

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



"CONVERSION DE AUTOCLAVES CONVENCIONALES
AL SISTEMA DE CONTRAPRESION EMPLEANDO
AGUA PRECALENTADA"

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECANICO

JAVIER ADOLFO SARAVIA BURGOS

PROMOCION 1987-I

LIMA - PERU

1991

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
PROLOGO.....	1
CAPITULO 1: INTRODUCCION.....	4
CAPITULO 2: ASPECTOS GENERALES.....	7
2.1. Definición de autoclave.....	8
2.1. Tipos de autoclaves.....	9
2.2.1. Por el sistema de operación.....	10
2.2.1.1. Autoclaves convencionales.....	10
2.2.1.2. Autoclaves de contrapresión.....	11
2.2.2. Por la posición.....	13
2.2.2.1. Autoclaves verticales.....	13
2.2.2.2. Autoclaves horizontales.....	17
2.2.3. Por el uso.....	20
2.2.3.1. Autoclaves para recipientes de metal.....	20
2.2.3.2. Autoclaves para recipientes de vidrio.....	21
2.2.3.3. Autoclaves hidrostáticas.....	22
CAPITULO 3: PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO.....	24
3.1. Condiciones termodinámicas.....	24
3.1.1. Referentes al vapor.....	25
3.1.1.1. Consumo de vapor y requere- mientos del generador.....	26
3.1.1.2. Suministro de vapor.....	29
3.1.1.2.1. Cabezales.....	30

3.1.1.2.2.	Entradas de vapor.....	31
3.1.1.2.3.	Distribuidores de vapor.....	33
3.1.1.3.	Cálculo del vapor requerido para el autoclavado.....	36
3.1.2.	Referentes al agua.....	37
3.1.2.1.	Cálculo de la cantidad de agua requerida para el autoclavado.....	39
3.1.2.2.	Drenaje.....	40
3.1.3.	Referentes al aire.....	41
3.1.3.1.	Suministro de aire.....	42
3.1.3.2.	Importancia de la remoción del aire.....	43
3.1.3.3.	Cálculo del aire requerido para el autoclavado.....	47
3.1.4.	Referentes a la transferencia de calor.....	48
3.1.4.1.	Características de la transferencia de calor.....	53
3.1.4.2.	Enfriamiento.....	57
3.2.	Condiciones Mecánicas.....	60
3.2.1.	Requerimientos mínimos para retortas verticales.....	61
3.2.2.	Requerimientos mínimos para retortas horizontales.....	62
3.2.3.	Cálculos de materiales empleados.....	62
3.2.3.1.	Cálculo de planchas.....	63
3.2.3.2.	Cálculo de tuberías.....	63

CAPITULO 4: DISEÑO DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO.....	65
4.1. Características del autoclave a utilizar y del proceso actual.....	65
4.1.1. Comprobación del espesor de plancha del autoclave.....	67
4.2. Diseño de la instalación.....	68
4.3. Cálculo del sistema de Precalentamiento.....	69
4.3.1. Diseño del tanque de agua.....	70
4.3.1.1. Cálculo de planchas.....	79
4.3.1.2. Cálculo de soldadura.....	80
4.3.1.3. Cálculo del aislamiento.....	81
4.3.2. Diseño del sistema de bombeo.....	88
4.3.2.1. Cálculo de las bombas de agua.....	89
4.3.2.2. Cálculo de tuberías.....	90
4.3.2.3. Cálculo de pérdidas.....	91
4.3.3. Cálculo del sistema de inyección de vapor.....	91
4.3.3.1. Cálculo de la cantidad de vapor requerido.....	92
4.3.3.2. Cálculo del consumo de combustible.....	106
4.3.3.3. Cálculo de las tuberías de vapor.....	107
4.3.3.4. Cálculo del aislamiento para las tuberías de vapor.....	110

4.3.3.5.	Comparación de la cantidad de vapor y de combustible requeridos para ambos sistemas.....	111
4.3.3.6.	Cálculo de pérdidas de calor.....	115
CAPITULO 5: ANALISIS DE COSTOS.....		118
5.1.	Introducción.....	118
5.2.	Costos de fabricación.....	120
5.2.1.	Costo de mano de obra directa.....	120
5.2.2.	Costo de materiales directos.....	121
5.2.3.	Costo de maquinado.....	126
5.2.4.	Costos generales.....	127
5.2.4.1.	Costo de mano de obra indirecta.....	127
5.2.4.2.	Costo de materiales auxiliares.....	127
5.2.4.3.	Costos generales varios.....	128
5.3.	Cuadros de costos del proyecto a realizar.....	129
5.4.	Comparación entre ambos sistemas.....	129
CAPITULO 6: MANTENIMIENTO Y CONTROL.....		131
6.1.	Mantenimiento del autoclave.....	131
6.1.1.	Instrumentos y accesorios empleados.....	132
6.1.1.1.	Termómetros.....	132
6.1.1.2.	Manómetros.....	134
6.1.1.3.	Válvulas manuales.....	135
6.1.1.4.	Válvulas de seguridad.....	136
6.1.1.5.	Registradores de temperatura y controles.....	137

6.1.2. Pruebas del autoclave.....	139
6.1.2.1. Prueba hidrostática.....	139
6.1.2.2. Prueba de distribución de vapor.....	141
6.2. Mantenimiento del tanque.....	145
6.2.1. Instrumentos y accesorios empleados.....	146
6.2.1.1. Termómetro.....	146
6.2.1.2. Válvulas.....	146
6.2.1.3. Detector de nivel de agua.....	147
6.2.2. Prueba del tanque.....	148
6.3. Programa de mantenimiento para el sistema.....	149
CONCLUSIONES.....	150
BIBLIOGRAFIA.....	153
PLANOS.....	155
APENDICE.....	157

TABLAS

TABLA NO	DESIGNACION	PAG.
1	Tamaño de tuberías para cabezales.....	31
2	Número de agujeros para distribuidores de vapor.....	35
3	Area de agujeros y sección interna de tuberías.....	36
4	Diámetro de lumbreras para retortas verticales de 3 y 4 niveles.....	46
5	Diámetro de lumbreras para retortas horizontales.....	46
6	Pie cúbico de aire libre disponible por pie cúbico de capacidad de tanque receptor.....	47
7	Requirimientos mínimos para retortas verticales de 3 y 4 niveles.....	61
8	Requerimientos mínimos para retortas horizontales.....	62
9	Comparación de producción para ambos sistemas.....	66
10	Estados de vapor en el sistema.....	69
11	Temperatura de llegada del agua al tanque.....	101
12	Espesores de aislantes recomendados.....	110
13	Espesores de aislantes seleccionados.....	111

14	Presiones manométricas correspondien- tes a temperaturas de proceso especi- ficadas a varias altitudes.....144
----	--

CUADROS

	PAG.
A	Costo de mano de obra directa.....120
B	Costo de materiales del tanque de precalentamiento.....121
C	Costo de materiales del sistema de agua.....122
D	Costo de materiales del sistema de vapor.....123
E	Costo de materiales del sistema de aire.....124
F	Costo de instrumentación, contro- les y materiales auxiliares em- pleados en la conversión.....125
G	Costo de materiales directos.....126
H	Costo de mano de obra directa.....127
I	Costo Total del Proyecto.....129

FIGURAS

Nº	DESIGNACION	PAG.
1	Autoclaves verticales.....	16
2	Autoclaves horizontales.....	19
3	Variación térmica de la parte cen- tral del alimento.....	51
4	Curva de proporción de rango letal.....	52
5	Geometría de un tanque cilíndrico horizontal.....	71
6	Geometría de las tapas de tanques.....	74
7	Esquema de espesores.....	83
8	Analogía para hallar el coeficien- te pelicular.....	85
9	Condiciones para determinar la temperatura de llegada al tanque de precalentamiento.....	95
10	Esquema para determinar la diferen- cia media logarítmica.....	97

PROLOGO

La necesidad de optimizar los costos de producción de energía, la mejor utilización de la misma y el tratar de mejorar los procesos industriales relacionados con la utilización de energía térmica debido al incremento constante de los costos de combustibles es una tarea perentoria para contrarrestar el aumento de los costos de producción.

Tradicionalmente, la industria conservera en el país ha sido sumamente competitiva gracias a la abundancia de productos alimenticios especialmente en especies cotizadas en el exterior, como espárragos, hortalizas, langostinos, atún, etc, lo cual genera una industria alimenticia competitiva desde el punto de vista de calidad.

El incremento de los costos de los combustibles hace necesario optimizar los procesos al máximo para seguir teniendo precios que garanticen competir en los mercados internacionales con el éxito de épocas anteriores.

El objetivo de la presente tesis es referido a la mejora en el rendimiento térmico del proceso de esterilización, llamado también autoclavado, en envases de hojalata destinados a la industria conservera pesquera, convirtiendo autoclaves convencionales en autoclaves de contrapresión aumentando asimismo los volúmenes de producción y reduciendo, por consiguiente, sus costos.

Para obtener este fin, se desarrollarán los capítulos de acuerdo al orden establecido en la tabla de contenidos.

En el primer capítulo se abarcará los objetivos del presente trabajo, lo que se espera obtener, y la forma como se realizará éste. Asimismo, se hace una pequeña explicación del proceso térmico y como se está realizando actualmente, para así tener las bases de comparación con la conversión a realizar.

En el segundo capítulo se desarrollan los diferentes tipos de autoclaves, sus principales características y los usos de cada una de ellas.

En el tercer capítulo se abarcarán todos los parámetros de funcionamiento de las autoclaves, las condiciones termodinámicas referentes al vapor, al agua y al aire, como son consumos, características de operación así como las bases para realizar los cálculos respectivos. También se tocan aspectos de transferencia de calor y las condiciones mecánicas de las autoclaves tanto verticales como horizontales y la forma como se calculan las planchas, tuberías, etc. para su selección.

El cuarto capítulo se ocupa del diseño del sistema de precalentamiento para lo cual se hacen todos los cálculos necesarios, como son el del tanque de agua, el del sistema de bombeo y el del sistema de inyección de vapor, con lo que junto a los planos presentados, definen completamente la nueva instalación.

En el quinto capítulo se hace un análisis de los costos que implican hacer esta conversión para ver la justificación en llevarla a cabo, tanto en su producción como en dinero invertido, y también determinar en cuanto tiempo se podrá recuperar éste.

Finalmente, se toca en el último capítulo, la parte de mantenimiento con el fin de tener en todo momento el sistema operativo; se hace mención a los instrumentos empleados y sus puebas tanto para el autoclave como para el tanque de precalentamiento, presentándose un programa de mantenimiento rutinario para el sistema y así preveer fallas o demoras que afectarían la producción.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El propósito del presente trabajo se refiere a la constante necesidad de ir mejorando métodos y sistemas de producción para lo cual dedicaremos nuestro estudio a las máquinas denominadas autoclaves, ampliamente utilizadas, principalmente en la industria conservera.

Para desarrollar este trabajo, me referiré a las autoclaves horizontales y de forma cilíndrica, que son las de mayor utilización en la industria.

El proceso de autoclavado se realiza en tres etapas como la de cualquier tratamiento térmico: una etapa de calentamiento hasta alcanzar una temperatura de operación que en este caso es de 120°C ; la segunda etapa es la de mantenimiento de esta temperatura por un cierto tiempo; aquí se realiza el esterilizado propiamente dicho y para nuestro caso demora 15 minutos; y la tercera etapa que es la de enfriamiento, que dura aproximadamente 15 minutos para el caso que se tratará.

Actualmente la etapa de calentamiento hasta alcanzar la temperatura de operación es la que toma mayor tiempo

en realizarse, debido a que el agua utilizada ingresa a temperatura ambiente al sistema, por lo que se toma aproximadamente 30 minutos en llegar a la temperatura de operación, con lo cual, el tiempo de producción aumenta ocasionando por consiguiente aumentos de costos correspondientes.

Por lo tanto, nuestro estudio se centrará en realizar las modificaciones necesarias a una autoclave convencional para convertirla en una de contrapresión pero utilizando agua precalentada para lo cual se añadirá un tanque de precalentamiento, bombas de suministro de agua y de recirculación, tuberías, válvulas y accesorios necesarios para obtener dicho fin.

En el desarrollo del trabajo se realizarán los cálculos necesarios para obtener flujos, tanto de vapor como de agua, tuberías, planchas, diseño del tanque de precalentamiento de agua, así como pérdidas de calor.

Dado que el trabajo se realizará en base a autoclaves existentes en el Instituto Tecnológico Pesquero del Perú, algunos de los cálculos partirán de condiciones ya establecidas como la geometría y dimensiones de la máquina, características del caldero generador del vapor, temperaturas de trabajo, tiempos del proceso, dimensiones de los envases, etc.

Por tanto, se espera que el presente trabajo contribuya a mejorar los procesos de producción, aumentando los volúmenes ya existentes vía la reducción del tiempo en la

etapa de calentamiento, obteniendo por consiguiente menores costos de producción y trayendo como consecuencia, ofertar productos a precios más competitivos.

CAPITULO 2

ASPECTOS GENERALES

La importancia de las autoclaves, llamadas también retortas, radica principalmente en la necesidad que tenemos de alimentarnos, lo cual significa que debe haber un abastecimiento de productos alimenticios en todo momento. Todo esto implica la necesidad de envasar los alimentos de tal manera que se les preserve del deterioro que les pueden ocasionar agentes extraños.

El medio más simple y efectivo de envasar gran parte de nuestros alimentos es mediante el enlatado en la que la preservación a través del calor ó proceso térmico es empleado para proveer un producto sano y agradable.

De otro lado, las bacterias que deterioran los alimentos, son organismos vivos que no pueden vivir ni crecer bajo condiciones ambientales adversas y que, si su medio se vuelve inadecuado para su crecimiento, irremediablemente morirán. El parámetro de su medio ambiente que se puede controlar más fácilmente es la temperatura.

El proceso térmico de alimentos enlatados es la aplicación de calor a una cierta temperatura especificada por un tiempo determinado.

El procedimiento para el cálculo del proceso térmico no es sencillo. Depende del conocimiento que se tenga de un cierto número de factores, entre los que se pueden incluir: la naturaleza del producto, la consistencia ó tamaño de las partículas, las dimensiones de las latas en que serán envasadas, los detalles del proceso de enlatado que se usará, y por último, aunque no menos importante, la fuente, el habitat y la resistencia al calor de las bacterias contaminantes. Dada esta información, el problema del cálculo del proceso térmico se concreta a la pregunta de por cuanto tiempo deberá ser calentada una especie y estilo particular de producto en un tamaño específico de lata a una temperatura práctica dada, de forma que se destruyan aquellos organismos que causan el deterioro. Esto se consigue, fundamentalmente con las pruebas que se realizan hasta conseguir una existencia casi cero de microorganismos.

2.1. DEFINICION DE AUTOCLAVE

Las autoclaves ó retortas, son recipientes cerradas a presión que emplean vapor de una fuente externa como puede ser un generador de vapor, y que se emplean para el proceso térmico de alimentos enlatados, el cual tiene dos propósitos fundamentales.

1. Obtener un producto comercial esterilizado, esto significa que el producto contenido en un recipiente sellado herméticamente ha sido sujeto a un tratamiento de calentamiento a una temperatura determinada y por un tiempo suficiente para destruir todos los organismos que pudieran producir deterioro bajo condiciones normales de almacenamiento.
2. Cocinar el alimento contenido en el envase hasta un punto donde sea necesario un mínimo de preparación posterior para su consumo.

Se debe recordar que para obtener estos dos propósitos se debe de tener mucho cuidado para que la operación no destruya factores de calidad tales como sabor, textura, color, etc.

Ambos propósitos deben ser satisfactoriamente conseguidos es por esta razón que adicionalmente a la importancia de la operación se debe añadir una instalación apropiada así como también el equipamiento apropiado. De otro lado, el elemento humano es particularmente importante ya que la mejor instalación ingenieril debe ser también apropiadamente operada.

2.2. TIPOS DE AUTOCLAVES.

Hay varias formas de clasificar a los autoclaves pudiendo ser estas:

- Por el sistema de operación
- Por la posición
- Por el uso

2.2.1. Por el Sistema de Operación

Aquí tenemos las denominadas autoclaves convencionales y las autoclaves de contrapresión.

2.2.1.1. Autoclaves Convencionales

En las autoclaves convencionales, el vapor se inyecta directamente al interior sin que haya un agente intermedio entre ésta y las latas a tratar. Con este sistema el tiempo del proceso para un mismo producto, comparado con el sistema de contrapresión, es menor, ya que el vapor al entrar directamente en contacto con los envases eleva rápidamente la temperatura de éstas, siendo desde este punto de vista favorable ya que se puede obtener mayor producción por el menor tiempo del proceso. Sin embargo, el principal problema de este sistema es que solamente se pueden utilizar envases de hojalata ya que éstas pueden soportar más presión que los de aluminio ó los

envases plásticos. Prácticamente con la hojalata se asegura que los envases van a salir sin ninguna deformación.

En nuestro país, este es el sistema más utilizado ya que la mayoría de plantas se limitan únicamente a emplear envases de hojalata. Por otro lado, el nivel técnico del personal encargado de operar estas autoclaves no tiene que ser muy elevado ya que simplemente se pueden limitar muchas veces, a abrir ó cerrar válvulas y realizar un control visual de los aparatos de medida; éste, que es un factor de abarataamiento de costos, puede ser también motivo del gran uso del sistema tratado.

2.2.1.2. Autoclaves de Contrapresión

En las autoclaves de contrapresión, el vapor se inyecta al interior pero no incide directamente sobre los envases sino sobre agua que previamente ha sido introducida y que las inunda.

Con esto se consigue una mayor uniformidad en el proceso ya que el agua como agente de transferencia de calor, al estar en contacto uniforme con los envases distribuye mejor el calor a estos.

Por otro lado, el problema de este sistema es que el tiempo del proceso es más largo ya que el agua tiene que ser previamente elevada a una temperatura especificada, siendo este lapso el que retarda el proceso, obteniéndose una menor producción que con el sistema anterior para un mismo tiempo total, un mismo tipo de envase y para un mismo producto.

Estos sistemas se usan principalmente debido a la necesidad de emplear envases de aluminio, vidrio ó plastificados que no soporten tanta presión como los envases de hojalata, siendo estos tipos de materiales requeridos por el mercado de exportación actualmente.

Comparando con el sistema convencional, para distintos tipos de

productos, este sistema es más rápido debido a que el espesor del envase utilizado es menor que los de hojalata.

En cuanto al personal técnico, debe ser más capacitado, ya que aparte de tener que conocer el sistema convencional, debe tener otros criterios para observar el proceso en cuanto a controles de agua, aire, temperatura y presión, etc., que influyen tremendamente en la calidad del esterilizado.

2.2.2. Por la Posición

En esta clasificación tenemos a las retortas verticales y a las retortas horizontales.

2.2.2.1. Autoclaves Verticales

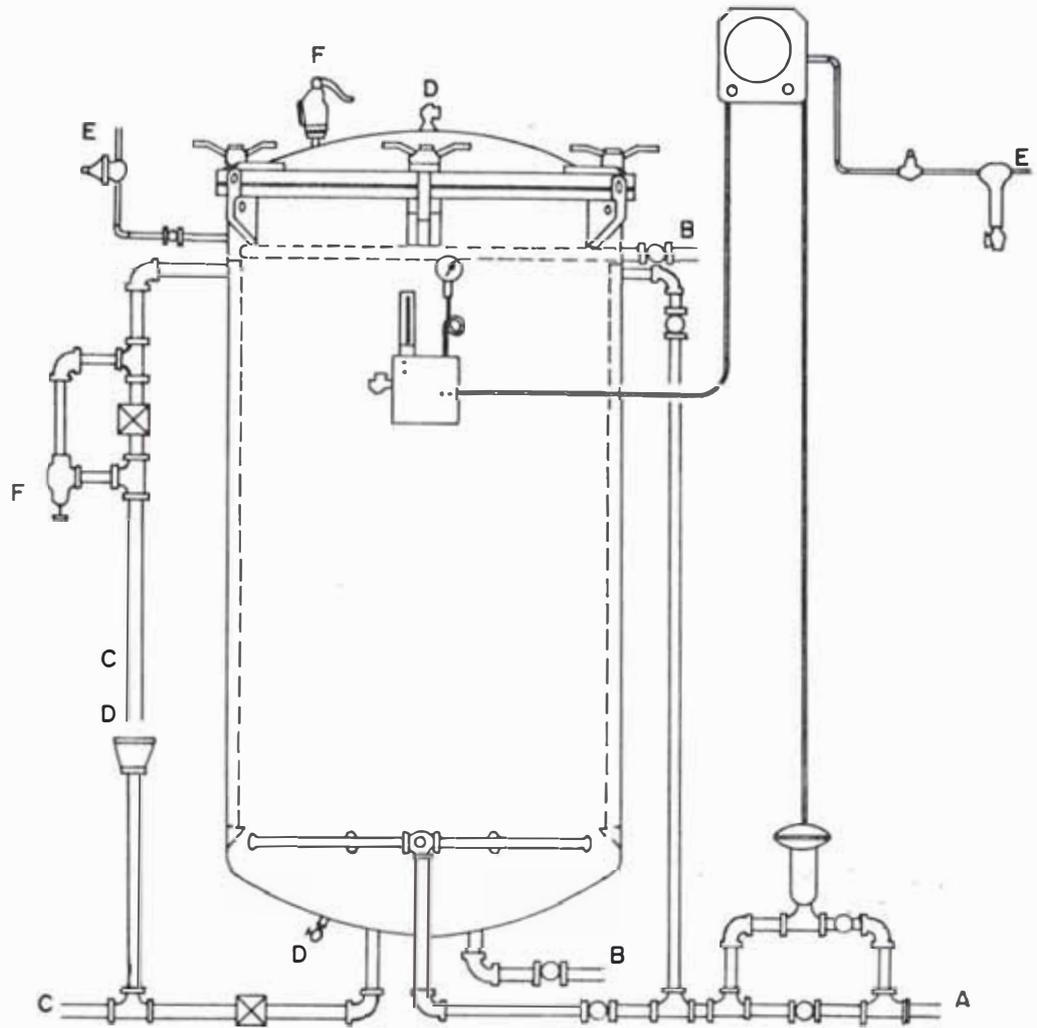
Este tipo de retorta tiene las ventajas de ocupar menos espacio de piso para una capacidad dada así como ser más eficientes con respecto al número de envases que contendrán por unidad de volumen de retorta que las horizontales, sin embargo se requiere mayor maniobrabilidad mecánica de los niveles.

En la industria el tipo más común es la retorta de 42" de diámetro, de 3 niveles.

Analizando la distribución en planta de los autoclaves verticales, pueden ser arregladas en línea ó en círculo dependiendo del tamaño y forma del espacio disponible. Para la unidad más común, esto es, la de 42" ϕ , se recomienda un espaciamiento de 5" entre centros ya que esto permite generalmente un amplio espacio para la operación y mantenimiento.

Estas autoclaves pueden ser colocadas en fosas, extendidas en un nivel de piso más bajo u operadas desde una mezanine. Para cualquier instalación, una altura conveniente de trabajo es de 36" desde la boca del autoclave al piso. El espacio sobre la boca debe ser lo suficiente para permitir la instalación del equipo y dejar la altura adicional para remover las canastas ó carros de la retorta. Se recomienda una altura de 11' sobre la boca de la retorta.

Comparándolas con las retortas horizontales, su uso está menos difundido ya que, como se puede apreciar, requiere ciertas condiciones que faciliten sobre todo la maniobrabilidad de los carros que contienen los envases (Fig N°1)



- | | | | |
|---|---|---|---|
| A | VAPOR | E | AIRE |
| B | AGUA | F | VALVULAS DE SEGURIDAD,
VALVULAS DE ALIVIO DE PRESION |
| C | DESAGUE, REBOSADERO | | <u>VALVULAS MANUALES</u> |
| D | VALVULAS DE ESCAPE
VALVULAS DE PURGA | ○ | DE GLOBO |
| | | ⊠ | DE COMPUERTA |

Figura Nº 1
Autoclave Vertical

2.2.2.2. Autoclaves horizontales

Las retortas horizontales son las más ampliamente usadas en la industria debido fundamentalmente a su más fácil maniobrabilidad. Aquí no hay especificaciones definidas en cuanto a espaciamiento entre ellas, cuando trabajan varios en una misma área, salvo que se debe dejar un espacio suficiente para la operación y el mantenimiento. En cuanto a la altura de techo solo se necesita la suficiente para colocar el sistema de tuberías.

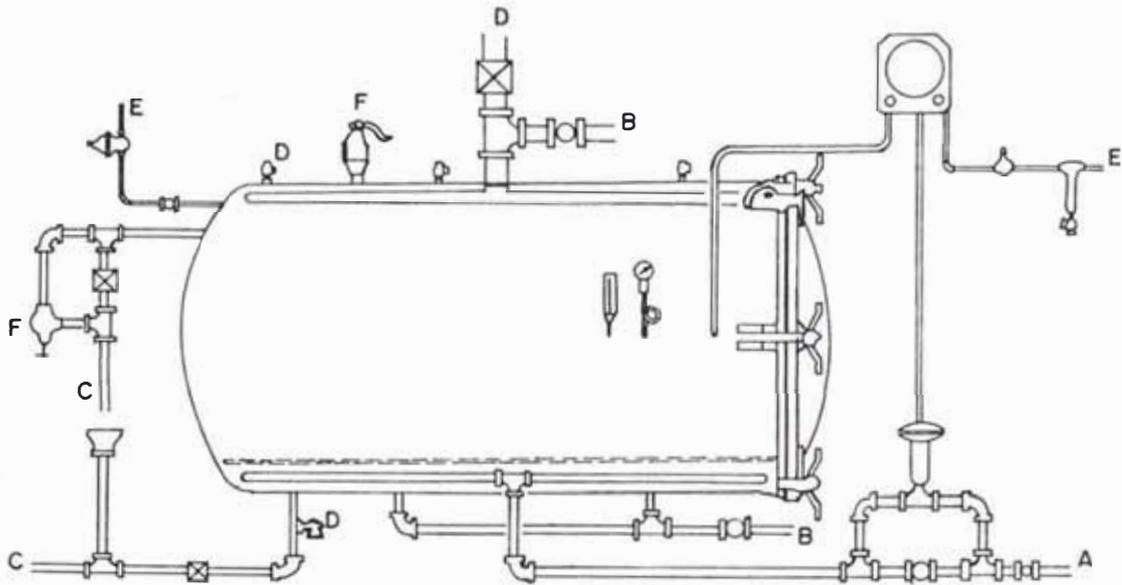
Este tipo de retortas varían sobre amplios límites de tamaño y forma, algunas redondas, otras cuadradas y con puertas a uno ó varios extremos, la más común es la de forma redonda con puerta en un extremo.

Pueden ser más largas que las verticales. El problema de la carga y descarga puede ser minimizado con el uso de retortas con puertas en ambos extremos, pero como ya se mencionó su uso no es tan difundido.

Cuando se emplean retortas horizontales, el enfriamiento generalmente se realiza en la misma retorta.

Debido a la variación en las dimensiones, el sistema de venteo requiere atención individual para cada instalación. Generalmente son demasiado largas para una ventosa simple que permita un adecuado purgado del aire. Debido a esto, el venteo es hecho a través de varias líneas a lo largo de la parte superior de la retorta. Este sistema múltiple de venteo debe descargar directamente a la atmósfera ó a un cabezal común a varias retortas. En ninguna instalación debe haber alguna condición que retarde la descarga de aire ó producir alguna contrapresión. En realidad, todos los sistemas de venteo deben ser tan cortos y tan libres de curvas, uniones etc. como sea posible.

En nuestro caso, la autoclave que vamos a convertir es horizontal con puerta en un extremo. (Fig N°2)



- | | | | |
|---|---|---|---|
| A | VAPOR | E | AIRE |
| B | AGUA | F | VALVULAS DE SEGURIDAD,
VALVULAS DE ALIVIO DE PRESION |
| C | DESAGUE, REBOSADERO | | <u>VALVULAS MANUALES</u> |
| D | VALVULAS DE ESCAPE
VALVULAS DE PURGA | O | DE GLOBO |
| | | X | DE COMPUERTA |

Figura Nº 2
Autoclave Horizontal

2.2.3. Por el uso

En esta clasificación tenemos tres tipos: las autoclaves para recipientes de metal, autoclaves para recipientes de vidrio y las llamadas autoclaves hidrostáticas.

2.2.3.1. Autoclaves para recipientes de metal

Este tipo de autoclaves es la más utilizada en toda la industria conservera de productos alimenticios.

Aquí los envases están apilados ó en desorden en canastas, carros, cestas ó bandejas para cargar ó descargar el autoclave. En el caso de autoclaves del tipo sin canastas las latas se alimentan por la parte superior 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 las autoclaves son recipientes a presión, están contruidos con dos planchas de fierro de $\frac{1}{4}$ " de espesor o más.

Como sabemos, el material del envase de metal influye en el empleo de una autoclave convencional ó de

contrapresión que son las utilizadas para esta clasificación.

2.2.3.2. Autoclaves para recipientes de vidrio

Para productos envasados en vidrio, el tratamiento tiene que ser largo para evitar todo choque térmico que podría producir la rotura de los recipientes. En el caso de la cerveza por ejemplo, la esterilización (llamada erróneamente pasteurización) se realiza haciendo pasar lentamente las botellas por un túnel en el que se riegan con agua caliente bombeada en circuito cerrado; las zonas sucesivas del túnel están a temperaturas crecientes hasta 65°C ó 70°C y después decreciente hasta la salida.

Estas autoclaves se diferencian fundamentalmente en cuatro aspectos con relación a una para recipientes de metal, los cuales son:

- 1º Los recipientes de vidrio son calentados y enfriados bajo agua.
- 2º Se debe proveer de aire comprimido a las autoclaves verticales

y horizontales usadas para procesar recipientes de vidrio.

39 Se debe de instalar una válvula automática de control en la línea de rebosadero del autoclave para mantener la presión apropiada.

40 La temperatura en el autoclave para recipientes de vidrio deberá ser controlada independientemente de la presión.

Como se puede observar, estas son principalmente características de las autoclaves de contrapresión, de allí la importancia del presente trabajo para aplicarlo a este tipo de envases.

2.2.3.3. Autoclaves hidrostáticas

Éstas son básicamente autoclaves estacionarias operadas a una temperatura de vapor constante, a través del cual son transportados los recipientes durante el tiempo de esterilizado requerido, mediante un sistema transportador. Luego de realizada la esterilización, los recipientes pasan a través de un sistema de enfriamiento y luego son descar-

gadas a una temperatura apropiada para su almacenamiento posterior.

CAPITULO 3

PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO

En este capítulo abarcaremos principalmente y de una manera general, aspectos de diseño de las retortas las cuales nos dará una idea de los criterios tomados para su fabricación. Si bien es cierto, el trabajo no pretende hacer un diseño de una autoclave, los parámetros aquí presentados complementan el mismo en cuanto a aspectos termodinámicos así como mecánicos.

Aquí, aparte de presentar cálculos simples como por ejemplo cantidad de vapor, cantidad de agua ó aire, realizaremos sobre todo un análisis de la importancia e influencia de los parámetros tratados para así comprender mejor el proceso térmico.

3.1. CONDICIONES TERMODINAMICAS

En este acápite analizaremos las condiciones del vapor, el agua utilizada, el aire y finalmente la transferencia de calor, teniendo cada uno de estos items su propio enfoque.

3.1.1. Referentes al vapor

Para el proceso de autoclavado se emplea vapor saturado siendo las principales ventajas de utilizar este medio, las siguientes:

1. Es un medio excelente para transferencia de calor
2. Es fácil regular su temperatura.
3. La presión de vapor que se requiere en el autoclave para alcanzar la temperatura deseada para el procesamiento, también funciona para contrarrestar parcialmente la presión que se acumula adentro de los envases al calentarlos, y evita que estos se pandeen.
4. Es fácil producir vapor y mantenerlo en reserva para su uso inmediato.

La propiedad del vapor de "energía almacenada" es el factor principal que lo hace un medio superior para el calentamiento. Esta "energía almacenada" resulta del hecho de que la producción del vapor, se requiere una cantidad considerable de calor (970 BTU) para transformar una libra de agua hirviendo a una temperatura dada, a vapor a la misma temperatura, y el vapor se lleva este calor extra consigo como calor latente ó energía almacenada. Al condensarse como ocurre en el auto-

clave, se libera este calor latente; esto significa que el vapor ha podido llevar una "carga extra" de calor desde la caldera al autoclave.

3.1.1.1. Consumo de vapor y requerimientos del generador

Como sabemos un adecuado abastecimiento de vapor es imperativo para una operación eficiente de las retortas y se le debe de dar una cuidadosa consideración a la capacidad del generador y al tamaño de las líneas. Según datos prácticos, es conveniente disponer en la línea de una presión entre 100 y 125 PSI, para obtener mejores resultados.

En este punto, tendremos que recordar un concepto muy importante en lo que a generadores se refiere y es aquel que conocemos con el nombre de "caballo de caldera" (HP), el cual es la cantidad de vapor capaz de dar a un motor de vapor un caballo de fuerza; este patrón es de 15.653 Kg. de vapor generado en una hora y a 100°C. Como a esta tempera-

tura hfg es 538.92 cal/kg, tendremos.

$$\text{HP cald.} = 15.653 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \times 538.92 \frac{\text{cal}}{\text{Kg}} \\ = 8435.7 \text{ cal/hr}$$

Actualmente se emplea 8437 cal/hr., haciendo también la salvedad que para generar este caballo de caldera se ha considerado una superficie de calefacción de 0.929m².

El consumo pico para retortas verticales standars ó una horizontal de similar volúmen variará entre 80 y 200 HP por hora con vapor a 100PSI, y para tuberías de ingreso de vapor en el rango de 1" a 2" de diámetro. Desde que el pico de demanda de vapor existe por solo un relativo corto tiempo, la cantidad total de vapor usada no es tan grande. Para procesos de hasta 60min. se consume un total de aproximadamente 300Lbs de vapor, y casi la mitad de esta cantidad es usada durante la operación de venteo.

Luego de haber cerrado la válvula de venteo y la retorta alcanza la temperatura de operación, el consumo decrece rápidamente alrededor de 3 a 5HP y permanece en este rango para el balanceo del proceso.

Obviamente, tamaños más pequeños de tuberías de ingreso de vapor ó presiones de vapor bajas con respecto a las que deberían de ser requerirán periodos más largos de venteo y alargarán el proceso.

Las retortas horizontales largas, requerirán mayor cantidad de vapor ya que contienen más aire inicial en relación a la carga de productos, y se requiere más tiempo para el venteo.

De todo ésto, es obvio que el sistema de generación de vapor debe ser calculado para un adecuado abastecimiento del mismo, aún considerando los casos picos así como de otros requerimientos de vapor que pudieran necesitar determinadas plantas.

La mayoría de generadores de vapor son capaces de producir más vapor que el especificado en sus datos de placa, siempre y cuando estén en condiciones adecuadas y apropiadamente operadas. En muchos casos es usual operarlas a 50% de sobrecarga y aun hasta 100% por períodos muy cortos. La cantidad de sobrecarga depende principalmente del tipo de encendido y del grado de recuperación despues de altas demandas. Los sistemas de encendido automático, aún si el combustible es carbón, petróleo ó gas, son deseables para un abastecimiento uniforme de vapor.

3.1.1.2. Suministro de vapor

Como ya se mencionó anteriormente, es esencial un adecuado abastecimiento de vapor a las retortas. Además de un adecuado sistema de generación de vapor, todas las líneas, válvulas y sistemas de distribución deben ser lo suficientemente consistentes con las necesidades de la operación. Cuando existe la posibilidad de incrementar la demanda de-

bido a la expansión de la planta, las líneas principales de vapor originalmente instaladas, habrán sido lo adecuadamente seleccionadas como para tomar en cuenta estas futuras necesidades.

Cuando no se ha anticipado una expansión ó cuando las líneas son instaladas, para operaciones individuales el sobredimensionamiento a menudo resulta en una excesiva condensación en las líneas, lo cual es un indicativo de elevados costos de vapor. Por eso es recomendable tener estas líneas no más largas de lo necesario y todas las líneas principales de vapor, aisladas.

A continuación trataremos algunos factores importantes con respecto al suministro de vapor a las autoclaves, como son los cabezales, las entradas de vapor y los distribuidores.

3.1.1.2.1. Cabezales

La línea de abastecimiento que entrega vapor a un grupo de retortas es comúnmente llamada "Cabezal".

Esta deberá ser calculada considerando los picos de demanda así como tomando en cuenta la posibilidad que más de una retorta pudieran ser operadas simultáneamente.

La siguiente tabla muestra los tamaños recomendados de tuberías standard (S ch 40) para cabezales.

TABLA N° 1
TAMAÑOS DE TUBERIAS PARA CABEZALES

N° RETORTAS Operadas Simultan.	Vertic. de 3 ó 4 niveles Horizontales hasta 15'	Horizontales mayores de 15'	
1	2"	2"	2½"
2	2½"	3"	3½"
3	3"	3½"	4"
4	3½"	4"	5"

3.1.1.2.2. Entradas de Vapor

El tamaño de las tuberías de entrada de vapor al interior de la retorta influye directamente en el tiempo necesario para llevarla a la temperatura de operación y mientras más pequeño sea el ingreso, el tiempo requerido para esta operación

será mayor. Deberán ser del tamaño suficiente para permitir una efectiva purga de aire de la retorta en un tiempo tan pequeño como sea posible para acortar el tiempo del ciclo de la misma.

Los principales factores que gobiernan el tamaño de las entradas son las dimensiones del autoclave y la presión de vapor disponible en la misma. Mientras más larga sea la retorta ó más pequeña sea la línea de presión, el tiempo de ingreso de vapor será mayor para así permitir que pase la suficiente cantidad para realizar el trabajo. Según recomendación de los fabricantes de retortas para unidades verticales de 3 ó 4 cavidades u horizontales de similar volumen, una entrada de 1¼"Ø otorga buenos resultados si se dispone de una presión en la línea de por lo menos 90PSI. Para retortas horizontales más largas de 20 a 30 pies de longitud, se han requerido entradas de 2" a 2½" de diámetro. Asimismo para longitudes superiores a 15 pies

Los mejores resultados se han obtenido empleando 2 entradas localizadas simétricamente.

Indudablemente se pueden hacer variaciones dependiendo de las necesidades específicas para cada caso requiriéndose un análisis por parte de personal experimentado.

3.1.1.2.3. Distribuidores de Vapor

Los distribuidores de vapor son simplemente una extensión de la línea de vapor dentro del autoclave. Estos distribuidores son perforaciones con un adecuado número de agujeros taladrados en las tuberías en posiciones adecuadas y con un diámetro determinado para que la distribución de vapor sea asegurada durante el ciclo completo de procesamiento.

En las retortas horizontales, la tubería perforada deberá extenderse en la parte inferior y a todo lo largo de la retorta. Para el caso de autoclaves cuadradas ó circulares de gran diámetro es ventajoso la utilización de dos líneas paralelas

de distribuidores. Cuando la longitud del autoclave sea superior a 15 pies, el vapor debe ingresar al distribuidor en 2 puntos distanciados lo más posible de los extremos. Las perforaciones deberán ser a lo largo de la parte superior de la tubería y distribuidos sobre el cuarto superior de la superficie de la tubería.

En las retortas verticales, las tuberías perforadas deberán estar en forma de una cruz, utilizando tuberías del mismo diámetro de las de ingreso de vapor. Las perforaciones deberán estar en ambos lados de cada brazo para que así el vapor sea emitido horizontalmente.

El número de agujeros ó perforaciones en los distribuidores es determinado por el diámetro mismo del agujero así como por el diámetro de la tubería de ingreso de vapor. Una regla práctica es tener la sección total de los agujeros comprendido entre 1 y 1.5 veces, pudiendo llegar en forma límite a 2 veces, el área de la sección de la tubería de

ingreso de vapor. El diámetro y número de las perforaciones son mostradas en la tabla 2.

Tabla Nº 2
Números de agujeros para distribuidores de vapor

Diámetro del Agujero (Fulg.)	Número de agujeros ¹				
	Diámetro de Tubería de ingreso de Vapor- Tubería Standar ²				
	1"	1¼"	1½"	2"	2½"
3/16	47-62	81-108	111-148	183-224	260-346
7/32	35-56	60-80	71-108	135-180	190-254
1/4	27-36	45-60	63-84	102-137	147-196
5/16	-	30-40	40-54	66-88	93-124
3/8	-	21-28	28-37	45-60	66-88
7/16	-	-	21-28	33-45	48-64
1/2	-	-	15-20	26-36	36-48

1: Los números de agujeros de la tabla representa areas iguales a 1½ y 2 veces el área de la sección interna de la tubería de ingreso de vapor

2: Ver tabla 3: Area de agujeros y de la sección interna de tuberías.

Tabla Nº 3

Area de Agujeros y Sección Interna

Diámetro del Agujero (Pulg.)	Diámetro de		Area de la sección interna (Pulg ²)	
	Tubería (Pulg)	Agujero	Tubería	
			Standard	Extrapesada
3/16		.0276	-	-
7/32		.0376	-	-
1/4	1/4	.0491	.104	.072
5/16		.077	-	-
3/8	3/8	.110	.191	.141
7/16		.150	-	-
1/2	1/2	.196	.304	.234
3/4	3/4		.533	.433
	1		.864	.719
	1¼		1.495	1.283
	1½		2.036	1.767
	2		3.355	2.953

3.1.1.3. Cálculo del Vapor Requerido para el Autoclavado

Para realizar este cálculo, primeramente se calculará la cantidad de calor necesario tanto para el tanque de precalentamiento como para el autoclave, en lo que se refiere a calentar el agua, los envases de hojalata, los carritos, el contenido de las latas y el cuerpo principal para cada uno de los casos.

Con este cálculo tendremos un calor total Qt , luego con los datos

de los tiempos y de los obtenidos de tablas aplicaremos la fórmula:

$$Q_t = \dot{m}_v \times h_g \times t$$

donde:

Q_t = Calor total en KJ

t = Tiempo en seg

\dot{m}_v = Flujo de vapor en Kg/seg

h_g = Entalpía del vapor en KJ/Kg

de donde encontramos el flujo de vapor requerido.

Para obtener la cantidad de vapor en masa, simplemente se efectúa:

$$m_v = \dot{m}_v \times t$$

donde:

\dot{m}_v = Flujo de vapor en Kg/seg

t = Tiempo

m_v = Cantidad de vapor en masa

3.1.2. Referentes al Agua

Como ya se ha mencionado anteriormente, los sistemas de contrapresión **trabajan** con agua la que cumple la función de distribuir uniformemente el calor a los envases.

En el autoclavado no influye el hecho de que el agua sea blanda o dura ya que esta sirve como agente de transferencia de calor. En todo caso donde sí influye es en el sis-

tema de bombeo, sobre todo en las redes de tuberías que abastecen de agua las retortas.

El abastecimiento de agua al interior del autoclave debe ser de tal manera que permita llegar al nivel necesario, en un tiempo corto dependiendo ésto del tamaño de la retorta por lo que el cálculo de bombas y tuberías se debe hacer con mucho cuidado.

El sistema con tanque precalentador de agua consiste en dos recipientes, uno sobre otro; mientras que el inferior es llenado con los productos a ser esterilizados, el superior sirve como un reservorio de agua caliente. Después de cada proceso de esterilización, una cierta cantidad de agua del tanque esterilizador es bombeada de retorno al tanque precalentador para ser recirculado en el siguiente batch.

Para realizar el enfriamiento de los envases con agua, se va drenando el agua caliente y al mismo tiempo se va introduciendo agua fría la que disminuye progresivamente la temperatura de la primera, obteniendo un enfriamiento uniforme y sin cambios bruscos de temperatura.

La cantidad de agua necesaria para el autoclavado se realiza independientemente

para cada caso en particular como se verá a continuación.

3.1.2.1. Cálculo de la cantidad de agua requerida para el autoclavado

La cantidad de agua requerida, será de acuerdo al diseño del tanque y del autoclave, teniendo en cuenta también el nivel máximo necesario para realizar el autoclavado. Como el agua tiene que cubrir completamente los envases, el cálculo se hará para las condiciones extremas, vale decir con el mayor número de envases posibles.

Adicionalmente, se tiene que considerar un espacio vacío en el recipiente ya que éste no se encuentra completamente lleno, por consiguiente, el volumen de agua se considera como una proporción del volumen total, facilitando de esta manera el cálculo de la cantidad de agua requerida.

En el cálculo del agua contenida en el autoclave, se descontará el volumen ocupado por las latas para así ajustar mejor los cálculos.

3.1.2.2. Drenaje

En este punto hemos de mencionar que el diámetro de la línea de drenaje debe ser el adecuado como para permitir una rápida remoción del agua después de haber concluido con el proceso. Para lograr mejor este resultado es preferible utilizar una válvula de compuerta ya que esta ofrece menos restricción al flujo. En algunos casos, es conveniente colocar un codo en la línea para así prevenir un posible efecto de sifón el cual podría introducir desperdicios al interior de la retorta y posiblemente dentro del sistema de abastecimiento de agua.

Para acelerar el proceso de drenaje se emplea muchas veces una bomba de circulación la cual debe tener la capacidad suficiente como para remover completamente el contenido de agua, siendo un tiempo adecuado para realizar esto, según la experiencia práctica, de 3 a 4 minutos.

3.1.3. Referentes al Aire

Al momento que se empieza a inyectar vapor al autoclave, ésta se encuentra llena de aire el cual debe ser completamente expelido. Los procesos térmicos para alimentos enlatados se determinan por exámenes hechos con envases 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 objetivo de que utilice el mismo medio de calentamiento.

Los exámenes han mostrado que aun pequeñas cantidades de aire en el autoclave pueden producir un procesamiento térmico insuficiente y deterioro en los envases. Las autoclaves deben ser construidas y operadas de tal manera que el producto envasado pueda ser calentado por un tiempo especificado y a una temperatura también especificada en "vapor puro".

Para lograr el purgado del aire del interior del autoclave se emplean lumbreras que deben estar colocadas opuestas al ingreso de vapor. Estas son controladas manualmente y todas las líneas deben ser cortas y tan libres como sean posibles de curvas y otras condiciones que podrían retardar la rápidas

descarga de aire. Todas las lumbreras deben descargar directamente a la atmósfera y nunca deben estar directamente conectadas a un drenaje ó a una descarga en agua.

Las retortas pueden ser venteadas ya sea por la parte superior ó por el fondo con igual éxito. Teóricamente, el venteo por el fondo debería ser preferible ya que el **aire a** igual ó menor temperatura tiene un mayor peso específico que el vapor. Sin embargo, desde un punto de vista mecánico y **por** simplicidad en la instalación, el venteo por la parte superior es ampliamente usado.

3.1.3.1. Suministro de Aire

El empleo de aire para el enfriamiento bajo presión es preferible el empleo de vapor, debido a que el aire tiene la propiedad de ser no condensable. Esto hace la operación de autoclavado considerablemente más segura ya que se elimina la posibilidad de que el vapor se condense accidentalmente en la retorta produciéndose así un vacío parcial e **in-**crementando el riesgo de pandeo de los envases. Es esencial contar con un sistema de control de presión

para asegurar una moderada precisión de ésta dentro de los rangos deseados al interior de la retorta.

Las autoclaves que utilizan aire para el enfriamiento a presión deben estar equipadas con las válvulas adecuadas así como de arreglos de tuberías en las líneas de aire para prevenir posible infiltración de este al interior durante el procesamiento térmico.

El compresor utilizado debe tener la capacidad suficiente para mantener la presión deseada y así evitar posibles defectos de los envases debido a una excesiva diferencia de presión entre el interior de los envases y el exterior a éstos.

3.1.3.2. Importancia de la remoción de aire

Como ya se mencionó anteriormente, antes de empezar el tratamiento térmico es necesario eliminar completamente el aire existente en el interior del autoclave principalmente debido a las siguientes razones:

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 tengan contacto con éstas.
3. El aire en presencia de humedad a altas temperaturas, causa que el acero de las latas se oxide.

Por tanto, las bolsas de aire que pudieran quedar en el interior del autoclave, pueden dar lugar a un procesamiento desigual de un lote y conducir a un procesamiento defectuoso en algunas zonas. Por otro lado, si hay presencia de aire en la retorta, la relación normal entre la presión y temperatura no es la que se observa en el vapor puro. La lectura de la presión puede ser mal interpretada e indicar una temperatura más alta que la que realmente existe, con efecto en el procesamiento térmico. Por esta razón es que se

prefiere la lectura de ámbos, presión y temperatura.

El tiempo necesario para eliminar adecuadamente el aire dependerá del tipo de retorta y de la presión de vapor.

No hay un solo método de remoción de aire que sea aplicable a todas las autoclaves. Para asegurar una completa remoción de aire deberán cumplirse los requisitos de tiempo y temperatura determinados para cada instalación de autoclave en particular. Un autoclave horizontal totalmente cargada con latas posee aún aproximadamente un 70% de su espacio ocupado por aire, y un autoclave vertical totalmente cargada tiene más del 60% 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 registrador.

Como ejemplo de estas pruebas presentamos las tablas N°4 y N°5, que muestran las dimensiones de las lumbreras en función del diámetro de ingreso de vapor tanto para autoclaves verticales como horizontales.

Tabla N°4

**Diámetro de Lumbreras para retortas verticales
de 3 y 4 niveles**

Diámetro de ingreso vapor	Lumbrera	Tiempo (min)	Temperatura °F
1"	1¼"	4	220
1¼"	1½"	3	220
1½"	2"	3	220
2"	2½"	2	225

Tabla N°5

Diámetro de Lumbreras para retortas horizontales

Diámetro de ingreso Vapor	Diámetro de lumbrera	Hasta 8'		De 8 a 15'		más de 15'	
		Tie. min.	Tem. (°F)	Tie. min.	Tem. (°F)	Tie. min.	Tem. (°F)
1"	1¼"	4	220	-	-	-	-
1¼"	1½"	4	220	6	220	-	-
1½"	2"	4	220	6	220	-	-
2"	2½"	3	225	5	225	7	225

3.1.3.3. Cálculo del aire requerido para el autoclavado

Para obtener la cantidad de aire requerido así como la capacidad del compresor necesario nos valdremos de la siguiente tabla.

Tabla N°6

Pie cúbico de aire libre disponible por pie cúbico de capacidad del tanque receptor.

Presión Enfriam. (Man.) PSI	Presión del Tanque Receptor (PSIG)									
	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
10	3.40	4.10	4.75	5.45	6.10	6.80	7.50	8.20	8.85	9.55
12.5	3.20	3.90	4.60	5.30	5.95	6.65	7.30	8.00	8.70	9.35
15	3.05	3.75	4.40	5.10	5.80	6.45	7.15	7.85	8.50	9.20
18	2.85	3.55	4.20	4.90	5.55	6.25	6.95	7.65	8.30	9.00
21	2.65	3.35	4.00	4.70	5.35	6.05	6.75	7.45	8.10	8.80

Posteriormente se emplea la siguiente expresión:

$$V_2 = \frac{V_1 \times P_2}{P_1}$$

Donde:

V_1 = Volúmen de retorta en pie³

P_1 = Presión atmosférica, 14.7 PSI

V_2 = Volúmen de aire libre para obtener P_2 en la retorta

P_2 = Presión de enfriamiento (absoluta ó 14.7 + lectura de manómetro)

Luego, la capacidad del tanque receptor es:

Cap = $V_2 \div$ Aire libre disponible por pie cúbico de capacidad del tanque receptor.

Finalmente, la capacidad del compresor necesario será:

Cap. Comp. (pie³ aire libre/min) = $V_2 \div$ Tiempo (min) entre operaciones consecutivas de enfriamiento.

3.1.4. Referentes a la Transferencia de Calor

En este punto analizaremos principalmente los efectos que la temperatura produce en el proceso, para lo cual es necesario presentar algunas definiciones importantes que nos ayudarán a comprender esto, tales como el valor D , el valor F , el CUT, etc. Asimismo tocaremos brevemente los aspectos relacionados a las características de la transferencia de calor así como al enfriamiento de los envases, aspectos estos muy importantes para los buenos resultados del proceso.

Veamos estas definiciones:

- a) **Valor D.**.- Es el tiempo (min) necesario para reducir a la décima parte la cantidad de bacterias sobrevivientes al calentar las bacterias a una determinada temperatura.
- b) **Valor Z.**.- Es el cambio de temperatura que corresponde al cambio de valor D en su décima potencia.
- c) **Valor F.**.- Es el tiempo (min) mínimo de mortalidad térmica de la cantidad de bacterias a una temperatura standard $T_r(^{\circ}C)$.
- d) **Valor F_p .**.- Es el tiempo (min) de calentamiento considerado como si el producto hubiera sido calentado a una temperatura standard $T_r(^{\circ}C)$.

Para expresar este tiempo de calentamiento se emplea la siguiente expresión:

$$F_p = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{\text{Log}^{-1} \frac{T_r - T_i}{Z}}$$

Donde:

t_i = Tiempo de esterilización a la temperatura T_i

T_r = Temperatura de referencia

T_i = Temperatura facultativa

Z = Valor Z

e) **Valor F_0 .**— Es el valor de F_T a ciertas condiciones las que son $Z = 10^\circ\text{C}$ y $T_r = 121.1^\circ\text{C}$. Esto es debido a que en investigaciones realizadas en el pasado se determinó que el valor Z de las esporas del botulinum, la bacteria más resistente al calor era de 10°C , de allí que para la esterilización térmica de los enlatados, la temperatura standard es 121.1°C y $Z = 10^\circ\text{C}$.

El resultado de la esterilización térmica de los alimentos puede conocerse por medio del cálculo de F_0 .

Sin embargo cuando se esteriliza un alimento, toma tiempo en elevarse la temperatura de la parte central de dicho alimento, por lo cual, la esterilización se produce de acuerdo a las condiciones de variación térmica que muestra la fig. NO 3

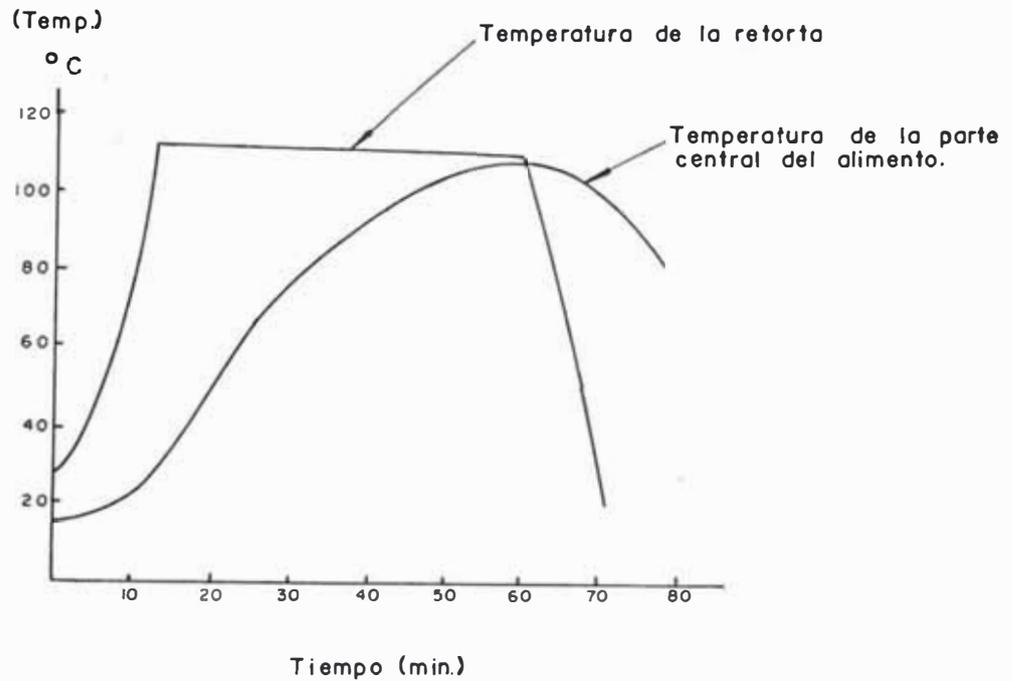


Figura Nº 3

Variación térmica de la parte central del alimento

En la expresión de F_p , el término

$$\frac{1}{\log^{-1} \frac{T_r - T_1}{Z}}$$

se le conoce como valor L ó proporción de rango total.

Este valor L también lo podemos graficar en una curva L_iVST_i como se puede apreciar en la figura Nº 4

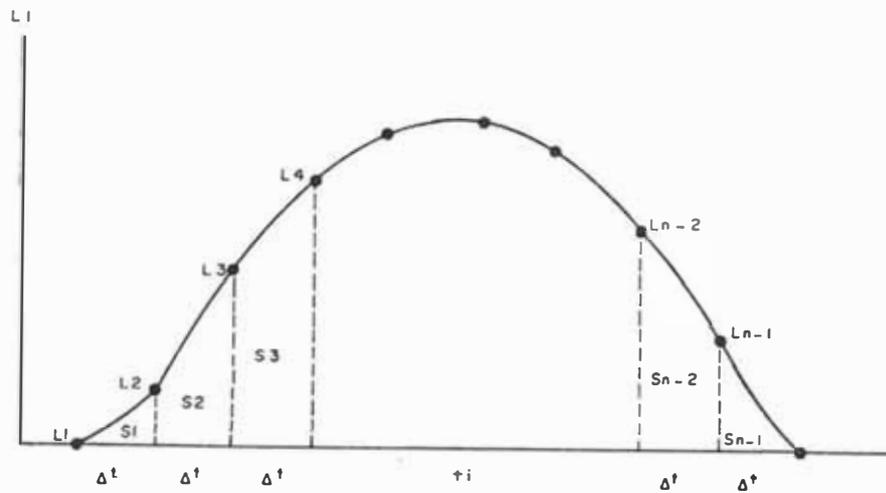


Figura Nº 4

Curva de proporción de Rango Letal

f) CUT (Come UP Time).— Se llama así al tiempo que tarda desde que ingresa el vapor a la retorta hasta que alcanza la temperatura de esterilización.

No es adecuado pensar en que la esterilización térmica se inicia en el momento en que la temperatura de la retorta alcanza la temperatura de esterilización debido a que durante el CUT hasta cierto punto ya fué calentado.

Como resultado de diversas investigaciones realizadas sobre este tema, se sabe que las condiciones varían de acuerdo a la forma y tamaño de las latas, al mayor ó menor tiempo del CUT, pero en el momento que éste alcance el 58% se puede considerar como el momento que empieza la esterilización.

En las fábricas de conservas se considera como tiempo de esterilización térmica desde el momento en que la temperatura de la retorta alcanza la temperatura de esterilización hasta cuando se detiene el ingreso de vapor.

3.1.4.1. Características de la transferencia de calor

En el procesamiento térmico de los productos enlatados el tipo de transferencia de calor es de régimen no constante es decir, que la temperatura del producto no se mantiene constante. La temperatura del medio calefactor (vapor) durante el procesamiento térmico podría considerarse constantes, ya que la temperatura sube bastante rápidamente en el ca-

lentamiento y baja también en forma rápida durante el enfriamiento, lo cual no sucede en el producto.

El problema básico del procesamiento térmico, es de que el envase con el producto, se encuentran inicialmente a una temperatura diferente a la de la retorta. Se requiere entonces determinar la temperatura del producto a través del tiempo. El análisis ó solución matemática para el proceso ya sea de calentamiento ó de enfriamiento es el mismo. La transferencia de calor va a estar sometida a tres resistencias en serie: la resistencia de convección externa ($1/hv$), la resistencia de la pared de la lata ($1/Kl$) y la resistencia del producto, que puede ser ($1/Kp$) si se trata de un producto sólido, que es la resistencia de película.

Para obtener una solución a este problema, se iguala la cantidad de calor ganada por el producto en un incremento infinitesimal de temperatura (dt) con la cantidad de calor

transferida en un tiempo infinitesimal ($d\theta$)

$$m \cdot c \cdot dt = UA(T_r - T_i)d\theta$$

Donde:

m = Masa del producto en el envase

c = Calor específico del producto

U = Coeficiente global de transferencia de calor

A = Area superficial del envase

T_r = Temperatura de la retorta

T_i = Temperatura del producto

Separando las variables de la ecuación anterior tenemos:

$$\frac{dt}{T_r - T_i} = \frac{UA d\theta}{mc}$$

Integrando entre los límites:

$$\ln \frac{T_r - T_i}{T_r - T_1} = \frac{UA\theta}{mc}$$

Donde T_1 es la temperatura inicial del producto y T_i es la temperatura después de un tiempo θ .

La solución matemática de esta ecuación, se complica porque en el producto no existe una temperatura uniforme, ya que ésta varía. Las temperaturas en la superficie varían más rápidamente que la temperatura

en el centro. La solución para esta condición ha sido desarrollada matemáticamente y presentada en forma de diagramas, de los cuales puede ser determinada la temperatura en cualquier posición.

Para el caso de los productos alimenticios, estos diagramas no pueden ser aplicados apropiadamente, porque las características necesarias (K , h , c , ρ) en los alimentos no son uniformes y muchas veces no conocidas. Por ejemplo cuál sería el valor de K , c , ρ de arvejas enlatadas, cuando existe una parte líquida y una parte sólida y aún teniendo una sola fase, como carne por ejemplo; las características anteriores van a depender de su composición (grasa, fibra, etc) y de su distribución en el producto.

Es por esto que para el caso de los productos alimenticios enlatados se hace necesaria una solución experimental y analítica para poder estudiar su penetración de calor.

Para el cálculo del procesamiento térmico, éste debe ser hecho teniendo en cuenta el punto ó lugar del producto más inaccesible al calor, osea el que ofrezca más resistencia a la transferencia de calor. Este punto es más frío durante el calentamiento y lógicamente el más caliente durante el enfriamiento.

3.1.4.2. Enfriamiento

El enfriamiento de los envases puede realizarse de 2 maneras: en forma completa ó en forma parcial como en el enfriamiento a presión donde ésta es mantenida dentro del autoclave hasta que los envases sean lo suficientemente enfriados para reducir la presión interna a un nivel seguro, de manera que pueda exponerse a la presión atmosférica sin peligro de deformación. Después del enfriamiento a presión, los envases pueden ser removidos con seguridad de la retorta para terminar su enfriamiento.

El enfriamiento completo significa enfriar el contenido de los en-

vases con la mayor rapidez posible a un promedio de temperatura de 35 a 40°C. En beneficio de la uniformidad entre los envases, se sugiere cubrirlos totalmente con agua en lugar de enfriarlos únicamente por aspersión de agua.

Si el agua entra por la parte superior del autoclave, deberá tenerse cuidado de evitar que se condense el vapor que quedó en el interior después de cortar la entrada del mismo. Esto puede crear un vacío parcial en el autoclave y ocasionar hinchazón en los bordes laterales de los envases.

Refiriéndose al enfriamiento a presión, diremos que al momento de terminar el proceso, se desarrollan elevadas presiones en el interior de los envases, sin embargo, durante este tiempo, estas presiones son opuestas a la de la retorta. Sin embargo, si la presión interna del autoclave se reduce los bordes de los envases estarán sujetos a una mayor diferencia de presión la cual puede

exceder la resistencia del borde ocasionando una distorsión de los mismos. Estas distorsiones pueden conducir a que algunos envases se debiliten durante la operación de enfriamiento pudiendo ocasionar una pérdida de producción.

Es por eso que la solución más simple a este problema es enfriar parcialmente los envases en la retorta bajo presión de aire. Esta presión generalmente es igual a la de la retorta durante el procesamiento, y es mantenida por un tiempo suficiente para reducir la presión interna del envase a un punto seguro, con una reducción gradual al final del período de enfriamiento. Enfriamientos demasiado prolongados antes de reducir la presión aplicada pueden ocasionar cuarteos ó aún aplastamiento en los envases.

No se pueden enumerar tiempos específicos para enfriamientos bajo presión ya que éstos se basan en un cierto número de factores tales como tipo de producto, tamaño del envase,

temperatura de esterilización, así como la temperatura y cantidad del agua de enfriamiento. Como una regla general, las latas de diámetro 401 ó mayores requieren enfriamiento bajo presión cuando han recibido un tratamiento térmico a 115°C ó más. En algunos casos, en que se utilizan temperaturas menores, las latas más pequeñas pueden ser procesadas sin necesidad de enfriamiento bajo presión.

Por otro lado, las latas con un diámetro menor de 401 requieren a veces enfriamiento bajo presión, especialmente a temperaturas de autoclave mayores que 120°C.

3.2. CONDICIONES MECANICAS

A continuación presentaremos las recomendaciones que sobre retortas ofrecen los fabricantes de las mismas. Como sabemos, en toda máquina existen requerimientos mínimos de instalación y operación sin los cuales un seguro y satisfactorio funcionamiento no puede ser obtenido. Para mencionar un ejemplo, los tamaños de tubería mayores que los que

se presentarán pueden usarse, lo cual incrementará la eficiencia del proceso.

Así como éste, también se puede mencionar lo referente al número de agujeros recomendados para la tubería de vapor ó a la presión misma de vapor con lo cual se puede mejorar el proceso teniendo su contrapartida lógicamente en lo referente a costos.

3.2.1. Requerimientos mínimos para retortas verticales

Las recomendaciones que se presentan para este tipo de autoclave son precisas y pueden ser utilizadas libremente ya que los tamaños de éstas son prácticamente standards tomándose como referencia las más comunes que son de 3 y luego de 4 niveles, en ese orden.

Tabla Nº 7

Requerimientos Mínimos para retortas verticales de 3 y 4 niveles

Presión de Vapor	90 PSi.
Tubería de entrada de Vapor	1"
Distribuidor de Vapor	1"
Agujeros del distribuidor	3/16" a 1/4"
Nº agujeros	47 a 62
Tubería de ventilación	1¼"
Presión de agua	40 PSi
Tubería de entrada de agua	1"
Aire de enfriamiento	40 PSi

3.2.2. Requerimientos mínimos para retortas horizontales

Debido a que las autoclaves horizontales pueden variar considerablemente en volumen y dimensiones es que las recomendaciones que se presentan pueden ser utilizadas únicamente como guías. De esto se concluye que los requerimientos de instalación y operación deben ser necesariamente determinados en un análisis individual para cada caso.

Tabla Nº 8

Requerimientos mínimos para retortas horizontales

Presión de vapor	90 - 125 PSi
Tubería de entrada de vapor	1" a 2"
Distribuidor de vapor	1" a 2"
Agujeros del distribuidor	3/16"
Número de agujeros	47 a 244
Presión de agua	40 - 60 PSi
Tubería de entrada de agua	1" a 2"
Aire para enfriamiento	40 a 60 PSi

3.2.3. Cálculo de materiales empleados

Aquí principalmente se verá lo relacionado a la selección de planchas y a la selección de tuberías tanto para el vapor como

para el agua, para lo cual se seguirán las especificaciones de la ASME.

3.2.3.1. Cálculo de planchas

Para seleccionar el espesor de la plancha emplearemos la ecuación de Barlow:

$$t = \frac{P \cdot D}{2fE - 1.2P} + C$$

donde:

t = Espesor mínimo de plancha

P = Presión de diseño

E = Eficiencia de la unión soldada

f = Máxima tensión de trabajo del material

C = Demasía para compensar los efectos de la corrosión

D = Diámetro interior del recipiente.

3.2.3.2. Cálculo de tuberías

Para la selección de las tuberías, se parte del flujo que se tiene y se aplica la fórmula.

$$m = \rho A \cdot V$$

donde:

m = Flujo en Kg/seg

ρ = Densidad en Kg/m³

A = Area en m²

V = Velocidad del fluido en m/seg

Con el dato obtenido del área,
se obtiene el diámetro que es:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

para finalmente buscar una medida
comercial de tubería.

CAPITULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO

4.1. CARACTERISTICAS DEL AUTOCLAVE A UTILIZAR Y DEL PROCESO ACTUAL

Actualmente el proceso de esterilizado se realiza en una autoclave horizontal de una sola puerta cuyas características y dimensiones se muestran en el plano CA-PE-01.

Se debe tener en cuenta que esta es una autoclave experimental, por eso sus dimensiones difieren notoriamente con las que se usan en procesos industriales, pero el sistema que se diseñará, podrá aplicarse a aquellas utilizadas industrialmente teniendo que realizar los cálculos para esos casos específicos. Nosotros nos limitaremos a hacerlo para este caso en particular.

El proceso actual demora 60 minutos, de los cuales 30 se toman para calentar el agua hasta la temperatura de operación, esto es 120 °C; 15 minutos se emplean en el esterilizado propiamente dicho, y

los 15 minutos restantes se utilizan en el enfriamiento.

Con el nuevo sistema, se pretende tener el agua ya precalentada a 95°C en un tanque auxiliar, y luego esta agua será transvasada al autoclave en un tiempo de 3 minutos con lo que el calentamiento será de 95°C a 120°C en un tiempo de 15 minutos reduciéndose de esta manera los costos de producción via reducción del consumo de energía, aumentándose al mismo tiempo el volumen de producción. En resumen, se puede hacer una comparación entre la producción para ambos sistemas:

TABLA Nº 9

COMPARACION DE PRODUCCION PARA AMBOS SISTEMAS

	Calentamiento	Esterilizado	Enfriamiento	Tiempo Total de Prod.	Produc. Diaria
Sistema actual	30'	15'	15'	60'	8
Sistema con pre calentamiento	15'	15'	15'	45	11

Como se puede observar, el nuevo sistema realizaría $11/8 = 1.375$ veces la producción actual, lo cual resulta muy beneficioso tanto a nivel de producción en sí como de ahorro de energía.

De otro lado, para mantener el agua a 95°C así como la autoclave a 120°, se utilizarán válvulas

termostáticas, las cuales llegado el momento en que desciendan las temperaturas, dejarán pasar vapor para recuperar éstas.

También se considerará que el tanque de precalentamiento tendrá el mismo volúmen que la autoclave, pero se debe hacer la salvedad que éste puede ser diseñado para una batería de autoclaves si se diera el caso.

4.1.1. Comprobación del espesor de plancha del autoclave

Para un tanque cilíndrico bajo presión interna, utilizaremos la ecuación de Barlow, que es:

$$t = \frac{PD}{2f.E - 1.2P} + C$$

donde:

t: Espesor mínimo de la plancha en pulgadas

P: presión de diseño = 4 veces la máxima presión de operación = 20 bar (290 psi)

E: Eficiencia de la unión soldada: 0.5 - 0.8.

Asumimos E = 0.65

f: Máxima tensión de trabajo del material de la plancha en psi. Para nuestro caso: acero inoxidable AISi 304, f = 28,000 psi

c: demasía para compensar los efectos de corrosión con acero inoxidable: C = 0

D: diámetro interior en pulgadas.

$$D = 0.9 \text{ mt} = 36''$$

Reemplazando en la fórmula de Barlow tenemos:

$$t = \frac{290 \times 36}{2 \times 28,000 \times 0.65 - 1.2 \times 290} + 0$$

$$t = 0.289$$

Seleccionaremos una plancha de acero inoxidable AISI 304 de espesor comercial 1/4"

4.2. DISEÑO DE LA INSTALACION

La nueva instalación propuesta implica el diseño del tanque de precalentamiento, el diseño de los sistemas de agua y vapor así como las modificaciones necesarias en el autoclave actual para acondicionarlo a la nueva instalación.

Un esquema de esta instalación se puede ver en el plano CA-E-01

Asimismo, en la tabla 10 se muestran los estados dados en el sistema de distribución de vapor de acuerdo al plano CA-E-02

TABLA Nº 10
ESTADOS DEL VAPOR EN EL SISTEMA

Punto	1	2	3	4
Estado físico del agua	Vapor	Vapor	Vapor	Condensado
Presión (Bar)	8	5	2	1
Temperatura (°C)	170	150	120	100

4.3. CALCULO DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO

En esta parte del trabajo calcularemos todo lo necesario para definir el sistema de precalentamiento, esto es, el diseño del tanque de agua, se calculará también el aislamiento del mismo, el sistema de bombeo de agua, tuberías, cantidades de vapor necesario tanto para el tanque como para el autoclave en sí, y finalmente se hará un cálculo de pérdidas de calor para ver si conviene ó no hacer el aislamiento correspondiente.

En primer lugar, empezaremos con dar las características del caldero existente, con sus datos técnicos:

- Marca : Powermaster
- Tipo : Pirotubular de 3 pasos
- Potencia quemador : 50 HP
- Producción : 800 Kg/h
- Superficie de transferencia: 23.4 m²

- Presión de diseño : 11 bar
- Tipo de combustible : Diesel Nº 2
- Consumo de combustible : 56.8 lt/h

Este caldero es el que se encargará de dar vapor al tanque de precalentamiento así como al autoclave, para alcanzar sus respectivas temperaturas de operación.

4.3.1. Diseño del Tanque de Agua

El Tanque es del tipo cilíndrico horizontal de tapas bombeadas y soporte tipo montadura; posee además conexiones de alimentación, descarga, drenaje, un respiradero, controles de nivel para el accionamiento y parada de la bomba.

Su construcción es en acero inoxidable.

A continuación se procederá a dimensionar el tanque. En la Figura Nº 5 se muestra la geometría de un tanque cilíndrico horizontal de tapas bombeadas y soporte tipo montura.

Nomenclatura básica para el dimensionamiento de tanques cilíndricos horizontales de tapas bombeadas y soportes tipo montura

- L_c : Longitud del casco, parte cilíndrica
- D_i : Diámetro interior
- D_o : Diámetro exterior
- t_s : Espesor del casco

- t_n : Espesor de las tapas
- S_r : longitud de la pestaña recta
- R_b : Radio de bombeo
- R_c : Radio de dobléz de las tapas
- D_{ob} : Diámetro de la plancha base antes del conformado
- h : Profundidad de las tapas
- V_w : Volumen efectivo total
- V_c : Volumen casco parte cilíndrica
- V_n : Volumen contenido en la tapa
- $\%V_R$: Margen de reserva y volúmenes muertos

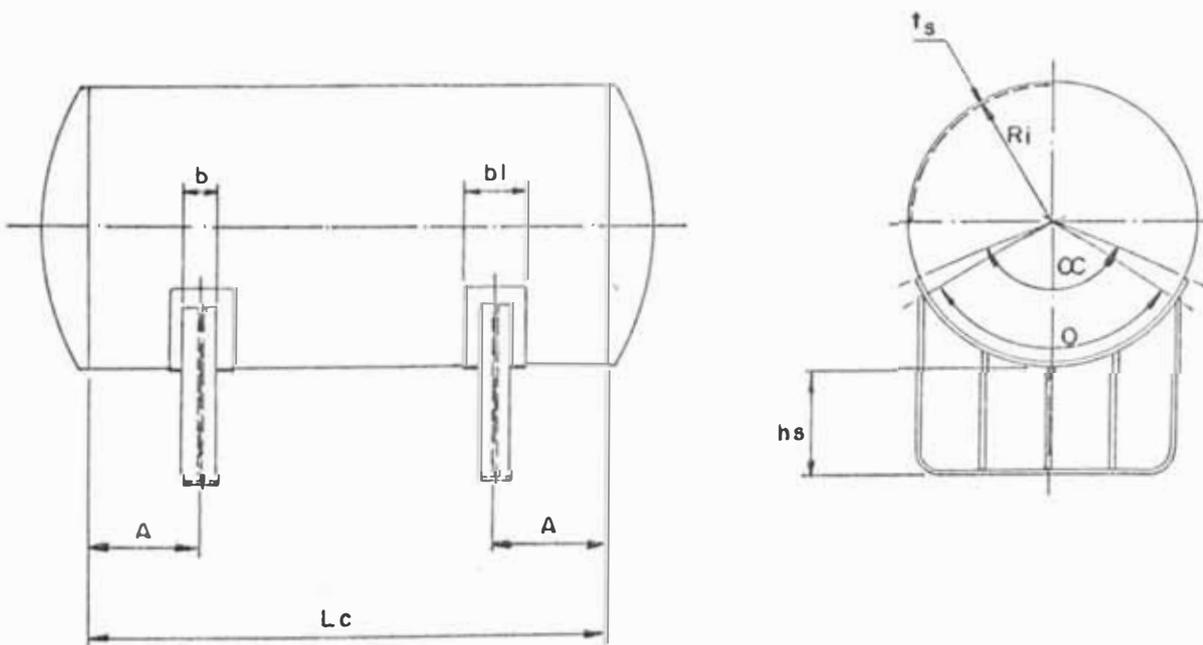


Figura Nº 5

Geometria de un Tanque cilindrico horizontal

Dimensionamiento de la parte cilíndrica

Partiendo del hecho que el tanque de agua precalentada tendrá el mismo volumen que el autoclave, empezaremos por calcular el volumen de ésta a partir de las dimensiones ya establecidas, las cuales son:

$$L_c = 1.5 \text{ mt}$$

$$D_i = 0.9 \text{ mt} = 35.43 \text{ pulg}$$

Llevando la medida del diámetro interior a dimensiones estándares para tapas bombeadas y rebordeadas, tenemos:

$$D_o = 36" = 0.914 \text{ mt}$$

Según el manual de la API, el espesor mínimo recomendado es de 3/16", luego:

$$D_i = D_o - 2t_n =$$

$$D_i = 36 - 2(3/16) = 35.625 \text{ pulg} = 0.905 \text{ mt}$$

$$\text{Volumen: } V_o = \pi D_i^2 / 4 \times L_c = \pi \times 0.905^2 / 4 \times 1.5 = 0.965 \text{ mt}^3$$

Dimensionamiento de las tapas

La selección del tipo de tapa bombeada se hace tomando en cuenta la presión de operación del recipiente, así como el costo de fabricación. La siguiente es una relación de las aplicaciones de los dos tipos de tapas más comunes.

- 1) **Bombeada y rebordeada (F&D):** es de menor profundidad que la elipsoidal, se usa para menores presiones de operación. Su perfil

es el de 2 segmentos esféricos. Presenta las siguientes variantes.

- a) **F&D ASME:** para presiones de vacío y hasta 100 PSIG, tiene radio de bombeo R_b igual ó menor que el diámetro interior, radio de dobléz R_c no menor al 6% de R_b ni a $3t_n$, generalmente se toma como 6% de R_b .
 - b) **F&D Standar:** para presiones entre 0 y 15 psig, de menor profundidad que las tapas F&D ASME. Para tanques no sujetos a código, tiene radio de bombeo R_b igual a D_o , y radio de dobléz R_c igual a $3t_n$.
- 2) **Elipsoidal:** Usada cuando la presión de operación excede los 100 psig, si perfil es el de una media elipse 2:1 y su profundidad h es igual a 1/4 del diámetro interior.

El tanque no opera a presión, de modo que se justifica el uso de tapas bombeadas y rebordeadas standar además que se escoge también por su menor costo.

Geometria de las tapas

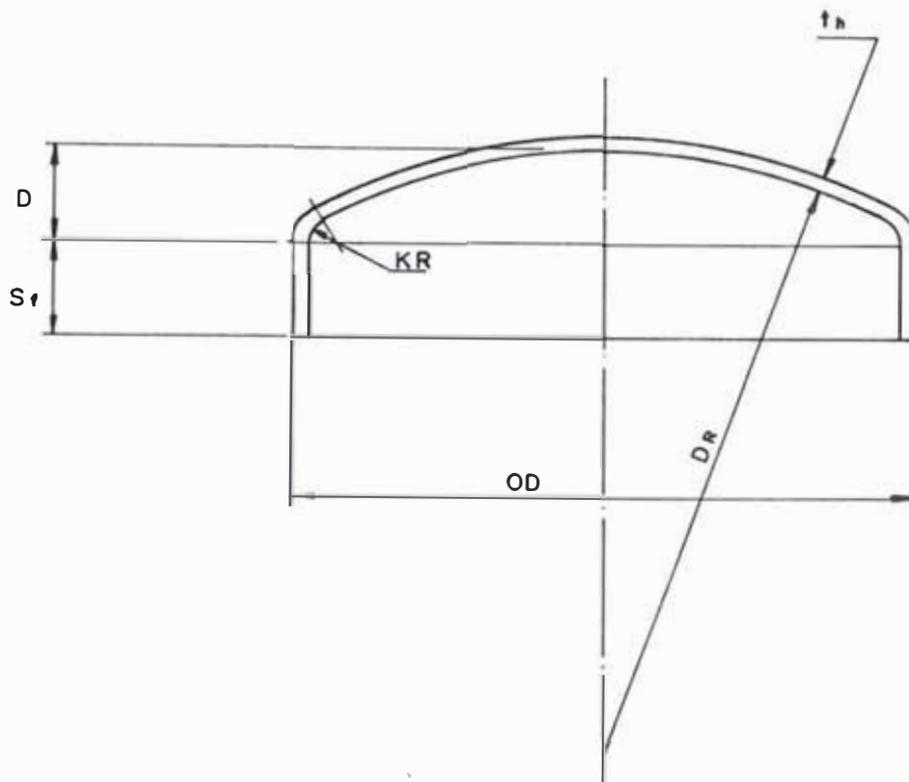


Figura N^o 6

Geometria de las tapas de tanques

Longitud de la pestaña recta: un valor común para ésta es de: $S_r = 38 \text{ mm}$

De tablas obtenemos los sgtes. datos:

Radio de rebordeo:

$$KR = 3/8''$$

Radio de Bombeo:

$$DR = 36'' = 914 \text{ mm}$$

Profundidad inferior de bombeo:

$$D = 4.934 \text{ pulg.}$$

Volumen:

$$V_n = 2622.3 \text{ pulg}^3$$

$$V_n = 0.043 \text{ mt}^3$$

Volumen total del tanque

$$V = V_o + 2V_n$$

$$V = 0.965 + 2 \times 0.043$$

$$V = 1.051 \text{ mt}^3$$

Cálculo de cargas

- Peso de la tapas

$$W_n = \frac{\pi D_b^2}{4} \times t_n \times \Gamma_{ac}$$

donde:

$$D_b = \frac{25}{24} D_o + 2t_n + 2S_r$$

$$D_b = \frac{25}{24} 0.914 + 2 \times 0.005 + 2 \times 0.038$$

$$D_b = 1.038 \text{ mt}$$

luego:

$$W_n = \pi \times \frac{1.038^2}{4} \times 0.005 \times 7,860$$

$$W_n = 33.26 \text{ Kg.}$$

- Peso del casco

$$W_s = \pi D_s \times L_c \times t_s \times \Gamma_{ac}$$

$$W_s = \pi \times 0.905 \times 1.5 \times 0.005 \times 7,860$$

$$W_s = 167.6 \text{ Kg}$$

- Peso total del tanque

$$W_t = W_B + 2W_h$$

$$W_t = 167.6 + 2 \times 33.26$$

$$W_t = 234.12 \text{ Kg}$$

- Peso del contenido

Se considerará que el volumen de agua contenida será el 90% del volumen del tanque, luego:

$$V_{H_2O} = 0.90 \times 1.05$$

$$V_{H_2O} = 0.945 \text{ m}^3$$

El peso será

$$W_{H_2O} = \rho \times V$$

$$W_{H_2O} = 1,000 \times 0.945$$

$$W_{H_2O} = 945 \text{ Kg}$$

- Carga total sobre los soportes

$$W_T = W_t + W_{H_2O}$$

$$W_T = 234.12 + 945$$

$$W_T = 1179.12 \text{ Kg}$$

- Carga sobre cada apoyo (Q)

$$Q = \frac{W_t}{2} = \frac{1179.12}{2} = 589.56 \text{ Kg}$$

Dimensionamiento y ubicación de los soportes tipo montura

La localización de los soportes tipo montura se hace de modo de aprovechar el efecto de rigidez de las tapas y disminuir

loss esfuerzos causados por el efecto cantilever

La distancia (A) del extremo de la parte cilíndrica del casco a cada soporte se fija preliminarmente igual a 0.4 veces el radio exterior (R_o) del tanque y no debe exceder en ningún caso el 20% de la longitud del casco (L_c)

$$A = 0.4 R_o = 0.4 \times \frac{0.914}{2} = 0.182 \text{ mt}$$

$$A \leq 0.2 L_c = 0.2 \times 1.5 = 0.3 \text{ mt}$$

Luego:

$$A = 0.182 \text{ mt}$$

Distancia entre los soportes (B)

$$B = L_c - 2A$$

$$B = 1.5 - 2 \times 0.182$$

$$B = 1.136 \text{ mt}$$

Ángulos característicos:

θ_s , conocido como ángulo incluido de un soporte, no debe ser menor que 120° , esta limitación impuesta por la mayoría de códigos, está basada en la experiencia.

$$\theta = 120^\circ$$

De otro lado:

$$\alpha = \theta + 12^\circ$$

$$\alpha = 120 + 12^\circ$$

$$\alpha = 132^\circ$$

- Ancho del soporte (b_1)

$$b_1 \geq 10 t_s$$

$$b_1 \geq 10 \times 0.005$$

$$b_1 \geq 0.05 \text{ mt}$$

Tomamos: $b_1 = 80 \text{ mm}$

- Ancho de la plancha de refuerzo (b)

$$b \geq b_1 + 10 T_s$$

$$b \geq 80 + 10 \times 5 = 130 \text{ mm}$$

Tomamos: $b = 140 \text{ mm}$

- Longitud de la plancha de refuerzo (L_{pr})

$$L_{pr} = \pi D_o \times a/180$$

$$L_{pr} = \pi \times 0.914 \times (132/180)$$

$$L_{pr} = 2.10 \text{ mt}$$

- Altura de soporte en su punto más bajo (h_s)

$$h_s = 300 \text{ mm}$$

Para determinar el peso del autoclave se emplearán las mismas fórmulas anteriores, variando sólo el espesor de la plancha que es de $1/4" = 6.35 \text{ mm}$

- Peso de las tapas

$$W_h = \frac{\pi D_b^2}{4} \times t_h \times \Gamma_{ac}$$

$$D_b = \frac{25}{24} D_o + 2t_h + 2S_r$$

$$D_b = \frac{25}{24} \times 0.914 + 2 \times 0.00635 + 2 \times 0.038$$

$$D_b = 1.04 \text{ mt}$$

$$\text{Luego: } W_H = \pi \times \frac{1.04^2}{4} \times 0.00635 \times 7860$$

$$W_H = 42.46 \text{ Kg}$$

- Peso del casco

$$W_a = \pi D_i L_c t_s \Gamma_{ac}$$

$$W_a = \pi \times 0.905 \times 1.5 \times 0.00635 \times 7860$$

$$W_a = 212.85 \text{ Kg}$$

- Peso total del tanque

$$W_t = W_a + 2W_H$$

$$W_t = 212.85 + 2 \times 42.46$$

$$W_t = 297.77 \text{ Kg}$$

4.3.1.1. Cálculo de las planchas

Para seleccionar la plancha adecuada emplearemos nuevamente la fórmula de Barlow, esto es:

$$t = \frac{PD}{2fE - 1.2P} + C$$

donde:

t: Espesor mínimo de la plancha en pulgadas

P: presión de diseño = 4 veces la máxima presión de operación para el tanque = 8 bar = 116.0.2 psi

E: Eficiencia de la unión soldada: 0.5 - 0.8. Asumimos E = 0.65

f: Máxima tensión de trabajo del material de la plancha en psi. Para

nuestro caso: acero inoxidable

AlSi 304, $f = 28,000$ psi

C: demasia para compensar los efectos de corrosión. Con acero inoxidable: $C = 0$

D: diámetro interior en pulgadas.

Luego reemplazando tenemos:

$$t = \frac{116.02 \times 35.63}{2 \times 0.65 \times 28,000 - 1.2 \times 116.02}$$

$$t = 0.114"$$

Finalmente, el espesor seleccionado de 3/16" cumple con los requerimientos de esfuerzos.

4.3.1.2. Cálculo de soldaduras

La soldadura empleada en el taque será a tope del tipo TIG (Tungsten Inert Gas) en ambiente de gas Argón y con electrodo de Tungsteno toriado de 1/16" ϕ , siendo la máquina de soldar del tipo continua.

El acabado será hecho con esmerilado, pulido con azaflar N° 80 y disco de lija N° 120. Se recomienda en el caso de usar electrodos de acero inoxidable, un decapado preliminar de 8 a 10 partes de ácido sulfúrico y el resto agua y un decapado

final de 10 partes de ácido nítrico y una parte de ácido fluorhídrico, según recomendaciones de DERLIKON.

Esto nos dará un acabado impecable para usos alimenticios, que no permita la aparición de grietas o fisuras que acumulen bacterias nocivas para el uso y proceso de alimentos.

4.3.1.3. Cálculo del aislamiento

Para mantener el agua a 95°C en el tanque de precalentamiento, será necesario aislarlo, para lo cual emplearemos lana de vidrio sujeta con una manta de material plastificado alrededor.

A continuación realizaremos el cálculo del espesor de aislante necesario.

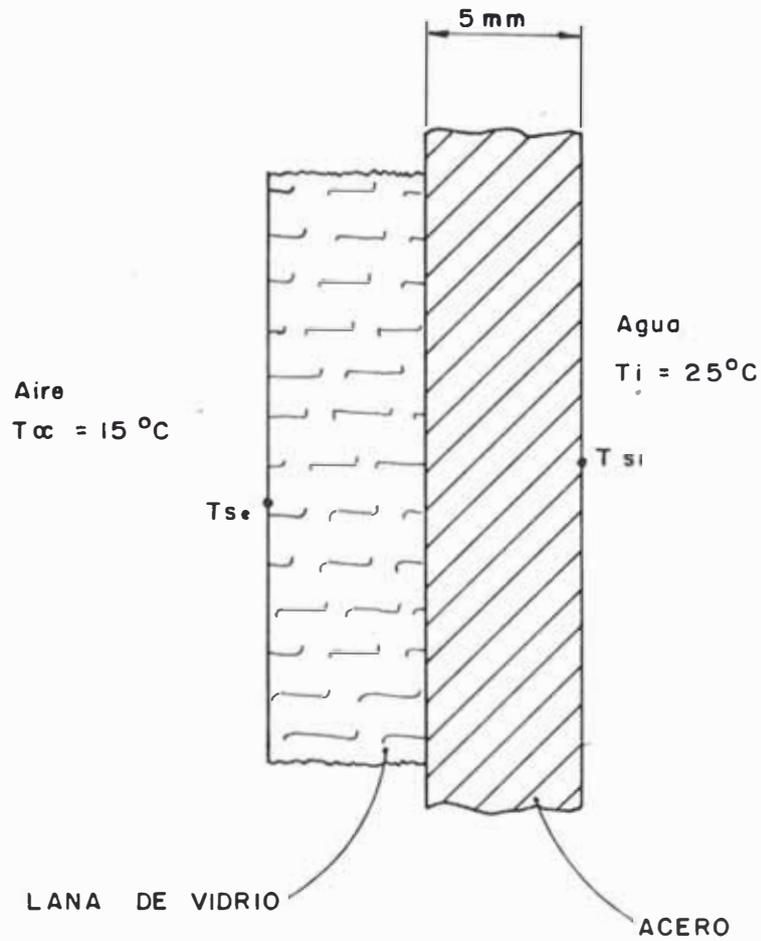


Figura N^o 7

Esquema de espesores

Las condiciones para el cálculo son las siguientes:

Aire: $T_{\infty} = 15^{\circ}\text{C}$

$$h = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Agua: $T = 95^{\circ}\text{C}$

Temperatura de superficie interior:

$$T_{s1} = 75^{\circ}\text{C} \text{ (Asumido)}$$

Temperatura de superficie exterior:

$$T_{s_e} = 30^{\circ}\text{C} \text{ (Asumido)}$$

Por transferencia de calor:

$$\frac{q}{A} = \frac{T_i - T_a}{\frac{1}{h} + \frac{L}{K} + \frac{e}{K_1} + \frac{1}{h_1}} \dots (1)$$

donde:

q :Calor cedido (Watts)

A :área de transferencia de calor
(m²)

T_i:Temperatura interior (°C)

T_a:Temperatura exterior (°C)

h :coeficiente de convección del aire
(W/m²°K)

L :espesor de aislamiento (m)

K :Conductividad térmica de la lana
de vidrio (W/m°K)

e :espesor de plancha (m)

K₁:conductividad térmica del acero
(W/m°K)

h₁:coeficiente de convección del
agua (W/m²°K)

Luego:

$$T_i = 95^{\circ}\text{C}$$

$$T_a = 15^{\circ}\text{C}$$

$$h = 5 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

$$K = 0.04 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

$$e = 3/16" = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$K_1 = 52 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$$

Los valores de h , k y K_1 son obtenidos de "Transferencia de Calor" por Manrique y "Principios de Transferencia de calor" por Donald Kern.

Por otro lado:

$$\frac{q}{A} = h(T_{s_w} - T_\infty)$$

$$\frac{q}{A} = 5(30 - 15)$$

$$\frac{q}{A} = 75 \text{ W/m}^2 \dots \dots \dots (2)$$

Luego, nuestro problemaa es hallar el valor de h_1 para a partir de allí encontrar el valor de L .

Teniendo en cuenta el siguiente esquema:

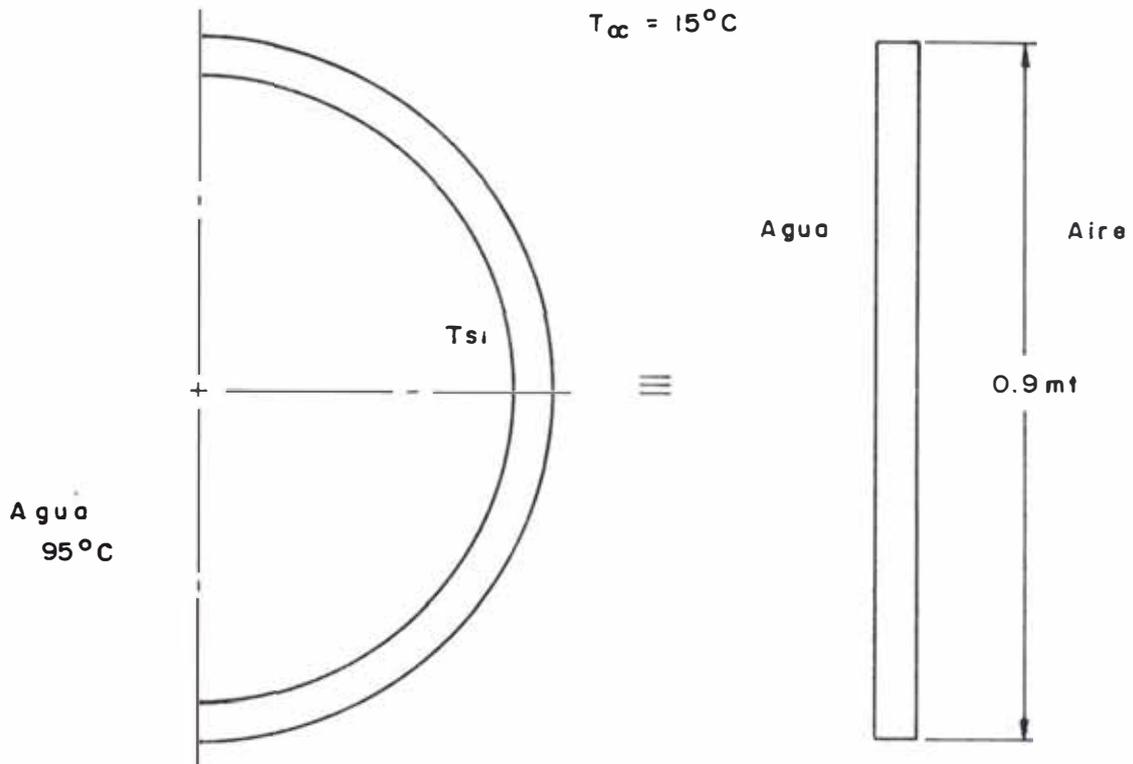


Figura N^o 8

Analogía para hallar el coeficiente pelicular

Lo que se ha hecho es un analogía para aproximar nuestro estado en el tanque el cual sería: agua en un recipiente cilíndrico, con otro estado que sería, agua sobre una placa plana.

Luego, la temperatura de película sería:

$$T_f = \frac{T_1 + T_{s1}}{2} = \frac{95 + 75}{2} = 85^\circ\text{C}$$

Aplicando la ecuación de Chu para el número de Nusselt:

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \frac{0.492}{Pr} \right]^{9/16}} \right]^{8/27} \dots (3)$$

$$Ra = [0 - 10^{14}]$$

donde:

Ra : # Raleigh

Pr : # Prandtl

$$Ra = Gr \times Pr \dots (4)$$

donde Gr : # Grashoff

$$Gr(\tau) = \frac{\rho^2 g \beta (T_{a1} - T_{s1}) L^3}{\mu^2} \dots (5)$$

Obteniendo los datos de tablas y evaluados a $T_f = 85^\circ\text{C}$ tenemos:

$$\rho = \text{densidad} = 967.4 \text{ Kg/m}^3$$

$$g = \text{cte. gravitacional} = 9.8 \text{ m/seg}^2$$

$$\beta = \text{coeficiente de expansión térmica} = 5.58 \times 10^{-4} \text{ (1/}^\circ\text{C)}$$

$$L = 0.9 \text{ mt}$$

μ = coeficiente de viscosidad

$$\mu = 0.32 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{m seg}}$$

$$Pr = 2.1.$$

Reemplazando en (5)

$$Gr(\nu)$$

$$= \frac{967.4^2 \times 9.8 \times 5.58 \times 10^{-4} (95-85) \times 0.9^3}{(0.32 \times 10^{-3})^2}$$

$$Gr(\nu) = 3.64 \times 10^8$$

En (4):

$$Ra = 3.64 \times 10^8 \times 21$$

$$Ra = 7.65 \times 10^9$$

Reemplazando en (3)

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \frac{0.492}{2.1} \right]^{9/16}} \right]^{8/27}$$

$$Nu = 1,158$$

Se sabe:

$$Nu = \frac{h_1 \times L}{K}$$

$$h_1 = \frac{K \times Nu}{L} \dots \dots \dots (6)$$

De tablas:

$$K = 0.675 \frac{\text{J}}{\text{m-s-}^\circ\text{C}}$$

En (6):

$$h_1 = \frac{0.675 \times 1,158}{0.9}$$

$$h_1 = 868.5 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Reemplazando h_1 en (1) e igualando con (2), tenemos:

$$\frac{95-15}{\frac{1}{5} + \frac{L}{0.04} + \frac{5 \times 10^{-3}}{52} + \frac{1}{868.5}} = 75$$

De donde:

$$L = 0.034 \text{ mt} = 3.4 \text{ cm}$$

Tomamos como medida de espesor $L = 1 \frac{1}{2}$ " (valor comercial).

Posteriormente al hacer el cálculo térmico, se verá la conveniencia o no de colocar este aislamiento dependiendo esto de la cantidad de calor perdido.

4.3.2. Diseño del sistema de bombeo

Para nuestro sistema, el agua de abastecimiento del tanque de precalentamiento provendrá de la línea de agua principal de la planta, la cual se controlará mediante una válvula de compuerta.

El pase del agua del tanque hacia el autoclave será también en forma manual y el nivel se controlará mediante los electrodos de nivel.

Terminado el autoclavado, el agua a 120°C utilizada, recirculará hacia el tanque,

impulsada por una bomba de recirculación, lo cual se realizará en 3 minutos y paralelamente irá ingresando agua fría al autoclave mediante una bomba similar iniciando así el proceso de enfriamiento. Una vez que se ha transvasado toda el agua caliente hacia el tanque, el agua fría que ingresó recircula en el autoclave hasta reducir la temperatura a valores entre 30 y 35°C.

El volumen del tanque de agua es de 1.05 m³ o 1,050 lts.

Considerando un factor de proporcionalidad K_p de 0.1, tenemos que el volumen de agua en el tanque es:

$$V_{H_2O} = 0.9 \times 1,050 = 945 \text{ lts.}$$

$$V_{H_2O} = 0.945 \text{ m}^3$$

Este valor nos servirá para calcular las bombas respectivas.

4.3.2.1. Cálculo de las bombas de agua

Como ya se ha mencionado anteriormente, la bomba de recirculación y la bomba de ingreso de agua fría serán similares, siendo el tiempo de transvase de 3 minutos, luego el caudal necesario será:

$$Q = \frac{0.945 \text{ m}^3}{3 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} = 18.9 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Con este valor seleccionamos una electrobomba centrífuga de las siguientes características.

Marca : Hidrostral

Potencia absorbida: 0.9 HP

Velocidad : 1,200 RPM

4.3.2.2. Cálculo de tuberías

Las velocidades recomendadas para agua varían entre 1.5 y 3m/seg. Para iniciar el cálculo, emplearemos una velocidad promedio de 2.25 m/seg

Si se sabe:

$$A = \frac{Q}{V}$$

donde:

A: sección transversal de la tubería

Q: Caudal

V: Velocidad del agua

Luego:

$$A = \frac{18.90}{2.25 \times 3600} = 2.33 \times 10^{-3} \text{ mt}^2$$

pero:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow \frac{\pi D^2}{4} = 2.33 \times 10^{-3}$$

$$D = 5.5 \text{ cm} = 2.16''$$

Con lo que seleccionamos una tubería comercial de 2" ø Sch 40 con diámetro interior de 2.067"

Recalculamos la velocidad del agua:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{18.90}{(\pi/4)(2.06/x0.0254)^2 \times 3.600}$$

$$V = 2.42 \text{ m/seg}$$

4.3.2.3. Cálculo de pérdidas

Como se puede observar en el plano de la instalación, existe poco recorrido de agua entre el tanque de precalentamiento y el autoclave, y dado que estas pérdidas son proporcionales a la longitud recorrida (según la ecuación de Darcy), las despreciaremos con la seguridad que su influencia no va afectar el funcionamiento del sistema.

4.3.3. Cálculo del sistema de inyección de vapor

Para realizar este cálculo, lo dividiremos en dos partes; primero la cantidad de vapor que requiere el tanque de precalentamiento, y segundo, la que requiere el autoclave en sí.

4.3.3.1. Cálculo de la cantidad de vapor requerido

a) En el tanque de precalentamiento

La masa de agua contenida en el tanque es:

$$m_{H_2O} = \rho V_{H_2O}$$

Luego:

$$\begin{aligned} m_{H_2O} &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 0.945 \text{ m}^3 \\ &= 945 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Aplicamos la fórmula:

$$Q = m \cdot C_e \times (T_f - T_i)$$

donde:

Q : calor requerido

m : masa de agua = 945 Kg

C_e: Calor específico del agua
= 4.18 KJ/Kg°K

T_f: Temperatura final del agua
= 95°C

T_i: Temperatura inicial del agua
= 20°C

Luego:

$$Q = 945 \times 4.18 \times (95-20)$$

$$Q = 296,257.5 \text{ KJ}$$

También calcularemos el calor necesario para el tanque mismo.

Aplicando la misma fórmula donde:

m : masa del tanque = 234.12 Kg

Ce: calor específico del acero
= 0.46 KJ/Kg°K

Reemplazamos y tenemos:

$$Q = 234.12 \times 0.46 \times (95-20)$$

$$Q = 8,077.14 \text{ KJ}$$

Finalmente el calor total requerido para el tanque es:

$$Q = 296,257.5 + 8,077.14$$

$$Q = 304,334.64 \text{ KJ}$$

Para calcular el flujo de vapor necesario a 2 bar al calentar en un determinado tiempo el agua en el tanque, utilizamos la siguiente expresión en la cual estamos despreciando la energía cinética que en los casos en que se trabaja con vapor, es pequeña, comparándola con la entalpías, luego:

$$\frac{Q_{total}}{t} = \dot{m}_v \times hg_{2bar}$$

donde:

t : tiempo en segundos

\dot{m}_v : flujo de vapor en Kg/seg

hg_{2bar}: 2,710 KJ/Kg (de tablas de vapor)

Luego, para un tiempo de precalentamiento dado de 15 minutos, tenemos:

$$\dot{m}_v = \frac{304,334.64}{15 \times 60 \times 2,710} = 0.124 \text{ Kg/seg}$$

de donde:

$$\dot{m}_v = 0.124 \text{ Kg/seg} = 448.6 \text{ Kg/hr}$$

Y la cantidad de vapor en masa será:

$$m_v = 448.6 \text{ Kg/hr} \times 0.25 \text{ hr} \\ = 112.16 \text{ Kg}$$

Se debe hacer notar que este tiempo considerado, así como la cantidad de vapor calculado, se reducen debido a que se está partiendo de que el agua y el tanque están fríos, lo cual en la operación no es cierto ya que el agua utilizada es la que ha sido empleada en el autoclavado..

A continuación se calculará la temperatura a la cual llega el agua del autoclave al tanque de precalentamiento.

De acuerdo al plano de ensamble, la longitud de la tubería que tiene que recorrer el agua en

su recorrido del autoclave al tanque es aproximadamente de 6 mt. Luego, para realizar el cálculo, haremos la semejanza con una tubería horizontal del mismo diámetro y de la misma longitud; por consiguiente tenemos:

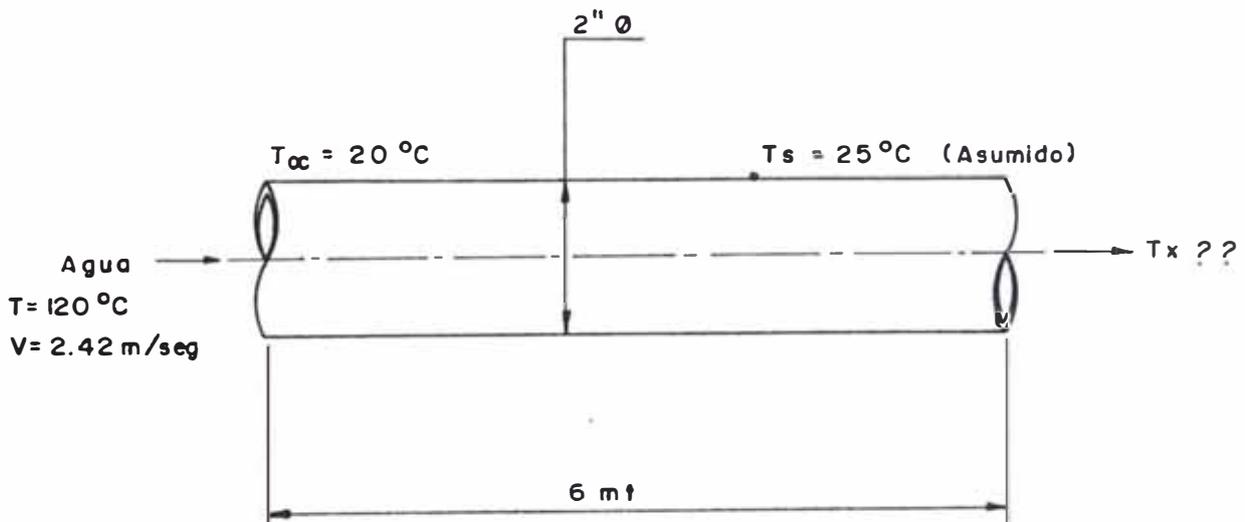


Figura Nº 9

Condiciones para determinar la temperatura de llegada al tanque de precalentamiento.

Por termodinámica se tiene:

$$q = \dot{m} C_p \Delta T$$

$$q = \rho_{AV} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

donde:

$$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$A = (\pi/4) \theta^2 = (\pi/4) \times 0.052^2 \\ = 2.123 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = 2.42 \text{ m/seg}$$

$$C_p = 4,180 \text{ J/Kg}^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 120 - T_x$$

Reemplazando tenemos:

$$q = 1000 \times 2.123 \times 10^{-3} \times 2.42 \times 4,180 \times \\ (120 - T_x)$$

$$q = 21,482 (120 - T_x)$$

Por transferencia de calor:

$$q = h \times A \times \Delta T_{log}$$

donde:

h : coeficiente pelicular

$$A = \pi \cdot \phi \cdot L = \pi \times 0.052 \times 6 = 0.98 \text{ mt}^2$$

ΔT_{log} : diferencia media logarítmica

Para hallar ΔT_{log} empleamos el siguiente esquema:

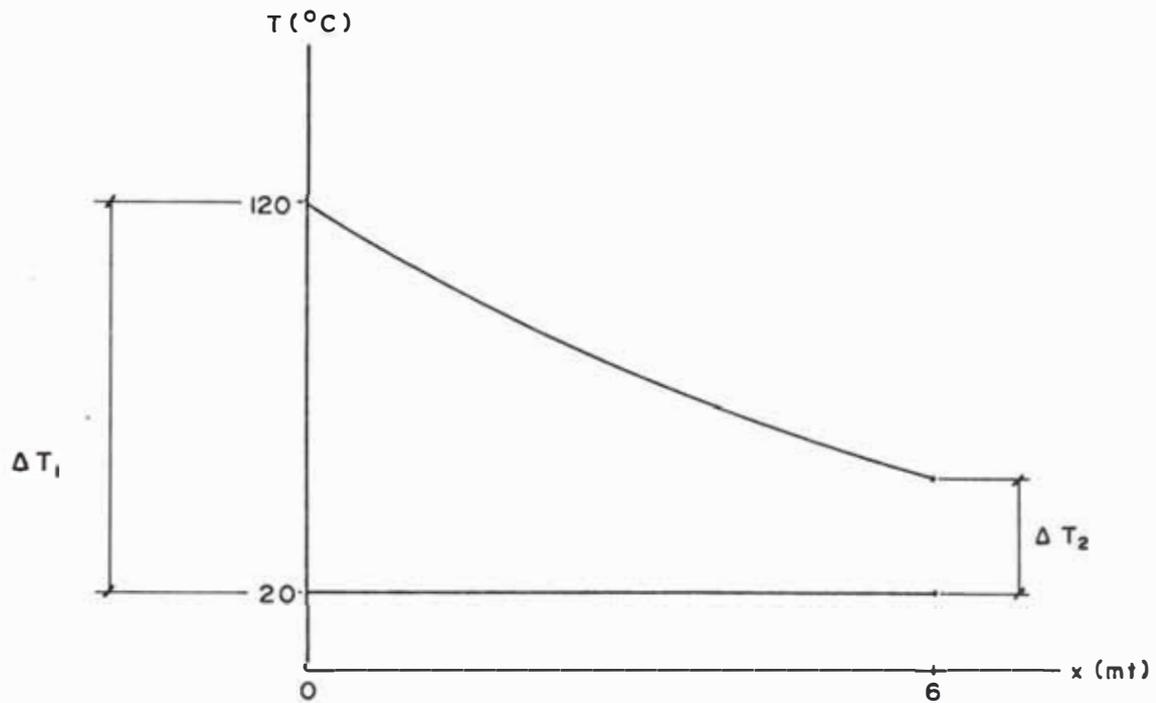


Figura Nº 10

Esquema para determinar la diferencia media logarítmica

$$\Delta T_{log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Reemplazando:

$$\Delta T_{log} = \frac{(120-20) - (T_k-20)}{\ln \frac{120-20}{T_k-20}}$$

$$\Delta T_{100} = \frac{120 - T_x}{\text{Ln} \frac{100}{T_x - 20}}$$

Reemplazando ΔT_{100} en la ecuación de calor:

$$q = h \times 0.98 \times \left[\frac{120 - T_x}{\text{Ln} \frac{100}{T_x - 20}} \right]$$

Igualando calores tenemos:

$$21,482(120 - T_x) = 0.98 \times h \times \left[\frac{120 - T_x}{\text{Ln} \frac{100}{T_x - 20}} \right]$$

$$\text{Ln} \frac{100}{T_x - 20} = 4.56 \times 10^{-5} h \dots \dots (1)$$

Ahora nos concentraremos en hallar el valor de "h"

Asumiendo: $T_x = 90^\circ\text{C}$

T_b : Temperatura de mezcla

$$T_b = \frac{T_{\text{ingreso}} + T_{\text{salida}}}{2}$$

$$T_b = \frac{120 + 90}{2} \Rightarrow T_b = 105^\circ$$

Calculamos el Re_b Reynolds:

$$Re_b = \frac{V \times D}{\gamma_b}$$

donde:

$$V = 2.42 \text{ m/seg}$$

$$D = 0.052 \text{ mt.}$$

γ_b = Viscosidad a 105°C

$$= 0.02787 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{seg}$$

$$Re_b = \frac{2.42 \times 0.052}{0.02787 \times 10^{-5}} = 451,525$$

Con lo que calculamos el NO Nusselt, empleando la siguiente expresión:

$$NU_b = 0.027 Re_b^{0.8} \times FR_b^{1/3} \times \left(\frac{u_b}{u_a} \right)^{0.14}$$

De tablas:

$$FR_b = 1.75$$

$$u_b = 0.02787 \times 10^{-3} \text{ Kg/m-seg}$$

$$u_a = 0.893 \times 10^{-3} \text{ Kg/m-seg}$$

Reemplazando tenemos:

$$NU_b = 0.027 \times 451,525^{0.8} \times 1.75^{1/3} \times \left(\frac{0.02787 \times 10^{-3}}{0.893 \times 10^{-3}} \right)^{0.14}$$

$$NU_b = 923.25$$

El coeficiente pelicular es:

$$h = \frac{K \times NU}{L}$$

donde:

$$K = 0.68 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}, \text{ a la temperatura } T_b$$

$$L = 0.052 \text{ mt}$$

luego:

$$h = \frac{0.68 \times 923.25}{0.052} = 12,073 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Reemplazando en (1):

$$\ln \left(\frac{100}{T_x - 20} \right) = 4.56 \times 10^{-6} \times 12,073$$

$$\frac{100}{T_x - 20} = 1.73 \Rightarrow T_x = 77.6^\circ\text{C}$$

Como se observa, la temperatura obtenida es distinta de la asumida, por consiguiente haremos nuevos cálculos a partir de una temperatura cercana a ésta última hallada.

Para esto confeccionaremos la siguiente tabla:

Tabla Nº 11

Temperatura de llegada del agua al tanque

T_x asumido	76
T_b	98°
γ_b	$0.0311 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$
Re_b	404,630
K_b	0.679
F_{Rb}	1.85
μ_b	$0.0297 \times 10^{-3} \text{ Kg/m-sec}$
μ_s	$0.893 \times 10^{-3} \text{ Kg/m-sec}$
N_{ub}	869.23
h	11,350 W/m ² .K
$T_{x\text{hallado}}$	79.6 °C

Luego, observando los 2 cálculos para hallar T_x tenemos 77.6° y 79.6° con lo que sin temor a cometer mucho error concluimos:

$$T_x = 78^\circ$$

Esto nos dá una idea del tremendo ahorro de energía que se tendrá, ya que el agua sólo tendrá que calentar de 78° a 95° con lo que el calor requerido será:

$$Q = 945 \times 4.18 \times (95-78)$$

$$Q = 67,152 \text{ KJ}$$

El calor total será:

$$\begin{aligned} Q_T &= 67,152 + 8,077.14 \\ &= 75,229.12 \text{ KJ} \end{aligned}$$

con lo que el flujo de vapor se reduce a:

$$\dot{m}_v = \frac{Q_T}{t \times hg_{2bar}}$$

$$\dot{m}_v = \frac{75,229.12}{15 \times 60 \times 2710}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_v &= 0.030 \text{ Kg/seg} \\ &= 111 \text{ Kg/hr} \end{aligned}$$

y la cantidad de vapor en masa será:

$$\begin{aligned} m_v &= 111 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \times 0.25 \text{ hr} \\ &= 27.75 \text{ Kg} \end{aligned}$$

b) En el autoclave

Aquí hay varios elementos a considerar para el cálculo como son: el agua del autoclave, los carros portatalas, el autoclave en sí, las latas y el producto a esterilizar.

b.1. Calor requerido por el agua

Partiendo del mismo volumen de agua que para el tanque de pre-ca-

lentamiento, se tendrá que descontar el volúmen de las latas.

Las latas son del tipo 300 x 308, esto es: D=3", H=3.5"

el volúmen de una lata será:

$$V = \frac{\pi}{4} \times 3^2 \times 3.5 \times 0.0254^3$$
$$= 0.00040 \text{ m}^3$$

y el de las 480 latas será:

$$V = 480 \times 0.00040$$
$$= 0.195 \text{ m}^3$$

Finalmente el volúmen de agua será:

$$V = 0.945 - 0.195$$
$$= 0.750 \text{ m}^3$$

Luego, aplicamos la fórmula de calor donde:

$$m = 1,000 \times 0.750 = 750 \text{ Kg}$$

$$C_e = 4.18 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$$

$$T_i = 95^\circ\text{C}$$

$$T_f = 120^\circ\text{C}$$

Reemplazando tenemos:

$$Q'_{\text{agua}} = 750 \times 4.18 \times (120-95)$$

$$Q'_{\text{agua}} = 78,375 \text{ KJ}$$

b.2. Calor requerido por los carros portatalas.-

Dadas las dimensiones del autoclave, se empleará un solo coche, el cual pesa aproximadamente 40Kg y es construido con ángulos de fierro.

$$Q'_{\text{carros}} = 40 \times 0.46 \times (120-15)$$

$$Q'_{\text{carros}} = 1,932 \text{ KJ}$$

b.3. Calor requerido por la autoclave.-

$$Q'_{\text{autoclave}} = 297.77 \times 0.46 \times (120-15)$$

$$Q'_{\text{autoclave}} = 14,382.58 \text{ KJ}$$

b.4. Calor requerido por las latas de conservas.-

Estas tienen un espesor de 1/40", que con un peso específico de 7.2 Kg/dm³ nos resulta para las 480 latas por batch y para un peso de 40 gr cada una, un total de 19.2Kg.

Luego:

$$Q'_{\text{latas}} = 19.2 \times 0.46 \times (120-15)$$

$$Q'_{\text{latas}} = 927.36 \text{ KJ}$$

b.5. Calor requerido por el producto

Consideraremos latas de un contenido aproximado de 1/2 lb que resultaría ser alrededor de 250 gr. cada una.

Para el presente caso trabajaremos con espárragos que tienen calor específico de 1.2126 KJ/KgK (Según el texto: "Refrigeración y Aire acondicionado" de los Ings. Mori, Nakamura y Herencia).

Luego:

$$Q'_{\text{espárragos}} = 480 \text{ latas} \times \\ 0.25 \text{ Kg/lata} \times \\ 1.2126 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K} \times \\ (120-15)^\circ\text{K}$$

$$Q'_{\text{espárragos}} = 15,278 \text{ KJ}$$

Finalmente determinaremos el calor total requerido en el autoclave, esto es:

$$Q'_{\text{total}} = Q'_{\text{agua}} + Q'_{\text{carros}} + \\ Q'_{\text{autoclave}} + Q'_{\text{lata}} + \\ Q'_{\text{producto}}$$

$$Q'_{\text{total}} = 78,375 + 1932 + \\ 14,382.58 + 927.36 + \\ 15,278$$

$$Q'_{total} = 110,894.9 \text{ KJ}$$

considerando un tiempo de calentamiento de 15 minutos, tenemos:

$$\frac{Q'_{total}}{t} = \dot{m}_v \times hg_{sbar}$$

Donde:

$$Q'_{total} = 110,894.9 \text{ KJ}$$

$$t = 15 \text{ min} = 900 \text{ seg.}$$

$$hg_{sbar} = 2749.3 \text{ KJ/Kg}$$

Luego:

$$\frac{110,894.9}{900} = \dot{m}_v \times 2749.3$$

$$\dot{m}_v = 0.044 \text{ Kg/seg}$$

Finalmente:

$$\dot{m}_v = 161 \text{ Kg/hr}$$

Asimismo, la cantidad de vapor utilizada será:

$$m_v = 161 \text{ Kg/hr} \times 0.25 \text{ hr}$$

$$m_v = 40.35 \text{ Kg.}$$

4.3.3.2. Cálculo del consumo de combustible

El calor requerido tanto para el tanque como para el autoclave es:

$$Q_{tanque} = 75,229.12 \text{ KJ}$$

$$Q_{autoclave} = 110,894.9 \text{ KJ}$$

Luego, el calor total requerido es:

$$Q_T = 186,124.02 \text{ KJ}$$

Para calcular el consumo de combustible aplicamos la sgte. fórmula:

$$m_c = \frac{Q_T}{n_c \times P_c}$$

donde:

m_c = consumo de combustible (gal)

Q_T = calor total requerido (KJ)

n_c = Eficiencia del caldero

P_c = poder calorífico del combustible

luego:

$$Q_T = 186,124.02 \text{ KJ}$$

$n_c = 0.8$ (valor común para calderos)

$P_c = 45,333 \text{ KJ/Kg}$ (petr. diesel # 2)

Reemplazando tenemos:

$$m_c = \frac{186,124.02 \text{ KJ}}{0.8 \times 45,333 \text{ K}} = 5.13 \text{ Kg.}$$

J/Kg

Como la densidad del petroleo es: 3.24 Kg/Gal, el consumo sería:

$$m_c = \frac{5.13 \text{ Kg}}{3.24 \text{ Kg/Gal.}} = 1.58 \text{ Gal.}$$

4.3.3.3. Cálculo de las tuberías de vapor

A continuación se realizará el cálculo para seleccionar las tube-

rias de vapor hacia el autoclave y hacia el tanque de precalentamiento.

Para calcular el diámetro, emplearemos la fórmula siguiente:

$$D = \sqrt{\frac{4 \dot{m}_v \times v}{V \times \pi}}$$

donde:

D = diámetro interior de la tubería
(mt)

\dot{m}_v = flujo de vapor (Kg/seg)

v = volumen específico (m³/Kg)

V = velocidad promedio del vapor
(m/seg)

a) Tubería de vapor hacia el autoclave

Aquí los parámetros de cálculo son:

$\dot{m}_v = 161 \text{ Kg/h} = 0.044 \text{ Kg/seg.}$

v = 0.3749 m³/Kg (a 5 bar)

V = 25 m/seg (asumido)

Luego, reemplazando tenemos:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.044 \times 0.3749}{25 \times \pi}} = 0.028 \text{ mt}$$

D = 2.8 cm = 1.15"

Con lo ue seleccionaremos una tubería comercial de ø 1¼" - Sch

40 de diámetro interior 1.38".
Recalculando la velocidad, tenemos:

$$V = \frac{4 \times 0.044 \times 0.3749}{\pi \times (1.38 \times 0.0254)^2}$$

$$V = 17.08 \text{ m/seg}$$

b) Tubería de vapor hacia el tanque

Aquí partiremos del hecho que el agua en el tanque ya está a 78°C, ya que si calculamos cuando tanto el agua como el tanque están fríos, estaremos sobredimensionado la instalación ya que la mayor parte del tiempo éstos se encontrarán calientes.

Luego:

$$\dot{m}_v = 0.030 \text{ Kg/seg}$$

$$v = 0.8857 \text{ m}^3/\text{Kg (a 2 bar)}$$

$$V = 25 \text{ m/seg (asumido)}$$

Reemplazando en la expresión para hallar el diámetro tenemos:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.030 \times 0.8857}{25 \times \pi}} = 0.036 \text{ mt}$$

$$D = 3.6 \text{ cm} = 1.41''$$

Para homogenizar la instalación, seleccionaremos también una tubería comercial ϕ 1¼" - Sch: 40,

con lo que recalculamos la velocidad del vapor:

$$V = \frac{4 \times 0.030 \times 0.8857}{\pi (1.38 - 0.0254)^2}$$

$$V = 27.53 \text{ m/seg}$$

4.3.3.4. Cálculo del aislamiento para las tuberías de vapor.

Las tuberías se recubrirán con aislante preformado en medias cañas de asbesto con 85% de contenido de magnesio.

Para la selección emplearemos la tabla Nº 12 obtenida del catálogo de Refractarios Peruanas S.A. (REPSA) sobre recomendaciones de espesor de aislante.

Tabla Nº 12

Espesor de aislante recomendado

Diámetro nominal de tubería	Espesor nominal de aislante (pulg)	
	1.7 — 2 bar	4.5 — 8 bar
½" — 1½"	1"	1½"
2" — 5"	1½"	2"

De acuerdo a la presiones de operación y el diámetro de tubería seleccionamos:

Tabla Nº 13

Espesores de aislante seleccionados

Tramo	∅ nominal	Presión de trabajo	Espesor nominal de aislante
Hacia el tanque	1¼"	2 bar	1"
Hacia el autoclave	1¼"	5 bar	1½"

4.3.3.5. Comparación de la cantidad de vapor y de combustible requeridos para ambos sistemas

De los cálculos anteriores obtenemos las cantidades de vapor requeridos tanto para precalentar el agua en el tanque como en el autoclave en sí, las cuales son:

- Cantidad de vapor requerido para el tanque: 112.16 Kg
- Cantidad de vapor requerido en el autoclave: 40.35 Kg

La cantidad total de vapor requerida sólo para la primera producción será de 152.51 Kg, pues para

las siguientes producciones, el agua ya está precalentada por lo cual se ahorra el vapor utilizado para este fin.

Siendo este el caso más extremo, lo utilizaremos como punto de comparación con el sistema actual.

Para determinar el vapor requerido en el sistema actual haremos la misma disgregación que en los cálculos anteriores:

a) Calor requerido por el agua

$$Q_{\text{agua}} = 945 \times 4.18 \times (120-20)$$

$$Q_{\text{agua}} = 395,016 \text{ KJ}$$

Para los siguientes calores, no hay variación alguna, luego:

b) Calor requerido por el autoclave

$$Q_{\text{autoclave}} = 14,382.58$$

c) Calor requerido por las latas de conserva

$$Q_{\text{latas}} = 927.36 \text{ KJ}$$

d) Calor requerido por el producto

$$Q_{\text{producto}} = 15,278 \text{ KJ}$$

Finalmente el calor total es la suma de calores. Luego:

$$Q_T = 395,016 + 14,382.58 + 937.36 \\ + 15,278$$

$$Q_T = 425.597 \text{ KJ}$$

La cantidad de vapor requerido será:

$$m_v = \frac{Q_T}{hg_{\text{bar}}}$$
$$m_v = \frac{425,597}{2749,3} = 154.8 \text{ Kg}$$

Luego, como se puede observar, ni en las condiciones más desfavorables, esto es cuando el tanque y el autoclave están fríos, es conveniente el sistema actual, ya que la diferencia es de aproximadamente 2 Kg de vapor. A partir del segundo autoclavado es cuando se aprecia verdaderamente el ahorro de vapor ya que el requerimiento de este se reduce a:

$$m_v = 40.35 + 27.27 = 68.1 \text{ Kg}$$

Como se observa, el ahorro de vapor representa aproximadamente el 55% del total empleado actualmente con lo cual se obtiene un gran beneficio tanto económico como de energía.

En cuanto al consumo de combustible tenemos:

$$m_c = \frac{Q_T}{n_c + F_c}$$

donde:

$$Q_T = 425,597 \text{ KJ}$$

$$n_c = 0.8$$

$$F_c = 45,333 \text{ KJ/Kg}$$

$$m_c = \frac{425,597 \text{ KJ}}{0.8 \times 45,333 \text{ KJ/Kg}}$$

$$m_c = 11.7 \text{ Kg}$$

Con el valor de 3.24 Kg/Gal,
tenemos:

$$m_c = \frac{11.7 \text{ Kg}}{3.24 \text{ Kg/Gal}} = 3.62 \text{ Gal}$$

Como se puede observar, con el nuevo sistema, el consumo de combustible por producción se reduce aproximadamente en 56% con el consiguiente beneficio económico.

Analizando la producción diaria tenemos los siguientes consumos:

- Sistema actual: 8 producciones x
3.62 Gal/prod = 28.96 ≈ 29 gal/día

- Sistema convertido: 11 producc. x
1.58 Gal/prod = 17.38 ≈ 17.5 Gal/día

Como se ve, el ahorro es de aproximadamente 40% del consumo diario respecto al sistema actual.

4.3.3.6. Cálculo de pérdidas de calor

A continuación se calculará la pérdida de calor a través de las paredes del tanque, para ver si es que justifica **realizar el aislamiento** respectivo ya que podría darse el caso que la inversión en aislamiento sea mucho mayor que lo perdido debido a la fuga de calor.

Para esto tomaremos en cuenta las **pérdidas** de calor, tanto por convección como por radiación.

En el cálculo del aislamiento, se obtuvo la relación:

$$\frac{\dot{q}}{A} = 75 \text{ W/m}^2$$

donde al área es:

$$A = 2 \times \frac{\pi D_1^2}{4} + \pi D_1 \times L_c$$

$$A = 2 \times \frac{\pi \times 0.905^2}{4} + \pi \times 0.905 \times 1.5$$

$$A = 5.55 \text{ m}^2$$

luego:

$$\dot{q} = 75 \times 5.55 \Rightarrow \dot{q} = 416.25 \text{ W}$$

Que es la pérdida por convección.

Para determinar la pérdida por radiación empleamos la siguiente relación:

$$q_r = \delta \times A \times \epsilon \times \left[\left(\frac{T_{1ab}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{2ab}}{100} \right)^4 \right]$$

donde:

$$\delta = 5.67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$A = 5.55 \text{ m}^2$$

$$\epsilon = \text{emisividad del acero} = 0.05$$

$$T_{1ab} = 95^\circ\text{C} = 368^\circ\text{K}$$

$$T_{2ab} = 15^\circ\text{C} = 288^\circ\text{K}$$

luego:

$$\dot{q}_r = 5.67 \times 5.55 \times 0.05 \times \left[\left(\frac{368}{100} \right)^4 - \left(\frac{288}{100} \right)^4 \right]$$

$$\dot{q}_r = 215.7 \text{ W}$$

Sumando ambas pérdidas de calor

tenemos:

$$\dot{q} = 832.5 \text{ W}$$

$$\dot{q} = 0.832 \text{ (KJ)/seg}$$

Del cálculo para determinar la cantidad de calor requerido en el tanque tenemos:

$$Q = 304,334.64 \text{ KJ}$$

Luego, determinaremos el tiempo necesario para que el calor ganado por el mismo sistema sea igual al calor perdido por el mismo,

$$304,334.64 \text{ KJ} = t \times 0.832 \text{ (KJ)/seg}$$

$$t = 365,787 \text{ seg} = 101.6 \text{ Hrs.}$$

Este es un tiempo demasiado extenso como para tomarlo en consideración, por lo tanto la pérdida de calor obtenida es pequeña y por consiguiente la podemos despreciar.

CAPITULO 5

ANALISIS DE COSTOS

5.1. INTRODUCCION

Para la evaluación económica de los costos de fabricación, se ha creído conveniente dividir el sistema en subensambles, lo cual nos permitirá calcular el costo para cada uno de los componentes, y así finalmente determinar el costo total del proyecto.

Estos sub ensambles son los siguientes:

1. Costos de mano de obra directa
2. Costos de materiales directos
3. Costos de maquinado y acabado
4. Costos de mano de obra indirecta
5. Costos de materiales auxiliares
6. Gastos generales varios

Para el cálculo de los costos de materiales directos, se considerarán los materiales que intervienen en la fabricación del tanque de precalentamiento, en los sistemas de agua, vapor y aire así como también los correspondientes a instrumentación,

controles y materiales auxiliares empleados en la conversión.

Para el cálculo de los costos de mano de obra directa, se considerará fundamentalmente los de instalación de los sistemas de agua, vapor y lo correspondiente a instrumentación y controles, todo ello realizado por personal técnico calificado.

En los costos de mano de obra indirecta estarán considerados los correspondientes a los sueldos de los ingenieros que intervienen en el proyecto, así como a un dibujante y técnico mecánico.

En lo que se refiere a costos de materiales auxiliares se tendrá en cuenta básicamente lo correspondiente a desgaste de herramientas empleadas, lubricantes, repuestos de equipos, etc., y que se considerarán como un factor de los costos de equipos e instalaciones realizadas.

Finalmente en los costos generales varios están considerados los gastos administrativos y financieros, así como otros gastos que no se hayan podido evaluar anteriormente.

Con todos estos costos parciales, se elabora finalmente el cuadro de costos totales del proyecto y posteriormente se hace la comparación con el sistema actual y ver el tiempo de recuperación de la inversión realizada en función a los márgenes de

utilidad por lata y al número de turnos de producción.

5.2. COSTOS DE FABRICACION

Para calcular los costos de fabricación emplearemos la siguiente relación:

$$\begin{array}{rcccc} \text{Costos de} & & \text{Materiales} & & \text{Mano de} & & \text{Gastos} \\ & & & & & & \\ & = & & + & & + & \\ \text{Fabricacion} & & \text{directos} & & \text{obra directa} & & \text{indirectos} \end{array}$$

5.2.1. Costo de mano de obra directa

En este rubro consideraremos los costos de instalación de los sistemas de agua, vapor e instrumentación, según "Planeamiento, Programación y Diseño de hospitales" por Henry García Erazo.

Cuadro A

Costos de Mano de Obra Directa

	Costo x hora US\$	Tiempo trabajo (hrs)	Costo parcial
Instalación del sistema de vapor para una cuadrilla de 8 hombres	532	4	2,128
Instalación del sistema de agua para una cuadrilla de 8 hombres	420	4	1,680
Instalación de la instrumentación	40	12	480
	Costo Total	=	4,288

5.2.2. Costo de materiales directos

Estos costos se presentan en los siguientes cuadros para cada subensamble.

Cuadro B

Costos de materiales del tanque de precalentamiento

Item	Designación	Cantidad	Precio Unt. US\$	Costo total US\$
01	Acero Inoxidable AlSi-304, 4' x 8' x 1/8	03	575	1,725
02	Tubería Fe Gal. 2"ø.Sch.40	0.5	94	47
03	Válvula Termostática Danfoss IVT(65-7266)+ IVR(65-7012)	01	160	160
04	Bridas para Tub. 2"ø	24	32	768
05	Bridas para Tub. 1¼"ø	04	27	108
06	Bridas para Tub. 1"ø	05	22	110
			Total	2918

Cuadro C

Costo de Materiales del Sistema de Agua

Item	Designación	Cantidad	Precio Unt. US\$	Costo total US\$
01	Tubería Fe. Galvani. 2"ø-Sch.40	04	94	376
02	Unión universal Fe Galv. 2"ø	11	14	154
03	Codo Fe Galvanizado 90°, 2"ø	12	8	96
04	Tee Fe Galv. 2"ø	04	14	56
05	Cruz Fe Galv. 2" ø	01	29	29
06	Valv. Comp. 2"ø-150PSi	12	45	540
07	Valv. Check 2"ø-150PSi	02	185	370
08	Electrobomba 0.9HP, 19 m ³ /hr	02	350	700
			Total	2,321

Cuadro D

Costo de Materiales del Sistema de Vapor

Item	Designación	Cantidad	Precio Unt. US\$	Costo total US\$
01	Tubería Fe Galvani. 1¼"ø-Sch.40	02	58	116
02	Tee Fe. Galv.1¼"ø	01	10	10
03	Válvula Compuerta 1¼"ø - 150 FSi	02	43	86
04	Val.Check 1¼"ø-150FSi	02	30	60
05	Red.Fe Galv.de2"øa1¼"ø	01	28	28
06	Valv. Selenoide .110Kg/h-220v	01	130	130
07	Valv. Reductora de presión a 5 bar	01	2,316	2,316
08	Valv. Reductora de Presión a 2 bar	01	2,316	2,316
09	Purgador de condensado GESTRA FLEXOTHERM MK21A	02	100	200
10	Bridas para tubería 1¼"ø	02	27	54
			Total	5,316

Cuadro E

Costo de Materiales del Sistema de Aire

Item	Designación	Cantidad	Precio Unt. US\$	Costo total US\$
01	Valv.Globo 1"Ø-150PSi	01	61	61
02	Valv.Comp. 1"Ø-150PSi	02	42	84
03	Codo Fe Gal.90°,1"Ø	06	4	24
04	Tee Fe Galvani. 1"Ø	01	5.50	5.50
05	Brida para Tube.1"Ø	03	22	66
06	Unión Univ.FeGal.1"Ø	03	8.50	25.50
			Total	266

Cuadro F

Costo de Instrumentación, Controles y Materiales Auxiliares

Empleados en la Conversión

Item	Designación	Cantidad	Precio Unt. US\$	Costo total US\$
01	Controles de nivel LV-231S	01	386	386
02	Indicador de nivel	01	180	180
03	Termómetro de vidrio con mercurio 0-120°C	01	150	150
04	Material Eléctrico			400
05	Electrodos de Solda- dura Inoxcrom 1/8"	5Kg	25	125
06	Gas Argón	2m ³	11.50	23
07	Material Abrasivo para Acabado			80
08	Otros Materiales			300
			Total	1,644

Finalmente, el costo del material directo se tendrá en el siguiente cuadro:

Cuadro 6
Costo de Materiales Directos

Item	Concepto	Monto
01	Materiales del Tanque de precalentamiento	2,918
02	Sistema de Agua	2,321
03	Sistema de Vapor	5,316
04	Sistema de Aire	266
05	Instrumentación y Controles	1,644
Costo Total		12,465

5.2.3. Costo de maquinado

En este rubro consideramos fundamentalmente dos aspectos que son: acabado, y lo que refiere a roscado de tubos.

- Acabado: Pulido y esmerilado de las partes soldadas

Horas - hombre: 16 Costo: \$ 32

- Roscado de tubos:

Horas - hombre: 24 Costo: \$ 48

Total: \$ 80

5.2.4. Costos generales

5.2.4.1. Costos de mano de obra indirecta

Aquí consideramos principalmente lo que se refiere a sueldos en función al tiempo de trabajo empleado.

Cuadro H

Costo de Mano de Obra Indirecta

	Cantidad	Tiempo	Costo Total \$
Ingeniero de Diseño	01	1 mes	600
Ingeniero de control de obra	01	1 mes	400
Dibujante Mecánico	01	0.5 mes	150
Técnico Mecánico	01	1 mes	300
		Costo Total	1,450

5.2.4.2. Costo de Materiales Auxiliares

Los costos de materiales auxiliares tales como desgaste de herramientas, lubricantes, repuestos de equipo, los consideramos como el 2% del costo de los equipos e instalaciones realizadas.

Costo Mat. Aux. = 2% (Costo Material
Directo
+
Costo
Maquinado
+
Costo mano de
obra indirecta
+
Costo mano de
obra directa)

= 2% (12,465 + 80 + 1,450 + 4,288)

= 2% (18,283)

Costo Mat. Aux. = 365.66 US\$

5.2.4.3. Costos generales varios

Debido a que los cálculos del proyecto no pueden ser enteramente exactos, es que consideramos este rubro adicional destinado a cubrir los gastos administrativos y financieros así como las inexactitudes que se puedan presentar.

Por lo general, este costo oscila entre el 5 y el 10% de los costos totales. Para nuestro caso, consideremos el 8%, luego:

Costos generales varios = 8%(18,283)

= 1,462.64 US\$

5.3. Cuadro de Costos del Proyecto a realizar

Cuadro I
Costo Total del Proyecto

Item	Rubro	Costo US\$
01	Mano de obra directa	4,288
02	Materiales Directos	12,465
03	Maquinado	80
04	Mano de obra indirecta	1,450
05	Materiales Auxiliares	365.66
06	Costos generales varios	1,462.64
Costo Total US\$		20,111.30

5.4. Comparación entre ambos sistemas

En el aspecto energético, el ahorro se obtiene mediante la reducción del consumo de vapor, que como se ha podido ver, resulta más significativo luego del primer batch de producción ya que está empleando el agua ya caliente con lo que se ahorra la energía utilizada para el precalentamiento.

Por otro lado, en donde se puede apreciar con mayor claridad el ahorro es en el volumen de producción ya que debido al sistema de precalentamiento, hay 3 batchs más que se pueden producir. Teniendo en cuenta que cada batch es de 480 latas,

resulta que con la conversión se pueden producir:
 $480 \times 3 = 1,440$ latas más por turno de 8 horas.

Estimando una utilidad de US\$ 0.05 por lata,
tenemos:

Utilidad adicional = $1,440 \times 0.05 = 72$ US\$/turno

Si quisieramos recuperar la inversión realiza-
da, empleando únicamente esta utilidad adicional,
podremos determinar el tiempo de recuperación de
capital:

$$\text{Tiempo de recuperación de capital} = \frac{20,111.30}{72} \approx 280 \text{ días}$$

Lo cual quiere decir que en sólo aproximadamen-
te nueve meses se recuperará la inversión, empleando
un sólo turno de producción. Luego de este periodo,
la utilidad es neta.

CAPITULO 6

MANTENIMIENTO Y CONTROL

6.1. MANTENIMIENTO DEL AUTOCLAVE

Para obtener un producto final confiable es mejor realizar un constante control de la operación de la retorta que confiar en el control microbiológico terminado el producto. Con el propósito de establecer un sistema de control, deben desarrollarse normas para el manejo de la retortas, el registro del tiempo, temperatura y presión del proceso, además de determinarse condiciones mínimas de tiempo y temperatura para cada producto.

La frecuencia de estos chequeos y pruebas depende de la naturaleza de la operación y del equipo accesorio de la retorta. Los instrumentos de registro y control deberían ser chequeados diariamente, los termómetros y manómetros antes de los períodos de producción más fuertes y por lo menos una vez al año en flujos continuos de producción. Cada 2 ó 3 años, el autoclave y el sistema de tuberías deben ser chequeados hidrostáticamente por cualquier debi-

litamiento. Obviamente, todos los equipos deben pasar una prueba inicial muy rígida, y si es necesario, se deben de realizar pruebas de distribución de vapor para establecer niveles adecuados de ingreso.

En general, un buen mantenimiento del autoclave debe cumplir los siguientes puntos:

- a) Instalar apropiadamente los equipos e instrumentos debidamente calibrados.
- b) Calibrar y chequear frecuentemente los termómetros, manómetros y válvulas.
- c) Contar con supervisores y operadores debidamente entrenados.
- d) Los instrumentos de operación y proceso deben estar en el equipo para ser constantemente revisados por el operador.

6.1.1. Instrumentos y accesorios empleados

A continuación trataremos brevemente de los principales instrumentos y accesorios empleados en la autoclave, tales como termómetros, manómetros, válvulas manuales y de seguridad.

6.1.1.1. Termómetros

El principal instrumento de referencia es el termómetro, el cual debe ser de vidrio y de mercurio. Su importancia radica en que la operación de la retorta depende de su

precisión, ya que todos los otros accesorios medidores de temperatura se ajustan de acuerdo a él. Esto significa que todos los termómetros de vidrio deben ser chequeados con uno standar de probada precisión, cuando recién ha sido instalado. Luego debe ser revisado periódicamente, dependiendo estas frecuencias de la naturaleza de la operación.

En la prueba de un termómetro con otro standar, ambos se instalan en el autoclave, la cual es previamente venteado para remover todo el aire y permitir registrar sin ninguna duda por lo menos 3 temperaturas cercanas a la normal o más comúnmente usada para los procesos. Por ejemplo, si la temperatura de proceso fuera 120°C, los chequeos deben ser hechos a 110°C, 120°C y 130°C.

Es recomendable numerar cada termómetro y mantener un record de fechas de pruebas para referencias futuras. Cualquier unidad que esté inoperativa, no puede calibrarse y debe ser desechada asegurándose de

que no va a ser usada antes de ser reparada. Las pruebas de operación sirven como una excelente oportunidad para limpiar el vidrio, corazas, etc., para que así los termómetros puedan ser más fácilmente leídos.

6.1.1.2. Manómetros

Los manómetros empleados son del tipo Bourdon, con un dial de por lo menos 4½" de diámetro, con rangos hasta 30PSi y con graduaciones de 1lb por división.

Para protegerlos contra choques violentos, éstos deben estar conectados a la retorta por medio de un "cuello de ganso" ó un sifón. Choques repentinos durante la operación, daños mecánicos por mal uso, y ocasionales obstrucciones de la entrada del manómetro debido a polvo, son las principales causas por las que los manómetros puedan fallar. Los manómetros no son caros, así, es recomendable que para una mejor performance y precisión, se utilicen de la clase 1. Estos son garantizados para otorgar precisiones de por lo

menos uno por ciento de la escala total. Realmente, tienen una precisión de más ó menos $\frac{1}{2}$ lb para los de 30lb de escala.

El chequeo con standar debe hacerse a intervalos regulares, y su frecuencia dependerá de la operación individual de cada uno. Una ó dos veces al año normalmente es suficiente, pero deben ser observados diariamente por alguna indicación de mal funcionamiento.

6.1.1.3. Válvulas Manuales

Todas las válvulas operadas manualmente deben ser cuidadosamente chequeadas y reparadas ó reemplazadas cuando se encuentren defectuosas. Las válvulas que no cierran apropiadamente ó tienden a pegarse en una posición pueden ser la causa de un inapropiado funcionamiento de algunos de los ciclos de la retorta.

Las válvulas de remoción de aire deben estar localizadas en la parte opuesta a la entrada de vapor al autoclave. Las válvulas de escape deberán ser de compuerta ó de grifo,

las cuales deben quedar totalmente abiertas para permitir una descarga rápida del aire durante el periodo de remoción del mismo.

Las válvulas de globo del mismo diámetro que la tubería de escape no son recomendables porque reducen la eficiencia de la remoción de aire a causa de la resistencia que ofrecen al paso del vapor y aire.

Como una norma de seguridad se debe mencionar que para periodos de cese extensos, a todas las válvulas de vapor se les debe dar una vuelta adicional para cerrarlas completamente después que el vástago se haya enfriado.

6.1.1.4. Válvulas de Seguridad

Todas las válvulas de seguridad deben ser probadas diariamente para cerciorarse que estén operativas y que soplarán el vapor libremente. Esto se realiza fácilmente comprimiendo el resorte de la válvula por medio de una palanca proporcionada en la mayoría de válvulas de seguridad. Ocasionalmente deben ser che-

queadas para asegurar que "saltarán" a la presión determinada. Esto puede realizarse colocando el control de la retorta ligeramente por encima del punto de disparo de la válvula y así permitir que la presión en la retorta exceda a la establecida por la válvula de seguridad. Si ésta no reacciona apropiadamente, debe ser reemplazada.

Estas válvulas se usan según el código ASME - U2; válvulas que prevengan subidas de presión mayores del 10% de la máxima presión de trabajo.

6.1.1.5. Registadores de Temperatura y Controles

Todos los instrumentos de control y registradores de temperatura deben ajustarse inicialmente para que concuerden con el termómetro de mercurio de la retorta y que ha sido previamente comparado con un standard. Posteriormente, los instrumentos registradores deben ser observados diariamente para que coincidan con el termómetro de vidrio de la

retorta y ajustarlos si lo requirieran.

El brazo del lápiz debe ser ajustado apropiadamente para que siga el arco de la carta. Fallas en el seguimiento del arco redundará en un registro inexacto el cual será cuestionado si se usara como referencia.

La mayoría de instrumentos de control usados en la industria de envases son operados por aire. Es muy importante que el abastecimiento de aire esté libre de suciedad y aceite. Estos contaminantes frecuentemente son la causa de fallas en los instrumentos e incrementan los costos de mantenimiento. Toda la instrumentación deben ser revisadas por personal calificado al menos una vez al año. Esta revisión regular es un buen seguro, ya que provee un buen grado de confiabilidad y es a menudo más barato que los servicios de emergencia. La mayoría de empresas suministradoras de instrumentos tienen una organización de ser-

vicio con la que uno puede coordinar programas periódicos.

6.1.2. Pruebas del Autoclave

En el autoclave se realizan 2 tipos de pruebas las cuales son:

- a) Pruebas hidrostáticas
- b) Pruebas de distribución de vapor

A continuación detallaremos cada una de ellas.

6.1.2.1. Pruebas Hidrostáticas

Las autoclaves, como todos los recipientes a presión, están propensas a fallar si estuvieran sometidas a presiones excesivas. Una periódica prueba hidrostática de todas las retortas debe realizarse para minimizar la posibilidad de tales fallas y para la protección de los operadores así como de otro personal adyacente. Estas pruebas muestran defectos debidos a desgastes, que pueden ser corregidos.

La prueba hidrostática es simple y puede ser hecha fácilmente ya sea por personal de mantenimiento ó bajo la supervisión de inspectores de seguridad. En la realización de

tal prueba, todas las válvulas de seguridad, sistemas de liberación de presión, etc. son renovados y las aberturas que quedan deberán ser tapadas. Se instala un manómetro de prueba reemplazando al de la retorta. Luego, se llena la retorta completamente de agua, se cierra, y posteriormente la presión de agua es impuesta en el sistema entero a la presión de prueba requerida. Esta presión es mantenida por un tiempo suficiente para permitir por una simple inspección visual, alguna fuga. Retortas standards son construidas para una presión máxima de operación de 15PSi y deben ser probadas a 30PSi. Retortas reconstruidas de acuerdo con las especificaciones ASME deben ser probadas al doble de la presión de trabajo especificada. Por ejemplo, una estimada para trabajar a una presión de 40 psi, debe ser probada hidrostáticamente a 80 psi. Se sugiere que el sistema completo de la retorta sea

revisado cada 2 ó 3 años, ó más seguido si el equipo es antiguo.

6.1.2.2. Prueba de Distribución de Vapor

La distribución de vapor, a veces referido como una distribución de calor, es una medida de un adecuado montaje de la retorta para que pueda otorgar una atmósfera de vapor puro para todos y cada uno de los envases en ella. La distribución de vapor y el sistema de venteo son de particular significancia. Las pruebas muestran la habilidad de estos sistemas para purgar todo el aire completamente de la retorta.

Estas pruebas son bastante simples de desarrollar y se requiere del concurso de personal experimentado para diseñar un procedimiento de prueba para una instalación específica y especialmente para interpretar los resultados. En muchas ocasiones es posible que personal experimentado analice el funcionamiento de los cabezales de la retorta y recomiende satisfactorios programas de venteo sin necesidad de

realizar la prueba. Para grandes retortas horizontales, y particularmente donde se usan sistemas especiales de carga, tales estimaciones son más dificultosas y es recomendable realizar las pruebas para ensayar el sistema y establecer un procedimiento satisfactorio de venteo.

Antes de realizar la prueba de distribución de vapor, la retorta debe ser equipada con un manómetro de precisión, y por lo menos un termómetro de vidrio con líquido de mercurio que previamente ha sido revisado y se sabe que es de precisión. Luego de una cuidadosa inspección de los cabezales de la retorta y del sistema de carga de envases, se colocan las termocuplas en puntos estratégicos dentro de la carga de envases. Estos puntos son seleccionados como los más probables en los que se encuentren bolsas de aire y una desigual distribución de calor. Aquí es donde se aprecia el valor del personal experimentado. Sus re-

comendaciones en seleccionar un apropiado diseño de prueba pueden ahorrar muchas horas de experimentación. No hay en sí un procedimiento para ubicar las termocuplas.

Luego de haberse colocado las termocuplas y de haberse cerrado la retorta, esta es calentada empleando un sistema preseleccionado de venteo. Se hacen medidas de temperatura en todos los puntos incluyendo las lecturas de los termómetros de vidrio, en intervalos aproximados de un minuto ó tan seguido como el número de puntos lo permita. Al mismo tiempo se toman las medidas de presiones. Estas mediciones se continúan hasta que todos los puntos han alcanzado la temperatura de operación. Esto puede ser por algún tiempo después que la temperatura de operación sea indicada por el termómetro de vidrio. La presión mostrada por el manómetro al momento que el termómetro de vidrio ha alcanzado la temperatura de operación puede ser

una medida de la efectividad del sistema de venteo.

Si la presión es mayor que la que corresponde a la relación presión temperatura que se muestra en la tabla Nº 14, se evidencia una purga insuficiente. De otro lado, una coincidencia necesariamente no significa que todo el aire ha sido eliminado.

Tabla Nº 14

Presiones manométricas correspondientes a temperaturas de proceso, especificadas a varias altitudes

Temp. °F	Nivel del mar	Pies sobre el nivel del mar					Temp. °C
		500	1000	2000	3000	4000	
200	-	-	-	-	-	-	93.3
205	-	-	-	-	-	-	96.1
210	-	-	-	0.4	0.9	1.4	98.9
212	0.0	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	100.0
215	0.9	1.1	1.4	1.9	2.4	2.9	101.7
220	2.5	2.7	3.0	3.4	3.9	4.4	104.4
225	4.2	4.5	4.7	5.2	5.7	6.2	107.2
230	6.1	6.3	6.6	7.1	7.6	8.0	110.0
235	8.1	8.3	8.6	9.1	9.6	10.0	112.8
240	10.3	10.5	10.8	11.3	11.7	12.2	115.6
242	11.2	11.4	11.7	12.2	12.7	13.1	116.7
245	12.6	12.9	13.1	13.6	14.1	14.6	118.3
248	14.1	14.3	14.6	15.1	15.6	16.0	120.0
250	15.1	15.4	15.6	16.1	16.6	17.1	121.1
252	16.2	16.4	16.7	17.2	17.7	18.1	122.2
255	17.8	18.1	18.3	18.8	19.3	19.8	123.9
260	20.7	21.0	21.2	21.7	22.2	22.7	126.7
265	23.8	24.0	24.3	24.8	25.3	25.8	129.4
270	27.3	27.5	27.8	28.3	28.8	29.3	132.2
275	30.9	31.2	31.5	32.0	32.5	33.0	135.0

En la evaluación de los datos y resultados de la prueba de distribución de vapor, es necesario considerar un número de factores. Algunos de estos son la duración y temperatura del proceso, las características de calentamiento del producto, la naturaleza de las operaciones de envasado previo al autoclavado, etc.

En cualquier caso, las conclusiones deben ser hechas por personal experimentado, y solo después de un número suficiente de pruebas que aseguren dichos resultados.

6.2. MANTENIMIENTO DEL TANQUE?

El tanque de precalentamiento, siendo un elemento a presión, debe tener el mismo cuidado que el autoclave, vale decir que diariamente hay que revisar sus elementos de control para asegurarse que estén trabajando adecuadamente. También se tienen que revisar los sistemas de inyección de vapor y de ingreso y salida de agua periódicamente, según el plan de mantenimiento trazado. Como es lógico, este tanque también debe ser sometido a una prueba hidrostática para detectar posibles fugas siguiendo

el procedimiento detallado anteriormente, variando solo la presión de prueba.

6.2.1. Instrumentos y Accesorios Empleados

Son básicamente los mismos que se utilizan en la autoclave, vale decir: termómetro, válvulas manuales y termostática así como el detector de nivel de agua.

6.2.1.1. Termómetros

Se empleará un termómetro de vidrio, con mercurio en su interior el cual tendrá un rango de 0 a 120°C siendo su menor división de 2°C.

Este instrumento debe ser periódicamente calibrado para tener siempre la seguridad que está señalando la temperatura correcta. Asimismo debe mantenerse limpio exteriormente para facilitar su lectura y si es posible colocarle protectores metálicos para protegerlo contra algún golpe súbito.

6.2.1.2. Válvulas

Como se puede observar en los planos y esquemas presentados, las válvulas empleadas son básicamente de compuerta y la termostática.

Las **válvulas de** compuerta las empleamos para el pase tanto del agua como del vapor debiendo verificarse periódicamente que sellen para evitar pases innecesarios.

En **cuanto a la válvula termos-**tática, debemos recordar que la **temperatura** de operación del tanque es de 95°C, con **lo que dándole una to-**lerancia de $\pm 1^\circ\text{C}$ significa que los 96°C corta el ingreso de vapor y a los 94°C permite el ingreso éste al tanque.

Esta válvula también debe revisarse **periódicamente para** comprobar su correcto funcionamiento.

Se debe tener **especial cuidado** para no ajustar excesivamente las **válvulas**. Si esto ocurriera, la válvula así como su asiento quedarán dañadas y esto ocasionará fugas.

6.2.1.3. Detector de Nivel de Agua

El detector para el control de alimentación **agua, sirve para** controlar el nivel de ésta y así en forma automática permita ó detenga el ingreso de agua al tanque, traba-

jiando sobre la alimentación de bomba, permitiendo así tener un nivel constante.

Para conseguir esto, utilizarán electrodos de barra con sensores de contacto por ultrasonido, los cuales detectan y controlan el nivel del líquido por medio de la técnica de la energía ultrasónica empleando piezas estáticas. La serie que se puede utilizar es LV 231S con una longitud del sensor de 7 7/16".

6.2.2. Prueba del Tanque

El tanque de precalentamiento, como todo recipiente sometido a presión, debe ser probado antes y durante su operatividad para evitar problemas posteriores. En nuestro caso el tanque se le hará únicamente la llamada prueba hidrostática la cual se realizará en forma similar a la realizada en el autoclave.

Como es natural, este tanque deberá tener una capa de pintura de protección así como también deberá ser revisado periódicamente cuanto a sus accesorios, decir, válvulas, indicadores, controles, para de esta manera asegurar un correcto funcionamiento dentro del sistema. Las inspecciones periódicas

cas se pueden observar en el programa de mantenimiento presentado más adelante.

6.3. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA

Actividad	Frecuencia
- Revisión de instrumentos de medición control	Diario
- Inspección de bombas de agua	Diario
- Inspección de compresor de aire	Diario
- Revisión de fugas de agua ó vapor de las líneas respectivas	Diario
- Revisión de instalaciones eléctricas	Diario
- Limpieza interior y exterior del tanque y autoclave	Semanal
- Desincrustación de tanque y autoclave	Mensual
- Calibración de instrumentos	Semest.
- Overhaul a bombas de agua	Anual
- Overhaul a compresor de aire	Anual
- Revisión y asentamiento de válvulas	Anual
- Pruebas hidrostática al tanque autoclave	Anual
- Pintado de la instalación	Anual

CONCLUSIONES

1. Con la conversión podemos incrementar el volumen de producción en aproximadamente 37% debido a la reducción del tiempo de precalentamiento del agua, lo cual incide directamente en beneficios económicos.

El ahorro de energía se produce debido a que el agua llega al tanque a aproximadamente 78°C y por consiguiente se necesita menor cantidad de vapor para mantenerla a esa temperatura, que si se calentara de temperatura ambiente.

3. Con conversión también se presenta un ahorro en el consumo de agua, ya que al recircular ésta, se evita la pérdida de la misma en cada batch de producción, dandosele usos continuos.

4. Las pérdidas de calor, comparadas con el requerido para todo el sistema, son pequeñas, tal como lo demuestran los cálculos, por lo tanto, los podemos despreciar y de esa forma ahorrar también el costo que correspondería por aislamiento.

El sistema se puede emplear principalmente para productos de exportación donde requieren envases

aluminio y plastificados que son apropiados para los sistemas de contrapresión con la ventaja que el aquí desarrollado puede obtener mayor producción con lo cual se estaría en condiciones de satisfacer mayores demandas externas.

6. El sistema se puede emplear con una batería de autoclaves con lo cual se podría estar produciendo varios tipos de productos al mismo tiempo ya que las condiciones de esterilización son distintas para los diferentes productos con lo que estaría mejorando la productividad.
7. El tiempo de recuperación del capital invertido se puede reducir tremendamente, al aumentar el número de turnos de producción, pudiendo llegar alrededor de 140 ó 70 días si se trabaja con 2 o 3 turnos y con los márgenes de ganancia estimados, los cuales están dentro de los normales.
8. Al ahorrar aproximadamente 55% del total de vapor utilizado actualmente, se permite una mayor disponibilidad del mismo en la planta para poder emplearlo en otros procesos que por ahora se ven limitados en su realización precisamente por esta falta de disponibilidad como principalmente el cocido que consume aproximadamente el 60% del total de vapor generado.
9. El consumo de combustible se reduce significativamente con la conversión llegando a ser el 56% del consumo actual siendo esto de 11.5 galones de petróleo. Si

consideramos que el precio del galón de petróleo diesel Nº 2 es de 1.5 US\$/Gal., el ahorro económico será de 17.25 US\$/día lo cual representa un ahorro anual aproximado de US\$ 6,000, con un sólo turno de producción.

BIBLIOGRAFIA

1. Alimentos enlatados, principios de control del proceso térmico National Canners Association, Berkeley 2ª Edic., 1975.
2. V Curso internacional: Tecnología de Procesamiento de Productos Pesqueros Instituto Tecnológico Pesquero del Perú JICA.
3. Fish as food, Vol IV, Parte 2 George Bargston
4. Principles and methods in the canning of fishery products. Research report Nº 7 Norman Jarris
5. Conservas alimenticias, fundamentos Técnicos-microbiológico. Edic. Acrilia, Zaragoza. C. Herson
6. Manual del operador de autoclaves Sama Peruana
7. Técnica de la Ingeniería Alimentaria. Editorial Dorsat S.A. Madrid, 1965 Martel Loncin
8. Principios de Transferencia de Calor Donald Kem
9. Refrigeración y Aire Acondicionado Mori, Nakamura, Herencia
10. Catálogo de Soldaduras Especiales. Oerlikon

- | | |
|---|---|
| 11. Catálogo de espesores de aislante recomendado | Refractarios Peruanos S.A. REPSA. |
| 12. Planeamiento, programación y diseño de hospitales | Henry García Erazo |
| 13. Manual de Proyectos de Desarrollo Económico | Organización de las Naciones Unidas.
México D.F. Diciembre 1985. |
| 14. Conservación de alimentos por calor | Fernando Hurtado Pascual. |