamiento 4. Presión contra Tiempo

1.1.4.1. Observaciones:

- ✓ Se hizo un ajuste en el apriete de los pernos utilizando una palanca.
- ✓ Al llegar a una temperatura de 121°C y una presión de 1.5 bar, estas se mantuvieron constantes, por 20 minutos, pero al dejar subir la temperatura 1°C se volvió a generar la fuga.
- ✓ Debido al apriete generado uno de los pernos resulto dañado, fue necesario quitarlo y llevarlo al taller para su arreglo.

1.1.4.2. Decisión:

Consultar con nuestro asesor sobre la fuga y las medidas ya tomadas en cuenta para evitarla.

1.1.4.3. Recomendaciones:

- ✓ Revisar que el equipo no estuviera ubicado en un lugar del laboratorio que generara desnivel.
- ✓ Rellenar con silicón para altas temperaturas todo el fondo del empaque y luego colocarlo con el fin de hacer un doble sello que evitara la fuga.

1.1.5 Prueba 5.

Tabla de datos tomados en la prueba 5.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Presión (Bar)
0	20	0
15	40	0
30	70	0
45	90	0
60	103	0.5
75	119	1.1
90	121	1.6
105	121	1.6
120	121	1.6

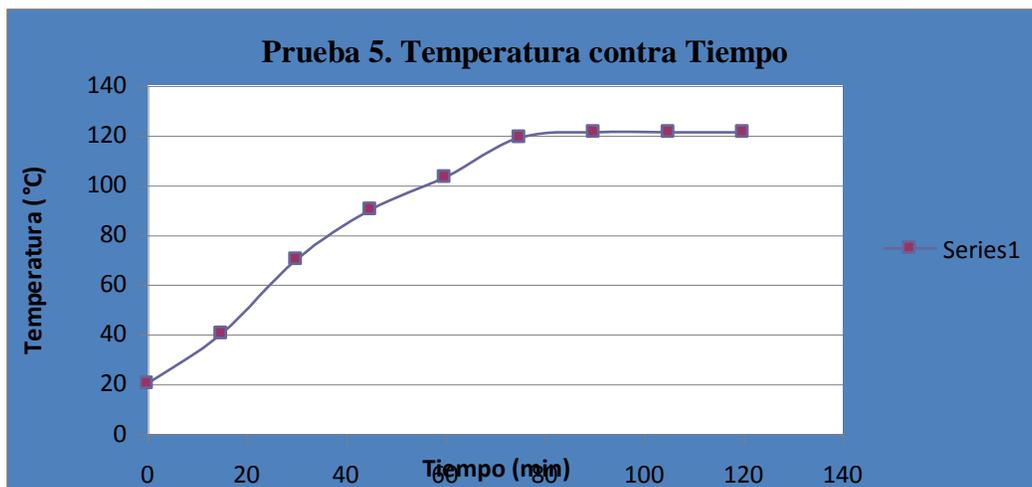


Gráfico. 4.7. Prueba de funcionamiento 5. Temperatura contra Tiempo

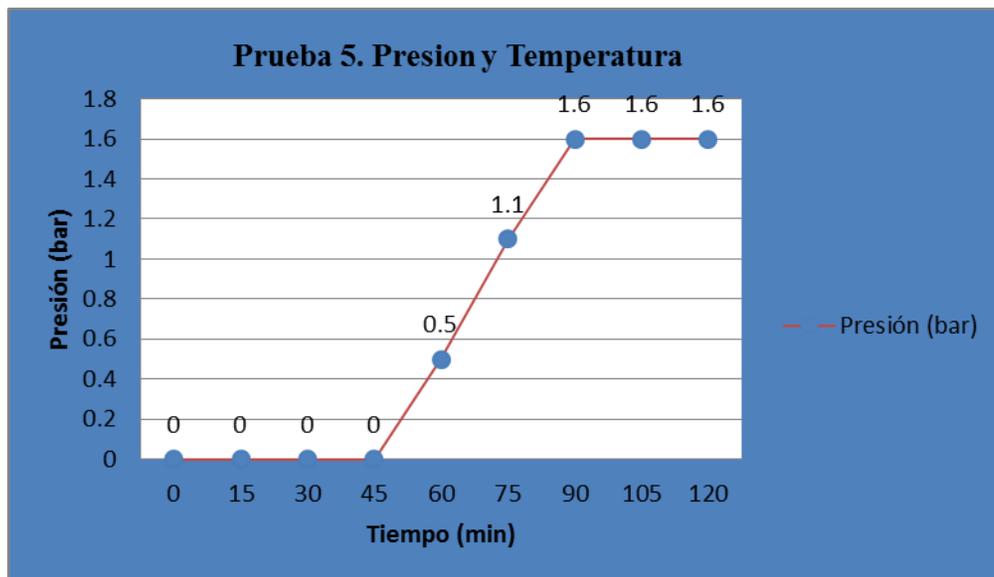


Gráfico. 4.8. Prueba de funcionamiento 5. Presión contra Tiempo

1.1.5.1. Observaciones:

- ✓ El equipo fue colocado en otro lugar del laboratorio y a través de un nivel de burbuja se aseguró que este no tuviera desnivel.
- ✓ Se realizó el sellado con silicón de alta temperatura antes de colocar el empaque al equipo, se dejó secar por un tiempo de una hora antes de realizar la prueba.
- ✓ Se realizó la prueba y al llegar a la temperatura de 121°C y una presión de 1.6 bar estas se mantuvieron constantes por 20 minutos, después se dejó subir unos grados más y se observó que la fuga había sido eliminada.
- ✓ El apriete fue mejorado con el sello de silicón ya que después de haberlo colocado ya no fue necesario el uso de la palanca para cerrar completamente.
- ✓ Se tomó la temperatura externa en diferentes puntos del autoclave, utilizando termómetro digital, la siguiente tabla muestra los datos de estas temperaturas:

Punto	T1 (°F)	T2 (°F)	T3 (°F)	PROMEDIO	(°C)
1	166	167.4	167.7	167.03	75.02
2	167	161	167.9	165.3	74.06
3	147	148.4	146.2	147.2	64.00
4	159.2	152.5	155.9	155.87	68.82
5	148.4	159.1	151.5	153	67.22
6	145	144.3	144.5	144.6	62.56
7	148.5	147.1	146.9	147.5	64.17
8	104	106.4	105.9	105.43	40.79

Tabla 4.1. Temperaturas externas del autoclave en proceso de esterilización.

y se demuestra que la temperatura del equipo externamente es superior a los 60°C, temperatura alta, por lo tanto este equipo debe ser manipulado con medidas de seguridad, ver recomendaciones y anexos.

1.1.5.2. Conclusión.

- ✓ Habiendo eliminado la fuga y mejorado el apriete, el autoclave estaba listo para pasar a las pruebas de esterilización.

2.0 PRUEBAS DE ESTERILIZACIÓN

En todo autoclave es importante realizar pruebas químicas o biológicas para verificar que las esterilizaciones que se realizan son efectivas, en un autoclave destinado para la esterilización de alimentos es mucho más importante realizar este tipo de pruebas ya que si su funcionamiento no es el adecuado se corre el riesgo de que los productos finales destinados para el comercio resulten con algún tipo de microorganismo sobreviviente que puede ser perjudicial para la salud de los consumidores e incluso puede repercutir en la pérdida de la valiosa vida de personas.

A continuación se describen las tres pruebas de esterilidad realizadas para la comprobación del buen funcionamiento del equipo.

2.1. Prueba 1.

2.1.1. Indicador utilizado.

Para esta primera prueba de esterilización fue utilizado cinta testigo Sterilization Tape. Part N° ITS 075. Size: ¾ “ utilizado para aparatos de vapor tal como se muestra en la figura 1.

Carga: 10 litros de agua destilada.



Figura. 4.1. Indicador cinta de esterilización

2.1.2. Metodología:

1. Se cortaron dos pedazos de cinta testigo y estos fueron colocados en distintas partes dentro del esterilizador, uno fue colocado dentro de un tubo de ensayo, otro en un molde de acero inoxidable.
2. Posteriormente estos objetos fueron colocados dentro del esterilizador y se procedió hacer la prueba de esterilización.
3. Se tomaron los siguientes datos:

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Presión (Bar)
0	20	0
15	38	0
30	54	0
45	70	0
60	84	0
75	90	0
90	95	0
105	106	0.5
120	108	1.1
135	113	1.6
150	119	1.6
165	121	1.6

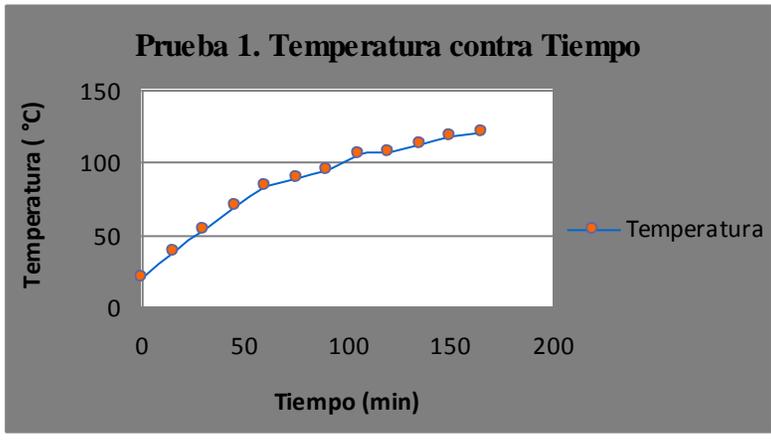


Gráfico 4.9. Prueba de esterilización

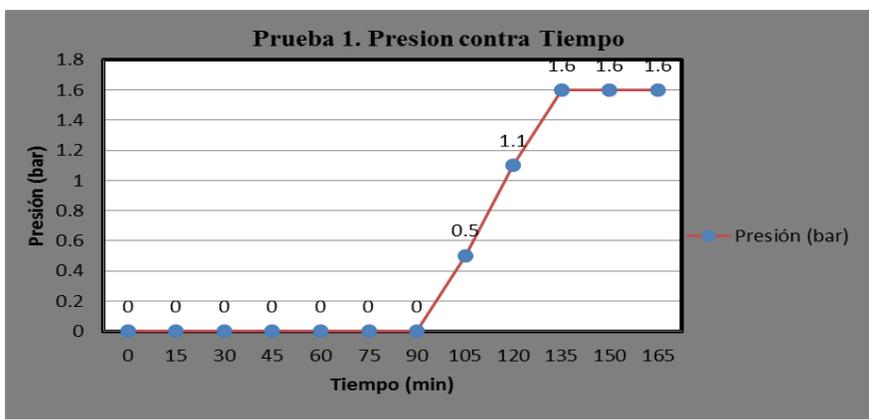


Gráfico 4.10. Prueba de esterilización 1. Presión contra Tiempo

- Después de pasado el ciclo de esterilización los objetos fueron extraídos y se procedió a observar el color de la cinta testigo, un cambio de color a gris indicaba que la esterilización había sido efectiva. En la figura se muestra una porción de cinta antes del ciclo de esterilizado (las rayas son blancas) y después del esterilizado (las rayas son grises).



Figura. 4.2. Cinta testigo antes y después del proceso de esterilización

2.1.3. Resultado:

Prueba de esterilización exitosa, pero no 100% confiable.

2.1. Prueba 2.

2.1.1. Indicador utilizado:

Indicador biológico (IB) autocontenido de lectura visual para esterilización con vapor. Consiste en una tira impregnada con esporas de *Geobacillus stearothermophilus* y una ampolleta con medio de cultivo sensible al cambio de pH, contenidos en un vial de plástico con etiqueta marcada con indicador químico de proceso para el control de la exposición. Se identifica fácilmente por la tapa café con orificios en la parte superior. Requiere condiciones de incubación específicas de 56°C durante 24 horas o más para obtener una lectura final,

mediante el cambio de color del medio de cultivo. La figura 4.3. muestra el vial que fue introducido para la prueba.

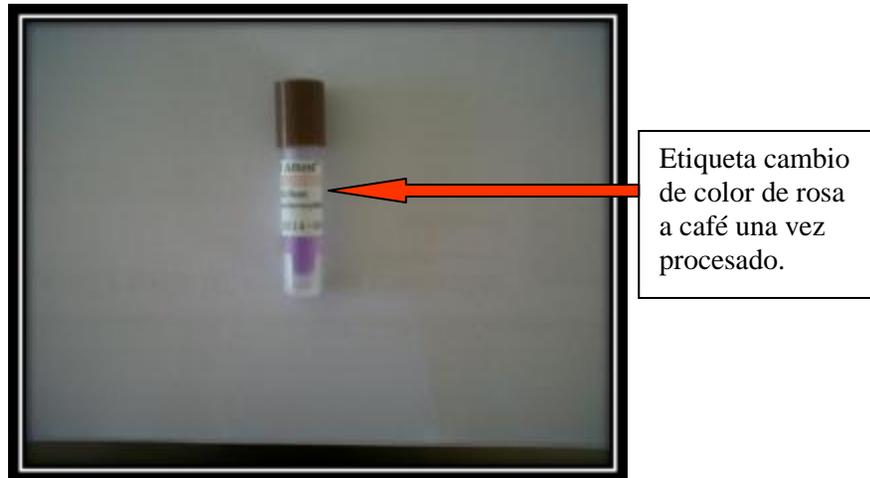


Figura. 4.3. Indicador biológico antes de proceso de esterilización.

2.1.2. Metodología:

1. Primeramente el indicador fue etiquetado con el número de carga y fecha, se observó que este contara con su franja color rojo.
2. Luego este se colocó dentro de un tubo de ensayo para evitar que este se deteriorara dentro del esterilizador. Las figuras muestran como este indicador fue colocado dentro del esterilizador
3. Se procedió a procesar y como en las pruebas anteriores también se tomaron los siguientes datos:

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Presión (Bar)
0	20	0
15	38	0
30	54	0
45	70	0
90	84	0
105	90	0
120	95	0
135	106	0.5
150	108	0.5
165	111	0.8
180	113	1
195	119	1.6
210	121	1.6
225	121	1.6
230	121	1.6

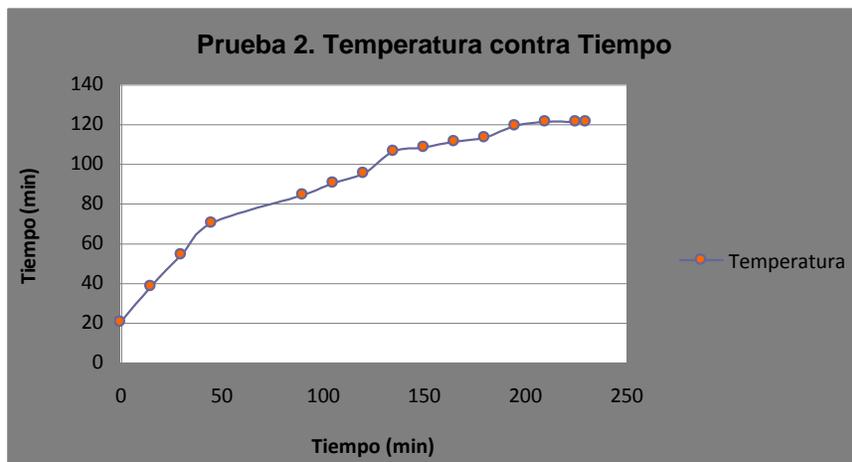


Grafico 4.11. Prueba de esterilización 2. Temperatura contra Tiempo

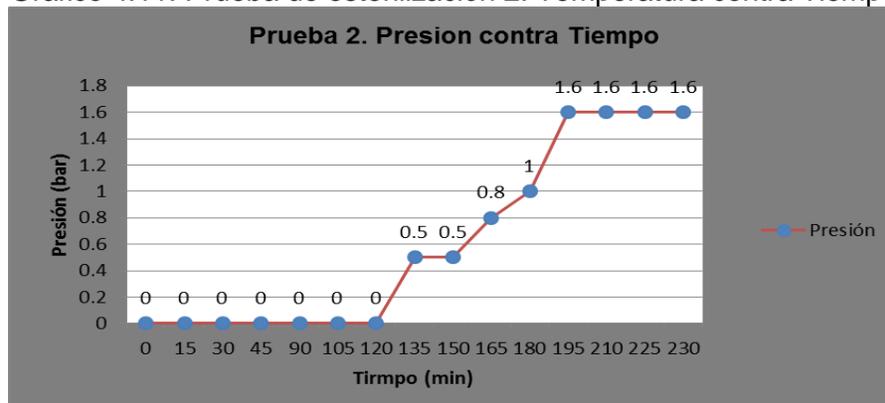


Grafico 4.12. Prueba de esterilización 2. Presión contra Tiempo

4. Después de completar el ciclo de esterilización, se abrió la tapa del autoclave y se esperó 5 minutos antes de tomar el tubo de ensayo que contenía el indicador.
5. Se verifico el cambio de color del indicador químico externo de la etiqueta del indicador biológico, de rojo cambio a café muestra de que el IB se había expuesto a un proceso de esterilización por vapor. Este cambio no indicaba que el proceso fue suficiente para lograr la esterilidad. La figura 4.4. muestra el cambio de color en la franja (rojo a café).



Figura. 4.4. Indicador Biológico con cambio de color

6. Posteriormente se procedió a la activación del indicador (quebrándolo) poniendo en contacto el medio de cultivo con la tira de esporas y se incubo a una temperatura de 56°C por 48 horas. Las figuras 4.5. muestran la forma y la temperatura a la que fue incubado este indicador.



Figura. 4.5. Incubación de indicador biológico

7. Después de la incubación (48 horas) la aparición de un color amarillo en el indicador procesado señala un crecimiento microbiano y una falla en el proceso de esterilización. Si no existe cambio en el medio de cultivo es señal de un proceso adecuado de esterilización.



Figura. 4.6. Indicador biológico sin cambio de color

2.1.3. Resultado:

Cambio de color **negativo**, por lo que se determina como una prueba de que el equipo esteriliza exitosamente.

3.1 Prueba 3.

3.1.1. Indicador Utilizado:

Análisis microbiológicos realizados en el Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD).

Carga: 10 litros de agua y 10 frascos de vidrio con sopa de frijoles. Fecha: 13 de febrero de 2013.

3.1.2 Metodología:

1. Primero se procedió a tomar la decisión del alimento que serviría de prueba, y se decidió que este alimento sería frijoles en sopa y refritos, sobre la base de los siguientes criterios:
 - a. Los alimentos que hayan estado en contacto con el suelo podrían estar contaminados con *Clostridium botulinum*, y los vegetales enlatados de baja acidez y carnes procesadas pueden fomentar el crecimiento de las bacterias y representan el mayor riesgo. Los garbanzos, **los frijoles**, los

espárragos, maíz, hierbas y aceitunas son sólo algunos ejemplos de vegetales muy vinculados con el botulismo.

- b. En el país es materia prima económica, abundante y de fácil procesamiento y es uno de los alimentos de la industria salvadoreña que sale al mercado después de haber pasado por un proceso de esterilización.
2. Después se procedió a la compra de los ingredientes y a su posterior procesamiento de la siguiente manera:
- a. Se colocaron en una olla, con el ajo, la cebolla y sal y se pusieron a cocer por un tiempo de 2 horas 15 minutos. La figura muestra el alimento al inicio de proceso.



- b. Después de cocidos se dejaron enfriar y se separaron en dos porciones ya que unos serían empacados en recipientes de vidrio (frijoles en sopa) y la otra porción sería molida y empacada en bolsas de empaque resistentes a altas temperaturas.
- c. De la primera porción se tomó una muestra antes de la esterilización, esta muestra sería llevada al laboratorio para su respectivo análisis microbiológico.



- d. Una vez tomada la muestra se continuó con el empackado, para este empackado fue necesario crear un vacío en cada uno de los recipientes, con el fin de evitar que estos quedaran con aire que pudiera provocar su ruptura al momento de la esterilización. Las figuras 4.7. muestran este procedimiento.



Figura. 4.7. Procedimiento de eliminado de aire a frascos con producto.

- e. Una vez empackados se procedió a esterilizar los recipientes, colocándolos sobre una bandeja dentro del esterilizador, se cerró,

se tomaron lecturas de datos, para este caso la temperatura inicial del autoclave era de 53°C ya que previamente se había calentado para crear el vacío a los frascos de vidrio.



Figura 4.8. Procedimiento de esterilizado

- f. Luego se continúa con el procesamiento de la otra porción de frijoles ya que como lo mencionamos estos serían molidos, fritos y empacados en bolsas de empaque de altas temperaturas. Estos frijoles fueron molidos en licuadora de acero inoxidable y luego fritos por un tiempo de 40 minutos.

- g. Después de fritos, los frijoles fueron empacados haciendo uso de la empacadora al vacío ubicada en el laboratorio de Ingeniería de Alimentos.

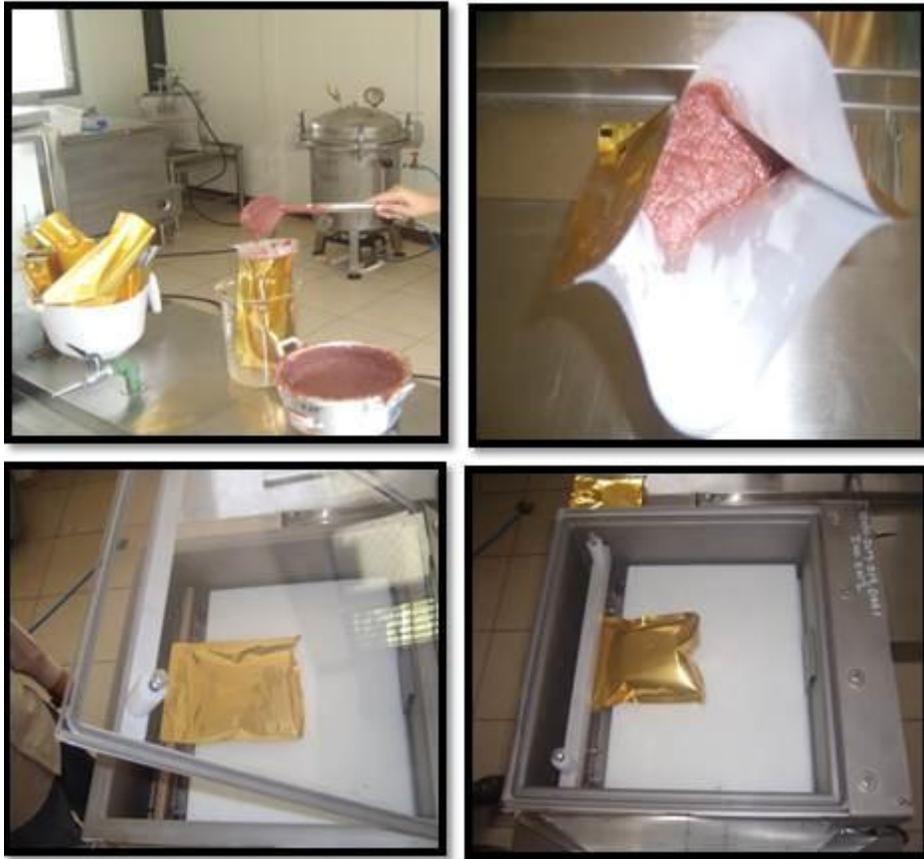


Figura. 4.9. Procedimiento de empacado de frijoles en bolsas térmicas.

- h. Después de haber empacado y sellado las bolsas, se tomaron las muestras antes y después de su esterilizado para ser llevadas al laboratorio para su respectivo análisis.

3.1.3. Resultado sopa de fríjol en frasco de vidrio:

Los resultados fueron entregados el día 27 de febrero de 2013 con el siguiente reporte.

1. Muestra de fríjol antes de proceso de esterilizado:

- Recuento total de mesofilos aerobios 160 ufc/g.

2. Muestra de fríjol esterilizado:

- Recuento total de mesofilos aerobios <10 ufc/g.
- Recuento total de mesofilos anaerobios <10 ufc/g.

3. Muestras de fríjol esterilizado (1,2,3,4,5) después de incubación

- Recuento total de mesofilos aerobios <10 ufc/g
- Recuento total de mesofilos anaerobios <10 ufc/g

El reporte indica que:

El proceso de esterilización empleado es efectivo ya que las muestras presentaron una ausencia del crecimiento de los microorganismos reportado como <10 UFC/g.

Ver anexo E (Informe de análisis de alimentos).



Fig. 4.10. Muestras microbiológicas de frijol esterilizado después de incubación. Ausencia de crecimiento de microorganismos.

3.1.4. Resultado de Muestra de frijol molido en bolsa retortable.

Estos resultados fueron entregados el día 8 de marzo de 2013 con el siguiente reporte:

1. Muestra de frijol en sopa antes de proceso de esterilizado:
 - Recuento de bacterias aeróbicas 2.3×10^6 UFG/g.
 - Recuento de bacterias anaeróbicas 2.2×10^6 UFC/g.
2. Muestra de frijol esterilizado:
 - Recuento total de Bacterias aeróbicas <10 ufc/g.
 - Recuento total de Bacterias anaeróbicas <10 ufc/g.
3. Muestras de frijol esterilizado (1,2,3,4,5) después de incubación

- Recuento total de bacterias aeróbicas <10 ufc/g.
- Recuento total de bacterias anaeróbicas <10 ufc/g.

Ver anexo E (Informe de análisis de alimentos).

CONCLUSIONES

1. La esterilización es un método de control del crecimiento microbiano que involucra la eliminación de todas las formas de vida microscópicas, incluidos virus y esporas, la temperatura utilizada para la destrucción de los mismos, es de 100 °C en adelante. Es un término absoluto que implica la pérdida de la viabilidad mediante la destrucción de todos los microorganismos contenidos en un objeto, área específica o sustancia, acondicionando de tal modo la posterior propagación o contaminación a otros objetos o al medio ambiente.
2. Los alimentos alterados pueden resultar muy perjudiciales para la salud del consumidor. La toxina botulínica, producida por una bacteria, *Clostridium botulinum*, en las conservas mal esterilizadas, embutidos y en otros productos, es una de las sustancias más venenosas que se conocen. Otras sustancias producidas por el crecimiento de ciertos mohos son potentes agentes cancerígenos. Existen pues razones poderosas para evitar la alteración de los alimentos y los métodos físicos, como el calentamiento, deshidratación, irradiación o congelación, y principalmente el esterilizado comercial y que pueden asociarse a métodos químicos que causen la muerte de los microorganismos o que al menos eviten su crecimiento.
3. Un autoclave es un aparato que permite calentar alimentos por calor húmedo a temperaturas superiores a 100°C, debido a que el tratamiento se efectúa en un compartimiento estanco saturado con vapor de agua y a presiones superiores a la atmosférica. Los parámetros de esterilización suelen ser: temperatura 121°C y 10-15 min. Como se puede deducir, estos parámetros vienen fijados por la resistencia de las esporas de especies que son las formas de vida que más aguantan el calor sin perder viabilidad.

4. La acción rápida del calor húmedo depende en buena parte del alto valor de calor latente del agua (540 cal/g); ello hace que los objetos más fríos se calienten rápidamente por condensación de agua en su superficie.
5. Basándonos en un diseño de un autoclave pequeño con la capacidad de esterilización de máximo 72 latas tamaño No. 1 (Picnic) se concluye que es un autoclave apto para fines didácticos, uso de laboratorio y pequeños emprendedores.
6. Debido a que el acero inoxidable es un material altamente resistente a la corrosión, de que no necesita tratamientos anticorrosivos como pintura y debido a ser un excelente transmisor del calor (posee alto coeficiente de conductividad térmica); y que su uso es muy recomendado para la producción de alimentos por su facilidad de limpieza y por no acumular residuos se decidió que este era el material apropiado para la construcción del autoclave, por lo tanto la vida útil del equipo será larga, sin problemas de corrosión y bajo mantenimiento. Se usó para la construcción de este equipo acero inoxidable AISI 304 por ser accesible en el mercado y tener el menor precio de los aceros apropiados para la industria de alimentos.
7. El equipo trabajará a presiones internas superiores a la atmosférica, por lo tanto fue necesario el diseñar un equipo seguro de operar, evitando riesgos de explosión por lo que la tapadera del equipo tiene una forma abombada natural, se decidió por el uso de tapadera torisférica; de igual manera se decidió con el fondo con lo que se evitan los mismos riesgos. El espesor calculado para la presión de diseño (60 psi o 4.14 bar) es de 1.5 mm en el mercado calibre 16.
8. La presión de diseño es de 4.14 bar (60 psi), a esta presión se ejercen esfuerzos longitudinales sobre la costura (soldadura) del casco cilíndrico, para evitar riesgos de deformación o riesgos por explosión se calculó el espesor mínimo para la resistencia a estas condiciones, este espesor es de

3mm o en el comercio el calibre 11. Considerando el factor de seguridad como cercano a 2.5 (Sugerido por el manual del Ingeniero Mecánico), también considerando el desgaste por el uso, el desgaste por corrosión y que el equipo será utilizado por estudiantes que no tienen formación en el uso de recipientes a presión se optó por la utilización de un espesor de lámina de 4 mm dando un factor de seguridad de 2.3 (se puede operar a una presión máxima de 80 psi).

9. Por factores económicos y de seguridad para la construcción del equipo se utilizó una lámina del mismo espesor tanto para las tapas como el casco, este es de 4mm.
10. Considerando la producción máxima posible de 72 latas No.1 (Picnic) y procesando un alimento que requiere de una energía alta para elevar su temperatura en un grado Celcius (Capacidad calorífica), con esto se cubre la mayoría de los procesos térmicos necesarios para esterilizar gran variedad de productos alimenticios. Y considerando las pérdidas de calor en el equipo se llegó a la conclusión de utilizar un quemador de 15,000 Btu/h.
11. Debido a algunas limitaciones de existencia de lámina de 3/16" de acero inoxidable en el mercado se decidió utilizar 4mm para la construcción del casco cilíndrico y los fondos, manteniendo según los cálculos del capítulo II el factor de seguridad necesario.
12. Por estar cercanos al límite del presupuesto se decidió con el apoyo de los maestros asesores no colocar aislamiento al casco cilíndrico.
13. Se tomaron en cuenta las recomendaciones hechas al diseño por asesores externos y se aplicaron a la construcción del autoclave, algunas de estas fueron la colocación de un visor de nivel y válvula de desaire.

Después de haber realizado las pruebas de funcionamiento en el equipo se puede concluir que:

14. Esta construido a una escala adecuada ya que dentro del laboratorio de Ingeniería de Alimentos ocupa dimensiones que no interfieren ni retrasa las actividades llevadas a cabo dentro de él, también se concluye que a pesar de no tener aislamiento el calor generado no repercutirá en atrasos en las prácticas de laboratorio.
15. Es un equipo con un bajo mantenimiento ya que por estar construido en acero inoxidable este no sufrirá deterioro por la corrosión, el empaque para el sellado, las válvulas y demás accesorios tendrán que reemplazarse cada cierto tiempo dependiendo de su uso pero estos accesorios no generaran gastos significativos para la institución ya que los costos no son elevados en el mercado.
16. Es un equipo de fácil manejo, pero si requiere de medidas de seguridad por parte del operador ya que es un equipo que trabaja a medidas presión y temperatura altas.
17. Puede ser utilizado por distintas carreras de la universidad ya que este equipo tiene la capacidad de esterilizar, pasteurizar, calentar, servir como instrumento de limpieza, entre otros usos, siempre y cuando se trabaje bajo las condiciones requeridas de cada material y bajo las condiciones de operación del equipo.
18. El tiempo de trabajo del equipo depende en un mayor porcentaje al calor suministrado por el quemador, y este calor depende de la presión del gas que se utilice, si esta presión es baja la llama del quemador es baja por lo tanto el tiempo de práctica se incrementara y viceversa. Hasta la fecha el quemador genera el calor necesario para elevar la temperatura a 121°C en un tiempo de 2 horas y 30 minutos como máximo, este puede reducirse si la

presión del gas se incrementa. El quemador debe de elevar la temperatura 1 °C cada minuto para lograr un calentamiento apropiado.

- 19.** Con el uso de este equipo se le dará uso a otros equipos que hasta el momento han permanecido en desuso por falta de prácticas de laboratorio que los involucre.

El diseño y construcción del autoclave para el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos es una herramienta que contribuirá a la formación profesional de los estudiantes de la carrera, ya que permitirá ampliar los conocimientos en tratamientos térmicos, y otros temas relacionados con transferencia de calor aplicado al área de alimentos. Este equipo permitirá realizar pruebas de laboratorio, futuros trabajos de investigación, proyectos de materias, y no se limita a ser utilizado por estudiantes solamente, también puede ser utilizado por docentes u otras personas interesadas en sacar provecho educativo con su uso.

RECOMENDACIONES

- Para ampliar el aprendizaje del esterilizado comercial se recomienda adquirir una selladora de latas, pues es con este envase que se tiene la mayor parte de estudios y aplicaciones.
- Se recomienda colocar al autoclave termopares (descrito en anexo D) para estudiar mediante los datos de temperatura y tiempo la penetración del calor en los diferentes envases y evaluar la letalidad del proceso térmico sobre los microorganismos.
- Existen alimentos tradicionales que pueden ser sometidos al esterilizado comercial por lo cual se recomienda realizar investigaciones para establecer los tiempos y temperaturas de proceso térmico.
- Dado el incremento de iniciativas para la elaboración artesanal de alimentos envasados, y que los requerimientos para el esterilizado comercial son difíciles de alcanzar en pequeños emprendimientos productivos, se recomienda tomar como base el diseño del autoclave para aplicarlo a la elaboración de productos envasados en plantas de producción de pequeña escala y realizarle mejoras.
- La intensidad del proceso térmico varía según el producto. A su vez los cambios que experimenta el alimento dependen del tiempo y de la temperatura del proceso, de la composición y propiedades del mismo y del ambiente. Estos cambios provocados por el propio proceso y durante el almacenamiento ejercen un impacto sobre la calidad sensorial y nutritiva de los distintos alimentos, por lo que se recomienda realizar trabajos de investigación que evalúen la relación entre estos factores.

BIBLIOGRAFIA

1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

1. ***“Procesado térmico y envasado de alimentos”***. J.A.G Rees, J Bettison. Editorial Acribia. 1991.
2. ***“Ingeniería de Alimentos”***. Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003
3. ***“Uso de la radiación en la conservación de alimentos”***. Gálvez y Buitimea. Revista Universidad. Universidad de Sonora. México.
4. ***“Letalidad y tiempo de proceso”***. Cárdenas, Vizcaíno. Escuela de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
5. ***“Manual de Recipientes a presión, Diseño y Cálculo”***, Eugene F. Megyesy. Primera Edición 1992. Editorial Limusa.
6. ***“Diseño y Cálculo de Reecipientes sujetos a presión”***. Ing. Juan Manuel León Estrada. Edición 2001. Editorial Inglesa.

7. ***“Manual del Ingeniero Químico”*** Perry. Sexta Edición. McGraw-Hill.

8. ***“Manual de datos para Ingeniería de los Alimentos”***, Georges D. Hayes. Editorial Acribia.

2. REFERENCIAS DE REVISTAS Y OTROS ARTÍCULOS:

9. **SABER COMO**: Autoclaves de pequeña escala para plantas de alimentos. Revista HILO INTI. Edición N°21 06 de 2008.

10. ***“Manual de temperaturas del alimento. Termo-resistencia de los microorganismos”***. Convenio de transferencia de conocimientos con ASSISTANCE FOOD. Consultores en Producción, Comercialización & HACCP para Industrias y Servicios de Alimentación y Pesca”. ASSISTANCE FOOD ARGENTINA S.A. Member of the Association of Food and Drug Officials of USA. 1998.

3. REFERENCIAS ELECTRONICAS:

11. http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/10_M%C3%A9todos_de_esterilizaci%C3%B3n.pdf

12. http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/217/REYES_SANCHEZ_JAVIER_AUTOMATIZACION_SISTEMA_CONTROL_VULCANIZACION.pdf?sequence=1

13. <http://www.uvgi.es/alimentacion.htm>

14. <http://dc397.4shared.com/doc/QDqrEQrN/preview.html>

ANEXOS

ANEXO A

CALIBRE	ESPESOR	PESO	PESO POR HOJA			
			kg			
	mm	kg/m ²	914 x 2438 mm	914 x 3048 mm	1219 x 3048 mm	1219 x 3048 mm
10	3.430	27.783	61.910	77.400	82.569	103.228
11	3.050	24.705	55.051	68.825	73.421	91.792
12	2.670	21.627	48.192	60.250	64.274	80.355
14	1.900	15.390	34.294	42.875	45.738	57.182
16	1.520	12.312	27.435	34.300	36.590	45.745
18	1.220	9.882	22.020	27.530	29.369	36.717
20	0.892	7.225	16.100	20.128	21.473	26.845
22	0.740	5.994	13.357	16.699	17.814	22.271
24	0.610	4.941	11.010	13.765	14.684	18.358
26	0.455	3.686	8.213	10.267	10.953	13.694
28	0.385	3.119	6.949	8.668	9.268	11.587
29	0.330	2.673	5.956	7.447	7.944	9.932

CALIBRE	ESPESOR	PESO	PESO POR HOJA			
			lb			
	inches	lb/ff ²	3' x 8'	3' x 10'	4' x 8'	4' x 10'
10	0.135	5.6706	136.0956	170.1194	181.4607	226.8259
11	0.12	5.0406	120.9738	151.2173	161.2984	201.623
12	0.105	4.4105	105.8521	132.3151	141.1361	176.4202
14	0.075	3.1504	75.6086	94.5108	100.8115	126.0144
16	0.06	2.5203	60.4869	75.6086	80.6492	100.8115
18	0.048	2.0162	48.3895	60.4869	64.5194	80.6492
20	0.0351	1.4744	35.3848	44.2311	47.1798	58.9747
22	0.0291	1.2223	29.3362	36.6702	39.1149	48.8936
24	0.024	1.0081	24.1948	30.2435	32.2597	40.3246
26	0.018	0.7561	18.1461	22.6826	24.2948	30.2435
28	0.015	0.6301	15.1217	18.9022	20.1623	25.2029
29	0.013	0.5461	13.1055	16.3819	17.474	21.8425

Tabla A. Láminas de acero inoxidable en el mercado

ANEXO B

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS				
TIPOS NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E Cuando la junta es:		
		a. Radiogra- fiada total- mente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada
1	 <p>Junta a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
2	 <p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar</p> <p>En juntas circunferenciales únicamente</p>	0.90	0.80	0.65
3	 <p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	-	-	0.60
4	 <p>Junta a traslape de doble filete completo</p>	-	-	0.55
5	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón</p>	-	-	0.50
6	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón</p>	-	-	0.45

ANEXO C

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES - ACERO INOXIDABLE															
P-No. 8 Grupo No. 1															
TABLA 1					TABLA 3										
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni	Cedencia min. 30 000 lb/pulg ² Tension min. 75 000 lb/pulg ²	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo.	Cedencia min. 30 000 lb/pulg ² Tension min. 75 000 lb/pulg ²	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas				
		Placa	SA-240	304	2 3			Placa	SA-240	316	2 3				
		Tubo s/c	SA-213	TP304	2			Placa	SA-240	317	2 3				
		Tubo s/c	SA-213	TP304H	—			Tubo s/c	SA-213	TP316	2				
		Tubo s/c	SA-312	TP304	2			Tubo s/c	SA-213	TP316H	—				
		Tubo s/c	SA-312	TP304H	—			Tubo s/c	SA-312	TP316	2				
		Tubo s/c	SA-376	TP304	2			Tubo s/c	SA-312	TP316H	—				
		Tubo s/c	SA-376	TP304H	—			Tubo s/c	SA-312	317	2				
		Tubo vaciado	SA-452	TP304H	—			Tubo s/c	SA-376	TP316	2				
		Forj.	SA-182	F304	2			Tubo s/c	SA-376	TP316H	—				
Forj.	SA-182	F304H	—	Tubo vaciado	SA-452	TP316H	—								
Barra	SA-479	304	2 3 5	Forj.	SA-182	F316	2								
				Forj.	SA-182	F316H	—								
				Barra	SA-479	316	2 3 5								
TABLA 2					TABLA 4										
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni	Cedencia 25 000 Tension 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo.	Cedencia 25 000 Tension 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas				
		Placa	SA-240	304L	—			Placa	SA-240	316L	—				
		Tubo s/c	SA-213	TP304L	—			Tubo s/c	SA-213	TP316L	—				
		Tubo s/c	SA-312	TP304L	—			Tubo s/c	SA-312	TP316L	—				
		Forj.	SA-182	F304L	—			Forj.	SA-182	F316L	4				
		Barra	SA-479	304L	5			Barra	SA-479	316L	5				
VALORES MAXIMOS DE ESFUERZO PERMITIDO, 1 000 lb/pulg²															
PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F															
MATERIALES DE LA TABLA	-20-100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	NOTAS		
1	18.8	17.8	16.6	16.2	15.9	15.9	15.9	15.9	15.5	15.2	14.9	14.7	1		
	18.8	15.7	14.1	12.9	12.1	11.4	11.2	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2			
2	15.7	15.7	15.3	14.7	14.4	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	—	—	1		
	15.7	13.4	12.0	11.0	10.3	9.7	9.5	9.4	9.2	9.1	—	—			
3	18.8	18.8	18.4	18.1	18.0	17.0	16.7	16.3	16.1	15.9	15.7	15.5	1		
	18.8	16.2	14.6	13.4	12.5	11.8	11.6	11.3	11.2	11.0	10.9	10.8			
4	15.7	15.7	15.7	15.5	14.4	13.5	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	—	1		
	15.7	13.3	11.9	10.8	10.0	9.4	9.2	9.0	8.8	8.6	8.4	—			
MATERIALES DE LA TABLA	PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F														
	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500			
1	14.4	13.8	12.2	9.8	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	1		
	10.0	9.8	9.5	8.9	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4			
3	15.4	15.3	14.5	12.4	9.8	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.3	1		
	10.7	10.6	10.5	10.3	9.3	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.2			
NOTAS:															
1. Estos valores de esfuerzo mayores exceden en 2/3, pero no exceden del 90% de la resistencia a la cedencia a tal temperatura. El uso de estos valores puede producir cambios dimensionales debidos a la deformación permanente. No se recomiendan estos valores de esfuerzo para bridas ni juntas empacadas ni en otras aplicaciones en las que una deformación ligera pueda ocasionar fuga o mal funcionamiento.															
2. A temperaturas superiores a 100°F, estos valores de esfuerzo se aplican solamente cuando se tiene 0.04% de carbono o más.															
3. Para temperaturas superiores a 100°F, estos valores de esfuerzo pueden usarse sólo si el material se trata térmicamente, calentándolo a una temperatura mínima de 1 900°F y enfriándolo rápidamente en agua o por algún otro medio.															
4. Resistencia mínima especificada a tensión, 65.0 lb/pulg ²															
5. El uso de tablas de presión externa para el material en forma de barra de medidas estándares se permite únicamente para anillos atesadores.															

ANEXO D

Guías de Laboratorio e Instrucciones de Uso del Autoclave

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
TECNOLOGÍA DEL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS I**

LABORATORIO: “INTRODUCCIÓN A LA ESTERILIZACIÓN COMERCIAL”

I- OBJETIVO:

Que el estudiante al final de la práctica sea capaz de fabricar a nivel planta piloto, alimentos esterilizados comercialmente en diferentes envases.

II- TEORÍA

Cuando se precisa una conservación de los alimentos a más largo plazo, resulta necesario aplicar tratamientos térmicos bastante más enérgicos. En este caso, hay que recurrir al proceso denominado Conserva alimenticia, Appertización o Esterilización comercial. Se trata de una operación a realizar con alimentos introducidos en recipientes cerrados, que posteriormente se someten a los efectos del calor proporcionado por una autoclave, que siempre alcanza temperaturas superiores de 100 ° C.

Es un método de conservación de alimentos que hace referencia a tratamientos industriales de esterilización térmica, en los que una adecuada combinación del binomio temperatura- tiempo permite la destrucción de los microorganismos patógenos y de todos aquellos que producen toxinas, así como algunos otros alterantes que podrían ocasionar problemas de estabilidad bajo condiciones normales de almacenado o manipulación. Aunque esta operación presenta gran eficacia sobre la calidad higiénica del alimento y permite un almacenado a largo plazo, la mayoría de veces los alimentos tratados de este modo pueden contener un cierto número de esporas bacterianas termo-resistentes, aunque lo normal es que no se puedan desarrollar en el alimento durante la vida comercial estipulada.

El esterilizado comercial se suele llevar a cabo en autoclaves y, por lo general, los efectos del calor suele modificar las propiedades sensoriales de las materias primas tratadas. El proceso tradicional implica la realización de seis fases sucesivas de operaciones tecnológicas:

1. *Recepción y preparación del alimento*, que puede variar de acuerdo con su naturaleza: selección y calibrado de materias primas, lavado de verduras, pelado y troceado de frutas, eliminación de partes no comestibles, eviscerado, escaldado, etc.
2. *Escaldado*, a realizar cuando se trata de alimentos de origen vegetal, que tiene por objeto acondicionar el producto de tal modo que se asegure su estabilidad posterior al favorecer la inactivación de las enzimas, la muerte de algunos microorganismos y la eliminación de casi todo el aire ocluido en la masa alimenticia.
3. Corte y mezclado: operación que tiene por objeto mezclar los alimentos en los tamaños y cantidades estandarizadas.
4. *Envasado*, operación mediante la cual al producto acondicionado (y en su caso escaldado) se introduce en el envase definitivo de acuerdo con las posibilidades técnicas actuales, que permite el llenado de modo mecánico y automatizado, aunque también puede hacerse a mano, como en tiempos anteriores. En cuanto al llenado, se debe presentar atención a dos factores: la exactitud en el peso que se introduce en el envase y el control del modo de llenado para que retenga la menor cantidad de aire posible. Este segundo aspecto resulta bastante difícil cuando se trata de productos semisólidos o de salsas espesas mezcladas con trozos sólidos.

5. *Expulsión del aire y cierre hermético*, la primera de las operaciones puede efectuarse por el empleo de calor, por inyección de vapor o de modo mecánico. No obstante, siempre debe quedar un mínimo de aire residual para que no se deforme el envase durante el tiempo de enfriamiento, que implica diferencias de presión entre el interior y el exterior. En algunos casos puede llevar hasta la rotura de los cierres herméticos, con el riesgo de fugas y contaminaciones microbianas posteriores. La operación de cierre hermético se suele realizar mediante suturas con cerradoras automáticas.

6. *Tratamiento térmico*, una vez perfectamente envasados y cerrados los alimentos se introducen en los correspondientes autoclaves y se someten al tratamiento térmico previamente establecido en lo que hace referencia a los parámetros de temperatura y tiempo, adecuados para la instalación y tipo del alimento envasado, con el fin de alcanzar la esterilidad comercial. Estos parámetros han de estar de acuerdo con los valores de D y F deducidos para cada caso concreto.

7. *Refrigeración*, que debe ser llevada a cabo con la máxima rapidez, una vez que haya sido dado por concluido el tratamiento térmico.

III- MATERIALY EQUIPO y REACTIVOS:

- Envases destinados esterilización comercial
- Equipo para esterilizado comercial (autoclave de vapor autogenerado)
- Cinta testigo
- 10 litros de agua destilada

- Equipo para procesado, envasado, expulsión del aire y cierre hermético
- Guantes para manejar objetos calientes.
- Utilizar el manual de instrucciones de servicio.

MATERIA PRIMA

- Alimento a esterilizar

IV- PROCEDIMIENTO

Se debe de procesar el alimento a esterilizar y dejarlo envasado según sea la disponibilidad de empaque (lata, frasco de vidrio o bolsa retortable), asegurándose de una correcta expulsión de aire y cierre hermético.

OPERACIÓN DEL AUTOCLAVE

1. Carga del autoclave:

Primero se agregan 10 litros de agua destilada al autoclave. Se cargan luego los productos a esterilizar en la canasta o bandeja.

2. Cerrado de autoclave:

Se coloca la tapa en la posición tal que el manómetro se dirija hacia el frente del equipo. Apretar las mariposas de forma intercalada. CUIDADO: Evitar forzar las mariposas pues estas se dañan con el exceso en el apriete. Abrir la válvula del gas propano. Verificar que la presión del gas propano sea suficiente para el adecuado funcionamiento del quemador. Encender el quemador mediante el chispero.

3. Purga de aire:

Se abre la válvula de purga de aire, mientras se forma el vapor desplaza el aire, sacándolo del recinto. Cuando por la válvula salga solo vapor se cierra, aproximadamente a los 90°C. CUIDADO: Si no se logra una adecuada purga del aire se eleva la presión y no se tiene un proceso eficiente.

4. Elevación de la temperatura:

Una vez cerrada la válvula se eleva la temperatura y la presión hasta llegar a la temperatura de trabajo de 121°C. CUIDADO: El autoclave no tiene aislamiento, utilizar guantes protectores contra el calor para evitar quemaduras.

5. Tiempo de procesado:

Tiempo que se deja el producto para esterilizarlo a 121°C, dependerá de la clase de alimento y tipo de empaque (Fo ver anexo).

6. Enfriamiento:

Al terminar el tiempo de procesado, se apaga el gas cerrando la válvula del gas propano. Se comienza a abrir la válvula del agua de enfriamiento lentamente, se deja el flujo muy pequeño. CUIDADO: Si se abre demasiado la válvula de agua de enfriamiento los recipientes pueden explotar. Se conecta la manguera de aire comprimido y se abre progresivamente la válvula tratando de mantener la presión en 1.5 bar. Mientras se llena el autoclave con agua de enfriamiento la presión vuelve a subir por lo que se cierra la válvula de aire comprimido y se desconecta la manguera. Se libera presión con la válvula manual manteniendo la presión en 1 bar. CUIDADO: Evitar disminuir la presión por debajo de 1 bar pues se corre peligro de explosión de los frascos o bolsas. Al llegar al nivel superior de agua de enfriamiento, abrir la válvula de drenaje. Circular agua de enfriamiento hasta que esta baje su temperatura hasta 40°C.

7. Drenado del autoclave:

Cerrar la válvula de entrada de agua de enfriamiento. Acoplar de nuevo la manguera de aire comprimido. Abrir la válvula de aire comprimido y evacuar toda el agua del autoclave.

8. Destapado del autoclave:

Cerrar el aire comprimido y retirar la manguera. Abrir de forma intercalada los mariposas. Se retira cuidadosamente la tapa pues aun tiene condensación de agua. Utilizar ropa y guantes para evitar quemaduras. Sacar los productos del autoclave y dejar secar al aire.

9. Limpieza del autoclave:

Al terminar el procesado se debe de secar con un paño el exceso de agua.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Después de la esterilización comercial, dejar los productos en cuarentena mientras se realizan análisis microbiológicos para verificar la esterilidad comercial.

Según los Reglamentos Técnicos Centro América los criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos son:

1. Conservas vegetales y frutas enlatadas:

Parámetro: Recuento de aerobios mesófilos (previa incubación a 35°C por 10 días). Límite máximo permitido: <10 UFC/ml en todas las 5 muestras del lote procesado.

2. Carnes enlatadas:

Parámetro: Recuento de anaeróbios termófilos. Límite máximo permitido: <10 UFC/ml en todas las 5 muestras del lote procesado.

El lote se considera que alcanzo la esterilidad comercial si cumple con los criterios microbiológicos

REPORTE

1. Realice una descripción del procesamiento del alimento: Tipo de alimento, tipo de envase, proceso térmico (tiempo y temperatura).
2. Con los datos del análisis microbiológico realice las conclusiones correspondientes.

ANEXOS

5.9 Valores F_0 requeridos para la esterilización comercial

Producto	Tamaño del envase	Valor F_0 aproximado
Maíz «Cream style»	Nº 10	2-3
Caballa en salmuera	301 × 401	2.9-3.6
Espárragos	A11	2-4
Sopa de tomate (excepto crema de)	A11	3
Zanahorias	A11	3-4
Apio	A2	3-4
Nata	100-150 g	3-4
Salchichas de Frankfurt en salmuera	hasta 16Z	3-4
«Jamón estéril»	1/2-1 kg	3-4
Alimentos infantiles	potitos	3-5
Alubias en salsa de tomate	todos	4-5
Sopas de crema	A1-16Z	4-5
	hasta A10	6-10
Salchichas en grasa	hasta 1/2 kg	4-6
Budín de leche	hasta 16Z	4-10
Leche evaporada	hasta 16 oz	5
Salchichas tipo Viena, en salmuera	varios	5
Maíz «cream style»	Nº 2	5-6
Chili con carne	varios	6
Alimentos para perros	Nº 10	5
Judías verdes en salmuera	Nº 10	6
Rollo de carne	Nº 2	6
Guisantes en salmuera	hasta A2	6
Pollo deshuesado	todos	6-8
Arenques en tomate	ovales	6-8
Setas en mantequilla	hasta A1	6-8
Guisantes en salmuera	A2-A10	6-8
Setas en salmuera	A1	8-10
Filetes de pollo en gelatina	hasta 16 oz	6-10
Carne con curry y hortalizas	hasta 16Z	8-12
Maíz, mazorca entera, en salmuera	Nº 2	9
Pasteles de carne	planos	10
Sopas de carne	hasta 16Z	10
Carne, lonchas en su salsa	ovales	10
Alimentos para perros	Nº 10	12
Carnes en su salsa	A11	12-15
Alimentos para perros y gatos	hasta 16Z	15-18
Aves, caza, enteras, en salmuera	A2½-A10	15-18

REFERENCIA

Manual de datos para Ingeniería de alimentos. G.D. Hayes. Editorial Acribia. 1992.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS
OPERACIONES UNITARIAS II**

LABORATORIO: “ESTERILIZACIÓN COMERCIAL: TERMOPARES”

I- OBJETIVO:

Que el estudiante al final de la práctica sea capaz de fabricar y utilizar termopares, para lectura de temperatura a alimentos en diferentes envases.

II- TEORÍA

Los autoclaves cuentan con instrumentos como: termómetro de mercurio, manómetro, registrador de temperatura, válvula de venteo, válvula de seguridad, entrada de aire a presión y entrada de agua para enfriamiento, los cuales sirven para controlar las condiciones de proceso.

La penetración de calor en un alimento envasado puede realizarse por conducción o por convección por el movimiento de líquidos y gases; o bien por la combinación de ambas que es como ocurre generalmente. Existen factores que afectan la velocidad de penetración de calor como son: tamaño y forma del envase, relación sólido líquido, consistencia del alimento, volumen de llenado del envase y material del envase.

El uso de termopares es hasta la fecha el método más empleado para conocer la temperatura en el punto frío de los alimentos envasados y la velocidad de la penetración de calor durante el proceso térmico. Con este conocimiento se pueden obtener las curvas de penetración de calor y verificar que se alcancen en el punto más frío las condiciones de proceso (tiempo-temperatura) y se logre la esterilización comercial del alimento.

Se entiende por punto frío o punto crítico, al punto en el seno del alimento que alcanza la temperatura de proceso o bien el punto de más lento calentamiento.

En un alimento sólido enlatado en el cual se tiene un calentamiento por conducción (atún), el punto frío estará situado en el centro geométrico del envase; mientras que en el caso de los alimentos que calientan por convección (alimentos líquidos), el punto frío se localiza por debajo del centro de la lata; en el caso de alimentos con alto contenido de almidón, se presenta primero un calentamiento por convección y posteriormente por conducción a partir del momento en que se llegue a la temperatura de gelatinización del almidón.

Un termopar es un instrumento eléctrico de medición de temperatura que está formado por dos conductores de diferente material (cobre y constantán) que se sueldan juntos por los extremos y se conectan a un potenciómetro que funciona como sistema de medición.

Si los extremos de los conductores se colocan a diferentes temperaturas, se desarrolla una fuerza electromotriz que puede ser medida y relacionada con el cambio de la temperatura entre los dos extremos o empalmes del termopar.

El uso de los termopares nos permite determinar con exactitud la localización del punto frío así como la variación de la temperatura con respecto al tiempo cuando el alimento envasado está siendo calentado en un autoclave a presión. Posteriormente los datos de tiempo-temperatura se emplean para la evaluación del proceso térmico.

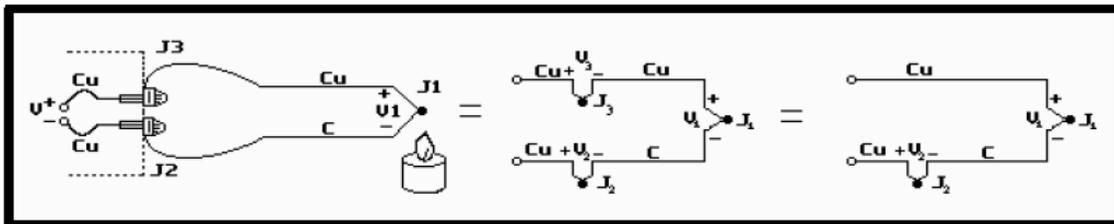
Los termopares más comunes, se fabricarán con conductores de los siguiente metales y aleaciones: cobre, hierro, platino, radio, tungsteno, renio, constantán, cromel, alumel.

Tabla 1.0 Tipos de termopares

<i>Designación ANSI</i>	<i>Composición</i>	<i>Margen habitual</i>	<i>mV/margen</i>
B	Pt (6%)/Rodio-Pt (30%)/Rodio	38 a 1800 °C	13.6
C	W (5%)/Renio-w (26%)/Renio	0 a 2300 °C	37.0
E	Cromel-Constantan	0 a 982 °C	75.0
J	Hierro-Constantan	-184 a 760 °C	50.0
K	Cromel-Alumel	-184 a 1260 °C	56.0
R	Pt (13%)/Rodio-Pt	0 a 1593 °C	18.7
S	Pt (10%)/Rodio-Pt	0 a 1538 °C	16.0
T	Cobre-Constantan	-184 a 400 °C	26.0

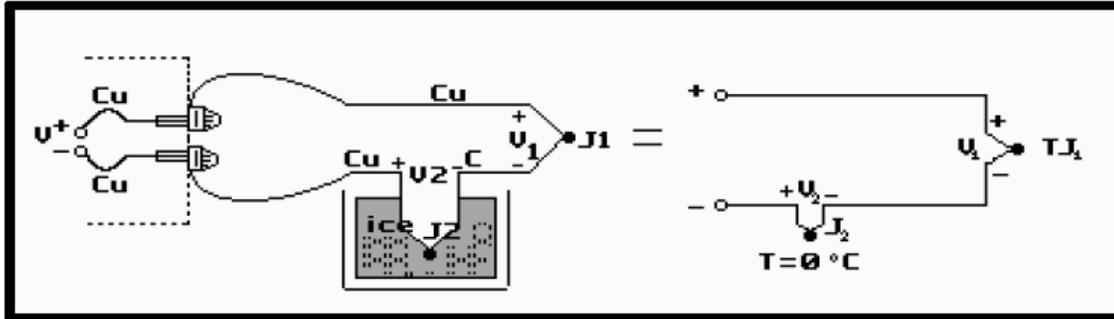
No podemos medir directamente la tensión de Seebeck de un termopar, ya que al conectarle un voltímetro, los cables de conexión crean una nueva unión termoeléctrica. Lo que sucede al conectar un voltímetro a un termopar tipo T (Cobre-Constantan) es lo siguiente:

- El objetivo es leer en el voltímetro la tensión V_1 correspondiente al punto de medida de la unión J_1 , pero por el hecho de conectar el voltímetro al termopar se han creado dos nuevas uniones: J_2 y J_3 .



- Como la unión J_3 es de dos metales iguales (Cobre-Cobre) no se crea tensión termoeléctrica según la ley de los metales homogéneos. Pero queda la unión J_2 formada por metales diferentes (Cobre-Constantan), que genera una tensión no deseada en oposición a V_1 .
- La tensión resultante leída en el voltímetro V será proporcional a la diferencia de temperaturas de las uniones J_1 y J_2 . Por tanto, no se puede conocer la tensión de la unión J_1 si primero no conocemos la temperatura de la unión J_2 .

- Una forma de determinar la temperatura de la unión J2 es poniendo esta unión en un baño de hielo, forzando su temperatura a 0 °C y estableciendo J2 como unión de referencia.



- En las dos uniones del voltímetro (Cobre-Cobre) no se crea tensión termoeléctrica, y la lectura V del voltímetro es proporcional a la diferencia de temperaturas entre las uniones J1 y J2. La lectura del voltímetro es:

$$V = (V1 - V2) = \alpha(Tj1 - Tj2)$$

Si especificamos tjn en grados Celsius:

$$tj1(^{\circ}\text{C} + 273.15) = Tj1(\text{K})$$

y sustituimos en la expresión anterior:

$$V = \alpha [(tj1 + 273.15) - (tj2 + 273.15)] = \alpha (tj1 - tj2) = \alpha (tj1 - 0) = \alpha tj1$$

donde α es el coeficiente de Seebeck del termopar. No hay que caer en el error de considerar la tensión V2 igual a cero, ya que en realidad es la tensión de la unión a 0° C.

- Este método es muy exacto, ya que la temperatura del punto de hielo, a diferencia de otras temperaturas, se puede calcular con mucha exactitud. El punto de hielo como unión de referencia es el empleado por la National Bureau of Standards (NBS) para confeccionar las tablas de tensión-temperatura de los termopares, de manera que se puede

convertir la tensión V en temperatura buscando los pares de valores correspondientes en estas tablas.

De lo expuesto hasta este punto hay que resaltar dos conceptos:

- Al medir con un voltímetro la tensión de los termopares siempre, inevitablemente, se forman dos nuevas uniones termoeléctricas de metales diferentes.
- Para deducir la temperatura de una unión mediante la tensión termoeléctrica hay que tener la otra unión a una temperatura conocida o de referencia.

III- MATERIALY EQUIPO y REACTIVOS:

- Envases destinados esterilización comercial: 2 lata o frasco con tapa metálica
- Selladora de latas y abre latas
- Guantes para manejar objetos calientes.
- Punzón para perforar la lata o tapa metálica
- Pinzas de electricista
- Cinta adhesiva
- Resina epóxica
- Multímetro
- Termómetro de mercurio
- Mechero y Trípode
- Beaker en el cual se pueda introducir la lata

- Agua
- Recipiente con hielo

MATERIA PRIMA

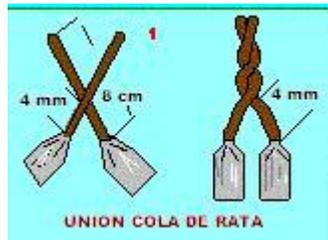
- 2 m de alambre de cobre
- 2 m de alambre de constantán
- Alimento ácido baja viscosidad a enlatar (jugo de frutas)
- Alimento ácido alta viscosidad a enlatar (pasta de tomate)

IV- PROCEDIMIENTO

Cada grupo elegirá un alimento entre alta y baja viscosidad. Luego compartirán los datos con los demás grupos.

La construcción de termopares se describe a continuación:

1. Con un punzón hacer dos agujeros diametralmente opuestos, ubicados a la altura de la localización del punto frío en frascos de vidrio en la tapa.
2. Cortar aproximadamente 2 m de alambre de cobre y constantán, quitar de los extremos el forro.
3. Pasar el alambre de cobre por una de los agujeros y el de constantán por el otro.
4. Hacer un amarre “cola de rata” uniendo los conductores en el interior del envase.



Cuando se hace esta unión se debe de quitar unos 8 cm. de aislamiento y cruzarlos y luego torcerlos como se indica en la figura superior.

5. Ajustar los alambres en el recipiente de tal manera que la unión se localice exactamente en el centro del mismo, para esto, se fijan los alambres contra el cuerpo del bote con cinta adhesiva.

6. Preparar una pequeña cantidad de resina epóxica y aplicarla en los orificios por donde pasan los alambres para sellar y obtener hermeticidad del envase.

7. Realizar la unión J2 entre el alambre de cobre y constantán, sumergirla en el baño de hielo a 0 °C.

Probar con un multímetro la continuidad del circuito.

Se debe de procesar el alimento (alta viscosidad y baja viscosidad) y dejarlo envasado en la lata, asegurándose de una correcta expulsión de aire y cierre hermético.

8. Caliente el agua en el beaker hasta los 100 °C.

9. Introduzca la lata en el baño caliente.

10. Apunte las medidas de voltaje del multímetro cada 2 min.

REPORTE

1. Convierta con la tabla de tensión-temperatura de los termopares los voltajes en temperaturas.
2. Sobre una gráfica, represente los siguientes datos:
 - a. Temperatura del baño caliente contra el tiempo.

- b. Temperatura del alimento contra el tiempo.
- 3. Calcule la letalidad total mediante el método de Patashnik.
- 4. Compare los datos de su producto con los de los demás grupos.
- 5. ¿Qué diferencia puede observar entre alimentos de baja viscosidad y alta viscosidad?

ANEXOS

5.9 Valores F_0 requeridos para la esterilización comercial

Producto	Tamaño del envase	Valor F_0 aproximado
Maíz «Cream style»	Nº 10	2-3
Caballa en salmuera	301 × 401	2.9-3.6
Espárragos	A11	2-4
Sopa de tomate (excepto crema de)	A11	3
Zanahorias	A11	3-4
Apio	A2	3-4
Nata	100-150 g	3-4
Salchichas de Frankfurt en salmuera	hasta 16Z	3-4
«Jamón estéril»	1/2-1 kg	3-4
Alimentos infantiles	potitos	3-5
Alubias en salsa de tomate	todos	4-5
Sopas de crema	A1-16Z	4-5
	hasta A10	6-10
Salchichas en grasa	hasta 1/2 kg	4-6
Budín de leche	hasta 16Z	4-10
Leche evaporada	hasta 16 oz	5
Salchichas tipo Viena, en salmuera	varios	5
Maíz «cream style»	Nº 2	5-6
Chili con carne	varios	6
Alimentos para perros	Nº 10	5
Judías verdes en salmuera	Nº 10	6
Rollo de carne	Nº 2	6
Guisantes en salmuera	hasta A2	6
Pollo deshuesado	todos	6-8
Arenques en tomate	ovales	6-8
Setas en mantequilla	hasta A1	6-8
Guisantes en salmuera	A2-A10	6-8
Setas en salmuera	A1	8-10
Filetes de pollo en gelatina	hasta 16 oz	6-10
Carne con curry y hortalizas	hasta 16Z	8-12
Maíz, mazorca entera, en salmuera	Nº 2	9
Pasteles de carne	planos	10
Sopas de carne	hasta 16Z	10
Carne, lonchas en su salsa	ovales	10
Alimentos para perros	Nº 10	12
Carnes en su salsa	A11	12-15
Alimentos para perros y gatos	hasta 16Z	15-18
Aves, caza, enteras, en salmuera	A2½-A10	15-18

JANUARY 10, 1989 TABLE 1 TYPE T THERMOCOUPLE NIST TEST NO. 959999
 TEMP. IN DEGREES C (PTS-58) EMF IN MICROVOLTS REF. JUNCTIONS AT 0 DEGREES C

TEMP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-110	-3620.	-3373.	-3401.	-3429.	-3456.	-3484.	-3511.	-3539.	-3566.	-3593.
-100	-3345.									
-90	-3059.	-3088.	-3117.	-3146.	-3175.	-3203.	-3232.	-3260.	-3289.	-3317.
-80	-2761.	-2791.	-2821.	-2851.	-2881.	-2911.	-2941.	-2971.	-3000.	-3029.
-70	-2452.	-2483.	-2515.	-2546.	-2577.	-2608.	-2639.	-2669.	-2700.	-2731.
-60	-2132.	-2165.	-2197.	-2229.	-2262.	-2294.	-2326.	-2357.	-2389.	-2421.
-50	-1802.	-1836.	-1869.	-1902.	-1935.	-1968.	-2001.	-2034.	-2067.	-2100.
-40	-1461.	-1496.	-1530.	-1565.	-1599.	-1633.	-1667.	-1701.	-1735.	-1768.
-30	-1111.	-1146.	-1182.	-1217.	-1252.	-1287.	-1322.	-1357.	-1392.	-1427.
-20	-750.	-786.	-823.	-859.	-895.	-931.	-969.	-1003.	-1039.	-1075.
-10	-380.	-417.	-454.	-492.	-529.	-566.	-603.	-640.	-677.	-713.
0	0.	-38.	-77.	-115.	-153.	-191.	-229.	-267.	-304.	-342.
0	0.	39.	78.	116.	155.	194.	233.	272.	312.	351.
10	390.	430.	469.	509.	549.	588.	629.	668.	708.	748.
20	700.	820.	869.	909.	949.	990.	1031.	1071.	1112.	1153.
30	1194.	1335.	1276.	1317.	1359.	1400.	1442.	1483.	1525.	1566.
40	1600.	1850.	1692.	1734.	1776.	1819.	1861.	1903.	1946.	1988.
50	2031.	2074.	2116.	2159.	2202.	2245.	2289.	2332.	2375.	2418.
60	2462.	2506.	2549.	2593.	2637.	2681.	2725.	2769.	2813.	2857.
70	2901.	2946.	2990.	3035.	3079.	3124.	3169.	3214.	3258.	3303.
80	3349.	3394.	3439.	3484.	3530.	3575.	3621.	3666.	3712.	3758.
90	3804.	3849.	3895.	3942.	3988.	4034.	4080.	4126.	4173.	4219.
100	4266.	4313.	4359.	4406.	4453.	4500.	4547.	4594.	4641.	4688.
110	4736.	4783.	4830.	4878.	4926.	4973.	5021.	5069.	5116.	5164.
120	5212.	5260.	5309.	5357.	5405.	5453.	5502.	5550.	5599.	5647.
130	5696.	5745.	5793.	5842.	5891.	5940.	5989.	6038.	6087.	6137.
140	6106.	6235.	6285.	6334.	6384.	6433.	6483.	6533.	6583.	6632.

Coeficientes de Seebeck

α

Type	S ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
S	6.02
R	5.93
B	0.05
E	60.93
J	51.71
K	40.46
T	40.69

REFERENCIA

1. Manual de datos para Ingeniería de alimentos. G.D. Hayes. Editorial Acibia. 1992.
2. "Ingeniería de Alimentos". Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio. Sharma. Mulvaney. Limusa Wiley. 2003

LABORATORIO N° 1

ESTERILIZACION COMERCIAL

Objetivos:

Que el estudiante:

- ✓ Conozca y ponga en práctica los conocimientos adquiridos sobre un autoclave para esterilización comercial de alimentos.
- ✓ Se familiarice con la operación del autoclave para el procesamiento térmico de latas, frascos o bolsas.
- ✓ Represente en gráficas y analice datos de tiempo-temperatura.

TEORÍA:

La transferencia de calor es una de las operaciones unitarias del procesamiento de alimentos más importantes. Casi todos los procesos requieren transferencia de calor, ya sea en forma de entrada de calor o en forma de eliminación del mismo, para modificar las características físicas, químicas y biológicas del producto. Durante el almacenamiento de frutas, verduras, carnes y productos lácteos se elimina calor a fin de que el producto se conserve por un periodo largo. El calentamiento implica la destrucción de patógenos y otros microorganismos que causan el deterioro de los alimentos, para así hacer a estos seguros y estables por periodos de almacenamiento más prolongados. La transferencia de calor la

regulan algunas leyes físicas que permiten predecir el fenómeno de calentamiento y terminar las condiciones óptimas de operación.

En esta guía de laboratorio se tendrá la oportunidad de llevar a la práctica algunos principios de la transferencia de calor y la destrucción térmica de microorganismos.

Temperatura de un proceso

Cuando se procesan alimentos, se obtiene un perfil típico de temperatura del autoclave como en la figura 1.

1. Cuando el alimento se acaba de cargar, el autoclave se haya aproximadamente a la temperatura ambiente.
2. Cuando se adiciona calor, la temperatura del autoclave aumenta rápidamente para alcanzar el valor fijado requerido por el alimento. El tiempo que se requiere para alcanzar la temperatura de procesamiento se llama ***tiempo de levante***.

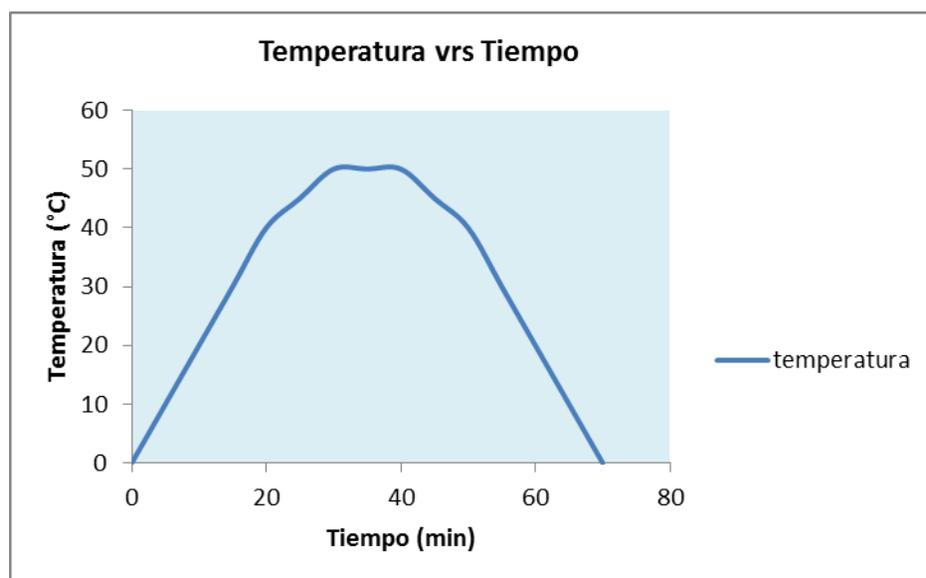


Fig 1. Perfil de temperatura-tiempo característico de un autoclave.

3. El autoclave se mantiene a esta temperatura durante el periodo necesario. El tiempo que se sostiene a esta temperatura se conoce como **tiempo de calentamiento**. A la suma del tiempo de levante y el tiempo de calentamiento se le denomina **tiempo de procesamiento**.

4. Cuando el agua fría reemplaza al vapor, la temperatura disminuye. El tiempo que se requiere para alcanzar aproximadamente la temperatura ambiente se conoce como **tiempo de enfriamiento**.

Nota: Para esta práctica no es indispensable el envasado de alimentos, introduzca al autoclave latas o frascos esterilizados por las empresas del mercado..

MATERIALES Y EQUIPO:

- Autoclave para esterilización de alimentos ubicado en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos.
- 10 litros de agua destilada
- Fósforos

PROCEDIMIENTO:

1. Instale el autoclave tal y como lo indica el manual de uso y procedimiento. No opere este equipo sin las medidas de seguridad mencionadas en este manual.
2. Cargue el autoclave con 10 litros de agua destilada.

3. Coloque la tapadera y cierre completamente asegurándose que los pernos queden completamente apretados.
4. Encienda cuidadosamente el quemador
5. Establezca el intervalo de tiempo con el que trabajara para tomar lectura de las temperaturas.
6. Tome lectura de la temperatura de inicio.

TAREA:

1. Conteste las siguientes preguntas.

- 1.1. ¿Cuáles son las características de cada uno de los siguientes elementos utilizados en el procesamiento de alimentos en un autoclave?
 - a. Vapor
 - b. Agua destilada
 - c. Aire comprimido
 - d. Desagüe
 - e. Válvulas de aire y seguridad
- 1.2. ¿Es necesario utilizar válvulas abrir-aire o cerrar-aire para regular el flujo de vapor en un autoclave?

2. Informe:

- 2.1. Sobre una gráfica, represente los siguientes datos:

a) Temperatura del autoclave contra tiempo.

2.2. Determine lo siguiente a partir de la gráfica:

a) Tiempo de levante aproximado del autoclave (tiempo necesario para que el autoclave pase de la temperatura inicial a la temperatura de 121°C).

b) La velocidad de calentamiento del autoclave durante el tiempo de levante (aumento de temperatura dividido entre el tiempo de levante).

c) La temperatura del medio de enfriamiento.

Instrucciones de Servicio

AUTOCLAVE DE VAPOR AUTOGENERADO



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA E INGENIERIA DE ALIMENTOS



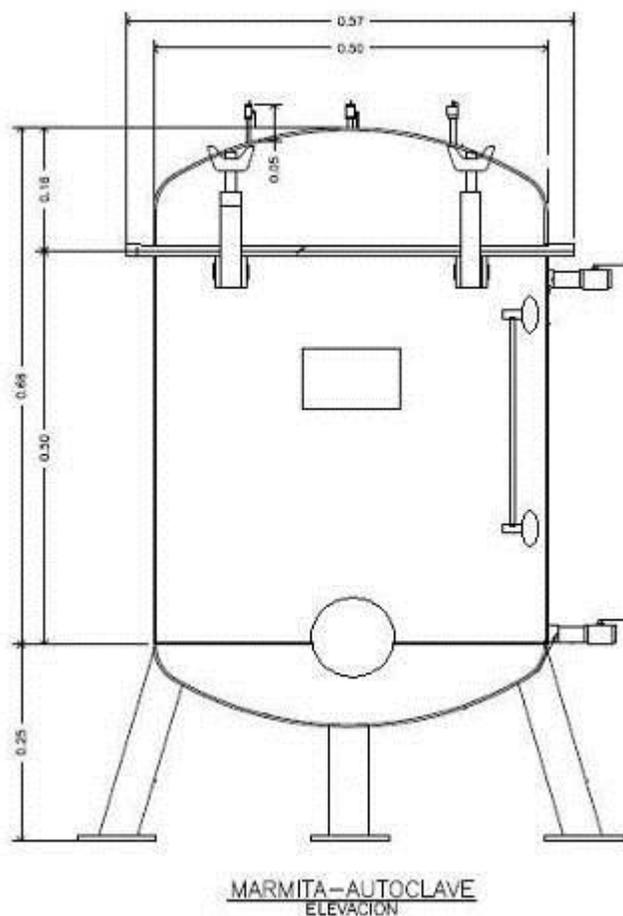
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA FIA-UES 2013

¡CUIDADO! ¡LEA ESTAS IMPORTANTES NORMAS DE SEGURIDAD!

CUANDO ESTE USANDO EL AUTOCLAVE DE VAPOR A PRESIÓN, LAS PRECAUCIONES BÁSICAS DE SEGURIDAD SIEMPRE DEBEN DE SEGUIRSE:

- Lea y entienda el manual de instrucciones antes de operar esta unidad.
- No toque superficies calientes. Use agarraderas o guantes para manipular el autoclave.
- Antes de ser usados siempre revise los aparatos de presión que no estén obstruidos.
- Este autoclave opera bajo presión. El uso inapropiado puede resultar en lesión por quemaduras. Antes de operar este seguro de que la unidad esta perfectamente cerrada. Lea las instrucciones de operación.
- Nunca afloje las mariposas hasta que la presión en el manómetro registre cero y ha permitido que cualquier presión sobrante se ha dejado escapar al abrir la válvula de aire.
- No abra el esterilizador hasta que la unidad se haya enfriado y la presión interna reducida. En

DIMENSIONES



CARACTERISTICAS TECNICAS

Diámetro	50 cm
Profundidad	65 cm
Volumen	100 L
Voltaje	110 V
Presión de trabajo	1.3 bar
Temperatura de trabajo	121°C
Peso aproximado	
Potencia del quemador	
Cantidad de agua destilada	10 L
Entrada/Salida de agua de enfriamiento	Φ ½"
Presión de aire comprimido	40 psi (2.8 bar)
Máxima presión	50 psi (3.4 bar)

INFORMACIÓN GENERAL

Se esteriliza por vapor con alta presión, que permite alcanzar temperaturas superiores a 100°C por aumento del punto de ebullición del agua. Es el método más sencillo, económico y práctico para esterilizar, no presentando efectos tóxicos ni corrosivos, debiéndose mantener precauciones especiales con instrumentos oxidables, filosos y termolábiles.

El mecanismo de acción del vapor en estas condiciones produce fenómenos tales como, la ruptura de las cadenas de ADN, pérdida de la integridad de las membranas celulares, y fundamentalmente coagulación y desnaturalización proteica bacterianas y virales.

El proceso total de esterilización (Ciclo De Esterilización) consta de los siguientes tiempos:

1) Tiempo De Calentamiento:

Es el periodo que transcurre desde que se enciende el aparato hasta que alcanza la temperatura de esterilización. Debe diferenciarse dentro de este un tiempo inicial denominado de purgado, durante el cual el aire es expulsado de la cámara de esterilización. Este es fundamental para la efectividad del método y en los autoclaves por gravedad debe ser controlado por el operario. El purgado en el Autoclave De Gravedad, se produce mediante la ebullición del agua y formación de vapor por la parte inferior del aparato y arrastre del aire hacia arriba, que escapa por la válvula de escape de aire. Una vez que el purgado finaliza (verificado por observación de salida de vapor continua por la válvula) y una vez que se cierra esta, comienza el tiempo de calentamiento, hasta que se alcance la temperatura de esterilización. El tiempo depende de la carga debiéndose establecer el tiempo ideal en cada caso.

2) Tiempo Letal:

Es el periodo en que la temperatura destruye los microorganismos, dependerá de la clase de alimento y del tipo y tamaño de empaque que se procesarán.

3) Tiempo de Enfriamiento:

Es el periodo en el cual la temperatura dentro de la cámara desciende debido a la introducción de agua de enfriamiento.

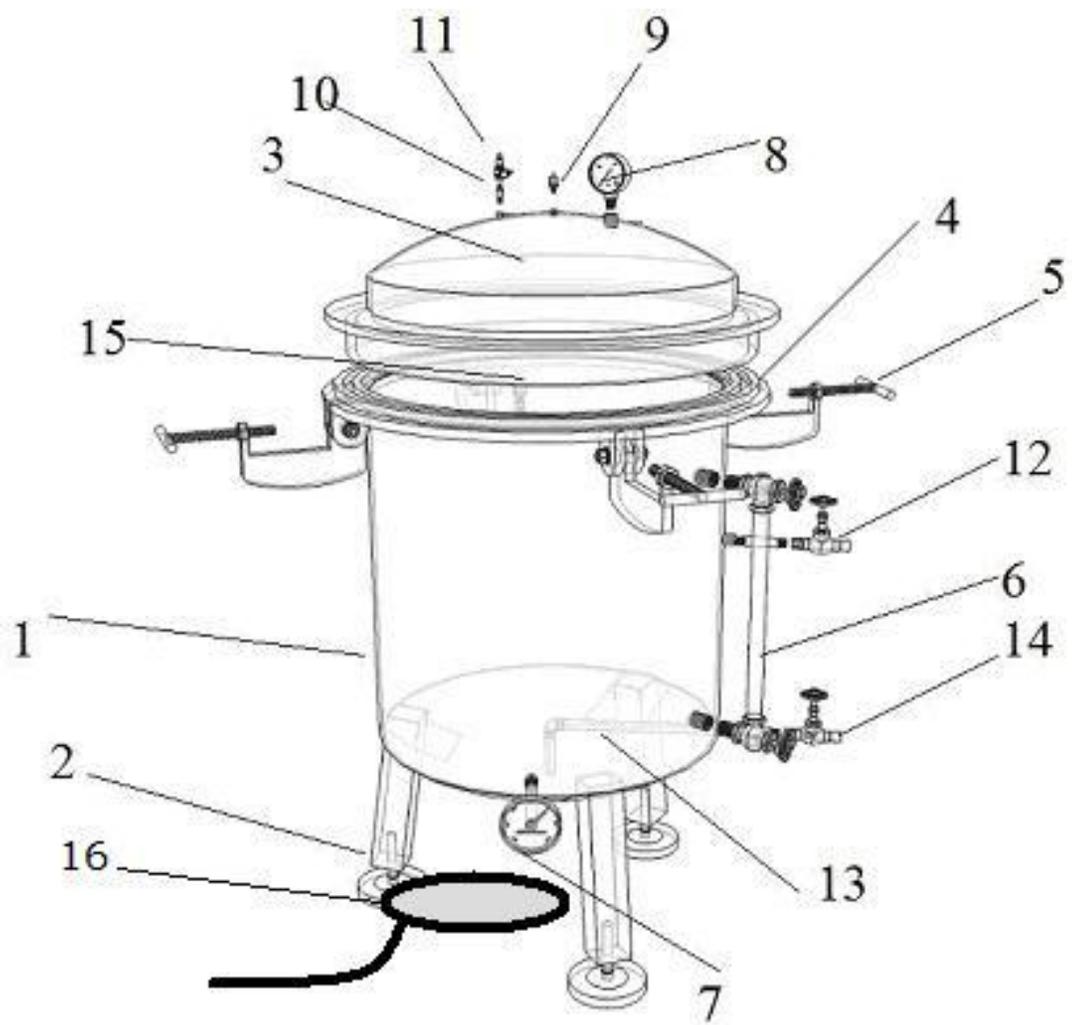
4) Tiempo de esterilización:

Es la suma total de todos los tiempos donde se garantiza la destrucción total de los microorganismos.

DESCRIPCIÓN DEL AUTOCLAVE

El equipo es un autoclave de vapor autogenerado con calefacción mediante un quemador a gas propano. Cuenta con los siguientes componentes:

1. Cuerpo cilíndrico
2. Patas regulables
3. Tapadera
4. Empaque para cierre entre tapa y casco cilíndrico
5. Mariposas para que aprieten la tapa contra el casco
6. Visor de nivel con conexión de $\frac{1}{2}$ "
7. Termómetro de dial en °C con conexión en $\frac{1}{2}$ "
8. Manómetro en bar con conexión en $\frac{1}{2}$ "
9. Válvula de purga de aire conexión en $\frac{1}{4}$ "
10. Válvula para aire comprimido conexión en $\frac{1}{4}$ " (también válvula para purga de aire)
11. Acople rápido para manguera de aire comprimido de $\frac{1}{4}$ "
12. Válvula para agua de enfriamiento con conexión de $\frac{1}{2}$ "
13. Tubo de sifón para desagüe de diámetro de $\frac{1}{2}$ "
14. Válvula de drenaje con conexión de $\frac{1}{2}$ "
15. Válvula de seguridad a 50 psi
16. Quemador



OPERACIÓN DEL AUTOCLAVE

1. Carga del autoclave:

Primero se agregan 10 litros de agua destilada al autoclave. Se cargan luego los productos a esterilizar en la canasta o bandeja.

2. Cerrado de autoclave:

Colocar la tapa en la posición tal que el manómetro se dirija hacia el frente del equipo. Apretar las mariposas de forma intercalada.



CUIDADO: Evitar forzar las mariposas pues estas se dañan con el exceso en el apriete.

Abrir la válvula del gas propano.



Verificar que la presión del gas propano sea suficiente para el adecuado funcionamiento del quemador.

Encender el quemador mediante el chispero.

3. Purga de aire:

Se abre la válvula de purga de aire, mientras se forma el vapor desplaza el aire, sacándolo del recinto. Cuando por la válvula salga solo vapor se cierra, aproximadamente a los 90°C.



CUIDADO: Si no se logra una adecuada purga del aire se eleva la presión y no se tiene un proceso eficiente.

4. Elevación de la temperatura:

Una vez cerrada la válvula se eleva la temperatura y la presión hasta llegar a la temperatura de trabajo de 121°C.



CUIDADO: El autoclave no tiene aislamiento, utilizar guantes protectores contra el calor para evitar quemaduras.

5. Tiempo de procesado:

Tiempo que se deja el producto para esterilizarlo a 121°C, dependerá de la clase de alimento y tipo de empaque.

6. Enfriamiento:

Al terminar el tiempo de procesado, se apaga el gas cerrando la válvula del gas propano. Se comienza a abrir el agua de enfriamiento lentamente, se deja el flujo muy pequeño.



CUIDADO: Si se abre demasiado la válvula de agua de enfriamiento los recipientes pueden explotar.

Se conecta la manguera de aire comprimido y se abre progresivamente la válvula tratando de mantener la presión en 1.5 bar.

Mientras se llena el autoclave con agua de enfriamiento la presión vuelve a subir por lo que se cierra la válvula de aire comprimido y se desconecta la manguera. Se libera presión con la válvula manual manteniendo la presión en 1 bar.



CUIDADO: Evitar disminuir la presión por debajo de 1 bar pues se corre peligro de explosión de los frascos o bolsas.

Al llegar al nivel superior, abrir la válvula de drenaje. Circular agua de enfriamiento hasta que esta baje su temperatura hasta 40°C.

7. Drenado del autoclave:

Cerrar la válvula de entrada de agua de enfriamiento. Acoplar de nuevo la manguera de aire comprimido. Abrir la válvula de aire comprimido y evacuar toda el agua del autoclave.

8. Destapado del autoclave:

Cerrar el aire comprimido y retirar la manguera. Abrir de forma intercalada los mariposas. Levantar cuidadosamente la

tapa pues aún tiene condensación de agua.



Utilizar ropa y guantes para evitar quemaduras.

Sacar los productos del autoclave y dejar secar al aire.

9. Limpieza del autoclave:

Al terminar el procesado se debe de secar con un paño el exceso de agua.

MANTENIMIENTO DEL AUTOCLAVE

Se debe realizar un mantenimiento periódico del equipo de forma de garantizar su funcionamiento en forma continua, segura y eficaz.



CUIDADO: Desconecte el equipo antes de cualquier operación de mantenimiento.

Se debe limpiar el equipo en su parte interior, exterior, puertas y sellos con un paño húmedo antes y luego de su utilización. No se deben utilizar paños, esponjas o detergentes abrasivos.

En el caso que queden manchas blancas se debe cuidar la calidad de agua que se está utilizando.

Para realizar una limpieza profunda se deben remover las bandejas y canastas de forma de limpiar perfectamente todas las secciones de la cámara.

Cuando ha terminado de usar el autoclave, necesita sacarle el agua sobrante a la unidad, y séquelo completamente. Este procedimiento necesita hacerse cada carga.

Cuando use el autoclave llénelo con agua limpia destilada. El agua destilada es el agua recomendada. Si no hay agua destilada disponible use el agua local. Si el agua del acueducto local contiene cal o altos niveles de minerales, la unidad requerirá ser limpiada periódicamente para remover y prevenir las acumulaciones de cal o depósitos de minerales.

Las unidades deben de ser limpiadas siempre que haya acumulaciones de cal o depósitos de minerales. Después de muchos ciclos, un depósito blanco talvez se empiece a formar en el fondo del autoclave. Le recomendamos limpiar con un removedor de cal. Los fabricantes de cafeteras tienen limpiadores que talvez pueda usar. También hay soluciones disponibles en su ferretería o farmacias que se pueden usar para limpiar. Siga las instrucciones del fabricante y haga

una solución de limpiador, llenando el autoclave mas arriba del nivel normal de operación. Deje el autoclave por pocos minutos y después enjuáguelo.

Talvez tenga que seguir este procedimiento repetidas veces para remover completamente la cal y depósitos de minerales.



CUIDADO: Nunca prenda el esterilizador cuando esta lleno con soluciones limpiadoras.

LUBRICANTE

Se deben de lubricar las mariposas de sujeción de la tapa con el casco cilíndrico con grasa. Se requiere solamente una capa delgada. Excesos de lubricantes pueden causar contaminación, manchas y ponerse pegajoso. El lubricante se puede conseguir en almacenes de abastecimiento científico. Hay muchas marcas disponibles. Como sustituto, usted puede usar pomada de petróleo o aceite mineral.

MANÓMETRO

Cuando este limpiando la unidad no mojar el manómetro de presión en agua.

El manómetro de presión normalmente no requiere ningún mantenimiento excepto el estar seguro de que la abertura en el manómetro que esta por debajo de la tapa

este abierta y libre de cualquier materia extraña. Si alguna vez el manómetro se cae, la unidad no debe ser usada hasta que el manómetro haya sido revisado para estar seguro de que esta funcionando apropiadamente. Si el manómetro necesita ser examinado, llévelo a un almacén, o cámbielo por uno nuevo.

VÁLVULA DE ESCAPE DE AIRE

Es esencial que la válvula del aire de escape sea frecuentemente revisada para estar seguro de que el aire pasa libremente a través de ella. Le recomendamos soplar aire a través de la válvula de escape por lo menos una vez al mes para estar seguro de que no esta bloqueada o atascada con materiales extraños. Limpie usando un alambre de diámetro pequeño, pasándolo varias veces a lo largo. Si nota que hay acumulación de material extraño dentro del pasaje de aire o una acumulación de oxido se recomienda reemplazar la válvula por una nueva.

VÁLVULA DE SEGURIDAD PARA EXCESO DE PRESIÓN

Este autoclave esta equipado con un tipo de válvula de seguridad para el exceso de presión. Esta diseñado para durar largo tiempo libre de mantenimiento; sin embargo, recomendamos que la válvula sea

reemplazada cada tres años de servicio normal. La válvula esta diseñada para dejar salir la presión a 50 PSI (+/- 1 PSI).

También es posible, manualmente, dejar salir el vapor y la presión de esta unidad simplemente, sujetando el pin de la válvula y halándolo un poquito hacia arriba. La válvula estará caliente.



Siempre use almohadillas para objetos calientes cuando este operando el esterilizador.

Esto instantáneamente dejará escapar la presión de la unidad hasta que suelte el pin y la válvula, en ese momento la válvula instantáneamente resella, para parar cualquier otro escape de la presión.



CUIDADO: Si se excede la presión de trabajo la válvula tendrá un escape de vapor.

OXIDACIÓN

La unidad está hecha de acero inoxidable de forma que si se utiliza correctamente no es posible la formación de óxido, por lo tanto si aparece es debido a la introducción de instrumentos oxidados.

En el caso de que aparezca remover el mismo con un producto para limpieza de acero inoxidable con un paño húmedo, sin utilizar ningún elemento abrasivo.

VISOR DE NIVEL

Revisar que el visor de nivel no tenga fugas de líquido durante el esterilizado, si las hay cambiar los empaques del mismo.



CUIDADO: fugas en el visor pueden causar ineficiencia en la esterilización.

PROHIBICIONES



Prohibido: Utilizar el aparato para objetivos diferentes de aquellos para los que está destinado.



Prohibido: Apoyar objetos sobre el autoclave



Prohibido: cualquier operación de limpieza con el aparato conectado a la red de alimentación eléctrica.



Si se advierte olor a gas, no accionar interruptores eléctricos, teléfono y cualquier otro objeto que pueda provocar chispas. Ventilar el local abriendo puertas y ventanas, y cerrar la llave general de gas.



Prohibido: dejar cajas ni sustancias inflamables en el local donde está instalado el aparato.

ANEXO E

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLOGICOS



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**



162 Años
Al servicio de la
Educación Superior salvadoreña

Ciudad Universitaria
Final 25 Avenida Norte
San Salvador, El Salvador

Telefax No (503) 225-8826 y 225-8434
Correo: CEN_SALUD_UES@hotmail.com
cedilow@navegante.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

**Conservas vegetales en frascos de vidrio
antes de su esterilización comercial rotulado
como "frijol fresco"**

Nombre de la Muestra: _____ Código AL-201

Muestreador: Pablo Gabriel Mendoza

Solicitante: Pablo Gabriel Mendoza Fecha de emisión: 06/03/2012

Recuento en placa vertida para bacterias aeróbicas y anaeróbicas RTCA

Método: 67.04.50.08

Descripción: Frijoles enteros envasados en frascos de vidrio.

Recepción: 15/02/2013 1:50 p.m.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Recuento de Bacterias aeróbicas	160 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Bacterias anaeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g

UFC/mL = Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto

OBSERVACIONES:

* Las especificaciones se han tomado de la Norma Mexicana para Alimentos para Humanos. RTCA 67.04.50.08


Lic. Amy Elieth Morán Rodríguez
QUÍMICA – MICROBIÓLOGA



Fecha de análisis: 25-02-2013



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**



162 Años
Al servicio de la
Educación Superior salvadoreña

Ciudad Universitaria
Final 25 Avenida Norte
San Salvador, El Salvador

Telefax No. (503) 225-8826 y 225-8434
Correo: CEN.SALUD.UES@hotmail.com
cedillos@navegante.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre de la Muestra: Conservas vegetales en frascos de vidrio
esterilizado rotulado como "frijol esterilizado" Código AL-202

Muestreador: Pablo Gabriel Mendoza

Solicitante: Pablo Gabriel Mendoza Fecha de emisión: 06/03/2012

Recuento en placa vertida para bacterias aeróbicas y anaeróbicas RTCA
Método: 67.04.50.08

Descripción: Frijoles enteros envasados en frascos de vidrio.

Recepción: 15/02/2013 1:50 p.m.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Recuento de Bacterias aeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Bacterias anaeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g

UFC/mL = Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto

OBSERVACIONES:

* Las especificaciones se han tomado de la Norma Mexicana para Alimentos para Humanos. RTCA 67.04.50.08

[Handwritten signature]



Lic. Amy Elieth Morán Rodríguez
QUÍMICA – MICROBIOLOGA

Fecha de análisis: 25-02-2013



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**



162 Años
Al servicio de la
Educación Superior salvadoreña

Ciudad Universitaria
Final 25 Avenida Norte
San Salvador, El Salvador

Telefax No. (503) 225-8826 y 225-8434
Correo: CEN_SALUD_UES@hotmail.com
rcedillos@navegante.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre de la Muestra: Conservas vegetales en frascos de vidrio
previa incubación a 35°C por 10 días Código AL-203

Muestreador: Pablo Gabriel Mendoza

Solicitante: Pablo Gabriel Mendoza Fecha de emisión: 06/03/2012

Recuento en placa vertida para bacterias aeróbicas y anaeróbicas RTCA
Método: 67.04.50.08

Descripción: Frijoles enteros envasados en frascos de vidrio.

Recepción: 15/02/2013 1:50 p.m.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Recuento de Bacterias aeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Bacterias anaeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g

UFC/mL = Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto

OBSERVACIONES:

* Las especificaciones se han tomado de la Norma Mexicana para Alimentos para Humanos. RTCA 67.04.50.08

* Los resultados corresponden al promedio del análisis de cinco muestras


Lic. Amy Elieth Morán Rodríguez
QUÍMICA – MICROBIÓLOGA



Fecha de análisis: 25-02-2013



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**



162 Años
Al servicio de la
Educación Superior salvadoreña

Ciudad Universitaria
Final 25 Avenida Norte
San Salvador, El Salvador

Telefax No (503) 225-8826 y 225-8434
Correo: CEN_SALUD_UES@hotmail.com
roedillos@navegante.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre de la Muestra: Conservas vegetales en frascos de vidrio
previa incubación a 35°C por 10 días Código AL-205
Muestreador: Pablo Gabriel Mendoza
Solicitante: Pablo Gabriel Mendoza Fecha de emisión: 06/03/2012
Método: 67.04.50.08
Descripción: Frijoles enteros envasados en frascos de vidrio.

Recepción: 15/02/2013 1:50 p.m.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Recuento de Bacterias aeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Bacterias anaeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g

UFC/mL = Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto

OBSERVACIONES:

* Las especificaciones se han tomado de la Norma Mexicana para Alimentos para Humanos. RTCA 67.04.50.08

* Los resultados corresponden al promedio del análisis de cinco muestras

[Handwritten Signature]

Lic. Amy Elieth Morán Rodríguez
QUÍMICA – MICROBIÓLOGA



Fecha de análisis: 25-02-2013



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**



162 Años
Al servicio de la
Educación Superior salvadoreña

Ciudad Universitaria
Final 25 Avenida Norte
San Salvador, El Salvador

Telefax No. (503) 225-8826 y 225-8434
Correo: CEN_SALUD_UES@hotmail.com
cedilios@navegante.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre de la Muestra: Conservas vegetales en frascos de vidrio
previa incubación a 35°C por 10 días Código AL-206
Muestreador: Pablo Gabriel Mendoza
Solicitante: Pablo Gabriel Mendoza Fecha de emisión: 06/03/2012
Recuento en placa vertida para bacterias aeróbicas y anaeróbicas RTCA
Método: 67.04.50.08
Descripción: Frijoles enteros envasados en frascos de vidrio.

Recepción: 15/02/2013 1:50 p.m.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Recuento de Bacterias aeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Bacterias anaeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g

UFC/mL = Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto

OBSERVACIONES:

* Las especificaciones se han tomado de la Norma Mexicana para Alimentos para Humanos. RTCA 67.04.50.08

* Los resultados corresponden al promedio del análisis de cinco muestras


Lic. Amy Elieth Morán Rodríguez
QUÍMICA – MICROBIÓLOGA



Fecha de análisis: 25-02-2013



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**



162 Años
Al servicio de la
Educación Superior salvadoreña

Ciudad Universitaria
Final 25 Avenida Norte
San Salvador, El Salvador

Telefax No. (503) 225-8826 y 225-8434
Correo: CEN_SALUD_UES@hotmail.com
roedillos@navegante.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre de la Muestra: Conservas vegetales en frascos de vidrio
previa incubación a 35°C por 10 días Código AL-207
Muestreador: Pablo Gabriel Mendoza
Solicitante: Pablo Gabriel Mendoza Fecha de emisión: 06/03/2012
Recuento en placa vertida para bacterias aeróbicas y anaeróbicas RTCA
Método: 67.04.50.08
Descripción: Frijoles enteros envasados en frascos de vidrio.

Recepción: 15/02/2013 1:50 p.m.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Recuento de Bacterias aeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Bacterias anaeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g

UFC/mL = Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto

OBSERVACIONES:

* Las especificaciones se han tomado de la Norma Mexicana para Alimentos para Humanos. RTCA 67.04.50.08

* Los resultados corresponden al promedio del análisis de cinco muestras


Lic. Amy Elieth Morán Rodríguez
QUÍMICA – MICROBIÓLOGA



Fecha de análisis: 25-02-2013



INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre de la Muestra: Conservas vegetales en frasco plástico rotulado como "Frijol sin esterilizar" Código AL-214

Muestreador: Pablo Gabriel Mendoza

Solicitante: Pablo Gabriel Mendoza Fecha de emisión: 06/03/2012

Método: 67.04.50.08
Recuento en placa vertida para bacterias aeróbicas y anaeróbicas RTCA

Descripción: Frijoles enteros color café

Recepción: 19/02/2013 10:25 a.m.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Recuento de Bacterias aeróbicas	2.3 x10 ⁶ UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Bacterias anaeróbicas	2.2 x10 ⁶ UFC/g	< 10 UFC/g

UFC/mL = Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto

OBSERVACIONES:
* Las especificaciones se han tomado de la Norma Mexicana para Alimentos para Humanos. RTCA 67.04.50.08

Lic. Amy Elieth Morán Rodríguez
QUÍMICA – MICROBIÓLOGA



Fecha de análisis: 25-02-2013



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**



162 Años
Al servicio de la
Educación Superior salvadoreña

Ciudad Universitaria
Final 25 Avenida Norte
San Salvador, El Salvador

Telefax No. (503) 225-8826 y 225-8434
Correo: CEN_SALUD_UES@hotmail.com
cedillos@navegante.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre de la Muestra: Conservas vegetales en bolsa retortable
multilaminar previa incubación a 35°C por 10
días Código AL-210
Muestrador: Pablo Gabriel Mendoza
Solicitante: Pablo Gabriel Mendoza Fecha de emisión: 06/03/2012
Método: 67.04.50.08
Descripción: Frijoles molidos color café.

Recepción: 19/02/2013 10:25 a.m.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Recuento de Bacterias aeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Bacterias anaeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g

UFC/mL = Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto

OBSERVACIONES:
* Las especificaciones se han tomado de la Norma Mexicana para Alimentos para Humanos. RTCA 67.04.50.08


Lic. Amy Elieth Morán Rodríguez
QUÍMICA – MICROBIÓLOGA



Fecha de análisis: 25-02-2013



INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

**Conservas vegetales en bolsa retortable
multilaminar previa incubación a 35°C por 10
días**

Nombre de la Muestra: _____ Código AL-211

Muestreador: Pablo Gabriel Mendoza

Solicitante: Pablo Gabriel Mendoza Fecha de emisión: 06/03/2012

Recuento en placa vertida para bacterias aeróbicas y anaeróbicas RTCA
Método: 67.04.50.08

Descripción: Frijoles molidos color café

Recepción: 19/02/2013 10:25 a.m.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Recuento de Bacterias aeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Bacterias anaeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g

UFC/mL = Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto

OBSERVACIONES:

* Las especificaciones se han tomado de la Norma Mexicana para Alimentos para Humanos. RTCA 67.04.50.08


Lic. Amy Elieth Morán Rodríguez
QUÍMICA – MICROBIÓLOGA



Fecha de análisis: 25-02-2013



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**



162 Años
Al servicio de la
Educación Superior salvadoreña

Ciudad Universitaria
Final 25 Avenida Norte
San Salvador, El Salvador

Telefax No (503) 225-8826 y 225-8434
Correo: CEN_SALUD_UES@hotmail.com
roedillos@navegante.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre de la Muestra: Conservas vegetales en bolsa retortable
multilaminar Código AL-213
Muestreador: Pablo Gabriel Mendoza
Solicitante: Pablo Gabriel Mendoza Fecha de emisión: 06/03/2012
Recuento en placa vertida para bacterias aeróbicas y anaeróbicas RTCA
Método: 67.04.50.08
Descripción: Frijoles molidos color café

Recepción: 19/02/2013 10:25 a.m.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Recuento de Bacterias aeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Bacterias anaeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g

UFC/mL = Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto

OBSERVACIONES:

* Las especificaciones se han tomado de la Norma Mexicana para Alimentos para Humanos. RTCA 67.04.50.08

Lic. Amy Elieth Morán Rodríguez
QUÍMICA – MICROBIÓLOGA



Fecha de análisis: 25-02-2013



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD MICROBIOLÓGICO**



162 Años
Al servicio de la
Educación Superior salvadoreña

Ciudad Universitaria
Final 25 Avenida Norte
San Salvador, El Salvador

Telefax No (503) 225-8826 y 225-8434
Correo: CEN_SALUD_UES@hotmail.com
cedilios@navegante.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre de la Muestra: Conservas vegetales en frascos de vidrio
previa incubación a 35°C por 10 días Código AL-204
Muestreador: Pablo Gabriel Mendoza
Solicitante: Pablo Gabriel Mendoza Fecha de emisión: 06/03/2012
Recuento en placa vertida para bacterias aeróbicas y anaeróbicas RTCA
Método: 67.04.50.08
Descripción: Frijoles enteros envasados en frascos de vidrio.

Recepción: 15/02/2013 1:50 p.m.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES*
Recuento de Bacterias aeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g
Recuento de Bacterias anaeróbicas	<10 UFC/g	< 10 UFC/g

UFC/mL = Unidades Formadoras de Colonias por gramo de producto

OBSERVACIONES:

* Las especificaciones se han tomado de la Norma Mexicana para Alimentos para Humanos. RTCA 67.04.50.08

Amy Elieth Morán Rodríguez

Lic. Amy Elieth Morán Rodríguez
QUÍMICA – MICROBIÓLOGA



Fecha de análisis: 25-02-2013